UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Efecto del riego y la nutrición con calcio en la producción, rajado y calidad poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) En invernadero

Javier Giovanni Alvarez Herrera

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria
Bogotá D.C..
2014

Efecto del riego y la nutrición con calcio en la producción, rajado y calidad poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) En invernadero

Javier Giovanni Alvarez Herrera

Proyecto de grado para optar al título de

Doctor en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria

Director
Gerhard Fischer

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Área Agraria
Bogotá D.C..
2014

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____
Víctor Julio Flórez Roncancio

_____
Javier Enrique Vélez

_____
Josep Rufat Lamarca

_____
Director del Proyecto

Bogotá D.C., Febrero 5 de 2014

Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, sin embargo las ideas omitidas por el autor son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la universidad.

Artículo 14 de resolución No. 47 de 1981.

A toda mi familia

Agradecimientos

A BERNARDO ALVAREZ JIMENEZ Y ANA LUCILA HERRERA, por su colaboración inconmensurable, apoyo, ánimo y paciencia.

A GERHARD FISCHER, director de la Investigación, por sus enseñanzas, valiosas orientaciones y por generarme un gusto todavía mayor por la Agronomía.

A HELBER ENRIQUE BALAGUERA, Ingeniero Agrónomo, por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

A MARIA ELENA SOLARTE, Docente de la Universidad de Nariño por sus valiosos aportes.

A LIZ PATRICIA MORENO, profesora de la Facultad de Agronomía, por sus consejos en la elaboración de la propuesta de tesis.

A LUZ PATRICIA RESTREPO, profesora del departamento de Química, por el apoyo y la prestancia que tuvo para con la investigación.

A Astrid, Ricardo, Julio y Odilia, técnicos de los diferentes laboratorios en donde se realizó la fase de laboratorio de la tesis.

A, YULI DEAQUIZ, ELBERTH PINZÓN, JULIÁN CÁRDENAS, OSCAR ALVARADO, LIDA PAOLA PINZÓN y ANDREA REYES por su apoyo.

A MARTHA QUICAZAN, profesora del ICTA, por su colaboración con el proyecto.

A JAVIER VÉLEZ, profesor del Departamento de Ingeniería Agrícola por sus enseñazas, aportes y valiosos consejos.

A JESUS ANTONIO GALVIS, por sus enseñanzas y valiosos aportes.

A JOSEP RUFAT, por su prestancia, consejos, y ánimo para el desarrollo del proyecto.

A MAURICIO ESPINAL y SANDRA MORALES, por sus valiosas indicaciones.

A HÉCTOR CLAVIJO y RODRIGO ROJAS, por su apoyo en la toma de mediciones.

A CARLOS RODRÍGUEZ, por su apoyo al proyecto.

A la NACIÓN COLOMBIANA, por tener a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, la mejor universidad en la que pude haber estudiado durante toda mi vida académica.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo del proyecto y mi formación.

Resumen

La uchuva es la fruta exótica más importante para Colombia. Los frutos de uchuva presentan problemas de rajado lo cual disminuye su calidad poscosecha. Estos problemas están asociados a deficiencias de calcio y un manejo inadecuado del riego. Se empleó un diseño en bloques al azar con 12 tratamientos en arreglo factorial de 4x3. Los bloques fueron las frecuencias de riego (4, 9 y 14 días). El primer factor fue la lámina de riego (0,7; 1,0; 1,3 y 1,6 de la evaporación del tanque clase A) y el segundo la dosis de calcio (0, 50 y 100 kg ha^{-1}), lo que representó 36 unidades experimentales. Se transplantó en materas de 20 L usando turba rubia como sustrato. El coeficiente de riego que presentó los frutos con mayor masa fue el de 1,0 sin ser significativo. Las aplicaciones de menor cantidad de agua aumentaron el contenido de sólidos solubles totales (SST), la acidez total titulable (ATT), el pH y la firmeza de los frutos. Los frutos de las plantas que recibieron mayor aplicación de calcio presentaron menor cantidad de SST, menor pérdida de peso en el tiempo y mayor firmeza y pH, este último sin diferencias significativas. La frecuencia de riego de 14 días presentó los mayores valores de SST. La vida poscosecha de los frutos de uchuva se vió aumentada al aplicar 100 kg ha^{-1} de Calcio con un coeficiente de riego de 1,0 y una frecuencia de riego de 4 días, no obstante los frutos son menos dulces. Las concentraciones de calcio no afectaron los contenidos de ácido ascórbico ni carotenoides totales. La lámina de riego más alta (1,3) aumentó el contenido de carotenoides totales en los frutos. Las plantas con frecuencia de riego de 14 días desarrollaron frutos con mayor cantidad de ácido ascórbico tanto en frutos sanos como rajados. Los frutos sanos presentaron mayor contenido de carotenoides totales y ácido ascórbico comparado con los rajados.

Palabras **clave:** irrigación, nutrición mineral, fisiología, evaporación, solanácea.

Abstract

The cape gooseberry is the more promising exotic fruit exported from Colombia. Fruits of this species are susceptible to cracking, a disorder which is influenced by the calcium applications and irrigation management which can affect the nutraceutical properties of this fruit. There, the total carotenoids and ascorbic acid contents in fruits of cape gooseberry Colombian ecotype were evaluated. Plants were irrigated in different frequencies (each 4, 9 and 14 days) and water levels (0.7, 0.9, 1.1, and 1.3 of evaporation of class A tank), as well as calcium doses (0, 50 and 100 kg ha^{-1}). The experimental design was in randomized blocks (irrigation frequency) with 12 treatments (the combination of the water levels and the calcium doses). Plants were planted in 20 L plastic pots filled with peat moss and placed at a distance of 1.5 m between plants and 2 m between rows. When the plant was 11 months old, the fruits were harvested at state 3 of ripeness according to Norma Técnica Colombiana 4580. A factorial analysis of variance was used and the Tukey's range test at 5% was applied to compare means. The calcium concentrations did not affect the contents of ascorbic acid and total carotenoids. The highest irrigation coefficient (1.3) increased fruit total carotenoids content, while the lowest irrigation coefficient (0.7) had the lower carotenoid values. Plants with irrigation frequency of 14 days developed fruits with highest ascorbic acid content, in both, healthy and cracked fruits. Healthy fruits had higher total carotenoids and ascorbic acid contents compared to cracked fruits. The cracked fruits showed a stronger oxidation process, which increased the dehidroascorbate and decreased the ascorbic acid concentration.

Key words: irrigation, mineral nutrition, phisiology, evaporation, solanaceae.

Contenido

Pág.

Resumen y Abstract ..... **XI**

Lista de figuras ..... **XV**

Lista de tablas ..... **XVIII**

Lista de Símbolos y abreviaturas ..... **XIX**

1. Introducción 1

2. Marco teórico **3**

2.1. Generalidades del cultivo 3

2.2. El rajado del fruto de uchuva 9

2.3. Manejo del riego en invernadero 12

Balance Hídrico bajo invernadero **13**

3. Materiales y Métodos **17**

3.1. Localización del experimento 17

3.2. Diseño experimental 17

3.3. Montaje del experimento 17

3.4. Variables de respuesta 20

3.4.1 Variables de producción 20

3.4.2 Variables de calidad al momento de la cosecha 21

3.4.3 Variables de calidad medidas durante la poscosecha 23

3.4.4 Variables químicas y bioquímicas de frutos al momento de la cosecha 24

3.4.5 Variables hídricas medidas 25

3.5. Análisis de datos 26

4. Resultados y Discusión **27**

4.1. Producción de uchuva bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio 27

4.1.2 Masa promedio de frutos 29

4.1.3 Frutos rajados 30

4.1.4 Relación cáliz/fruto 34

4.1.5 Masa seca de frutos 35

4.1.6 Producción 35

4.1.7 Número total de frutos 38

4.1.9 Relación masa seca/masa fresca de cáliz 41

4.2. Análisis de la producción de uchuva durante el ciclo de cultivo con diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio 41

4.2.2 Masa fresca del fruto durante el tiempo de cosecha: 42
4.2.3 Número de frutos: 44
4.2.4 Porcentaje de frutos por calidad comercial a lo largo del ciclo de cosecha:.....46
4.2.5 Rajado total de frutos a lo largo del ciclo de cosecha:.....46
4.2.6 Rajado de frutos según tamaño a lo largo del ciclo de cultivo: 47
4.2.7 Masa fresca de cáliz a lo largo del ciclo de cultivo: 48
4.2.8 Relación cáliz fruto a lo largo del ciclo de cosechas:.....50
4.3. Efecto del riego y las dosis de calcio en la calidad de los frutos de uchuva al momento de la cosecha 51
4.3.1 Sólidos solubles totales (SST).....51
4.3.2 Acidez total titulable (ATT): 53
4.3.3 Relación de madurez (RM.....55
4.3.4 pH de los frutos de uchuva:.....56
4.3.5 Firmeza de los frutos:.....57
4.3.6 β-caroteno……81
4.3.7 Ácido ascórbico (AA):.....61
4.3.8 Color: 63
4.4. Efecto de diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio en la poscosecha de los frutos de uchuva.....65
4.4.1 Pérdida de masa fresca: 65
4.4.2 Firmeza:.....70
4.4.3 Sólidos solubles totales:.....73
4.4.4 Acidez total titulable (ATT): 75
4.4.5 Relación de madurez (RM): 78
4.4.6 pH: 80
4.4.7 Color: 81
4.5. Distribución del calcio, potasio y magnesio y actividad de la poligalacturonasa en uchuva (*physalis peruviana* l.) sometida a tratamientos de riego y nutrición con calcio84
4.5.1 Calcio:.....84
4.5.2 Magnesio: 89
4.5.4 Actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos:.....93
4.5.5 Correlación de la concentración de los nutrientes medidos en diferentes órganos de las plantas de uchuva con la actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos 95
4.6. Potencial hídrico y consumo de agua en plantas de uchuva sometidas a tratamientos de riego y nutrición con calcio 97
4.6.1 Potencial hídrico de hoja (ψ_{hoja}):.....97
4.6.2 Potencial hídrico de tallo (ψ_{tallo}): 99
4.6.3 Comparación entre potencial hídrico de hoja y de tallo y relación con el DPV:103
4.6.4 Consumo de agua y eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR):.....106

5. Conclusiones y recomendaciones 109

Anexos.....113

Bibliografía.....147

Lista de figuras

Pág

Figura 1. Distribución de los tratamientos en campo 20
Figura 2. Sistema de tutorado en V alto 20
Figura 3. Bomba de Scholander utilizada para la medición del potencial hídrico. 25
Figura 4. Efecto de la frecuencia de riego en la masa promedio de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 30
Figura 5. Efecto de la lámina de riego en el rajado de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 31
Figura 6. Efecto de la frecuencia de riego en el rajado de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 32
Figura 7. Efecto de la lámina de riego en la producción de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 36
Figura 8. Efecto de la frecuencia de riego en la producción de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 36
Figura 9. Efecto de la lámina de riego en el número de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 39
Figura 10. Efecto de la frecuencia de riego en el número de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 40
Figura 11. Efecto de la frecuencia de riego en la masa seca del cáliz de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 41
Figura 12. Producción de uchuva por planta en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 42
Figura 13. Masa fresca del fruto de uchuva en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 43
Figura 14. Número de frutos de uchuva por planta en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 44

Figura 15. Producción de frutos de uchuva por tamaño en las diferentes cosechas realizadas. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 45
Figura 16. Producción de frutos de uchuva por tamaño en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 45
Figura 17. Rajado del número total de frutos de uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 49
Figura 18. Rajado del número total de frutos de uchuva según tamaño durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 49
Figura 19. Masa fresca de cáliz de uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 50
Figura 20. Relación cáliz/fruto en uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días. 51
Figura 21. Efecto de la lámina de riego en los sólidos solubles totales expresados en grados Brix (%) en frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 52
Figura 22. Efecto de la frecuencia de riego en los sólidos solubles totales expresados en grados Brix (%) en frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio. 53
Figura 23. Efecto de la lámina de riego en la acidez total titulable (ATT) de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio 54
Figura 24. Pérdida de masa fresca en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) diferentes frecuencias de riego y C) diferentes dosis de calcio en kg ha^{-1}. 68
Figura 25. Firmeza en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes láminas de riego. 71
Figura 26. Sólidos solubles totales (SST) en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes frecuencias de riego. 74
Figura 27. ATT en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego y; B) diferentes frecuencias de riego. 77
Figura 28. RM en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego y; B) diferentes frecuencias de riego. 79
Figura 29. pH de frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes frecuencias de riego. 82
Figura 30. Potencial hídrico de hoja en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) frecuencias de riego y C) dosis de calcio en kg ha^{-1}. 101

Figura 31. Potencial hídrico de tallo en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) frecuencias de riego y C) dosis de calcio en kg ha^{-1}. 102
Figura 32. Potencial hídrico de hoja y tallo en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio en kg ha^{-1}. 104
Figura 33. Relación entre el potencial hídrico de hoja y tallo en plantas de uchuva con el déficit de presión de vapor (DPV) 106

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Valores del factor de mayoración (f) en función del coeficiente de uniformidad de la instalación de riego por goteo. 14
Tabla 2. Tratamientos empleados en plantas de uchuva 18
Tabla 3. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el porcentaje de frutos de uchuva clasificados por tamaño 28
Tabla 4. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el porcentaje de rajado de frutos de uchuva clasificados por tamaño 33
Tabla 5. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la relación de madurez, el pH y la firmeza de frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero. 56
Tabla 6. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el contenido de carotenoides totales y ácido ascórbico de frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero. 62
Tabla 7. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la cantidad de luminosidad (L), cromaticidad de verde a rojo (a), cromaticidad de azul a amarillo (b) y el índice de color (CI) en frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero. 64
Tabla 8. Valores de F del Anova de las variables poscosecha evaluadas en frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio, y frecuencias de riego 65
Tabla 9. Masa fresca, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable, pH y relación de madurez de frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio y frecuencias de riego. 69
Tabla 10. Valores de F del Anova de las variables poscosecha evaluadas en frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio, y frecuencias de riego 85
Tabla 11. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la relación de madurez, el pH y la firmeza de frutos de uchuva. 88
Tabla 12. Correlaciones de Pearson entre la concentración de nutrientes en diferentes órganos de la planta y la actividad de la PG en frutos de uchuva. 96
Tabla 13. Aplicación total de agua (Litros) en plantas de uchuva a lo largo del periodo de producción (6 meses) 107
Tabla 14. Consumo de agua diaria (Litros/planta-día) en plantas de uchuva 107

Lista de Anexos

		Pág.
Anexo 1.	Valores de la evaporación (mm) medida en el tanque clase a y usados para determinar las cantidades de agua a aplicar a las plantas de uchuva	113
Anexo 2.	Curva de calibración para la determinación de carotenoides totales	116
Anexo 3.	Curva de calibración para la determinación de ácido ascórbico	116
Anexo 4.	Curva de calibración para la determinación de la actividad de poligalacturonasa	117
Anexo 5.	Anovas y pruebas de tukey de las variables de producción de uchuva	118
Anexo 6.	Condiciones climáticas dentro del invernadero durante el desarrollo de la investigación	130
Anexo 7.	Anovas de las variables medidas en la cosecha	133
Anexo 8.	Anova y prueba de tukey para la actividad de la poligalacturonasa.	142
Anexo 9.	Anova y prueba de tukey para la eficiencia en el uso del agua en plantas de uchuva	144

1. Introducción

En momentos en que la producción de cultivos se ha vuelto relevante debido a la futura escasez de alimentos que se prevé (FAO, 2008), es necesario incrementar la productividad y calidad de los productos agrícolas, con el fin de garantizar una oferta alimenticia variada a la población, esto se logra con la generación de nuevo conocimiento basado en investigaciones que optimicen la producción agrícola.

El mercado de frutas tropicales en estado fresco a nivel mundial ha mostrado un crecimiento acelerado en los últimos años, así mismo la demanda de frutas exóticas dentro de las cuales se encuentra la uchuva es cada vez mayor en los países desarrollados donde los consumidores están en una interminable búsqueda de productos vegetales en fresco, ricos en vitaminas, fibra, energía y minerales (FAO, 2008).

Colombia se ha convertido en el mayor productor mundial de uchuva (Ortiz, 2002). El área sembrada se ha incrementado en 38,1% anual desde el año 1993, llegando hasta 846 ha para el año 2006, con un rendimiento de 16.5 t/ha (Agronet, 2008). El valor de las exportaciones ha aumentado considerablemente, de 7 millones de dólares en el año 2001 (Angulo, 2005) a 23,8 millones de dólares en el 2005 (Agronet, 2008), lo que ha generado el interés por el desarrollo de investigación científica y específica en cuanto a variables de rendimiento y calidad poscosecha que inciden en la rentabilidad del cultivo.

Con el fin de satisfacer crecientes requerimientos nacionales y de exportación, así como para evaluar económicamente esta alternativa, es imprescindible tener un conocimiento específico sobre el manejo óptimo de la nutrición y su influencia en las características finales del producto, ya que solo frutos de buena calidad y en altos volúmenes, consolidarán el hecho de que este cultivo sea una fuente importante de desarrollo y divisas para el país.

Actualmente una de las restricciones que ha presentado la uchuva en la exportación es el problema del rajado del fruto, este puede estar siendo originado por dos causas principalmente, la primera puede ser por un suministro irregular de agua al cultivo que ocasiona un agrandamiento excesivo del fruto en su última etapa por encima del que sus tejidos pueden soportar; la segunda ocurre cuando se presentan deficiencias de calcio (Gordillo *et al*., 2004), lo que puede estar asociado a causas genéticas que hacen que el fruto de uchuva no pueda absorber las cantidades de calcio necesarias para proveer de resistencia a sus paredes celulares y así evitar el agrietamiento.

El rajado en frutos de uchuva está asociado con deficiencias de Ca (Fischer, 2005; Angulo, 2005), no obstante, Gordillo *et al*. (2004) reportaron que plantas de uchuva sin fertilización presentaron un menor porcentaje de rajado, que plantas con una fertilización técnica, así mismo estas últimas presentaron mayor rajado que cuando se hizo una aplicación adicional de calcio, debido a que los frutos de plantas con fertilización son más grandes y más susceptibles al rajado.

Del mismo modo, Gordillo *et al*. (2004) mencionan que el rajado de los frutos de uchuva está más influenciado por periodos de sequía prolongados seguidos de intensas precipitaciones, lo que a su vez genera deficiencias de calcio. Más aún, frutos que llegan a los sitios de comercialización en perfecto estado, luego de la manipulación poscosecha pueden presentar rajado, el cual origina castigo en el precio a los productores y pérdidas para los exportadores.

La escasa y en algunos casos contrariada información sobre el manejo del agua y los nutrimentos en la uchuva generan incertidumbre en el comportamiento de variables de producción, calidad y almacenamiento, lo que conlleva a incrementos en los costos de producción y pérdidas tanto para productores como para comercializadores.

Por lo anterior se hace necesario adelantar una investigación que tenga como objetivo determinar la lámina de riego y las dosis óptimas de calcio en la producción, rajado y calidad de los frutos de uchuva, así como el manejo de las frecuencias de riego con el fin de determinar la influencia de los cambios abruptos en el suministro de agua y de calcio al cultivo, de tal forma que se de respuesta a la pregunta ¿Cuál es el efecto de la aplicación de diferentes láminas y frecuencias de riego y nutrición con calcio en la producción, rajado y calidad poscosecha de la uchuva?

2. Marco teórico

2.1. Generalidades del cultivo

Physalis peruviana es un arbusto de la familia de las solanáceas, originario de Perú y Chile, el nombre de *physalis* proviene del griego y significa vesícula. La historia del cultivo de *physalis* en América se remonta a los Incas (Klinac, 1986); luego en Europa al Reino Unido alrededor del año 1700 desde donde posteriormente es llevado a Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda por los primeros inmigrantes ingleses. También es cultivado como frutal menor en lugares tan distantes como Asia, África, Estados Unidos y el Caribe. En Colombia es sembrada principalmente en Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño.

López (1978) realiza una descripción de esta especie y menciona que la planta presenta raíz fibrosa bastante ramificada y que profundiza hasta 50 cm en el suelo. Las hojas son simples, enteras y acorazonadas, dispuestas en forma alterna en los tallos, el limbo es entero y presenta vellosidades que lo hacen suave al tacto. Las flores tienen corola tubular de color amarillo con sus bordes pentapartidos; son flores hermafroditas; el cáliz es gamosépalo y está formado por sépalos acrescentes y persistentes.

El fruto es una baya globosa de color amarillo anaranjado de 1 a 2 cm de diámetro, el cáliz tan pronto como es fecundado el ovario retoma su crecimiento envolviendo completamente al fruto (cáliz acrescente) y su típico color verde cambia a pardo pálido al madurar el fruto (Klinac y Wood, 1986).

Requerimientos climáticos

La uchuva presenta un buen comportamiento entre los 1.800 y 2.800 msnm, con una alta luminosidad (2.500 a 3.000 h luz año^{-1}), y temperatura diurna de 20 °C en promedio, la precipitación requerida es de 1.000 a 2.000 mm (Fischer, 2000).

Propagación

La planta se propaga de forma sexual por medio de semillas y en forma asexual utilizando estacas. La propagación sexual se realiza en almácigos que generalmente presentan un buen porcentaje de germinación y a las 8 semanas se pueden trasplantar (15 a 20 cm de altura de plántula). En propagación asexual, López *et al*. (2006) encontraron que los esquejes de uchuva obtenidos del tercio alto presentaron mayor porcentaje de enraizamiento y mayor vigor, y que el mejor sustrato para propagación es la arena, no obstante, Moreno *et al*., (2009) mencionan que las plántulas provenientes de esquejes de uchuva sembrados en turba y con la aplicación de 800 mg L^{-1} de auxina mostraron el mayor porcentaje de enraizamiento, así como, una mayor longitud de raíz, masa fresca y seca y mayor área foliar.

Manejo

Watt (1948) y López (1978) indican que la uchuva es una planta que podría ser tratada como perenne y de hábito arbustivo, puede durar en producción continua por lo menos seis años, pero los sistemas de manejo más comunes son el anual o bianual que favorecen una mayor producción y calidad.

Densidad de plantación

Angulo (2005) menciona que las distancias de siembra más recomendadas son de 2,5 x 2,5 m y 2,5 x 3 m, para que el cultivo tenga una buena entrada de luz, aireación y una disminución en los problemas fitosanitarios.

Labores culturales

La uchuva exige un sistema de tutorado que permita mayor facilidad de manejo y realización de las labores. Este se debe instalar inmediatamente después del trasplante para mantener la arquitectura de la planta (Zapata *et al*., 2002). El sistema de tutorado en "V alto" consiste en la colocación de 2 hileras de postes de 2,6 m de altura, distanciados entre si a 2 m y unidos por alambre calibre 12 o 14 (Miranda, 2005). De la Cerda (1995) encontró en Chile que plantas sembradas sin tutorado presentaron una mayor producción de fruta que las conducidas en espaldera, no obstante mostraron mayor incidencia de enfermedades.

La poda tiene como finalidad la formación de plantas con adecuada estructura que faciliten el manejo y las demás labores de cultivo. Se recomienda para una mejor calidad la realización de la poda de formación y la poda sanitaria. La primera se realiza cuando la planta proviene de semilla y tiene de 30 a 45 días de transplantada y la segunda sirve para remover ramas enfermas e improductivas (Zapata *et al*., 2002).

Fertilización

Según Singh *et al*. (1977), una mayor dosis de N, P y K (80 kg ha^{-1}) de cada elemento, aumenta la altura de la planta y la producción pero disminuye el contenido de sólidos solubles totales (SST) de los frutos, contrario a De la Cerda (1995) quien encontró que la mayor dosis de N, P y K (100 kg/ha) acortó el ciclo de cultivo y aumentó el contenido de SST, así mismo Singh (2004) encuentra que una mayor dosis de N (15 g/planta) incrementa los SST, no así resultó con el P y el K los cuales presentaron los mayores SST con aplicaciones de 10 g/planta. Singh (2004) por el contrario afirma que a mayor aplicación de fertilizante (N, P, K) los frutos presentan una mayor acidez.

Por otro lado, Gordillo *et al*. (2004) determinaron que bajos contenidos de B y K, así como una lámina de riego alta después de un periodo de sequía incrementan el rajado de los frutos. Del mismo modo, Fischer (2000) y Angulo (2005) afirman que el calcio disminuye considerablemente el rajado de la uchuva.

Según Torres *et al*. (2004), un déficit de riego en las primeras etapas del cultivo y una posterior irrigación con altas láminas de agua incrementan el rajado del fruto, mientras que cuando el riego se aplica inicialmente con láminas altas y luego con dosis bajas, el rajado en los frutos no es severo.

Cosecha

La cosecha se realiza cuando el fruto tiene un color amarillo (3/4 de maduración) si los frutos van para un mercado de exportación, o un color naranja si son para el mercado interno, esta ocurre aproximadamente entre 4 y 7 meses después de haber sido sembrada, dependiendo de la altitud y las condiciones climáticas Galvis *et al*. (2005). Klinac y Wood (1986) indican que se necesita cosechar manualmente y en forma repetida a medida que van madurando los frutos. Agregan que en Nueva Zelanda los

frutos siguen madurando después de cosechados, pudiendo subir los sólidos solubles de 11 a más del 16 %.

Según Almanza y Espinosa (1995) los valores promedio para determinar el momento optimo de la cosecha son: 56 días después de antesis, color del fruto 5, color de cáliz (3), pH 3,5, °Brix 17,3, dureza 5,5 $kg \cdot cm^{-2}$, % de acidez 2,0, relación de madurez 8,6 y densidad 1,06 $g \cdot cm^{-3}$.

Klinac (1986) indica que producciones normales en Nueva Zelanda estarían entre 3,75 y 5 t ha^{-1} pudiendo esperarse 13 t ha^{-1} en condiciones ideales de cultivo. En situaciones de clima tropical se puede llegar a producciones de 15 a 35 t ha^{-1} (Mazumdar, 1979), mientras que en Colombia se reportan rendimientos hasta de 36 t $\cdot ha^{-1}$, con un promedio de 20 $t \cdot ha^{-1}$ (Zapata *et al*., 2002).

Maduración del fruto

Los primeros 21 días de desarrollo de los frutos, estos presentan alta tasa respiratoria, la cual coincide con la elevada demanda energética que ocurre en la etapa de división celular. A partir de este día se presenta un descenso acelerado hasta el día 56, cuando el fruto alcanza la madurez fisiológica (Fischer, 2000).

Las uchuvas presentan un aumento notorio en la evolución del etileno durante la fase de la maduración. Trinchero *et al.* (1999) encontraron que el etileno aumenta 45 veces su concentración inicial, y hasta 70 veces cuando el fruto entra en estado de sobremadurez, por lo que clasifican a la uchuva como un fruto con tasas de producción etilénica extremadamente altas. Gallo (1996) la clasifica como un fruto con producción de etileno alta, entre 1 y 100 μL de C_2H_4 kg^{-l} h^{-l}. No obstante, Trinchero *et al.* (1999) clarifica que en la medida que aumenta la temperatura durante la maduración del fruto en la planta se intensifica la evolución del etileno

En el caso de la uchuva, las enzimas responsables de la solubilización de la pectina pertenecen al grupo de las glicosidasas, mientras que la actividad de la poligalacturonasa durante el ablandamiento del fruto fue baja (Trinchero *et al.,* 1999). La dureza presenta sus máximos valores en estado verde. Majumder y Mazumdar (2002) evaluaron en

uchuva la variación de sustancias pécticas solubles en agua (WSP), sustancias pécticas solubles en oxalato (OXP), sustancias pécticas solubles en ácido (HP) y sustancias pécticas solubles en álcali (OHP), y encontraron que WSP y OXP (las mas solubles) se incrementan en contraste con el ablandamiento de la pared celular, mientras que HP y OHP disminuyen conforme disminuye la resistencia de la pared celular. Del mismo modo al analizar las variaciones por estado de madurez, las HP pasan en estado de madurez IV del 56,83% a menos del 20% en el estado de madurez V, mientras que lo contrario ocurre con las WSP inicia con 22,95% y termina en 51,32%, esto da clara muestra de la degradación a la que son sometidos los componentes de la pared celular, y que causan el ablandamiento del fruto y el posible rajado.

Contrario a Trinchero *et al*. (1999), Majumder y Mazumdar (2002) encuentran actividad de las poligalacturonasas (PG) a partir del estado 3 de madurez y deducen que la actividad de las PG se incrementa debido a los aumentos previos (etapa 2) del etileno, lo que favorece la degradación de la pared celular, del mismo modo enzimas hidrolasas de pared como la pectinmetilesterasa (PME) disminuyen su actividad a partir del estado 3, lo que indica que esta enzimas no tienen efecto sobre el ablandamiento de la pared celular, no obstante Zarra y Revilla (1996) mencionan que la actividad de las PME se da en los primeros estados de crecimiento del fruto rompiendo los enlaces 1,4 de las cadenas de xiloglucano, para facilitar luego la actividad de las PG. La actividad de PG se incrementó hasta 0,214 μmol mín^{-1} g^{-1} (Majumder y Mazumdar, 2002).

La cáscara y la pulpa de la uchuva se colorean simultáneamente. Castañeda y Paredes (2003) observaron que el fruto presenta una coloración verde intensa durante los primeros 35 días después de la antesis; a partir de este día comienza a cambiar hacia el color amarillo; alrededor del día 63 la corteza y la pulpa presentan coloración amarilla característica de la madurez de consumo, como consecuencia de la degradación de la clorofila por acción de las enzimas clorofilasas, que en medio ácido aumentan su actividad, lo que conlleva a que sean más visibles los carotenos, lo cuales estaban enmascarados, ya que son sintetizados durante el desarrollo del fruto (Agusti, 2000). En el día 84 la coloración se torna naranja, lo cual indica que el fruto esta sobremaduro.

La uchuva en estado verde presenta altos niveles de almidón (Fischer, 1995), el cual se hidroliza durante la maduración. La primera consecuencia de la hidrólisis del almidón es

el aumento de los sólidos solubles (SST). Los SST expresados en °Brix aumentan durante todo el periodo de desarrollo del fruto y alcanzan su máximo valor en el grado de madurez fisiológica (día 56 en Granada, Cundinamarca). A partir de este día ocurre una disminución progresiva en el contenido de los SST. Durante la maduración del fruto el pH aumenta como consecuencia de la reducción de los niveles de ácidos orgánicos; este comportamiento es propio de los frutos climatéricos como la uchuva (Trinchero *et al*., 1999).

Los principales azucares de la uchuva son: sacarosa, glucosa y fructosa; los cuales aumentan durante el periodo de maduración del fruto, hasta el día 77 después de plena floración, como consecuencia de la hidrólisis del almidón. Los principales ácidos orgánicos en el fruto de uchuva (cítrico, málico y oxálico) disminuyen durante el periodo de maduración, debido a la actividad de las deshidrogenasas; estos ácidos se utilizan en el proceso respiratorio y/o se emplean en el metabolismo secundario del fruto. El contenido del ácido ascórbico (Vitamina C) en la uchuva ha presentado valores promedio de 0,3320 mg por g de muestra (Gutiérrez *et al*., 2007a), este valor se considera alto. A diferencia de otros frutos, en la uchuva el ácido ascórbico aumenta durante la maduración (Fischer y Martínez, 1999).

Poscosecha

Posterior a la cosecha se realizan labores de selección, clasificación y secado (Galvis, 2005), así mismo se tienen en cuenta la presentación y el empaque. Los criterios de selección son tamaño, madurez y sanidad. Esto implica establecer categorías de calidad, que según la norma Icontec (NTC 4580) son extra, primera, segunda y tercera. Las exportaciones son el principal canal de comercialización y ascienden al 60% de la producción nacional (CCI, 2000).

Por ser un fruto perecedero, Gallo (1992) recomienda el uso de atmósferas controladas, con una temperatura entre 5 y 8 °C, una H.R. del 90%, una concentración de CO_2 de 3% a 10% y una de O_2 del 3% en las cuales la uchuva puede durar hasta 30 días. Durante la manipulación y el almacenamiento poscosecha pueden presentarse cambios importantes de los constituyentes del fruto; las vitaminas son las que se pierden con mayor facilidad, como reportan Novoa *et al*. (2006) para el caso del ácido ascórbico (vitamina C) que desaparece a los 12 días de almacenamiento a 12 °C.

Uso del fruto

Mazumdar (1979) indica que los frutos son ricos en vitamina A y C, y en Colombia estudios sobre la concentración de nutrientes en la uchuva presentan contenidos altos de Fe y P, mientras que la concentración de Ca es baja (Fischer, 2000). Por su alto contenido de pectinas y acidez podrían ser muy usados en mermeladas, frutos en almíbar y adobo de carnes (Klinac, 1986;). Las semillas podrían ser un buen recurso para obtener aceite de buena calidad. El fruto es usado para el control de enfermedades como la malaria, asma, hepatitis, dermatitis y reumatismo (Perry, 1980;) y sus contenidos de etanol poseen actividades antioxidantes (Wu *et al*., 2005).

2.2. El rajado del fruto de uchuva

Importancia del calcio en el rajado del fruto

El calcio (Ca^{2+}) es absorbido por la planta como ión Ca^{2+} con el flujo de la transpiración, se transporta por el xilema y es considerado un elemento poco móvil dentro de la planta (White y Broadley, 2003). El calcio se encuentra en mayor proporción en las hojas viejas, siendo frecuente un pobre suministro de calcio a frutos, hojas jóvenes y a órganos de almacenamiento (Pilbeam y Morley, 2007). Esto se debe a un reducido número de estomas en los frutos, que dificultan la llegada del calcio por la corriente xilemática al fruto (Clover, 1991). La absorción de calcio depende de la selectividad, la concentración y el genotipo de las plantas (Marschner, 2002).

El Ca^{2+} mantiene la estructura y las características propias de permeabilidad de las membranas dando rigidez a la célula y su contenido en la misma aumenta con la edad (White y Broadley, 2003). Este catión se encuentra principalmente en la pared celular formando sales insolubles al reaccionar con los ácidos de la lámina media, la cual está formada por pectatos de calcio que le dan estabilidad y a la vez elasticidad a los tejidos protectores de la célula, lo que contribuye a obtener frutos con alta resistencia al manipuleo en poscosecha. Pilbeam y Morley (2007) indican que la absorción del Ca^{2+} depende principalmente del medio radicular, y que esta se encuentra mediada por los cambios en competencia o disponibilidad frente a iones como el potasio, nitrato y magnesio.

Las concentraciones bajas de calcio en el citosol se dan porque las membranas tienen una baja permeabilidad al elemento (Marschner, 2002). Cuando las concentraciones de

calcio libre en el citosol aumentan, la acción de las membranas es remover este elemento hacia el apoplasma o acumularlo en los organelos por medio de bombas de Ca-ATPasa, manteniendo así concentraciones bajas en el citosol. Este elemento influye en el crecimiento radical por su participación en la división y extensión de las células, por tanto, una disminución o ausencia de calcio en la solución del suelo conduce a un detenimiento del crecimiento de las raíces (Marschner, 2002).

El Ca es el nutriente más relacionado con los desórdenes fisiológicos de frutos en poscosecha (Ferguson *et al*., 1999). Además, de tener una función como desintoxicante en el fruto, el Ca aumenta su resistencia contra altas temperaturas y los rayos ultravioletas, protegiéndolo contra los golpes del sol y la vitrescencia. Adicionalmente, los frutos bien nutridos con Ca reducen su respiración, disminuyendo el riesgo de maduración prematura, ejerciendo un cierto control sobre el etileno. De esta manera se observó en aguacate un periodo prolongado de maduración cuando la concentración de Ca en el fruto fue alta (Arpaia, 1994).

El rajado en frutos de uchuva está asociado a deficiencias de Ca^{2+} (Fischer, 2005; Angulo, 2005) y causa pérdidas que pueden superar el 30% de la fruta cosechada (Gordillo *et al*., 2004). El Ca^{2+} participa en la elongación, división celular y en la estructura de la pared celular que al unir las pectinas mediante enlaces cruzados forman zonas de empalme que en ausencia de Ca^{2+} no van a ser continuas. Sin embargo, Gordillo *et al*. (2004) reportaron en plantas de uchuva que un suministro adicional de calcio, no necesariamente afecta el porcentaje de frutos rajados con respecto a una buena fertilización técnica. No obstante, compuestos de calcio pulverizado aplicados durante la precosecha en cerezas pueden favorecer la firmeza de los frutos y su resistencia al rajado, así como a otros factores de calidad (Podesta *et al*., 1998).

Las deficiencias por calcio originan manzanas con manchas amargas y manchas corchosas (Shear, 1975) y ennegrecimiento en los frutos de pera (Woodbridge, (1971). En los frutos de manzano se observan síntomas de deficiencia si el contenido foliar de Ca es solamente 1% del peso seco. El contenido normal de la pulpa del fruto está entre 0,01 y 0,03% de su peso seco y una concentración de 0,025% es suficientemente alta para prevenir la mayoría de los desórdenes asociados con el Ca (Jones y Aldwinckle, 1990).

Frutos con un bajo contenido de Ca (< 90 ppm) son susceptibles a una descomposición interna prematura. En papayas, una baja concentración de calcio en el mesocarpio ha sido relacionada con un suavizamiento de la fruta. La concentración de nitrógeno tiene un efecto marcado sobre el desarrollo de los desórdenes de Ca en el fruto. La relación N/Ca en la pulpa de manzana puede oscilar entre 10 y 30; siendo la óptima relación N/Ca de 10 (Jones y Aldwinckle, 1990).

En otros frutos, como el tomate, la pudrición apical está asociada con una baja fertilización con Ca y una alta de potasio (Ho *et al*., 1993). En papaya, una baja concentración de Ca en el mesocarpio conlleva al ablandamiento del fruto (Qiu *et al*., 1995). En mango, la descomposición interna del fruto (un grupo de desórdenes conocidos como nariz blanda, semilla gelatinosa, tejido esponjoso y hundimiento de la cavidad peduncular), es más frecuente cuando los árboles crecen en suelos ácidos con bajos contenidos de Ca^{2+} (Ploetz *et al*., 1994). Sin embargo, bajos contenidos de Ca^{2+} inciden en un gran tamaño y peso de los frutos (Mattheis y Fellman, 1999). En los casos anteriores, las interacciones desequilibradas entre el trasporte de nutrientes, las relaciones hídricas y el crecimiento del fruto proporcionan la ocurrencia de estos desórdenes, y en muchos casos, se presentan durante el desarrollo inicial del fruto, estadio de rápida división celular.

Para controlar un insuficiente suministro de Ca al fruto, se debe evitar las fertilizaciones excesivas con N, K y Mg, y podas drásticas de los árboles, evitando a su vez una deficiencia de N, debido que el Ca puede ser transportado suficientemente a las diferentes partes del árbol cuando existe un follaje fotosintéticamente activo. Especialmente durante la división celular, en el inicio del desarrollo del fruto, se debe asegurar el suministro de agua, debido a que en condiciones de baja humedad se aumenta la relación K/Ca en un sentido negativo. Seis a ocho aplicaciones, directamente sobre el fruto con $CaCl_2$ o $CaNO_3$, a partir del inicio de su desarrollo, o por lo menos dos a cuatro aplicaciones durante las últimas 4 semanas antes de la cosecha, pueden reducir los desórdenes ocasionados por la deficiencia de Ca^{2+}. También, inmersiones postrecolección en una solución de 2% al 4% de $CaCl_2$ disminuyen la ocurrencia de estos desórdenes durante el periodo poscosecha (Stoll, 1997). Aunque las deficiencias de Ca en otras condiciones comúnmente resultan en desórdenes (manchas amargas en manzanas), la deficiencia de Ca en cítricos es muy rara. Más allá, y a pesar de muchas

otras condiciones, no existen reportes de adiciones de Ca en el incremento de la calidad de la fruta o la prolongación de la calidad durante almacenamiento y mercadeo.

Según Ferguson *et al*. (1999), un gran número de factores precosecha están asociados con el movimiento del calcio dentro del desarrollo de los frutos. Aparte de la polinización, existen factores fuertemente asociados al Ca y relacionados con el desarrollo del fruto, como la posición en el árbol, y la dinámica del flujo de nutrientes en relación a las hojas de los árboles en fructificación. Bajas luminosidades están relacionadas con bajos contenidos de Ca y altas incidencias de manchas amargas, la razón para esta relación puede estar ligada a la posición, el área foliar y la edad del árbol del sitio que fructifica. Esta relación se puede deber a la habilidad de las ramas y las hojas para atraer el calcio a los sitios de fructificación (Ferguson *et al*., 1995). Así mismo, la tasa de transpiración juega un papel relevante en la absorción y movilidad del calcio (Marschner, 2002).

2.3. Manejo del riego en invernadero

Cuando los estomas de las hojas están abiertos permiten la entrada de CO_2 y la pérdida de agua en forma de vapor de la planta a la atmósfera mediante el proceso de la transpiración. Esta pérdida de agua es necesaria para mantener la temperatura de los tejidos y que las funciones fisiológicas no se vean afectadas negativamente, y debe ser repuesta por la planta mediante la extracción de agua del suelo por las raíces. Esta cantidad de agua, unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como evapotranspiración del cultivo (ETc) y debe ser satisfecha mediante el riego. Un exceso de agua de riego supone el lavado de fertilizantes, lo que puede acarrear problemas medioambientales por la contaminación de las aguas subterráneas, de otro lado, un aporte de agua inferior a la ETc puede llegar a provocar déficit hídrico y por tanto una reducción de la producción (Fernández *et al*., 2001).

Factores climáticos que influyen en el consumo de agua en invernadero

La ETc es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía que es proporcionada por la radiación. Además, es necesario que haya una diferencia de presión de vapor (déficit de presión de vapor, DPV) entre la superficie evaporante y el aire que la rodea. El viento actúa mezclando las capas con mayor contenido de agua con otras de menor contenido,

evitando de esta forma que las capas próximas a la superficie evaporante se saturen, y por tanto se detenga el proceso de la ETc. Bajo invernadero, el viento no tiene un efecto directo sobre el consumo de agua, pero sí en la ventilación del invernadero, por lo que tiene un efecto casi despreciable sobre el consumo de agua (Fernández *et al*., 2001).

El Modelo del Tanque Evaporímetro Clase A

Del modelo FAO-Tanque resulta una de las expresiones más precisas para estimar la evapotranspiración potencial (ETo) a corto plazo bajo condiciones de invernadero, aún sin calibración. Sin embargo, su aplicación presenta varios inconvenientes, debido a que se requieren datos de humedad relativa, velocidad del viento, radiación incidente, entre otras variables climáticas; que son diferentes dentro y fuera del invernadero, por lo que estimar los valores correspondientes del coeficiente de tanque (Kp) se hace mas complicado. Se puede asumir un valor de Kp de 0.8 para cultivos en invernadero (Campos, 2000).

Balance Hídrico bajo invernadero

Según Campos (2000), el balance hídrico en invernadero si no hay aplicaciones excesivas de agua, se resume a la siguiente expresión:

$$R = ETo$$

donde, R = riego

ETo = evapotranspiración potencial

Los principales factores meteorológicos que afectan la pérdida de agua de cualquier cuerpo son en orden de importancia la radiación solar, el viento y la humedad relativa.

Láminas de riego

Coeficientes de cultivo

El coeficiente de cultivo (Kc) integra los efectos de tres características primarias que diferencian un cultivo de una pradera de gramíneas: altura de cultivo, resistencia y albedo de la superficie suelo-cultivo (Jensen *et al*., 1990). Es decir, los valores de Kc dependen, sobre todo, del cultivo y su manejo. Los valores de Kc han sido determinados

para numerosos cultivos herbáceos al aire libre (Fernández *et al*., 2001). Sin embargo, en cultivos hortícolas bajo invernadero de plástico, el manejo (deshojado, destallado, tutorado, altura del cultivo, densidad de plantación, etc.) es muy distinto al realizado en los mismos cultivos al aire libre. Por tanto, para conocer con precisión las necesidades hídricas de los cultivos hortícolas en invernadero es necesario conocer los valores de Kc en nuestras condiciones de cultivo.

- Eficiencia del sistema de riego

Debido a varias causas los emisores de una instalación de riego por goteo arrojan caudales que no son exactamente iguales entre sí, lo que ocasiona que los cultivos reciban dosis de riego diferentes. El coeficiente de uniformidad (CU) mide la uniformidad del sistema de riego, y se define como el cociente entre el caudal medio descargado por los emisores de más bajo caudal y el caudal medio de todos los emisores.

Las dosis brutas de riego (Rb) teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego se calculan de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. Valores del factor de mayoración (f) en función del coeficiente de uniformidad de la instalación de riego por goteo.

CU	f
100	1.00
95	1.05
90	1.11
85	1.18
80	1.25
75	1.33

Fuente: Fernández *et al*., 2001

La frecuencia de riego

La frecuencia de riego tiene un alto impacto en el manejo productivo de la mayoría de los cultivos, ya que afecta directamente la respuesta potencial de las plantas. En cuanto a la fertilización, el manejo de altas frecuencias de riego reduce la variación en la

concentración de nutrientes, ya que una vez ocurre el riego, la concentración de nutrientes en el suelo se eleva (Silber y Bar-Tal, 2008), pues al reducir la frecuencia de aplicación de agua, la concentración de nutrientes es más estable, con lo cual la disponibilidad para las plantas es mayor y la lixiviación es menor. El transporte de los nutrientes hacia las raíces, se ve afectado por la frecuencia de riego, ya que este se realiza mediante dos procesos simultáneos, la convección en el flujo de agua (flujo de masas) y la difusión debido a un gradiente de concentración. La frecuencia de riego tiene una alta correlación con la disponibilidad del fósforo, potasio y nitrógeno, en su orden (Jungk, 2002).

La frecuencia de riego afecta directamente los patrones de humedad y la distribución de agua, lo que afecta la distribución y el crecimiento de raíces. Asimismo, la frecuencia de riego afecta indirectamente, la disponibilidad de nutrientes, ya que aumenta la eficiencia del sistema radicular, la densidad de pelos radiculares, y la arquitectura del sistema radicular (Liao *et al*., 2001). Además la disponibilidad de fósforo se ve incrementada al aumentar la frecuencia de riego (Silber *et al*., 2003), pues incrementa la movilización y toma de fósforo.

Silber *et al*. (2005) reportan que la frecuencia de riego también afecta el contenido de azúcar y azúcares reductores en los frutos, del mismo modo, la frecuencia de riego afecta la incidencia de blossom end rot (BER) asociada a un estrés hídrico por déficit de agua en el suelo, alta presión osmótica y alta salinidad. El BER es relacionado ampliamente con las deficiencias de Ca^{2+} y el bajo transporte de este elemento hacia los tejidos distales del fruto (Ho *et al*., 1993), desorden que presenta características similares al del rajado de frutos en uchuva.

3. Materiales y Métodos

3.1. Localización del experimento

El experimento se desarrolló en un invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, el cual se encuentra a una altitud de 2556 msnm y tiene las siguientes coordenadas: longitud 74º 5' 20"" Oeste, latitud 4º 38' 7" Norte; la temperatura exterior promedio durante el desarrollo del experimento fue de 15 ºC y la Humedad Relativa (HR) promedio fue del 62%. La temperatura interior promedio fue de 18 °C y la HR de un 60%. Los análisis de laboratorio fueron realizados en los laboratorios de Suelos, Fisiología Vegetal, Frutas tropicales, Absorción atómica, Análisis sensorial e ICTA de la Universidad Nacional de Colombia-Bogotá.

3.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con 12 tratamientos (tabla 2). El criterio de bloqueo fue las frecuencias de riego (4, 9 y 14 días). Los tratamientos estuvieron constituidos por un arreglo factorial de 4x3, en donde el primer factor correspondió a las láminas de riego aplicadas (0,7; 1; 1,3 y 1,6 de la evaporación del tanque evaporímetro) y el segundo factor a las dosis de calcio (0, 50 y 100 kg/ha), cada bloque equivalió a una repetición, lo que generó 36 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo compuesta por dos plantas de uchuva, para un total de 72 plantas, las cuales se sembraron en materas de 80 cm de diámetro y 50 cm de profundidad. Se utilizó turba rubia como sustrato. El plano de campo con la distribución de los tratamientos se presenta en la figura 1.

3.3. Montaje del experimento

El material vegetal con el cual se trabajó fue la especie *Physalis peruviana* L., ecotipo Colombia, por ser el más apetecido en el mercado debido al alto contenido de azúcares y

presentar los frutos de mejor calidad (Fischer, 2000). Las semillas de uchuva se sembraron en bandejas plásticas de 72 alvéolos. Estas germinaron al cabo de 45 días y permanecieron en las bandejas durante cuatro meses desde el momento de la siembra, hasta que alcanzaron una altura promedio de 25 cm, momento en el cual fueron llevadas y trasplantadas en materas de 20 L de capacidad.

Las plantas fueron sembradas a una distancia de 2 m entre plantas y 2 m entre surcos, y se realizaron las labores culturales tradicionales (manejo fitosanitario, podas, tutorado, cosecha) de los cultivos comerciales de las zonas productoras. Se utilizó el sistema de tutorado en V alto (figura 2). La fertilización edáfica y foliar se hizo con base en los requerimientos del cultivo, teniendo como referente que la turba aporta nutrientes durante un periodo muy corto. Las dosis utilizada fue N: 150; P_2O_5: 220; K_2O: 150; MgO: 60; S: 40 B: 1; Zn: 3; Cu: 2; Mn: 0,5 (kg ha^{-1}) fraccionada desde el momento de la siembra, primero en dos aplicaciones trimestrales y luego tres aplicaciones bimensuales, y aplicación foliar cada mes de suplementos nutritivos.

Tabla 2. Tratamientos empleados en plantas de uchuva

Bloque (Frecuencias de riego)	Tratamiento	Lámina de riego	Dosis de Calcio (kg ha^{-1})
4 días	1	0,7	0
	2	0,9	0
	3	1,1	0
	4	1,3	0
9 días	5	0,7	50
	6	0,9	50
	7	1,1	50
	8	1,3	50
14 días	9	0,7	100
	10	0,9	100
	11	1,1	100
	12	1,3	100

Para la aplicación de las láminas de riego se utilizó un sistema de riego por goteo (2 goteros /planta con un caudal de 4 L h^{-1}), una vez sembradas las plantas, se aplicaron las diferentes dosis de calcio establecidas en corona incorporándolas al sustrato, repartidas mensualmente debido a la baja movilidad que presenta este elemento en el suelo. La lámina de riego se aplicó según Campos (2000) y Ferreira *et al*. (2002) de acuerdo con los coeficientes y frecuencias determinados en los tratamientos, para lo cual se midió cada 4 días la evaporación en un tanque evaporímetro tipo A construido a escala 1:1 e instalado dentro del invernadero con el fin de establecer la cantidad de agua a aplicar según la ecuación de cálculo de uso consuntivo que tiene en cuenta la evapotranspiración potencial.

Frecuencia de riego 4 días	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁
	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3
	0 kg ha^{-1} de Ca				50 kg ha^{-1} de Ca				100 kg ha^{-1} de Ca			
Frecuencia de riego 9 días	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁
	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3
	0 kg ha^{-1} de Ca				50 kg ha^{-1} de Ca				100 kg ha^{-1} de Ca			
Frecuencia de riego 14 días	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁	❁❁
	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3	0.7	0.9	1.1	1.3
	0 kg ha^{-1} de Ca				50 kg ha^{-1} de Ca				100 kg ha^{-1} de Ca			

Distribución de los tratamientos en el invernadero

❁Planta

Los datos medidos en el evaporímetro dentro del invernadero (Anexo 1) se correlacionaron con los datos del tanque de evaporación tipo A perteneciente a la estación climatológica del IDEAM, de categoría principal regional 6 y código 2403513, con el fin de validar estos últimos y poder extrapolarlos a condiciones de campo abierto.
Las aplicaciones se realizaron con base en la siguiente formula:

$$\text{Lámina} = \frac{Etp * C * A}{\eta_r}$$

En donde, Etp = evapotranspiración en mm medida en el tanque evaporímetro; C = coeficiente multiplicador según tratamientos; A = área de la matera (254,4 cm^2); η_r = eficiencia del riego por goteo (0,9).

Figura 2. Sistema de tutorado en V alto

3.4. Variables de respuesta

La medición de las diferentes variables de respuesta se realizó con los frutos obtenidos de 8 cosechas efectuadas en el cultivo quincenalmente. La primera cosecha se realizó a la semana 17 después de transplante (ddt). Se determinaron las siguientes variables:

3.4.1 Variables de producción

Masa seca de hojas, tallo, raíces, cáliz (g): Al final del experimento se tomaron las plantas, se fraccionaron en los respectivos órganos (hojas, tallo y raíces) y se les determinó la biomasa seca, mediante medición directa en una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01 g de precisión, para el caso del cáliz, se tomaron los datos de una cosecha, se recolectaron 10 cáliz y se secaron y se les determinó la masa, del mismo modo, se determinó la relación cáliz fruto, con el fin de establecer la proporción en masa que ocupa el cáliz.

Productividad (kg/planta): Registro de frutos producidos por plantas para cada tratamiento en la cosecha, así mismo, se determinó la masa promedio de frutos por cada tratamiento, y el número total de frutos producidos por cada planta de uchuva.

Producción por calidades comerciales (kg): se determinó la masa de los frutos por planta de cada una de las calidades comerciales según norma Icontec NTC 4580 (Icontec, 1999) y se calcularon los porcentajes de cada calidad, los frutos fueron clasificados en tres tamaños (> 22 mm, grandes; de 18 a 22 mm, medianos; <18 mm, pequeños). Esta determinación se realizó para cada tratamiento por medio de una plantilla con los tamaños definidos. Igualmente se determinaron los porcentajes por tamaño para frutos rajados y no rajados, así mismo, se evaluó el porcentaje de producción por calidades por estrato, para lo cual se tuvo en cuenta tres estratos de la planta: I) 90-120 cm, II) 120-140 cm, y III) 140 a 160 cm de altura.

3.4.2 Variables de calidad al momento de la cosecha

Frutos rajados (%): Se calculó el porcentaje de todos los frutos que presentaron los síntomas del rajado durante la cosecha por cada calidad comercial, del mismo, se determinó el porcentaje de rajado por cada estrato de la planta y para cada tratamiento evaluado, discriminando el efecto de la dosis de calcio, la lámina y la frecuencia de riego.

pH: se tomaron 5 mL de jugo y se midió el pH con un potenciómetro marca HANNA HI 8424 previamente calibrado con soluciones buffer de pH 7,0 y 4,0.

Acidez titulable (ATT): se midió el volumen de NaOH empleado en la titulación de una solución llevada a pH de 8,2 compuesta por 5 ml de jugo de fruto a los cuales se les agregó 3 gotas de fenoftaleina, para ello se utilizó la fórmula %Acidez = (A*B*C)*100/D. En donde: A = Volumen de NaOH gastado; B = Normalidad del NaOH (0,097 meq/mL); C = peso equivalente expresado en g de ácido predominante en el fruto (ácido cítrico 0,064 g meq^{-1}); D = peso en gramos de la muestra utilizada (5 g).

Sólidos solubles totales (SST): se tomaron 5 ml de jugo de fruta de uchuva por cada tratamiento y se determinó los SST en un refractómetro digital HANNA HI 96803.

Relación de madurez (RM): Se determinó mediante la relación entre los SST y la ATT.

Firmeza del fruto (Kgf/cm^2): se tomaron 10 frutos por tratamiento y a cada uno se les midió la firmeza mediante la utilización de un penetrómetro digital PCE-PTR200.

Masa fresca (g): se determinó la masa fresca de todos los frutos cosechados por tratamiento con una balanza electrónica.

Carotenoides totales (β-caroteno): la cuantificación de los carotenoides totales de los frutos de uchuva se realizó para cada tratamiento siguiendo el procedimiento establecido por Rodrigo *et al.* (2003) y Espinal (2010). Se pesaron 250 mg de muestra en un tubo de plástico ámbar de 15 mL, se adicionaron 2 mL de metanol grado HPLC y 1,5 mL de buffer Tris-HCl 50 mM pH 7,5 con NaCl 1 M preparado en agua mQ. Se agitó en vortex (25 ºC, 10 s y 2500 rpm) y luego se agitó magnéticamente (4 ºC, 5 min y 3000 rpm). Se adicionaron 4 mL de cloroformo grado HPLC, se agitó en vortex (25 ºC, 10 s y 2500 rpm) y luego se agitó magnéticamente (4 ºC, 5 min y 3000 rpm), se centrifugó (4 ºC, 5 min y 2332 x g) y se recuperó la fase orgánica (inferior) con una pipeta Pasteur, el extracto se adicionó en un balón de fondo redondo ámbar de 50 mL.

Se realizaron 4 lavados de la solución acuosa con 4 mL cloroformo grado HPLC cada uno (hasta que la fase orgánica salió incolora) y se juntaron todos los extractos en el balón ámbar. Se llevó al rotavapor (40 ºC, 3 min y 0,2 atm) y se adicionó 1,8 mL de metanol grado HPLC y 200 μL de KOH al 60% preparado en agua mQ, se agitó en vortex (25 ºC, 10 s y 2500 rpm), se purgó el balón con corriente de N_2 y se dejó que la reacción de saponificación ocurriera (25 ºC, 12 h en condiciones de oscuridad). El contenido del matraz se transfirió cuantitativamente a un tubo de plástico ámbar de 50 mL con una pipeta Pasteur, y se lavó el matraz con 2 mL de agua mQ, seguido de 4 mL de solución A (éter de petróleo-éter etílico 90:10% v/v) y 1 mL de cloroformo grado HPLC. Se realizaron varios lavados del matraz con solución A y cloroformo grado HPLC hasta que la solución salía incolora, juntando todos los extractos en el tubo de plástico ámbar de 50 mL. Con una pipeta Pasteur se transfirió la fase orgánica (superior) a otro tubo de vidrio ámbar de 50 mL y se lavo la fase acuosa con 2 mL de solución A, se repitieron los lavados varias veces hasta que la solución A salio incolora, juntando todo el extracto en el tubo de vidrio ámbar de 50 mL. Se ajusto el volumen final con solución A, a un volumen conocido y se realizó la cuantificación espectrofotométrica de los carotenoides totales.

La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro UV-VIS Thermo Electron Corporation MultiSkan Spectrum con una celda de cuarzo de 1 cm de paso óptico. El espectro de absorción se midió entre 270 y 540 nm cada 2 nm. Los compuestos carotenoides totales fueron calculados de acuerdo a la curva de calibración (Anexo 2) y expresados como mg de β-caroteno por 100 g de fruta fresca.

Ácido ascórbico: se determinó por medio de un cromatógrafo marca Jasco que portaba una columna (300 x 7,8 mm) de Metachem 87-H. Se utilizó como fase móvil una solución de H_2SO_4 4,0 mM (flujo: 0,7 mL · min^{-1}). De acuerdo con ICTA (2006), se pesaron 5 g de pulpa de fruta, se adicionaron 15 mL de fase móvil y se agitó en la placa magnética por 5 min, luego el contenido del beaker se llevó a un balón aforado de 50 ml, se completó el volumen con fase móvil desgasificada y se homogenizó. La solución resultante se centrifugó a 4.500 rpm por 5 min, se tomó el sobrenadante y se pasó por un filtro de 0,45 µm. Posteriormente se tomaron 100 µL del filtrado y se diluyó en 900 µL de la fase móvil. Se inyectó esta solución para determinar el ácido ascórbico en el detector (UV-975 marca Jasco) el cual se colocó a una longitud de onda de 254 nm. El tiempo de retención del ácido ascórbico fu de 8,59 min. La curva de calibración para la cuantificación del ácido ascórbico se plasma en el Anexo 3.

3.4.3 Variables de calidad medidas durante la poscosecha

Se sometieron 10 frutos por tratamiento y se les determinó las siguientes variables a los 0, 5, 10 y 15 días después de la cosecha.

Pérdida de masa: se midió la variación de la masa fresca de los frutos cada 5 días durante 15, momento en el cual los frutos presentaron descomposición y la pérdida de la calidad de consumo.

Color: este se midió por triplicado en 10 frutos por tratamiento con un colorímetro digital PCE-RGB 2, este instrumento tiene una escala de intensidad RGB (rojo, azul y verde) de 0 a 1023. Con la ayuda del software Easy-RGB software (Logicol Colour Technology Co.) se hizo la conversión a valores de L a y b de la escala de Hunter, en donde L es la luminosidad, a, la cromaticidad que varia del verde al rojo y b la cromaticidad que varia de azul a amarillo (Restrepo y Aristizabal, 2010). Luego se expresó el resultado mediante

el índice de color (CI) empleado por Cayuela y Weiland (2010) para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$CI = \frac{1000 * a}{L * b}$$

Además se determinaron el pH, la ATT, los SST, la RM, y la firmeza del fruto, durante la fase de poscosecha, siguiendo la metodología descrita previamente.

3.4.4 Variables químicas y bioquímicas de frutos al momento de la cosecha

Análisis de calcio, potasio y magnesio en frutos, cáliz y hojas: Se realizó la medición del contenido de nutrientes en dichos órganos de las plantas de uchuva clasificando los frutos por estrato para cada tratamiento. La cuantificación del contenido de nutrientes se realizó siguiendo los protocolos de preparación de la muestra de tejido vegetal (POE-F001), calcinación y digestión con HCl (POE-F002), y absorción atómica de Ca, K y Mg (POE F003), elaborados por el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia.

Actividad Poligalacturonasa (PG): La actividad de la PG se realizó siguiendo la metodología establecida por Rodríguez-Castro *et al.* (2006) y Espinal (2010). A 120 µL de una solución de ácido poligalacturónico se le adicionaron 50 µL de buffer citrato 200 mM pH 4,5. Se incubó a 35 ºC durante 5 min y se adicionaron 80 µL del extracto enzimático crudo (2,97 µg de proteína), se incubó a 35 ºC durante 30 min y se detuvo la reacción mediante calentamiento a 92 ºC durante 5 min. El ácido galacturónico formado se cuantificó mediante el método de Nelson & Somogyi para la determinación de azucares reductores (Nelson 1944; Somogyi 1951; Green *et al.*, 1989). A los 250 µL de la mezcla se le adicionaron 200 µL del reactivo de Somogyi I y 50 µL del reactivo de Somogyi II, la mezcla se calentó a 92 ºC durante 20 min, se dejo enfriar a temperatura ambiente y se adicionaron 250 µL del reactivo de Nelson y 1000 µL de agua, se agitó en vortex (2500 rpm, 20 ºC, 10 s), se dejó en reposo durante 20 min y se midió la absorbancia a 500 nm. La curva de calibración del método de Nelson & Somogyi se realizó con D-glucosa en concentraciones finales de 0 y 300 µM (Anexo 4). La unidad de actividad enzimática específica de poligalacturonasa (UPG) fue expresada como los µmol

de ácido galacturónico generados por minuto por mg de proteína (μmol UPG min^{-1} mg^{-1} de proteína).

3.4.5 Variables hídricas medidas

Eficiencia en el uso del agua (%): se calculo a partir de la biomasa seca de hojas dividida por el total de agua aplicada en cada tratamiento.

Potencial hídrico de hoja y tallo: este se determinó en las plantas de uchuva en fase reproductiva durante 15 días seguidos para cada uno de los tratamientos, con determinaciones cada 4 horas (8 am, 12m, 4 pm, 8 pm, 12 am, 4 am (al alba)) por medio de la bomba de Scholander PMS 615 (Figura 3). Para la determinación del potencial hídrico de hoja (Ψh) se tomó una hoja de la rama terciaria de cada planta, se embolsó durante 15 min con una bolsa plástica recubierta de papel aluminio y luego se saco y se colocó en la cámara de presión y se determinó el potencial. Para la determinación del potencial hídrico de tallo (Ψt) se embolsó una hoja de la rama terciaria durante tres horas después del embolsado se procedió a introducir la hoja dentro de la cámara y a hacer la respectiva medición acorde a la metodología seguida por Nortes *et al*. (2005).

Figura 3. Bomba de Scholander utilizada para la medición del potencial hídrico en uchuva.

3.5. Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (Anova) para un diseño en bloques completamente al azar con el fin de determinar si hay diferencias significativas entre frecuencias de riego (bloques) y entre tratamientos (lamina por frecuencia) para cada una de las variables de respuesta medidas, adicionalmente se hizo una prueba de comparación de promedios de Tukey al 5%, para clasificar cada uno de los niveles de los factores evaluados. Se realizaron pruebas de correlación múltiple con el fin de relacionar las variables medidas entre sí, y se hizo un análisis de componentes principales para determinar la relación entre las diferentes variables medidas. Para el análisis de los datos se utilizó el programa SAS v. 9.2.

4. Resultados y Discusión

4.1. Producción de uchuva bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio

4.1.1 Producción por calidades comerciales

El porcentaje de frutos de tamaño grande (>22 mm) no presentó diferencias estadísticas significativas en el Anova (Anexo 5), ni tampoco, para cada uno de los factores evaluados. El porcentaje de frutos grandes obtenido para todas las cosechas fue de 9,17%. El porcentaje de frutos de tamaño mediano (18-22 mm) recolectados fue del 31,44%, los frutos clasificados en esta categoría no presentaron diferencias significativas en el Anova, no obstante, al analizar el factor calcio por separado, este afectó significativamente el porcentaje de frutos medianos, ya que al no aplicar calcio se obtuvo 26% de frutos medianos, mientras que al aplicar 50 y 100 kg ha^{-1} de Ca^{2+} al suelo, el porcentaje de frutos medianos aumentó a 36% y 32%. El porcentaje de frutos clasificados como pequeños (<18 mm) presentó diferencias significativas en el Anova, tanto la frecuencia de riego como las dosis de Ca^{2+} aplicadas presentaron diferencias significativas. El porcentaje de frutos pequeños obtenidos fue del 59,75%.

En la tabla 3 se puede apreciar que a medida que la frecuencia de riego aumenta, la cantidad de frutos pequeños se hace mayor, lo que implica que la producción de frutos de uchuva se ve afectada principalmente por el tamaño de los mismos, resultado similar a lo expuesto por Léchaudel y Joas (2007), quienes mencionan que en mango, al disminuir la frecuencia de riego el tamaño de los frutos aumentó. Esta diferencia en el tamaño de los frutos se explica debido a que al aumentar la frecuencia de riego, la planta experimenta un estrés hídrico que disminuye la asimilación de carbón y la entrada de agua hacia el fruto, debido a la disminución en la conductancia estomática y en el potencial hídrico de las hojas, el cual es ocasionado porque las raíces al estar bajo

condición de déficit de agua producen ABA, el cual genera una señal que reduce la apertura estomática, la cual disminuye la fotosíntesis (Ramachandra *et al*., 2004).

En la tabla 3 también se puede apreciar el efecto de las dosis de calcio, a menor dosis de calcio aplicado mayor fue el porcentaje de frutos de tamaño pequeño, lo que implica que si se aplica Ca^{2+}, la cantidad en porcentaje de frutos pequeños va a disminuir, y consecuentemente aumentará el porcentaje de los frutos medianos y grandes. Estos resultados son similares a los encontrados por Alcaraz-López *et al*. (2005) y Ciccarese *et al*. (2013) en frutos de uva. Del mismo modo, Román y Gutiérrez (1998) al aplicar Ca^{2+} en melón encontraron que el tamaño de los frutos también aumentó, esto se pude explicar basado en que una deficiencia de Ca^{2+} restringe la división celular y causa pérdida de integridad de la pared celular y el plasmalema (Dris, 2001), así mismo, si el Ca^{2+} se encuentra disponible en los estados iniciales, mayor cantidad de tejido en las paredes celulares se formará (Ciccarese *et al*., 2013), lo que implica que aplicar Ca^{2+} favorece el aumento en el tamaño de los frutos o al menos disminuye la cantidad que se presente de frutos pequeños.

Tabla 3. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el porcentaje de frutos de uchuva clasificados por tamaño

Factor	Nivel del factor	Tamaño del fruto		
		Grande (> 22 mm)	Mediano (18-22 mm)	Pequeño (< 18 mm)
Coeficiente de riego	0,7	8,128 a	27,521 a	64,438 a
	0,9	9,503 a	32,425 a	57,918 a
	1,1	9,982 a	30,645 a	59,762 a
	1,3	9,086 a	34,880 a	56,884 a
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	10,747 a	26,027 b	63,604 a
	50	8,314 a	36,186 a	55,764 b
	100	8,463 a	32,116 ab	59,883 ab
Frecuencia de riego (días)	4	12,113 a	32,826 a	56,053 b
	9	8,113 a	33,232 a	58,608 ab
	14	7,298 a	28,270 a	64,590 a

Promedios con letras distintas, en la misma columna y clasificados por factor, indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Se puede afirmar entonces, que la mayor cantidad de frutos obtenida estuvo clasificada en la categoría de frutos pequeños, seguida por los medianos, y no se presentó una gran cantidad de frutos grandes.

4.1.2 Masa promedio de frutos

Esta variable presentó diferencias estadísticas altamente significativas según el Anova (Anexo 5), el cual estuvo dominado por el efecto del factor frecuencia de riego, que al ser analizado por separado fue el único que tuvo un efecto significativo. La masa promedio de los frutos fue de 3,55 g $\pm$ 0,14 g, valores similares a los reportados por Villamizar (1993) de 3,29 g, Herrera (2000) de 4,2 g y Cooman *et al*. (2005) de 4 g. En la figura 4 se puede observar que a medida que disminuye la frecuencia de riego, la masa promedio de frutos fue menor, similar a lo reportado en mango por Spreer *et al*. (2007), quienes mencionan que al aplicar riego con mayor frecuencia, la producción fue mayor y los frutos fueron más grandes.

Del mismo modo, es probable que la aplicación del riego con mayor frecuencia favorezca una concentración de nutrientes en el suelo más estable, con lo cual la disponibilidad de los mismos para las plantas será mayor y tanto los procesos de asimilación como de traslocación de asimilados hacia los frutos y cáliz se realizaran de forma más eficiente (Silber y Bar-Tal, 2008), aumentando la masa de los frutos.

Las plantas de uchuva al tener un suministro irregular de agua debido a las bajas frecuencias de riego, a menudo sufrieron de estrés hídrico, esto probablemente generó una menor área foliar y un cierre estomático más pronunciado y frecuente. Epstein y Bloom (2005) mencionan que cuando existe una señal de estrés a nivel radicular, el pH del jugo xilemático aumenta lo que permite una acumulación de ABA en el apoplasto, el cual genera una señal que es captada por los receptores de las células guarda, lo que hace que la membrana se vuelva más permeable al potasio, con lo cual, ocurre el cierre estomático, y la disminución del área foliar, esto disminuye la transferencia de azúcares de los órganos vegetativos hacia los frutos, lo que finalmente, se ve reflejado en un menor tamaño y acumulación de masa por parte de los frutos (Zegbe-Domiguze *et al*., 2004).

Acevedo-Opazo *et al*. (2010) aplicaron diferentes regimenes de agua en uva y encontraron que con la menor aplicación de agua, el tamaño y la masa de los frutos se vio disminuido en un 6%. De igual modo, Fallahi *et al*. (2010) mencionan que al aplicar menor cantidad de agua la producción de manzana disminuyó, se redujo el tamaño de los frutos y las hojas presentaron senescencia prematura, no obstante, el color de los frutos fue más intenso.

4.1.3 Frutos rajados

El Anova mostró diferencias significativas en el porcentaje de frutos rajados de todos los tamaños. La lámina y la frecuencia de riego tuvieron un efecto significativo, mientras que la dosis de calcio no afectó el rajado de los frutos de uchuva a lo largo de las diferentes cosechas realizadas. Karley y White (2009) mencionan que muchas de las aplicaciones de calcio a través de la fertilización tienen un efecto limitado en órganos alimentados por el floema (frutos), debido a la poca movilidad del Ca^{2+}.

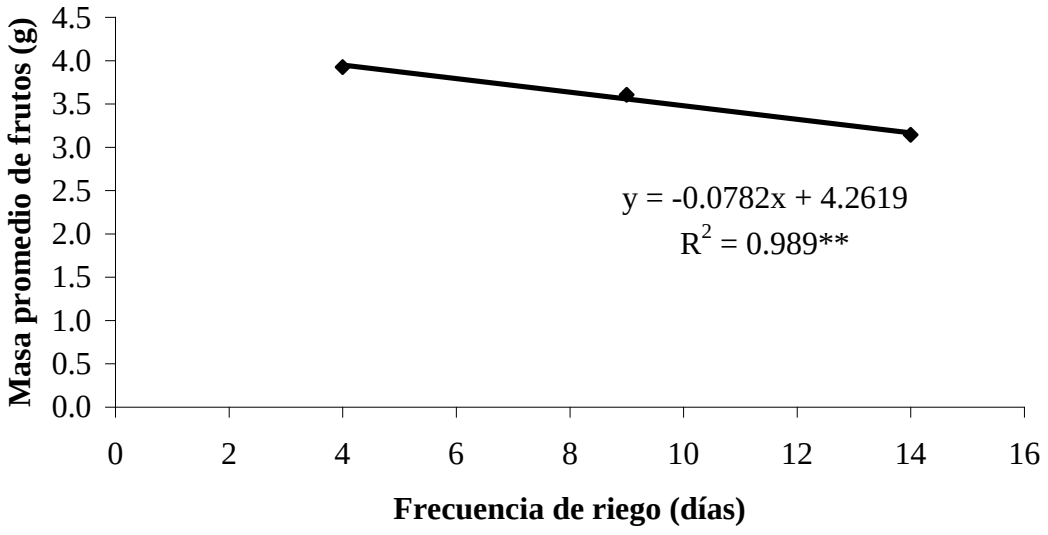


Figura 4. Efecto de la frecuencia de riego en la masa promedio de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

En la figura 5 se puede determinar que a medida que aumenta la aplicación de agua, el porcentaje de rajado en los frutos es menor, al pasar de 39,1% para la lámina de 0,7 a 21% para la lámina de 1,3. Al aplicar menores cantidades de agua, el suelo va a tener un menor contenido de humedad, y la disponibilidad de nutrientes va a ser limitada (Silber *et*

al., 2003), así los frutos probablemente van a tener una menor concentración de nutrientes específicamente calcio, fundamental para mantener la integridad de la membrana y la rigidez de la pared celular (Marschner, 2002). Del mismo modo, se puede decir que las menores láminas de riego probablemente causen madurez precoz del fruto, lo que disminuye la longevidad del mismo, un menor crecimiento y una alta susceptibilidad al rajado (Fischer, 2005).

Así mismo, en la figura 6 se muestra el efecto de la frecuencia de riego en el porcentaje de rajado de los frutos, el rajado varió de un 40% para la frecuencia de 4 días, a un 25% para la frecuencia de 14 días. El porcentaje de rajado disminuyó a medida que el riego se suministró a intervalos de tiempo más largos, contrario a lo encontrado por Abbott *et al*. (1986), quienes afirman que se presentó menos frutos rajados de tomate con el aumento de las aplicaciones de 1 a 4 veces al día. Los frutos cuya aplicación de agua se realizó con una frecuencia de 4 días fueron mayores en tamaño (19,58 mm) que con las aplicaciones cada 9 y 14 días (19,07 y 18,91 mm, respectivamente). Esto es probablemente porque cuando el agua se aplica continuamente, la planta estimula el llenado del fruto, mientras que cuando el suplemento de agua tiene una frecuencia baja, la planta regula el flujo de agua a los órganos vertedero, de tal forma que el crecimiento del fruto depende del estado hídrico de la planta (Fischer, 2005).

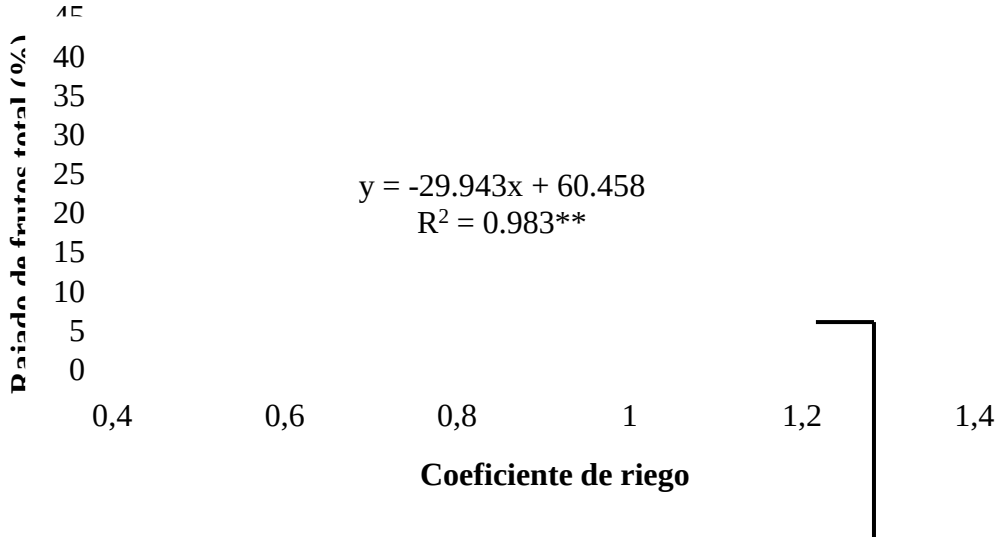


Figura 5. Efecto de la lámina de riego en el rajado de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

Al analizar el porcentaje de rajado en los frutos de tamaño grande se presentaron diferencias significativas en el Anova, y la frecuencia de riego fue el único factor que afectó el rajado en estos frutos. El porcentaje de frutos grandes rajados disminuyó conforme las aplicaciones de agua fueron menos frecuentes (tabla 4).

De forma similar, el porcentaje de frutos rajados de tamaño mediano se vio afectado por la lámina y la frecuencia de riego. En la tabla 4 se aprecia que los frutos medianos presentaron un 25% de rajado cuando las plantas tenían una frecuencia de riego de 14 días mientras que cuando fueron regadas cada 4 días los frutos presentaron un 42% de rajado. De igual forma, se aprecia que a medida que la frecuencia de riego aumenta, el porcentaje de rajado de los frutos medianos disminuyó. Los frutos obtenidos de las plantas regadas con una frecuencia de riego de 4 días tuvieron una masa promedio de 3,92 g, la cual es menor a la que tienen en promedio los frutos de la frecuencia de 14 días.

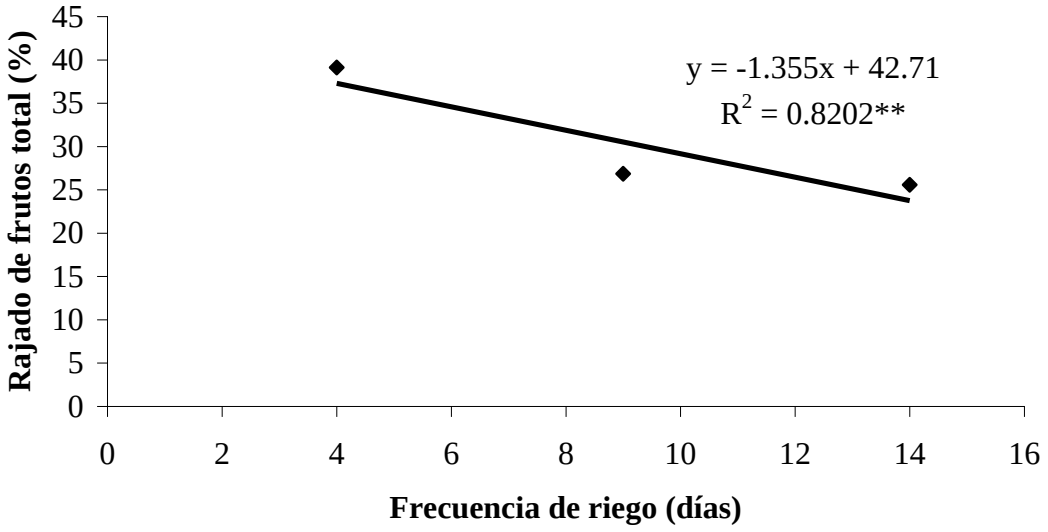


Figura 6. Efecto de la frecuencia de riego en el rajado de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

Para el caso de los frutos de tamaño pequeño, el Anova no presentó diferencias significativas, no obstante la lámina de riego afectó por separado el porcentaje de frutos rajados de este tamaño. Los frutos de tamaño pequeño regados con una lámina de 1,3

presentaron un 14,4% de rajado mientras que los regados con una lámina de 0,7 presentaron un 28,3%. El porcentaje de frutos rajados de tamaño pequeño no se vio afectado por la frecuencia de riego, lo que implica, que el tamaño del fruto afecta el posible rajado del mismo. También se puede apreciar que el efecto de la frecuencia de riego en el porcentaje de rajado de los frutos se va perdiendo conforme el tamaño del fruto se hace más pequeño, pues la pendiente en la relación de frutos rajados de tamaño grande y frecuencia de riego (-4.2821) es mayor que en la relación del rajado de frutos medianos con la frecuencia (-1,7028), hasta el punto en que deja de ser significativo el efecto para los frutos de tamaño pequeño.

Este comportamiento en el rajado está fuertemente influenciado por el tamaño del fruto, ya que el porcentaje de frutos de tamaño pequeño recolectado a lo largo de todo el experimento fue de casi un 60%, y al observar la masa promedio de frutos, los frutos obtenidos de las plantas regadas cada 14 días presentaron en promedio 3,14 g, esto implica que el porcentaje de rajado está relacionado con la frecuencia de riego y principalmente con el tamaño del fruto obtenido para cada frecuencia.

Tabla 4. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el porcentaje de rajado de frutos de uchuva clasificados por tamaño

Factor	Nivel del factor	Tamaño del fruto		
		Grande (> 22 mm)	Mediano (18-22 mm)	Pequeño (< 18 mm)
Coeficiente de riego	0,7	22,231 a	38,384 a	28,323 a
	0,9	20,256 a	40,949 a	23,515 ab
	1,1	20,565 a	25,594 b	17,017 ab
	1,3	20,123 a	25,541 b	14,438 b
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	20,313 a	31,460 a	22,031 a
	50	20,025 a	31,893 a	18,993 a
	100	22,044 a	34,497 a	21,446 a
Frecuencia de riego (días)	4	44,854 a	42,080 a	22,900 a
	9	15.495 b	30,719 b	18,419 a
	14	2.033 c	25,052 b	21,512 a

Promedios con letras distintas, en la misma columna y clasificados por factor, indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fischer (1995) menciona algunas causas del rajado en los frutos de uchuva, dentro de las cuales se resaltan, las siguientes: el fruto de uchuva es una baya jugosa con una epidermis muy delgada y con una gran cantidad de semillas, lo que hace que por efecto hormonal, sea un vertedero con gran fuerza para atraer agua y asimilados que pueden propiciar el rajado; también sugiere que en las primeras cosecha al haber una baja carga de frutos, estos reciben gran cantidad de carbohidratos, generando un mayor tamaño de los frutos y mas susceptibilidad al rajado; del mismo modo, el fruto de uchuva tiene periodos de crecimiento muy rápidos, que acompañados, por altas temperaturas y niveles de humedad en el suelo altos, favorecen la fisiopatía. Peet y Willits (1995) mencionan que el rajado generalmente ocurre cuando hay un incremento súbito en la humedad del suelo, lo que disminuye la fuerza de tensión de la piel de los frutos. Del mismo modo, Peet (1992) encontró que cuando las plantas recibieron más nutrientes crecieron más rápido y los frutos de tomate presentaron mayor rajado, también afirma, que el cálculo de las necesidades de riego de los cultivos basado en la evapotranspiración y el área foliar sobrestima la cantidad de agua a aplicar, lo que favorece la fisiopatía conocida como rajado.

4.1.4 Relación cáliz/fruto

El Anova no presentó diferencias significativas entre los factores evaluados para la relación de masa entre el cáliz y el fruto (Anexo 5). La masa del cáliz representó en promedio un 8,14% de la masa de frutos, este valor se encuentra dentro del rango del 3% al 11% presentado por Herrera (2000). Se podría afirmar, que la relación fuente vertedero entre el cáliz y el fruto no se vio afectada a pesar de aplicar diferentes láminas, frecuencias de riego y dosis de calcio, esto implica que a pesar de tener tratamientos, la proporción en la que se distribuyen los fotoasimilados tanto para el fruto como para el cáliz es similar. Según Marschner (2002), cuando la planta se encuentra en estado reproductivo, los órganos de almacenamiento son vertederos dominantes, con lo cual, tanto frutos como cáliz tienen el mismo potencial sumidero, a pesar de que el fruto presenta semillas, lo que hace que los fotoasimilados se distribuyan proporcionalmente en estos dos órganos. Al respecto, Fischer y Lüdders (1997) mencionan que además de cumplir con un efecto protector, el cáliz es una fuente importante de fotoasimilados para el fruto especialmente en los primeros estados del crecimiento. Igualmente, Fischer *et al*. (1997) encontraron que el desarrollo inicial del cáliz es mucho mayor que el del fruto, y que la masa fresca del cáliz disminuye mientras el fruto se esta desarrollando.

4.1.5 Masa seca de frutos

Esta variable no presentó diferencias significativas en el Anova. No obstante, la frecuencia de riego fue el factor que más influencia tuvo en la masa seca de los frutos, a pesar de no ser significativo. Esto probablemente ocurrió debido a que la frecuencia de riego tuvo efecto sobre la masa promedio de frutos, lo que implica que la frecuencia de riego favoreció el llenado de frutos con una mayor asimilación de agua, pero no tuvo el mismo efecto sobre la traslocación de asimilados para favorecer el aumento en la masa seca. Los valores promedio para la masa seca de los frutos fueron de 0,163 g. Fischer (1995) encontró que el ecotipo Colombia presentó la menor acumulación de masa seca en los frutos, y que esta aumentó conforme se incrementó la temperatura de la zona radicular. Del mismo modo, Fischer y Lüdders (1997) mencionan que el 47% de la masa seca de los frutos esta constituida por carbohidratos, y que la sacarosa es el azúcar predominante.

Los resultados encontrados concuerdan con lo expuesto por Neilsen *et al*. (2010) en manzana, quienes afirman que a pesar de disminuir la cantidad de agua aplicada, la masa seca de las manzanas no se vió afectada, del mismo modo, Porro *et al*. (2010) reportan que en uva una menor cantidad de agua aplicada reduce el tamaño de los frutos pero no la masa seca de los mismos. Veit-Köhler *et al*. (1999) mencionan que al aplicar diferentes cantidades de agua es posible alterar la calidad de los frutos de tomate, no obstante, la masa seca de los frutos permaneció constante. Por el contrario, Zegbe y Serna-Pérez (2011) encontraron en manzana 'Golden Delicious' que al aplicar suministros de agua menores a los normales, la masa seca de los frutos al igual que los sólidos solubles totales fue superior en los frutos de plantas con menor aplicación de riego. Al respecto, Marschner (2002) menciona que en cítricos es más importante en la acumulación de masa seca de los frutos, la misma carga de frutos que posea la planta (número de frutos), que el consumo de agua del cultivo.

4.1.6 Producción

La producción de frutos de uchuva presentó diferencias altamente significativas (Anexo 5). Al evaluar por separado los factores, la lámina de riego y la frecuencia de riego afectaron la producción total de las plantas de forma significativa, mientras que la dosis de calcio no afectó la variable producción. En la figura 7 se aprecia que conforme se incrementa la lámina de riego, la producción de uchuva por planta se ve incrementada, esta pasa de 486 g por planta para el coeficiente de 0,7 a 1.011,8 g por planta para el coeficiente de 1,3, estos datos

de producción son bajos si se comparan con los obtenidos por Angulo (2005), quien encontró valores que van desde los 900 g por planta para plantas a libre exposición y hasta los 6.100 g por planta en invernadero, del mismo modo, Martínez *et al*. (2008) encontraron valores que van desde los 1.884 g hasta los 2.649 g por planta.

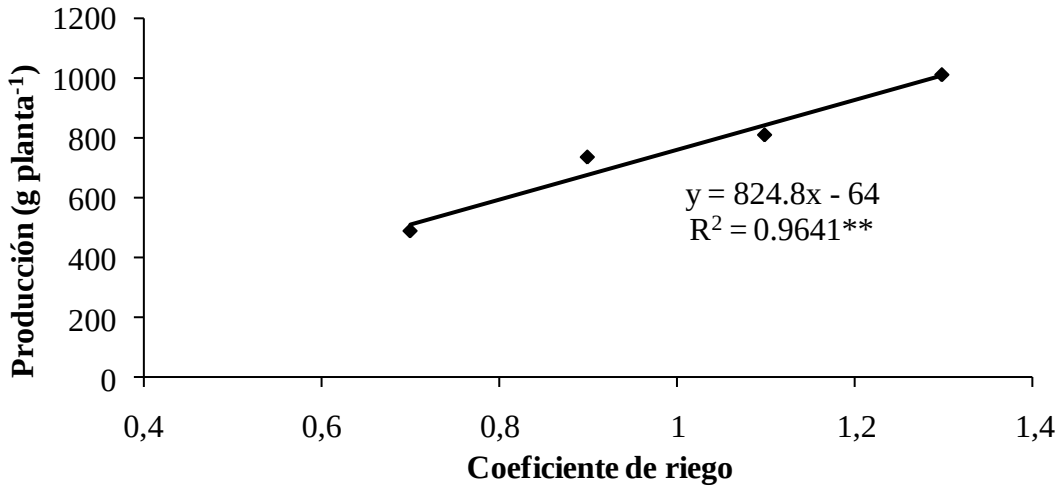


Figura 7. Efecto de la lámina de riego en la producción de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

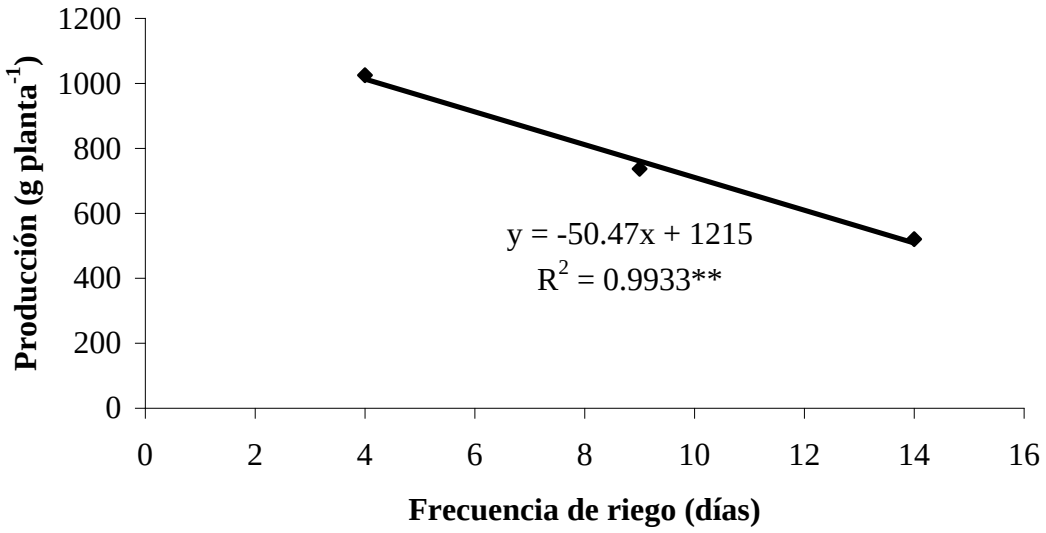


Figura 8. Efecto de la frecuencia de riego en la producción de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

Este comportamiento en el rajado está fuertemente influenciado por el tamaño del fruto, ya que el porcentaje de frutos de tamaño pequeño recolectado a lo largo de todo el experimento fue de casi un 60%, y al observar la masa promedio de frutos, los frutos obtenidos de las plantas regadas cada 14 días presentaron en promedio 3,14 g, esto implica que el porcentaje de rajado está relacionado con la frecuencia de riego y principalmente con el tamaño del fruto obtenido para cada frecuencia.

Estos resultados son similares a los encontrados por muchos autores, los cuales mencionan que al aumentar la cantidad de agua aplicada se aumentó la producción en cítricos (Treeby *et al*., 2007), durazno (Rufat *et al*., 2010), arándano (Holzapfel *et al*., 2004), pepino (Zhang *et al*., 2011), melón (Chun-Zhi *et al*., 2009), pimentón (Sezen *et al*., 2006), entre otros cultivos.

Según Taiz y Zeiger (2006), una planta con un suministro adecuado de agua posee a nivel celular un balance normal del agua que genera presión de turgencia, la cual es esencial para la realización de muchos procesos fisiológicos dentro de los cuales se destacan el alargamiento celular, intercambio gaseoso en las hojas, transporte en el floema, traslocación y distribución de fotoasimilados, así como la facilidad en el transporte a través de las membranas, del mismo modo, la presión de turgencia también contribuye a mantener la rigidez y la estabilidad mecánica de los tejidos y a garantizar un proceso eficiente de la fotosíntesis, lo cual redunda en un crecimiento óptimo de la planta y en la generación de estructuras reproductivas (flores y frutos) de mayor tamaño, que afectan positivamente la producción. En la etapa reproductiva, el déficit de agua provoca la disminución en la producción de ATP, origina alteraciones en el proceso de división celular y de elongación celular, por lo cual, los frutos van a ser más pequeños y se van a presentar en menor número, del mismo modo, aumentará la abscisión de flores y frutos (Taiz y Zeiger, 2006), lo que genera que las producciones disminuyan, similar a lo ocurrido en uchuva para el presente estudio.

A medida que la frecuencia de riego se hizo más prolongada, la producción disminuyó en un 50% aproximadamente (figura 8), cuando se regó cada 4 días, la producción alcanzó 1.025 g por planta, mientras que cuando la frecuencia de riego fue de 14 días, la producción fue de tan solo 520 g. Lo anterior es similar a los encontrado por Wang *et al*. (2006), quienes al aumentar la frecuencia de riego en papa, obtuvieron mayor

producción. Del mismo modo, Oktem (2006) encontró que al incrementar las aplicaciones de agua en el tiempo se aumentó la producción en maíz, en marañon (Oliveira *et al*., 2006) y en mango (Léchaudel y Joas, 2007). Budiarto *et al*. (2007) al aumentar las aplicaciones de agua en crisantemo, obtuvieron mayor masa fresca y longitud de tallo. Por el contrario, Ismail *et al*. (2007) al probar frecuencias de riego en tomate de 1 y 3 días encontraron que regar cada 3 días mostró la mayor producción, debido probablemente a que regar cada día estimula el crecimiento vegetativo, y disminuye la cantidad de agua y fotoasimilados que va hacia los frutos.

Cuando se manejan altas frecuencias de riego, los patrones de humedad y la distribución del agua son uniformes, lo que conlleva a una adecuada distribución y crecimiento de raíces, esto favorece la disponibilidad y el transporte de nutrientes e influye en una mayor eficiencia del sistema radicular, densidad de pelos radiculares, y arquitectura de la raíces (Silber *et al*., 2003), situación que estimula el aumento de la producción de una planta, y que pudo haber jugado un papel determinante en la producción de uchuva.

4.1.7 Número total de frutos

Esta variable presentó diferencias significativas en el Anova (Anexo 5). La lámina de riego y la frecuencia de riego mostraron un efecto altamente significativo sobre el número de frutos por planta, sin embargo, la dosis de Ca^{2+} no tuvo un efecto sobre esta variable. El número de frutos cosechados por planta varió de 116 para una lámina de 0,7 a 259 para la lámina de riego de 1,3 (figura 9). Los resultados hallados son menores a los encontrados por Martínez *et al*. (2008), quienes probaron en uchuva tratamientos con una adecuada nutrición y obtuvieron 349 frutos por planta, mientras que cuando las plantas tenían alguna limitación de nutrimentos, el número de frutos se redujo entre un 25% y un 51%. A su vez, Fischer (1995) encontró que el ecotipo Colombia produce en promedio 380 frutos por planta y es el ecotipo que mayor número de frutos presenta en comparación con el ecotipo Kenia y el Sudáfrica.

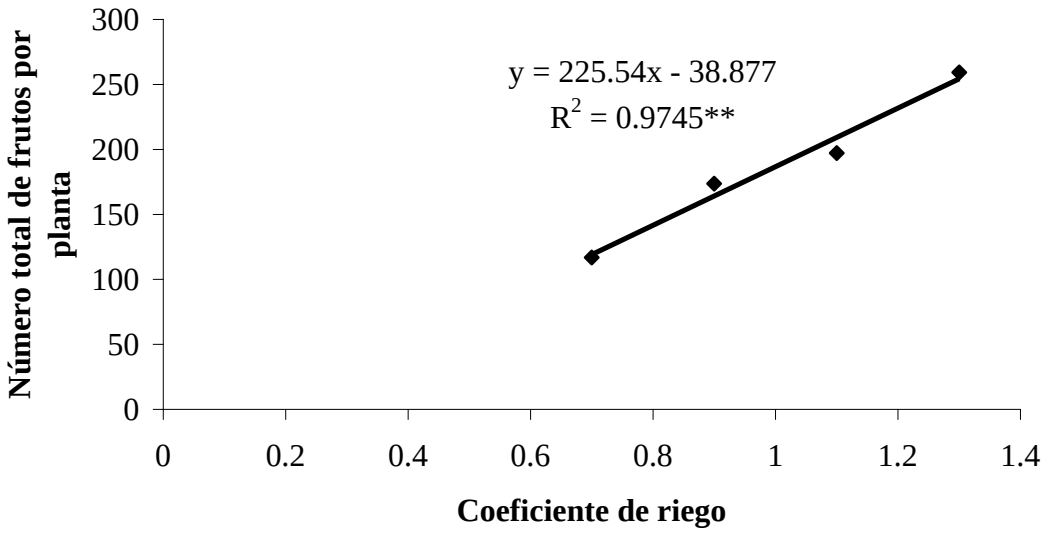


Figura 9. Efecto de la lámina de riego en el número de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

Es probable que la menor lámina de riego haya generado un menor crecimiento longitudinal de las ramas generativas, y teniendo en cuenta que la uchuva forma en cada nudo de una rama reproductiva un fruto (Fischer, 2000), el número de frutos por planta se viera afectado al aplicar una menor cantidad de agua. Por el contrario, cuando el suministro de riego fue mayor (coeficiente de 1,3), las plantas presentaron mayor vigor y, por lo tanto más estructuras que aumentaron el número de frutos cosechados por planta. Al respecto, Jana (1990) probó en tomate diferentes láminas de riego y encontró que al aumentar la lámina de riego, el número de frutos por planta aumentó.

De acuerdo con la figura 10, a medida que la aplicación de riego se hizo con menor frecuencia el número de frutos disminuyó, cuando se aplicó agua cada 4 días, el número de frutos por planta fue de 254 en promedio, mientras que cuando se aplicó agua cada 14 días se presentaron 132 frutos por planta. Resultados similares presentaron Léchaudel y Joas (2007) en mango, quienes afirman que al regar cada 7 días, la producción y el número de frutos fue mayor que cuando se regó cada 14 días, también mencionan que la caída de frutos en este ultimo tratamiento fue mayor, esto probablemente ocurrió porque se sintetiza una mayor cantidad de ABA y etileno producto

del estrés al que es sometida la planta, los cuales inducen la abscisión de los frutos en los estados iniciales de crecimiento (Eo y Yil, 2009).

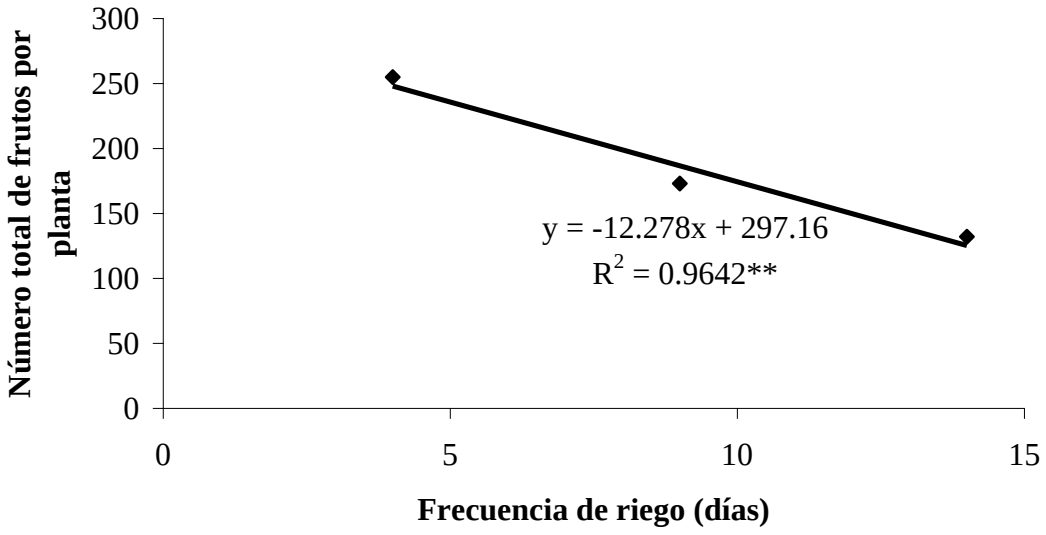


Figura 10. Efecto de la frecuencia de riego en el número de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

4.1.8 Masa seca de cáliz

Esta variable presentó diferencias significativas en el Anova (Anexo 5). El factor frecuencia de riego fue el que más influyó en la masa seca de cáliz, la cual presentó un promedio de 0,03 g, valor inferior a los 0,3 y 0,11 g encontrados por Martínez *et al*. (2008), para plantas bien nutridas y con deficiencias, respectivamente. En la figura 11 se aprecia como a mayor frecuencia de riego, la masa seca de cáliz aumenta un 29%, al comparar la aplicación de agua cada 4 días con la de cada 14 días. Esto implica que la frecuencia de riego favoreció el llenado de frutos, y no la masa seca de los mismos, pero si la masa seca del cáliz, lo que daría a entender que el cáliz tiene un potencial de vertedero mayor que el fruto cuando se aplican diferentes frecuencias de riego, efecto que tiene que ver con el número de frutos por planta y la distribución de los fotoasimilados entre los diferentes órganos de la planta (Marschner, 2002). No obstante, Fischer y Lüdders (1997) mencionan que la distribución de los fotoasimilados en el cáliz sigue el mismo patrón de comportamiento que el fruto, y que el potencial como vertedero es muy fuerte, pues la acumulación de sacarosa por el cáliz en el último estado de crecimiento es alta, y similar a la del fruto.

4.1.9 Relación masa seca/masa fresca de cáliz

Esta variable no mostró diferencias significativas en el Anova (Anexo 5), la masa seca del cáliz representó en promedio un 2,77% de la masa fresca de cáliz. Probablemente, la frecuencia de riego afectó de forma similar tanto la masa fresca como la masa seca de cáliz, lo que originó que no se hayan presentado diferencias al hacer la relación. Al comparar con la masa seca de frutos, en relación a la masa fresca de los mismos, esta equivale a un 4,59%, lo que implica que en proporción la distribución de fotoasimilados es mayor hacia el fruto que hacia el cáliz. Fischer *et al*. (1997) mencionan que el desarrollo inicial del cáliz es mucho mayor que el del fruto, y que al cabo de 20 a 25 días, éste alcanza su tamaño final.

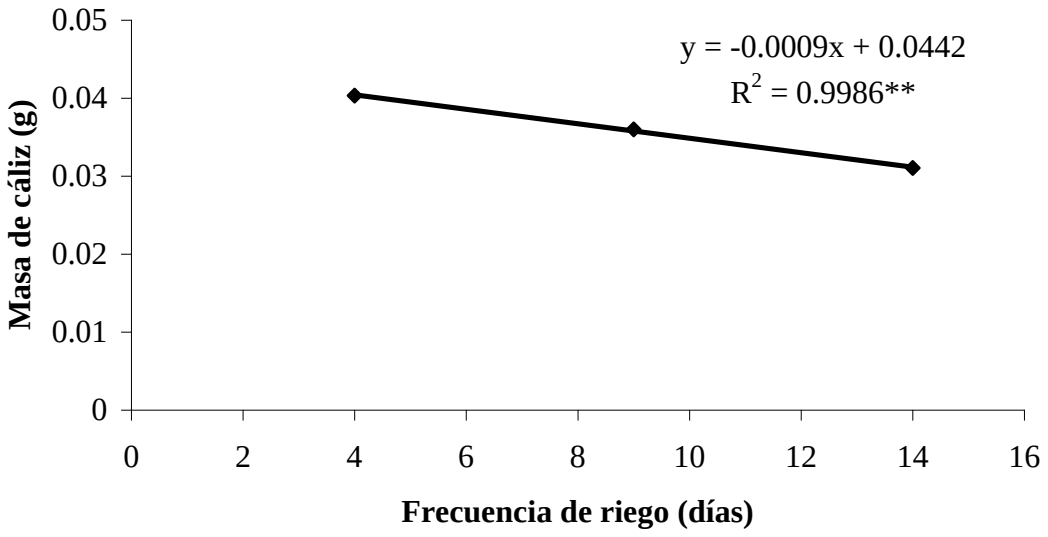


Figura 11. Efecto de la frecuencia de riego en la masa seca del cáliz de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

4.2. Análisis de la producción de uchuva durante el ciclo de cultivo con diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio

4.2.1 Producción por planta durante el tiempo de cosecha:

La cosecha presentó al comienzo los mayores valores de masa fresca total de fruta recolectada (figura 12), en la segunda cosecha la producción alcanzó un promedio de

208,2 g por planta, a partir de aquí esta comenzó a disminuir hasta la séptima cosecha en donde sólo se obtuvo 17,1 g por planta en promedio para todos los tratamientos. Luego, la producción volvió a incrementarse hasta los 62 g por planta. Este comportamiento es similar al observado por Fischer *et al*. (2007), quienes afirman que las cosechas de uchuva tienen picos bimensuales en la producción, los cuales conforme avanza el tiempo de cosecha son menos pronunciados, hasta que al final 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 mayor que la temperatura exterior, además se alcanzaron a registrar temperaturas de hasta 35 °C, lo que repercute en el desarrollo floral (Fischer, 2000), el número de frutos y el crecimiento de los mismos (Ho, 1996). Esta situación es contraria a la mostrada por Angulo (2005) quien menciona que dentro del invernadero la producción fue un 30% más alta que en condiciones de libre exposición.

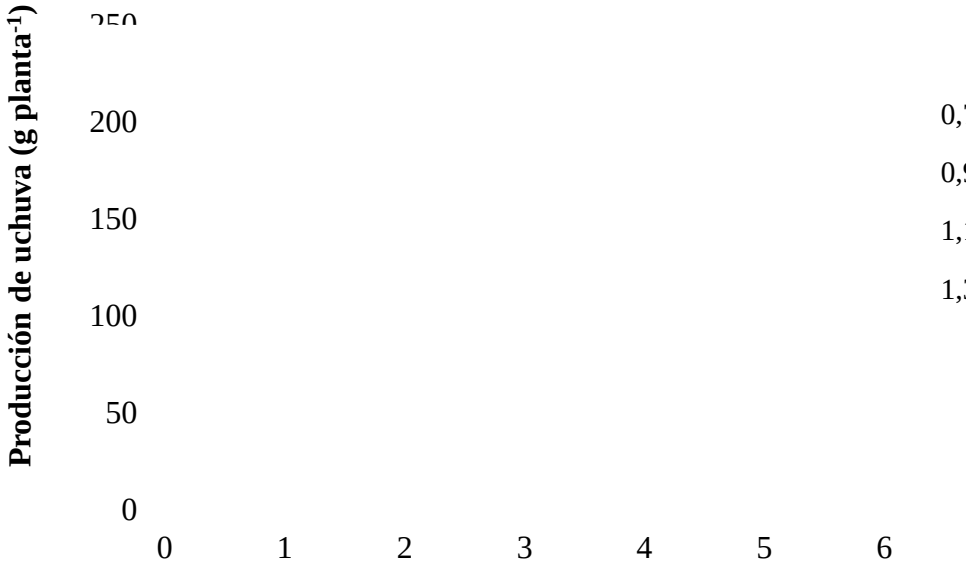


Figura 12. Producción de uchuva por planta en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

4.2.2 Masa fresca del fruto durante el tiempo de cosecha:

Al hacer el seguimiento de la masa fresca de frutos a lo largo de las diferentes cosechas realizadas durante la fase de producción del cultivo de uchuva se encontró que los frutos

más grandes fueron cosechados en las primeras recolecciones (figura 13), y que luego la masa de frutos fue disminuyendo y tendió a estabilizarse. Para las dos primeras cosechas (semana 17 y 19 ddt) el promedio de la masa de frutos fue de 5,66 g, el cual es un valor muy similar al reportado para uchuva de 5,68 g por Herrera *et al*. (2011) y se encuentra dentro de los rangos normales con valores de 5,8, 3,54 a 6,47 y 4,04 g reportados por Fischer *et al*. (1998), Fischer (1995), Herrera *et al*. (2011) y Guerrero *et al*. (2007), respectivamente. Al final del ciclo de cultivo, los frutos cosechados en las ultimas cuatro cosechas apenas alcanzaron 2,26 g, esto significa una reducción de casi un 60% en la masa fresca de los frutos. Al igual que Angulo (2005), el pico de cosecha se presentó en la semana 17 ddt, lo que implica que las condiciones de invernadero afectan de forma similar el momento del pico de cosecha. La lámina de riego que presentó la mayor masa promedio de frutos en el tiempo fue la que empleó el coeficiente de 1,3, con un promedio de masa fresca de fruto de 6,15 g, mientras que los coeficientes de 0,7 y 0,9 presentaron la menor masa promedio durante el ciclo de cultivo. En las dos primeras cosechas el efecto de la lámina de riego no fue significativo, pues es probable que el efecto de los tratamientos no influyera en el comportamiento del cultivo inicialmente (figura 14).

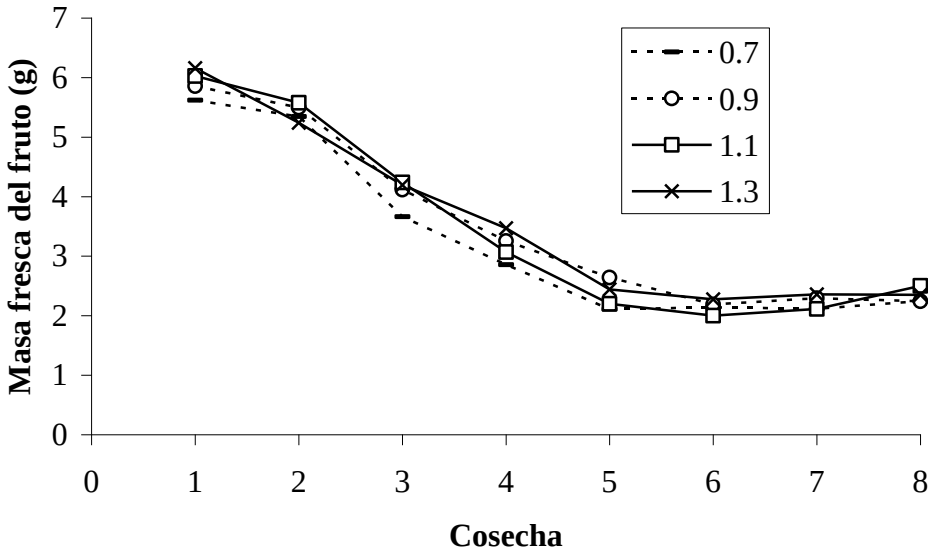


Figura 13. Masa fresca del fruto de uchuva en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

4.2.3 Número de frutos:

Esta variable presentó un comportamiento ascendente hasta la cosecha número 3 (Semana 21 ddt), allí se alcanzaron a recolectar hasta 50 frutos por planta (figura 14), luego el número de frutos por planta comenzó a descender hasta la cosecha número 6 (semana 27 ddt) cuando tan solo se recolectaron 8 frutos por planta en promedio, lo que se atribuye al desgaste natural de la planta y a que las temperaturas del invernadero (Anexo 6) estuvieron por encima de las temperaturas recomendadas por Fischer (2000), quien menciona que la temperatura adecuada para el cultivo de uchuva oscila entre los 13 y los 18 °C y que temperaturas muy altas pueden perjudicar la floración y fructificación, situación que ocurrió en el cultivo de uchuva sembrado para esta investigación. Para la última cosecha, el número de frutos cosechados por planta subió a 21. Esta disminución en el número de frutos y un incremento al final coincide con lo reportado por Fischer *et al*. (1998) y Fischer *et al*. (2007), quienes obtuvieron en el pico de cosecha 162 frutos por planta y posteriormente, el número de frutos fue disminuyendo al pasar a 50, 11 y 6 hacia el final de la cosecha, luego, recolectaron 21 frutos por planta en la última cosecha realizada.

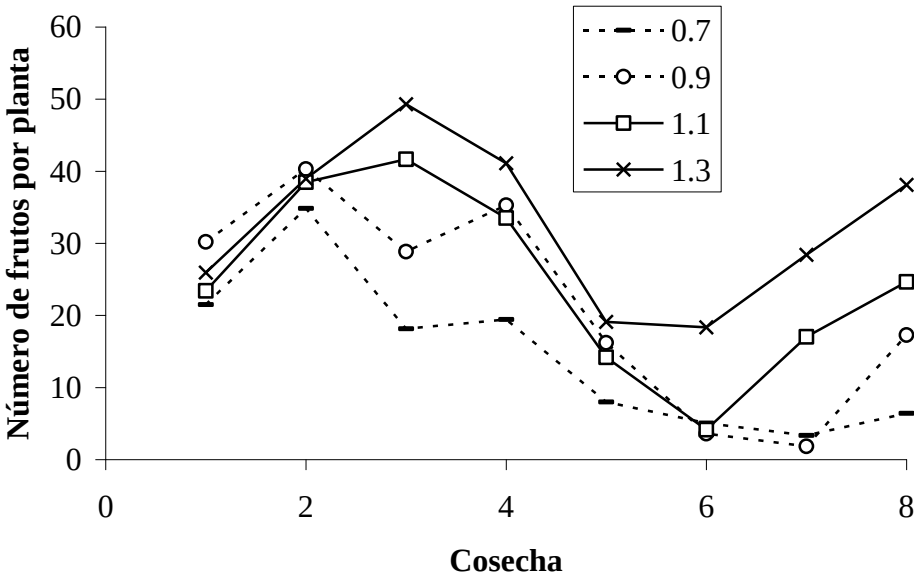


Figura 14. Número de frutos de uchuva por planta en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

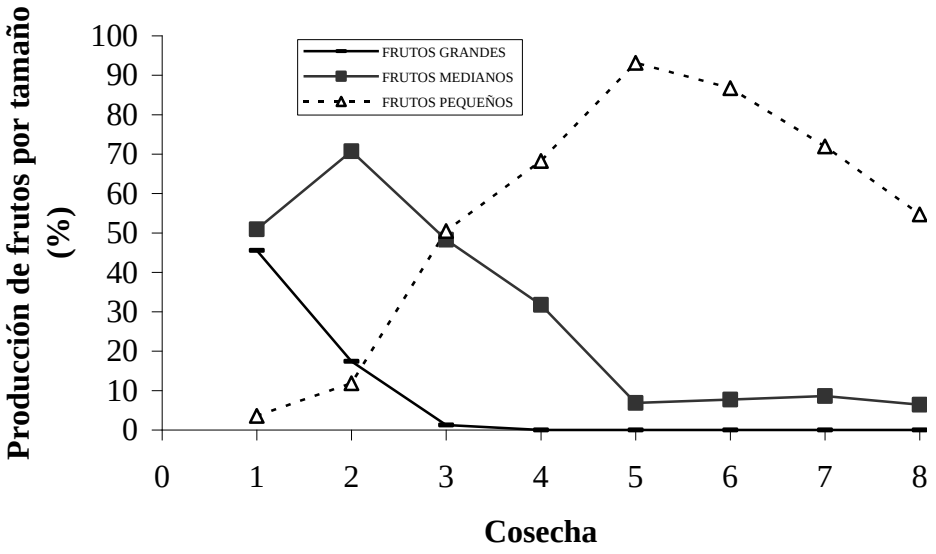


Figura 15. Producción de frutos de uchuva por tamaño en las diferentes cosechas realizadas. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

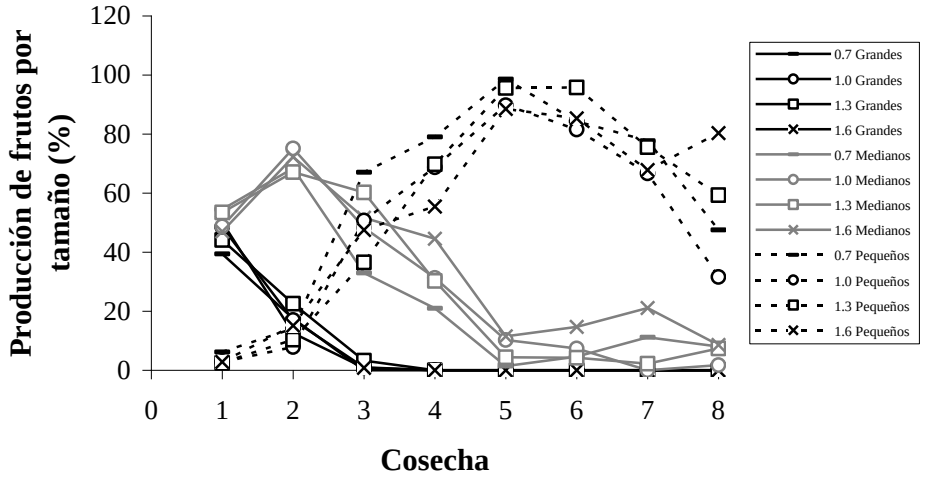


Figura 16. Producción de frutos de uchuva por tamaño en las diferentes cosechas realizadas para cada lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

Estos resultados son inferiores a los valores reportados por Herrera *et al*. (2011) cuyas producciones encontradas oscilaron entre 265 y 2.454 frutos por planta, los cuales probablemente se dan debido a condiciones ambientales favorables.

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

Los frutos de tamaño grande (>22 mm) se presentaron en promedio en las dos primeras cosechas (figura 15), para las demás cosechas el tamaño de los frutos no clasificó dentro de lo que se consideró frutos grandes. Los frutos de tamaño mediano fueron el 50% y el 70,7% para las dos primeras cosechas, luego el porcentaje de frutos que clasificó dentro de esta calidad disminuyó y a partir de la quinta cosecha el promedio de frutos medianos fue del 7,4%. Mientras tanto, la presencia de frutos de tamaño pequeño inicialmente fue baja, y comenzó a ascender hasta la 5 cosecha, luego el porcentaje de estos frutos también disminuyó, ya que la menor lámina de riego (coeficiente de 0,7) contribuyó de gran manera a que se presentara el 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 16).

Independientemente de la lámina de riego, el tamaño de los frutos de uchuva en porcentaje varió de forma similar, pues en las dos primeras cosechas predominaron los frutos de tamaño grande, luego entre la tercera y quinta cosecha, el predominio fue de los frutos medianos y pequeños, con una relación inversamente proporcional entre estos dos tamaños durante este intervalo de cosechas, de la sexta a la ultima cosecha, el tamaño de frutos predominante fue el menor a 18 mm, situación similar es reportada por Guerrero *et al*. (2007), quienes mencionan que los frutos de categoría nacional, se presentaron en mayor porcentaje durante todas las cosechas.

4.2.5 Rajado total de frutos a lo largo del ciclo de cosecha:

Se determinó el porcentaje de rajado promedio de frutos por láminas de riego el cual se aprecia en la figura 17. El rajado de frutos en la primera cosecha fue bajo, luego aumentó y en la tercera cosecha se presentó el máximo porcentaje de rajado, a partir de allí, el cuarteamiento de los frutos fue menor en general para todas las láminas de riego, lo que coincide con la disminución ocurrida en el tamaño de los frutos conforme las plantas

envejecían, acorde a Galvis *et al*. (2005) quienes afirman que el porcentaje de rajado disminuye con el transcurso del periodo reproductivo. Así mismo, Gordillo *et al*. (2004) y Cooman *et al*. (2005) también encontraron que el mayor porcentaje de rajado se produce en las primeras cosechas que se realizan en la planta y lo atribuyen al bajo número de frutos, lo que genera frutos más grandes pero con alto porcentaje de rajado. Ellos encontraron en el primer mes de cosecha un promedio del 15% de frutos rajados, el cual es inferior al 50%, 39% y 20% encontrado para los frutos de tamaño grande, mediano y pequeño, respectivamente. Por su parte, Torres *et al*. (2004) obtuvieron porcentajes de rajado que alcanzaron hasta un 70% en la primera semana de cosecha, y conforme se aumentaban las aplicaciones de agua, cuando los frutos maduraban, se incrementaba el porcentaje de rajado. El elevado rajado de frutos que se produce en las primeras semanas es atribuido a que hay una mayor área foliar, la cual compite con los frutos por los fotoasmilados (Torres *et al*., 2004), lo cual origina que elementos como el calcio, de baja movilidad, no lleguen en concentración suficiente a los frutos y se presente el rajado.

Las menores láminas de riego presentaron en promedio los mayores porcentajes de rajado para las diferentes cosechas realizadas, esto concuerda con Torres *et al*. (2004), quienes mencionan que cuando las plantas de uchuva han sufrido un estrés severo, los frutos son de menor tamaño, menor masa y presentan mayor rajado, sin embargo, contrasta con lo reportado por Guerrero *et al*. (2007) quienes afirman que a mayor humedad en el suelo, mayor es la producción de frutos y mayor es el porcentaje de rajado. Al respecto, el déficit hídrico en la etapa de crecimiento del fruto hace que la planta disminuya la tasa de transpiración, con lo cual se disminuye el suministro de calcio y boro, elementos que tienen gran influencia en la resistencia y elasticidad de la epidermis al rajado (Fischer, 2005).

4.2.6 Rajado de frutos según tamaño a lo largo del ciclo de cultivo:

Al analizar el porcentaje de frutos rajados en promedio según el tamaño para las diferentes cosechas realizadas se encontró que para los frutos grandes, este fue de 10% para la primera cosecha y aumentó hasta un 100% en la tercera cosecha, a partir de esta los frutos no alcanzaron el tamaño grande (figura 18). Para el caso de los frutos de tamaño mediano, estos se cosecharon en todo el ciclo de cultivo y presentaron un 39%

de rajado en promedio, con máximos en la tercera y quinta cosecha (semanas 21 y 23 ddt). Para el caso de los frutos de tamaño pequeño, el porcentaje de rajado en la primera cosecha fue muy bajo, luego se incrementó y permaneció constante con un promedio de 20% para las demás cosechas. La tendencia general encontrada independientemente de la lámina de riego, la frecuencia de riego y la dosis de calcio, es que a mayor tamaño de fruto, mayor es la incidencia del rajado, acorde a Fischer (2005), Cooman *et al*. (2005) y Guerrero *et al*. (2007). Esto probablemente se debe a que la expansión de la epidermis no guarda proporción con el agrandamiento del fruto, lo que incrementa la susceptibilidad del rajado, del mismo modo es probable que al haber frutos más grandes, estos generen un mayor potencial sumidero, lo cual atrae mayor cantidad de carbohidratos y a su vez propicia un crecimiento acelerado que va a generar el rajado del fruto (Peet y Willits, 1995), además mencionan que en las condiciones de cultivo en donde el rajado es un problema, tanto la cantidad de agua aplicada como la fertilización deben ser reducidas.

4.2.7 Masa fresca de cáliz a lo largo del ciclo de cultivo:

La masa fresca del cáliz de los frutos de uchuva disminuyó conforme avanzaron las cosechas realizadas (figura 19). Para la primera cosecha la masa de cáliz fue en promedio de 0,45 g y disminuyó a medida que transcurrían las cosechas hasta llegar a una masa final de solo un 36% de la inicial (0,164 g), valores inferiores a 0,8 y 1,0 g, reportados por Angulo (2005) para cáliz de frutos de uchuva en condiciones de invernadero y a libre exposición, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre las láminas de riego a lo largo de las primeras 7 cosechas, no obstante, en la última cosecha, la aplicación de una lámina de riego de 0,7 de la evaporación disminuyó la masa de cáliz de forma significativa. La diferencia en la masa de cáliz es probable que haya ocurrido debido a que la planta de uchuva presentó un desgaste provocado por que emplea gran parte de los fotoasimilados de reserva en las primeras cosechas, lo que se vió reflejado tanto en la masa de frutos como en la masa de cáliz, así mismo, hacia el final del ciclo de cosechas, la planta tiene muy pocas reservas y tanto frutos como cáliz son más pequeños. Al respecto, Hurd *et al*. (1979) mencionan que cuando el suplemento de fotoasimilados se reduce, los frutos toman gran parte de estos, lo cual afecta las floraciones subsecuentes y genera un retardo en el crecimiento de brotes y raíces, generando frutos más pequeños en las siguientes cosechas. Del mismo modo, Fischer y

Lüdders (1997) mencionan que el contenido de almidón disminuye de forma constante en el cáliz, y que al final de la cosecha, el contenido de carbohidratos es de tan solo 5,7%.

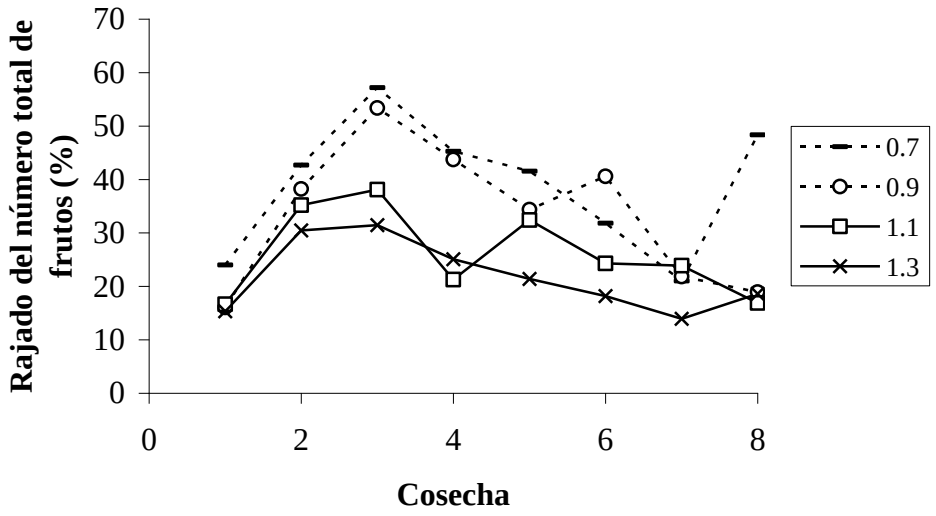


Figura 17. Rajado del número total de frutos de uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

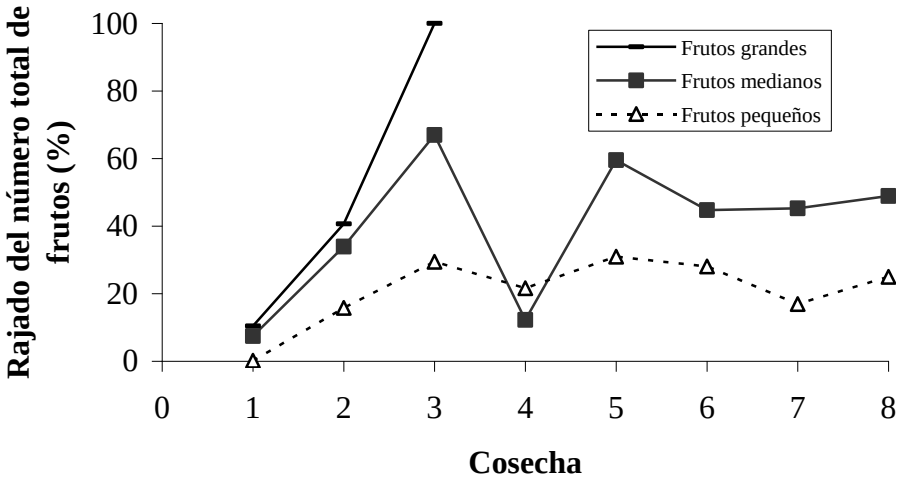


Figura 18. Rajado del número total de frutos de uchuva según tamaño durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

4.2.8 Relación cáliz fruto a lo largo del ciclo de cosechas:

Esta relación presentó un promedio en todo el ciclo de 8,5%. Para el caso de las primeras 4 cosechas la relación de masa entre el cáliz y el fruto fue menor al valor promedio, y fue incrementándose a partir de la cuarta cosecha hasta alcanzar un valor de 11,92% en la última cosecha (figura 20), valores similares a los reportados por Herrera (2000). Este comportamiento se puede explicar debido a que en las primeras cosechas los frutos presentaron tamaños más grandes, mientras que al final, los frutos en su mayoría estaban clasificados como pequeños por lo que la relación cáliz/fruto fue aumentando, esta situación no implica que conforme avanzaron las cosechas el cáliz fue más grande, sino que la masa de cáliz también disminuyó, pero no en la misma proporción en la que lo hizo el fruto. Al respecto, Fischer y Lüdders (1997) encontraron que el cambio en la acumulación de carbohidratos es similar tanto en los frutos como en el cáliz de uchuva, y que los procesos de traslocación de sacarosa al fruto se dan con igual intensidad hacia el cáliz, debido al fuerte potencial de vertedero que tiene el fruto en su etapa de crecimiento y maduración, del mismo modo, Fischer *et al*. (1997) mencionan que en las etapas iniciales de crecimiento del fruto esta relación es mayor, pues el desarrollo inicial del cáliz es mucho mayor al del fruto.

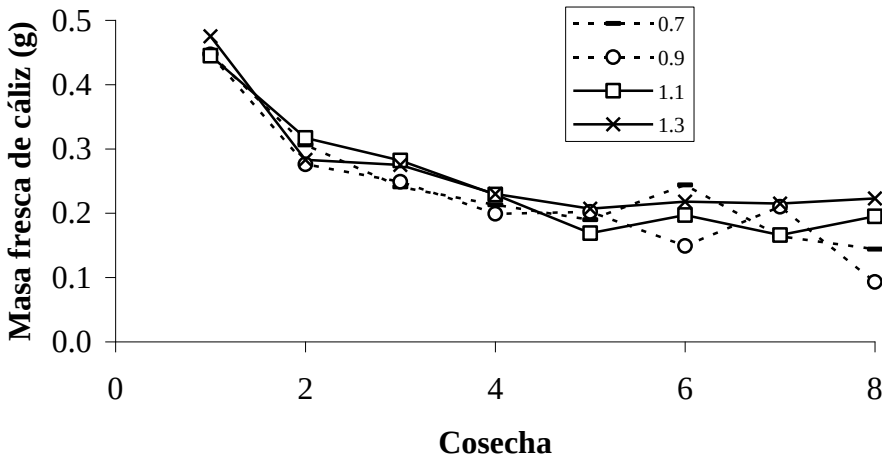


Figura 19. Masa fresca de cáliz de uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

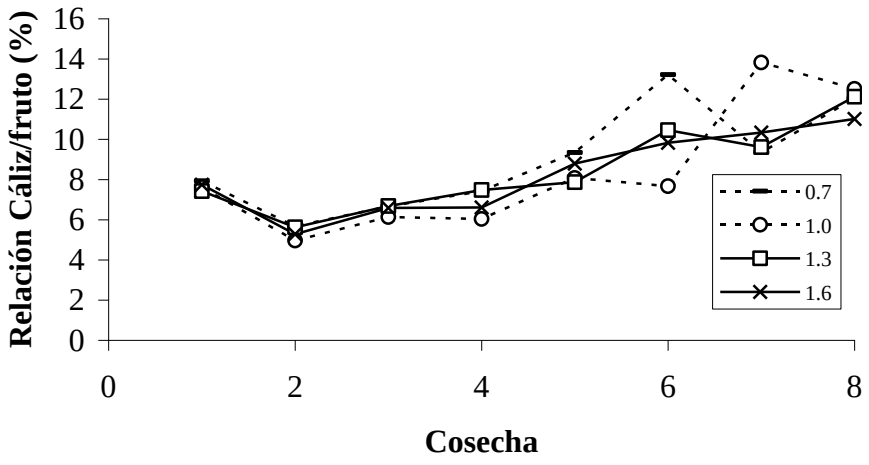


Figura 20. Relación cáliz/fruto en uchuva durante las diferentes cosechas realizadas por lámina de riego aplicada. Primera cosecha realizada el 15 de agosto, octava cosecha realizada el 21 de noviembre de 2009. Cada cosecha se realizó con intervalos de 15 días.

4.3. Efecto del riego y las dosis de calcio en la calidad de los frutos de uchuva al momento de la cosecha

4.3.1 Sólidos solubles totales (SST)

Los SST se vieron afectados significativamente por el aumento en la cantidad de agua aplicada a las plantas de uchuva. El mayor coeficiente de riego generó frutos con un 10% menos de SST (figura 21). Los valores oscilaron entre 16,8% y 18,7%, estos son superiores a los reportados por Fischer *et al*. (1995), Galvis *et al*. (2005) y Martínez *et al*. (2008), y similares a los reportados por Amezquita *et al*. (2008) de entre 16,2% y 17,3% y de 17,2 para frutos en estados de madurez 3 y 4 (Fischer *et al*., 2011). La frecuencia de riego presentó diferencias significativas en los SST de los frutos de uchuva. En la figura 22 se aprecia como a medida que la frecuencia de riego se hizo más prolongada, los SST aumentaron. Al pasar de una frecuencia de riego de 4 días a una de 14 días, los SST aumentaron aproximadamente un 7% en promedio.

El aumento en los SST debido a la disminución de la lámina de riego es reportado por varios autores para diferentes frutas, en manzana (Parés *et al*., 2010), durazno (Rufat *et al*., 2010), melón (Leskovar *et al*., 2004), vid (Satta *et al*., 2011) y tomate (Beckles, 2012;

Wang *et al*., 2011). Del mismo modo, al disminuir la frecuencia de riego, los SST se incrementaron en pepino (Marín *et al*., 2009).

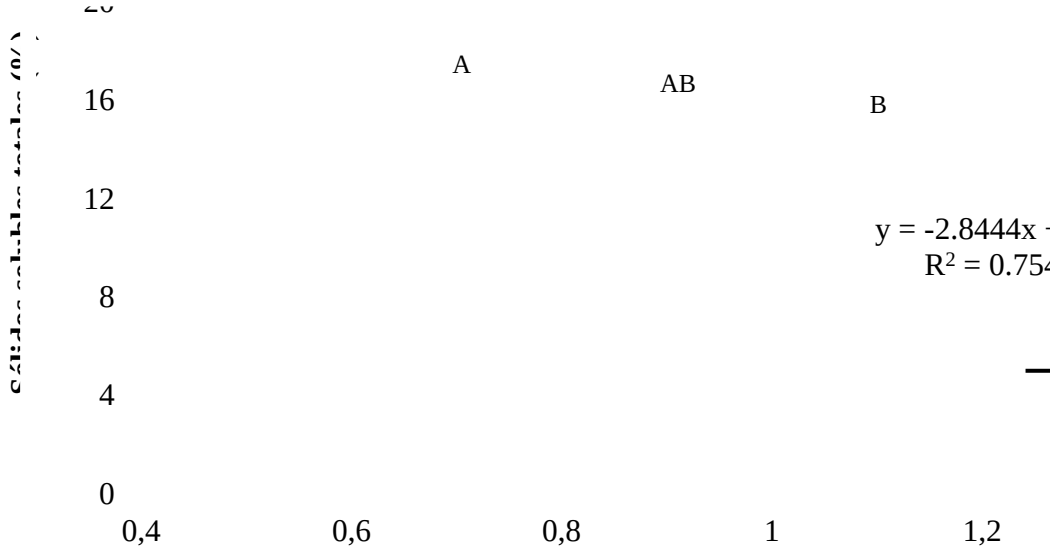


Figura 21. Efecto de la lámina de riego en los sólidos solubles totales expresados en grados Brix (%) en frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

El incremento en los SST es debido probablemente a que ocurre un ajuste osmótico inducido por el estrés, por lo que se genera un mayor desdoblamiento de carbohidratos de reserva a azúcares más simples empleados en la respiración (Mpelasoka *et al*., 2001), del mismo modo, se puede dar el efecto de que al tener un menor suministro de agua, los frutos tengan un menor contenido de humedad, por lo que se incrementa la concentración de materia seca (Fallahi *et al*., 2010) y a su vez los SST son mayores. Los incrementos en los azúcares libres en los frutos ocurren, en general, debido a la hidrólisis de las reservas de almidón ocasionada por la α-amilasa, β-amilasa y almidón fosforilasa, enzimas cuya actividad aumenta drásticamente durante la maduración de los frutos (Kays, 1997). Del mismo modo, bajo condiciones de estrés hídrico la sacarosa sintasa y sacarosa fosfato sintasa aumentan su actividad (Qi *et al*., 2003), por lo que incrementan el gradiente de concentración de sacarosa entre las hojas y los frutos, con lo cual, se da un mayor transporte de fotoasmilados hacia los frutos, y se aumenta la velocidad de transformación de la sacarosa a glucosa y fructosa, lo que finalmente eleva los niveles de

SST en el fruto (Kan, 2008). Los valores de SST encontrados son altos debido probablemente a que bajo invernadero la temperatura fue entre 3 a 5°C en promedio superior a la temperatura exterior, por lo que, el estrés hídrico disminuye la absorción de agua por osmosis, pero no en la misma proporción la cantidad de azúcares, por lo que la concentración de estos es mayor en los frutos (Marín *et al*., 2009).

Las dosis de calcio aplicadas a las plantas de uchuva no afectaron la concentración de SST en los frutos. Existen reportes en los cuales la aplicación precosecha de calcio no afectó los SST en frutos de mango (Da-Silva y Menezes, 2008), manzano (Ernani, 2008) y pepino (Marín *et al*., 2009), no obstante, según Fanasca *et al*. (2006), los frutos generalmente presentan mayor cantidad de SST cuando son fertilizados con bajas dosis de calcio, similar a lo presentado en esta investigación, pues sin aplicación de calcio, los SST presentaron un valor de 15,7% mientras que cuando se aplicó calcio en dosis de 100 kg ha^{-1}, los SST fueron de 15,3%.

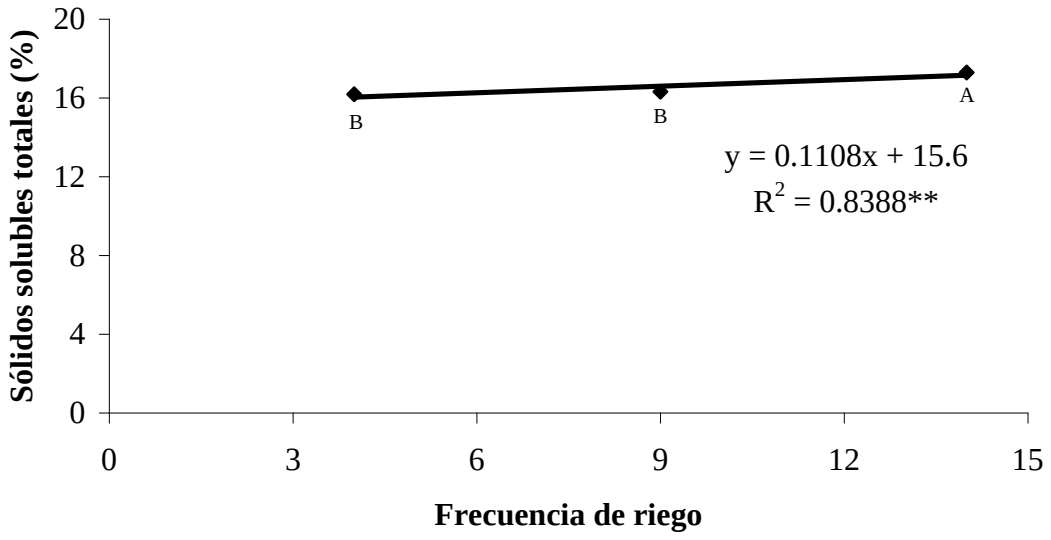


Figura 22. Efecto de la frecuencia de riego en los sólidos solubles totales expresados en grados Brix (%) en frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio.

4.3.2 Acidez total titulable (ATT):

La lámina de riego afectó significativamente la ATT de los frutos de uchuva (anexo 7). La ATT osciló entre 2,1% y 2,8% (figura 23). Estos valores se encuentran dentro de los

valores de acidez reportados por Herrera (2000) para los frutos de uchuva al momento de la cosecha, así mismo, son mayores a los rangos mostrados por Galvis *et al*. (2005) de 1,6% a 2,0% para frutos maduros y a los encontrados por Amezquita *et al*. (2008) de 1,8% a 2,0%. La ATT presentó un ajuste lineal con respecto al aumento de la aplicación de agua, a medida que se incrementó el coeficiente de riego, la ATT disminuyó. La frecuencia de riego no presentó diferencias significativas en la ATT, cuando se suministró agua al cultivo cada 4 días los frutos presentaron una acidez de 2,13%, mientras que cuando se hizo cada 14 días, la ATT fue de 2,16%. Marín *et al*. (2009) aplicó diferentes frecuencias de riego en pepino y no encontró diferencias en la ATT. Las aplicaciones de calcio al suelo no afectaron la ATT de los frutos de uchuva, similar a lo reportado en pepino (Marín *et al*., 2009) y en mango (Da-Silva y Menezes, 2008). Sin embargo, una deficiencia de calcio puede disminuir la integridad de la membrana celular, con lo cual, la respiración aumentará y la concentración de ácidos será menor (Kays, 1997).

Figura 23. Efecto de la lámina de riego en la acidez total titulable (ATT) de frutos de uchuva de plantas sembradas en turba rubia y sometidas a diferentes regímenes de riego y nutrición con calcio

Durante la maduración ocurre una disminución de los ácidos orgánicos en muchas frutas. Esta pérdida es debida principalmente a la utilización de estos compuestos como sustrato respiratorio y como esqueletos de carbono para la síntesis de nuevos

componentes (Kays, 1997). Con un déficit de agua, los frutos probablemente presentan una mayor respiración, situación que origina la conversión de ácidos a azucares de forma más rápida (Marschner, 2002), no obstante, de acuerdo a los resultados obtenidos se infiere que los frutos de plantas con mayor aplicación de agua, tienen una mayor cantidad de agua en sus tejidos, lo que probablemente hace que la concentración de ácidos disminuya por efecto dilución (Fischer y Martínez, 1999), así la cantidad generada de ácidos sea similar en todos los tratamientos. En los frutos de uchuva el ácido cítrico constituye el 85% de los ácidos orgánicos (Fischer *et al*., 1999), del mismo modo, Ehert y Ho (1986) reportan que cuando las plantas de tomate sufren de estrés hídrico tienen una reducida absorción de agua, e incrementan la producción de ácidos en los frutos como mecanismo de adaptación al estrés, dentro de los cuales se destaca el ácido ascórbico (Chen *et al*., 2011), similar a lo encontrado para uchuva en este estudio, y también en tomate (Patané *et al*., 2011; Favati *et al*., 2009; Maoruelli y Silva, 2007).

4.3.3 Relación de madurez (RM):

La lámina y la frecuencia de riego presentaron diferencias estadísticas significativas para la relación de madurez (anexo 7; tabla 5), la cual presentó un promedio de 7,53. Este valor de RM se encuentra dentro del rango reportado por Novoa *et al*. (2006) de 7 a 8, pero es inferior al encontrado por Martínez *et al*. (2008) de 9, Amezquita *et al*. (2008) de 8,0 a 9,6 y al descrito por Herrera (2000) para el ecotipo Colombia que oscila entre 8,6 y 9,3, lo cual implica que el grado de madurez de los frutos cosechados en este estudio es menor. Al respecto, Parra y Hernández (2005) mencionan que durante la maduración de los frutos, en general, disminuye la proporción de ácidos y aumenta la concentración de azúcares, con lo cual la RM es mayor, y así mismo el grado de madurez. Las dosis de calcio aplicadas a las plantas de uchuva no tuvieron un efecto significativo en los valores de la RM de los frutos, lo cual concuerda con Ferguson *et al*. (1999), quienes mencionan que el calcio tiene poca influencia en la RM, de igual manera, Marín *et al*. (2009) probaron diferentes dosis de calcio y no encontraron diferencias significativas en la ATT, los SST y la RM del pepino, no obstante, mencionan que estos valores si varían cuando el estado de madurez cambia.

Tabla 5. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la relación de madurez, el pH y la firmeza de frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero.

Factor	Nivel del factor	Variable		
		RM	pH	Firmeza (N)
Coeficiente de riego	0,7	7,04 b	3,91 a	9,30 a
	0,9	7,08 b	3,91 a	9,61 a
	1,1	7,47 ab	3,93 a	9,84 a
	1,3	7,84 a	3,91 a	9,59 a
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	7,35 a	3,92 a	10,59 a
	50	7,20 a	3,92 a	10,76 a
	100	7,19 a	3,92 a	10,69 a
Frecuencia de riego (días)	4	7,12 b	3,87 b	9,43 a
	9	7,12 b	3,90 b	9,77 a
	14	7,83 a	3,98 a	9,55 a

RM: relación de madurez. Promedios con letras distintas en la misma columna y clasificados por factor indican diferencias significativas entre niveles del factor, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Los frutos de uchuva tienen una RM que aumenta de forma lineal durante las diferentes fases de maduración (Fischer y Martínez, 1999), este comportamiento se presenta debido a que los SST se incrementan desde el estado de madurez verde (0) hasta el estado de madurez 5 (Herrera, 2000), luego declina hasta el momento de la cosecha, para el caso de la ATT, esta disminuye de forma constante durante todo el periodo de maduración (Fischer, 1995), este comportamiento en el cual los niveles de ácidos disminuyen y los de azúcares aumentan es debido tanto al aumento de la traslocación de azúcares desde las hojas y hacia los frutos como de la movilización y degradación de las reservas de almidón dentro del fruto (Tucker, 1993). No obstante, la RM puede variar cuando las plantas de uchuva reciben diferentes láminas de riego, por lo que al aumentar la cantidad de agua aplicada la RM disminuye, lo que sugiere, que aplicar una lámina de riego mayor (coeficiente de 1,3) afecta en mayor proporción la concentración de azúcares que la de acidez, similar comportamiento presenta la RM en frutos de tomate, cuando las plantas son sometidas a un estrés hídrico, la RM aumenta (Beckles, 2012).

4.3.4 pH de los frutos de uchuva:

Esta variable mostró diferencias estadísticas significativas entre las frecuencias de riego aplicadas. La frecuencia de riego de 14 días presentó los mayores valores de pH (tabla

5). Ni la lámina de riego ni la dosis de calcio afectaron de forma significativa el comportamiento del pH de los frutos de uchuva al momento de la cosecha. Los promedios de pH encontrados para los frutos de uchuva son ligeramente superiores a los encontrados por Martínez *et al*. (2008) y Herrera (2000) quienes reportan valores que oscilaron entre 3,5 y 3,7 para frutos en estado de madurez 5 y 6, respectivamente, lo que indica que los frutos de esta investigación son menos ácidos.

Según Paliyath y Murr (2008), la acidez de los frutos depende del contenido de ácidos orgánicos almacenados en la vacuola, los cuales disminuyen a medida que el fruto madura debido a que muchos de estos se transforman en azúcares, proceso denominado gluconeogenesis. Durante el llenado de los frutos gran parte de la actividad de acumulación se da por simporte en donde los iones H^+ juegan un papel importante, ya que hacen parte de la formación de sustratos como la sacarosa y la glucosa, por lo que su concentración a nivel vacuolar disminuye y el pH se ve ligeramente aumentado (Marschner, 2002). A medida que la frecuencia de riego se hizo más prolongada (14 días) el pH de los frutos aumentó, por lo que estos fueron menos ácidos, similar a lo encontrado por Marín *et al*. (2009) en pepino, del mismo modo, estos autores tampoco encontraron efecto de las dosis de calcio sobre el pH.

4.3.5 Firmeza de los frutos:

La lámina y la frecuencia de riego no presentaron diferencias significativas en la firmeza de los frutos de uchuva (tabla 5), esta presentó un valor promedio de 9,91 N con una desviación estándar de 0,55, el cual es levemente menor al encontrado por Amezquita *et al*. (2008) de 11,19 N y al reportado para resistencia a la penetración por Ciro *et al*. (2007) de 13,1 N para frutos maduros, 16,8 N para frutos pintones y 23,2 N para frutos verdes de uchuva.

Algunos autores afirman que al disminuir el riego, la firmeza de los frutos aumenta, como en manzana (Parés *et al*., 2010), durazno (Rufat *et al*., 2010; Alcobendas *et al*., 2012) y pera (Pérez-Marín *et al*., 2011), esta disminución es atribuida debido a que el estrés hídrico reduce el tamaño de los frutos y los frutos más pequeños tienden a ser más compactos y firmes que los frutos grandes (López *et al*., 2011). Así mismo, Guichard *et al*. (2001) y Patané y Cosentino (2010) mencionan que en tomate el incremento en la

firmeza de los frutos, cuando se aplican menores cantidades de agua ocurre debido a que disminuye la presión de turgencia, lo que permite una menor presión sobre la pared celular y entonces esta tiene una elasticidad epidermal más alta.

Sin embargo, Porro *et al*. (2010) encontraron que en vid la disminución de la cantidad de agua aplicada redujo la firmeza de los frutos, al igual que Mpelasoka *et al*. (2000) en manzana, del mismo modo, Ritenour *et al*. (2002) mencionan que el déficit de agua afecta los frutos al momento de la cosecha, ya que estos son más blandos y tienden a estar arrugados, lo cual disminuye la firmeza.

Para el caso presentado en los frutos de uchuva, es probable, que la firmeza se hubiera podido incrementar con los tratamientos de menor aplicación de agua, no obstante estos, presentaron los frutos de menor tamaño, situación que puede haber originado la similitud en los valores de firmeza, pues frutos más pequeños generalmente tienden a presentar mayor firmeza debido a que presentan mayor densidad celular (Volz *et al*., 2003), lo que explica el hecho de no encontrar diferencias significativas entre los diferentes regímenes de riego evaluados.

Las dosis de calcio aplicadas a las plantas de uchuva no influyeron significativamente en la firmeza de los frutos al momento de la cosecha. No obstante, cuando se aplicó Ca^{2+} los frutos presentaron 1,6% más de firmeza. A pesar de no presentar diferencias en los niveles de resistencia a la penetración, los frutos que recibieron Ca^{2+} presentaron un 11% menos de rajado (Álvarez-Herrera *et al*., 2012), lo que resalta la importancia que tiene en la calidad de los frutos la aplicación de calcio, ya que este tiene la capacidad de brindarle mayor resistencia a la pared celular y contribuye a engrosarla (Marschner, 2002). Al respecto, Dong *et al*. (2009) aplicaron diferentes dosis de calcio en naranjas y mencionan que este elemento tuvo un gran efecto en mantener la integridad y la estructura de la membrana celular, así como también en disminuir los niveles de actividad de enzimas que degradan la pared celular, como por ejemplo la pectinesterasa (PE), ya que contribuye a fortalecer la adhesión célula a célula y a mantener la relación de rigidez y extensibilidad de la misma (Phan *et al*., 2007).

Es probable que la aplicación de calcio no haya tenido un efecto marcado sobre la firmeza de los frutos ya que esta pudo tener un efecto reducido al ser combinada con

tratamientos de riego, pues estas condiciones pueden haber disminuido por exceso o déficit de agua, la cantidad de calcio absorbida por la planta, y a su vez la cantidad de agua suministrada al fruto (Silber *et al*., 2003).

4.3.6 β-caroteno:

Los valores de carotenoides totales (CT) no presentaron diferencias estadísticas significativas para ninguno de los factores evaluados (tabla 6). No obstante, la mayor aplicación de agua (1,3) generó un 44% más de contenido de CT con un promedio general de 0,56 mg 100 g^{-1}, del mismo modo, cuando se aplicó agua con una frecuencia de riego de 14 días, los frutos de uchuva presentaron un nivel de CT 35% superior frente a la aplicación de riego cada 4 días. Estos valores son bajos si se comparan con los resultados encontrados por Encina *et al*. (2007) de 1,77 mg 100 g^{-1} y Repo y Encina (2008) quien menciona valores de hasta 2,64 mg 100 g^{-1}. Fischer *et al*. (2000) encontraron que el ecotipo Colombia presenta la menor cantidad de carotenoides respecto a los ecotipos Kenya y Sudáfrica, además, según Fischer (1995), el β-caroteno es el carotenoide mas abundante en uchuva, seguido por el α-caroteno y la β-criptoxantina.

El contenido de carotenoides disminuyó conforme la lámina de riego fue menor, esto pudo ocurrir debido a que los carotenoides son considerados muy susceptibles al daño oxidativo bajo condiciones de estrés severo (Doupis *et al*., 2013), además, un estrés intenso daña los cloroplastos y por lo tanto la cantidad de pigmentos fotosintéticos disminuye (Khalid y Cai, 2011), al respecto, Liu *et al*. (2011) mencionan que cuando ocurre un estrés hídrico severo la función de barrido de las especies reactivas de oxigeno realizada por los antioxidantes se ha dañado, lo que podría haber originado los bajos valores de CT en los frutos de uchuva provenientes de las plantas que recibieron la aplicación de un 70% de la evaporación, resultados similares de disminución de CT por efecto del estrés se encontraron en *Rosmarinus officinalis* (Munné-Bosch y Alegre, 2000) y tomate (Sánchez-Rodríguez *et al*., 2012), no obstante, se conoce que cuando las plantas presentan estrés hídrico se induce la biosíntesis de ácido absícico (ABA) el cual estimula la ruta del ácido mevalónico, lo que incrementa la actividad antioxidante y la acumulación de carotenoides (Lim *et al*., 2012), dicho incremento también es un

mecanismo de defensa en contra del daño irreversible del fotosistema II y trata de regular el desarrollo normal de la planta en respuesta al estrés (Doupis *et al*., 2013).

Del mismo modo, Wang *et al*. (2011) mencionan que el déficit de riego incrementó el contenido de etileno en tomate, lo que a su vez aumentó la concentración de carotenoides por la reducción de la clorofila, también afirman que cuando las plantas de tomate recibieron menor cantidad de agua presentaron los frutos de menor tamaño, por lo que el contenido de CT es mayor (efecto concentración), y mencionan que estas mediciones deberían hacerse en relación a la masa seca con el fin de tener una idea más clara del comportamiento de los CT. El aumento en el contenido de carotenoides a causa de estrés hídrico ha sido observado en olivo (Doupis *et al*., 2013), tomate (Wang *et al*., 2011; Zushi y Matsuzoe, 1998), limón (Khalid y Cai, 2011) y pepino (Marín *et al*., 2009).

En cuanto a las dosis de calcio aplicadas a las plantas de uchuva, estas no influyeron de forma significativa en la concentración de CT de los frutos, situación similar a la reportada por Kaddour *et al*. (2012) en *Arabidopsis*, no obstante, estos autores mencionan que el calcio tuvo un efecto importante en la disminución de la fuga de electrolitos de las células, debido al mantenimiento de la integridad que brinda este elemento a la membrana celular. Al respecto, Singh *et al*. (2012) probaron en zanahoria (*Daucus carota*) el efecto del calcio como enmienda sobre el contenido de CT y no encontraron diferencias significativas, por lo cual afirman que la presencia de calcio activa rutas que no inhiben la biosíntesis o el incremento del catabolismo de los carotenos. El efecto del calcio sobre el contenido de CT no es claro aún, ya que Paiva *et al*. (1998) probaron diferentes concentraciones de calcio en una solución nutritiva aplicada a plantas de tomate y encontraron que a medida que la cantidad de Ca^{2+} aplicado se incrementó, los frutos aumentaron el nivel de este elemento, mientras que los contenidos de K^{+}, Mg^{2+}, licopeno y carotenos disminuyeron, debido probablemente a la disminución de K^{+}, mientras que Flores *et al*. (2004) probaron diferentes dosis de Ca^{2+}, K^{+} y NO^{3-} en plantas de *Capsicum annuum* cultivadas en invernadero y encontraron que al aumentar el Ca^{2+} aplicado en el suelo, se incrementó tanto el contenido de β-caroteno como la actividad antioxidante de los frutos.

4.3.7 Ácido ascórbico (AA):

La cantidad de agua aplicada no afectó de forma significativa el contenido de AA en los frutos de uchuva (tabla 6), estos presentaron un promedio de 22,47 mg 100 g^{-1} de masa fresca, valor que se encuentra por debajo de los resultados encontrados por Fischer *et al*. (2000), Gutiérrez *et al*. (2007a) y Repo y Encina (2008), los cuales oscilaron entre 30 y 43 mg 100 g^{-1}.

Los bajos valores de AA pueden explicarse debido a que el experimento se llevó a cabo bajo cubierta plástica con una temperatura promedio de 5°C superior a la temperatura en la que normalmente se cultiva esta planta (18/13 °C; Fischer, 2000), lo que concuerda con lo reportado por Gutiérrez *et al*. (2007b), quienes afirman que el AA de los frutos es mas sensible a los cambios de temperatura, y que a mayor temperatura el tiempo de vida media del AA disminuye y este se degrada más rápido, del mismo modo, debido a que bajo cubierta la radiación solar es menor, es probable que los frutos hayan generado menor cantidad de AA, acorde a lo reportado por Dumas *et al*. (2003), además es probable, que el suministrar riego de forma poco frecuente y en condiciones de invernadero haya afectado el desarrollo normal de la planta y así mismo el contenido de AA.

En cuanto a las frecuencias de riego, estas mostraron un efecto significativo en el AA presentado por los frutos de uchuva al momento de la cosecha (tabla 6). La frecuencia de riego de 14 días originó frutos con un 16% más de AA que cuando se regó cada 4 días. Este resultado coincide con lo reportado por Jubany-Marí *et al*. (2010), quien afirma que a medida que aumenta el estrés hídrico se incrementa el contenido de AA. Así mismo ocurrió en tomate (Wang *et al*., 2011; Patané *et al*., 2011), fresa (Liu *et al*., 2001), mandarina (Navarro *et al*., 2010) y pepino (Marín *et al*., 2009).

El incremento en el contenido de AA ocurre probablemente por que una vez se produce la primera señal de estrés hídrico en la planta, el ácido absícico (ABA) se incrementa, este genera un importante aumento de H_2O_2 el cual a su vez eleva los niveles de AA (Jubany-Marí *et al*. (2010). Al respecto, Lurie (2003) menciona que en presencia de H_2O_2 en la pared celular, se incrementa la actividad de la ascorbato peroxidasa la cual cataliza la reducción del H_2O_2 a agua, usando el poder reductor del ascorbato, proceso en el cual

se genera monodihidroascorbato (MDHA) y dihidroascorbato (DHA), el DHA es traslocado de regreso al citoplasma donde es reducido en el ciclo denominado ascorbato-glutation por la dihidroascorbato reductasa (DAHR) usando glutation como donante de electrón, además el MDHA puede ser reducido a AA por la monodihidroascorbato reductasa (MDHAR) (Forney, 2003), lo que finalmente contribuye a elevar los niveles de AA a causa del estrés hídrico. No obstante, Li *et al*. (2012) encontraron que al aplicar una menor cantidad de agua disminuyó el contenido de AA, y menciona que si el estrés hídrico provocado es muy severo, la acumulación de AA disminuye en los frutos de melón, así como en fresa cv. Elsanta (Giné-Bordonaba y Terry, 2010); esta disminución en el AA a causa de un estrés hídrico severo esta acompañada por un incremento en el estado de oxidación debido a una acumulación de DHA y por pérdida de turgencia y daño oxidativo irreversible (Jubany-Marí *et al*., 2010). El AA es sintetizado a partir de la glucosa, y no solo es importante para las plantas sino también para la salud humana, por lo que constituye un parámetro de calidad de los frutos (Lurie, 2003).

Tabla 6. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en el contenido de carotenoides totales y ácido ascórbico de frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero.

Factor	Nivel del factor	Variable	
		CT (mg 100 g^{-1})	AA (mg 100 g^{-1})
Coeficiente de riego	0,7	0,4463 a	21,548 a
	0,9	0,5244 a	23,888 a
	1,1	0,6260 a	22,283 a
	1,3	0,6461 a	22,196 a
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	0,5936 a	23,241 a
	50	0,5118 a	22,346 a
	100	0,5767 a	21,849 a
Frecuencia de riego (días)	4	0,4952 a	21,573 ab
	9	0,5148 a	20,842 b
	14	0,6721 a	25,021 a

CT: carotenoides totales; AA: ácido ascórbico; Promedios con letras distintas en la misma columna y clasificados por factor indican diferencias significativas entre niveles del factor según la prueba de Tukey (*P* ≤0,05).

Las dosis de calcio aplicadas no presentaron diferencias significativas en el contenido de AA en los frutos de uchuva, no obstante, cuando no se aplicó Ca^{2+}, el nivel de AA fue 6,3% superior a los frutos de los tratamientos cuyas plantas recibieron 100 kg ha^{-1} de este nutriente. Aguayo *et al*. (2010) afirman que la aplicación de ascorbato de calcio mantuvo por más tiempo el contenido de AA en los frutos de manzano, ya que el Ca^{2+} retarda la maduración, por lo que el proceso de oxidación y pérdida de AA es menor. Más aun, Mestre *et al*. (2012) probaron diferentes concentraciones de Ca^{2+} en tomate y determinaron que la deficiencia de Ca^{2+} afectó la actividad de las principales enzimas responsables de la detoxificación de especies reactivas de oxígeno, lo cual permitió la acumulación de H_2O_2 y generó un incremento en la oxidación lipídica, así como también un aumento en la permeabilidad de la membrana y la aparición de pudrición apical en tomate, del mismo modo, encontraron un incremento en la actividad enzimática de la superoxido dismutasa (SOD), la DHAR y la MDHAR, las cuales están relacionadas con la regeneración de AA y DHA, con el fin de preservar el AA de la oxidación, esto como mecanismo de defensa en contra del estrés (Hernández *et al*., 2001). Es probable, que no se hayan presentado diferencias significativas para el caso de uchuva debido a que esta no acumula gran cantidad de calcio en los frutos a pesar de provenir de plantas que reciben diferentes aplicaciones de Ca^{2+} (Capítulo 4.5), lo que puede ser una de las razones por las cuales el incremento en el AA no fue significativo.

4.3.8 Color:

La lámina de riego y las dosis de calcio no afectaron de forma significativa los parámetros evaluados para el color en los frutos de uchuva (tabla 7). La luminosidad (L) tuvo un valor promedio de 28,5, mientras que los valores de a y b fueron de 17,8 y 16,5, respectivamente, así mismo, el índice de color (CI) fue de 39,24, los cuales corresponden a frutos de color naranja en estado de madurez de consumo, estos datos al compararse con los reportados por Duque *et al*. (2007) para L, a y b (39,170; 3,042 y 13,024, respectivamente), en la escala Hunter permiten inferir que estos autores recolectaron los frutos en un estado de madurez menos avanzado. Del mismo modo, Duque *et al*. (2011)

encontraron que el concentrado de uchuva presenta mayor CI respecto a la pulpa y la epidermis de la fruta, sin embargo, no reportan valores de las mediciones realizadas, aun así, Mazorra *et al*. (2003) afirman que los frutos sobremaduros con color naranja tienen mayor tendencia a sufrir problemas de rajado y además, presentan una reducción en tamaño y masa en este estado (Fischer y Martínez, 1999).

Tabla 7. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la cantidad de luminosidad (L), cromaticidad de verde a rojo (a), cromaticidad de azul a amarillo (b) y el índice de color (CI) en frutos de uchuva de plantas cultivas en invernadero.

Factor	Nivel del factor	Variable			
		L	a	b	CI
Coeficiente de riego	0,7	30,386 a	19,204 a	17,497 a	43,725 a
	0,9	29,673 a	18,041 a	17,333 a	39,456 a
	1,1	27,469 a	17,993 a	15,812 a	38,339 a
	1,3	26,848 a	16,305 a	15,710 a	35,447 a
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	27,483 a	17,627 a	16,031 a	42,109 a
	50	29,814 a	18,691 a	17,232 a	38,538 a
	100	28,485 a	17,340 a	16,501 a	37,078 a
Frecuencia de riego (días)	4	29,267 a	18,135 a	17,015 a	37,480 a
	9	30,557 a	18,298 a	17,684 a	34,912 a
	14	25,958 b	17,225 a	15,065 a	45, 333 a

Promedios con letras distintas en la misma columna y clasificados por factor indican diferencias significativas entre niveles del factor, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Al analizar la frecuencia de riego, esta presentó diferencias significativas en la L y el CI, mas no en los valores de a y b. Lo anterior indica que el valor del croma en los frutos de uchuva no fue afectado por la variación del nivel de estrés hídrico, no obstante, la luminosidad de los frutos si se vio afectada por la variación en la frecuencia de riego. Los frutos de uchuva provenientes de las plantas que recibieron un riego cada 14 días,

presentaron un 15% menos de luminosidad que los frutos de la frecuencia de riego de cada 4 días. Es probable que la disminución en la luminosidad de los frutos a causa del estrés que produce la frecuencia de riego de 14 días, produzca un oscurecimiento del fruto, el cual es atribuido a un proceso de oxidación y perdida de humedad (Restrepo y Aristizabal, 2010), así mismo, el proceso de oxidación puede estar dado por la degradación de las clorofilas causado por la clorofilasa, peroxidasa (Cogo *et al*., 2011) y feofitinasa (Schelbert *et al*., 2009). Al respecto, Giné-Bordonaba y Terry (2010) mencionan que el déficit de riego tiene un efecto considerable en el color de los frutos, y que los frutos de fresa presentan una menor intensidad del color y luminosidad cuando son sometidos a un 25% del riego normal, producto de una menor acumulación de antocianinas, del mismo modo, Cliff *et al*. (2012) al incrementar la conductividad eléctrica y causar estrés hídrico en plantas de tomate obtuvieron frutos con una mayor coloración rojiza.

4.4. Efecto de diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio en la poscosecha de los frutos de uchuva

4.4.1 Pérdida de masa fresca:

Esta variable no presentó diferencias significativas para el factor lámina de riego, ni para la interacción lámina de riego por dosis de calcio (tabla 8), no obstante, para la frecuencia de riego y la dosis de calcio presentó diferencias significativas sólo a los 6 días (d) de almacenamiento, mientras que a los 11 y 16 d no hubo diferencias entre los tratamientos evaluados (figura 24).

Tabla 8. Valores de F del Anova de las variables poscosecha evaluadas en frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio, y frecuencias de riego

ddc	Fuente de variación	MF	Firmeza (N)	SST (%)	ATT (%)	pH	RM	L	a	b	CI
1	Lr	0,36	0,22	0,96	4,57*	0,51	3,45*	1,47	1,24	1,33	1,27
	Ca	0,11	2,20	13,3***	0,14	0,40	2,75	0,87	0,42	0,66	0,96
	Lr x Ca	0,84	2,10	0,42	1,42	0,61	0,72	1,19	0,52	0,98	1,61

	Fr	1,52	2,80	3,54*	8,06**	10,3***	5,79**	3,46*	0,19	3,17	4,22*
	Lr	0,36	0,69	0,04	5,85**	1,01	2,40	1,60	1,23	1,37	3,04
6	Ca	0,14	1,44	0,80	2,39	0,38	0,12	0,75	0,12	0,71	0,88
	Lr x Ca	0,79	1,95	2,38	1,42	0,74	1,35	1,11	1,13	1,11	0,50
	Fr	1,48	1,49	17,3***	6,36**	1,35	11,5***	1,37	0,22	1,34	1,46
	Lr	0,17	0,78	1,45	3,74*	1,00	6,06**	1,52	1,40	1,35	1,91
11	Ca	0,27	0,09	2,04	0,13	0,34	0,70	0,42	0,09	0,39	0,55
	Lr x Ca	0,51	2,66*	0,57	0,93	0,36	0,69	0,92	0,79	0,92	0,45
	Fr	0,90	0,21	7,07**	0,18	18,9***	1,12	1,03	0,53	1,01	0,84
	Lr	0,39	0,84	1,15	3,57*	0,66	2,01	1,44	1,57	1,34	0,79
16	Ca	0,18	0,54	1,96	0,07	0,97	0,77	0,09	0,05	0,08	0,22
	Lr x Ca	0,74	1,04	0,48	1,44	0,80	0,60	0,73	0,46	0,74	0,40
	Fr	1,41	1,85	5,32*	11,7***	3,52*	7,34**	0,70	0,84	0,67	0,23

Lr: lámina de riego; Ca: dosis de Calcio; Fr: frecuencia de riego; ddc: días después de cosecha; MF: masa fresca SST: sólidos solubles totales; ATT: acidez total titulable; RM: relación de madurez; L: luminosidad; a: cromaticidad de verde a rojo; b: cromaticidad de azul a amarillo; y CI: índice de color.

*,**,***, indican efecto significativo con $P \leq 0{,}05$, $P \leq 0{,}01$, $P \leq 0{,}001$, respectivamente.

Los frutos de uchuva provenientes de plantas que recibieron dosis de Ca^{2+} de 100 kg ha^{-1} presentaron menor pérdida de masa fresca que el tratamiento control y que la aplicación de 50 kg ha^{-1} de Ca^{2+}. Estos resultados concuerdan con lo encontrado para otros frutos como piña (Silva *et al*., 2003), *Averrhoa carambola* L. (Neves *et al*., 2004), fresa (Figueroa *et al*., 2012), uva (Ciccarese *et al*., 2013), manzana (Shirzadeh *et al*., 2011; Hussain *et al*., 2012), mango (Galvis *et al*., 2003), guayaba (Goutam *et al*., 2010), albaricoque (Ishaq *et al*., 2009) y durazno (Gupta *et al*., 2011), ya que el calcio tiene la ventaja de retardar la respiración celular, favorecer el mantenimiento de la firmeza por más tiempo (Conway *et al*., 2002; Hussain *et al*., 2012) e inhibir la actividad de un gran número de enzimas (Pilbeam y Morley, 2007). No obstante, uno de los grandes problemas en poscosecha es hacer llegar suficiente Ca^{2+} al fruto (Conway *et al*., 2002), problema que también sufre la uchuva, ya que los frutos no acumulan grandes cantidades de calcio, a pesar de haber recibido diferentes aplicaciones de este nutriente en la fertilización precosecha (Capítulo 5.1), con lo cual la adición edáfica de Ca^{2+} en precosecha tiene un efecto reducido en la transpiración poscosecha de los frutos de uchuva, efecto que a los 11 d de almacenamiento se perdió. Al respecto, Conway *et al*.

(2002) mencionan que la fertilización al suelo con Ca^{2+} en precosecha tiene muy pocos resultados sobre la concentración de Ca^{2+} en los frutos y que el método más efectivo es la aplicación directa sobre los mismos, labor que en los cultivos de uchuva se dificulta debido a que este fruto posee cáliz, el cual cubre este órgano totalmente.

La frecuencia de riego de 14 d presentó los frutos con menor pérdida de masa fresca a los 6 d de almacenamiento, mientras que los frutos de las plantas que recibieron riego cada 4 días presentaron mayor pérdida de masa. Es probable que estos frutos al recibir un mayor aporte hídrico hayan llegado a la cosecha con mayor cantidad de agua en los tejidos, por lo que el proceso de transpiración fue más rápido con la consecuente pérdida de agua. La ausencia de diferencias significativas en la pérdida de masa fresca de los frutos a partir del día 11 de almacenamiento, se explica debido a que esta pérdida es atribuida principalmente a la transpiración durante la maduración poscosecha y en menor medida al consumo de sustratos empleados en el proceso de respiración (Kays y Paull, 2004; Hernández-Muñoz *et al*., 2006), lo cual, al final se convierte en la principal causa de deterioro de los frutos y así mismo de la calidad (Kader, 2013). Para Burg (2004), la pérdida de masa fresca en los frutos es ocasionada por la pérdida de agua, y durante periodos largos de almacenamiento esta es mayor, del mismo modo, Kader (2013) menciona que la pérdida de agua es directamente proporcional al déficit de presión de vapor (DPV) entre el producto y el ambiente, por lo que a mayor DPV, las pérdidas de agua aumentaran, con lo cual el efecto inicial de los tratamientos se ve disminuido.

La pérdida de masa fresca de los frutos de uchuva fue del 8,9% en promedio a lo largo de los 16 d de almacenamiento poscosecha a 18°C, superior al 4,5% determinado por Lanchero *et al*. (2007) en frutos de uchuva almacenados durante 4 semanas y al 6,7% obtenido para uchuvas almacenados a 1°C por Garzón-Acosta *et al*. (2013). Al analizar la pérdida de masa fresca en el tiempo esta presentó diferencias significativas entre las épocas de muestreo (tabla 9), lo que ocurre debido al proceso de transpiración de los frutos y pérdida de agua (Kader 2013), producto del déficit de presión de vapor (DPV) entre la humedad interna del fruto y la humedad relativa del ambiente (75%), lo cual origina la difusión del vapor de agua dentro del fruto hacia la atmósfera (Burg, 2004). Los valores presentados en los frutos de uchuva están dentro de los rangos reportados por Ávila *et al*. (2006), quienes encontraron pérdidas de masa fresca en uchuvas de entre 8% y 17% al cabo de 20 d, del mismo modo mencionan que la pérdida de masa fresca en los

frutos no puede superar el 5% ya que esto significa el deterioro de la calidad comercial del producto, por lo que los frutos de uchuva evaluados en el presente estudio perdieron aproximadamente a los 8 d la posibilidad de comercialización (figura 24).

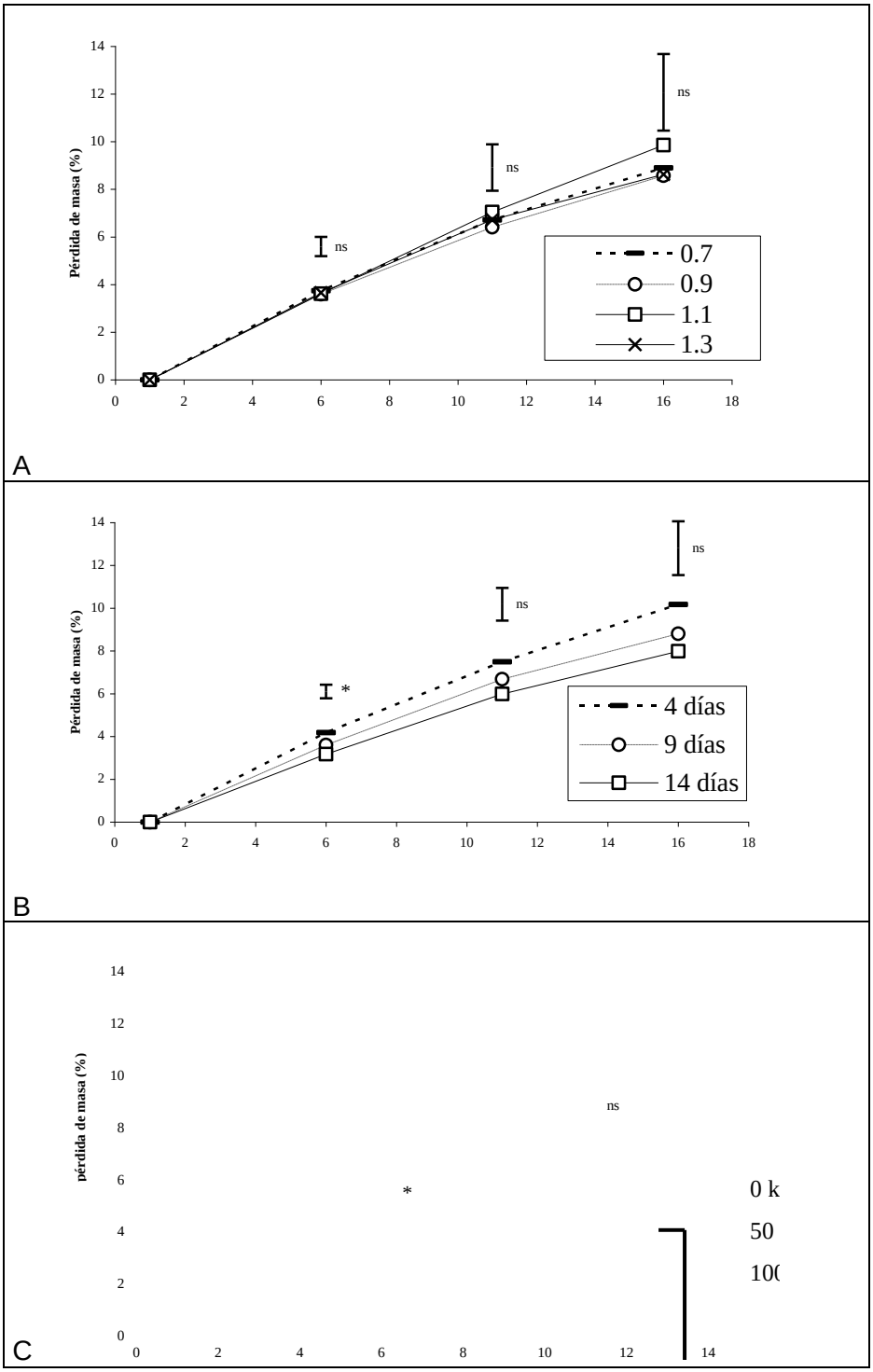


Figura 24. Pérdida de masa fresca en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) diferentes frecuencias de riego y C) diferentes dosis de calcio en kg ha^{-1}. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *: indica efecto significativo con *P* ≤0,05.

Tabla 9. Masa fresca, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable, pH y relación de madurez de frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio y frecuencias de riego.

		Coeficiente de riego				Dosis de calcio (kg ha^{-1})			Frecuencia de riego (días)		
Variable	ddc	0,7	0,9	1,1	1,3	0	50	100	4	9	14
MF (g)	1	5,29a	5,68a	5,50a	5,60a	5,58a	5,42a	5,54a	5,66a	5,17a	5,72a
	6	5,09a	5,48a	5,30a	5,40a	5,38a	5,21a	5,36a	5,43a	4,98a	5,54a
	11	5,04a	5,32a	5,11a	5,23a	5,20a	5,03a	5,29a	5,24a	4,91a	5,38a
	16	4,81a	5,19a	4,96a	5,12a	5,07a	4,91a	5,09a	5,09a	4,71a	5,27a
Firmeza (N)	1	11,04a	10,81a	10,75a	11,03a	11,29a	10,49a	10,94a	10,91a	11,05a	11,27a
	6	10,68a	10,60a	10,75a	10,59a	10,88a	10,46a	10,39a	10,97a	10,39a	10,88a
	11	10,51a	10,50a	10,74a	10,37a	10,59a	10,45a	10,39a	10,65a	10,35a	10,84a
	16	8,39a	8,82a	8,72a	8,85a	8,77a	8,53a	8,79a	8,73a	8,95a	8,41a
SST (%)	1	16,03a	15,65a	16,02a	15,74a	16,03a	16,38a	15,17b	15,86ab	16,18a	15,54b
	6	15,75a	15,83a	15,80a	15,80a	15,89a	15,83a	15,66a	15,18b	15,98a	16,22a
	11	15,24a	15,51a	15,64a	15,80a	15,78a	15,16a	15,30a	15,10a	15,55ab	16,00a
	16	15,46a	15,95a	15,91a	15,77a	15,85a	15,98a	15,50a	15,40a	15,71ab	16,21a
ATT (%)	1	2,15a	2,06ab	1,95b	2,02ab	2,05a	2,04a	2,02a	2,15a	2,00b	1,97b
	6	2,74a	2,72a	2,57ab	2,46b	2,60a	2,70a	2,56a	2,76a	2,56b	2,55b
	11	2,23a	2,25a	2,07a	2,07a	2,15a	2,17a	2,14a	2,13a	2,16a	2,16a
	16	2,23a	2,08ab	2,14ab	1,97b	2,12a	2,09a	2,11a	2,31a	2,01b	2,00b
RM	1	7,49b	7,59ab	8,23a	7,91ab	7,85a	8,04a	7,53a	7,39b	8,13a	7,90ab
	6	5,71a	6,05a	6,13a	6,43a	6,03a	6,07a	6,14a	5,43b	6,45a	6,36a
	11	6,85b	6,89b	7,59a	7,65a	7,35a	7,20a	7,19a	7,10a	7,21a	7,42a
	16	7,01a	7,65a	8,15a	8,05a	7,99a	7,72a	7,43a	6,72b	8,29a	8,13a
pH	1	3,71a	3,69a	3,69a	3,69a	3,69a	3,69a	3,70a	3,74a	3,67b	3,67b
	6	3,77a	3,75a	3,72a	3,76a	3,75a	3,74a	3,76a	3,78a	3,74a	3,74a
	11	4,08a	4,03a	4,05a	4,04a	4,05a	4,04a	4,06a	4,14a	4,01b	4,01b
	16	4,08a	4,09a	4,07a	4,05a	4,05a	4,09a	4,07a	4,10a	4,04b	4,08ab
L	1	26,84	29,67	27,46a	30,51a	27,48a	29,81a	28,57	29,26a	30,55a	26,05b

		a	a					a	b		
	6	26,17 a	28,72 a	27,46a	28,08a	26,94a	28,23a	27,65 a	26,69a	28,42a	27,72a
	11	23,92 a	26,91 a	25,59a	26,42a	24,94a	26,42a	25,77 a	25,16a	27,08a	24,89a
	16	18,75 a	21,58 a	22,25a	24,26a	21,15a	22,09a	21,90 a	21,37a	23,23a	20,53a
a	1	17,99 a	19,20 a	16,30a	18,41a	17,62a	18,69a	17,62 a	18,13a	18,29a	17,57a
	6	22,28 a	22,80 a	21,32a	20,85a	21,73a	22,08a	21,61 a	21,48a	22,13a	21,82a
	11	20,52 a	22,22 a	21,35a	21,51a	21,35a	21,70a	21,15 a	21,36a	22,05a	20,79a
	16	16,72 a	21,05 a	20,83a	21,48a	19,62a	20,15a	20,29 a	20,02a	21,42a	18,62a
b	1	15,71 a	17,33 a	15,81a	17,58a	16,03a	17,23a	16,56 a	17,01a	17,68a	15,13a
	6	15,57 a	17,03 a	16,20a	16,51a	15,95a	16,71a	16,33 a	15,77a	16,81a	16,40a
	11	14,28 a	15,65 a	15,12a	16,26a	14,92a	15,78a	15,28 a	14,76a	15,99a	15,23a
	16	11,11 a	12,98 a	13,29a	14,39a	12,60a	13,13a	13,10 a	12,70a	13,87a	12,26a
Cl	1	43,72 a	38,33 a	39,45a	35,44a	42,10a	38,53a	37,07 a	37,48a	34,91a	45,33a
	6	56,24 a	46,76 a	48,22a	45,63a	51,76a	47,53a	48,34 a	52,45a	46,93a	48,26a
	11	60,07 a	52,76 a	55.17a	50,07a	57,37a	52,04a	53,71 a	57,51a	50,92a	54,84a
	16	91,24 a	77,83 a	72,15a	70,96a	82,80a	74,82a	76,51 a	81,39a	73,14a	79,61a

Promedios con letras distintas en la misma fila y clasificados por factor, indican diferencias estadísticas significativas entre niveles del factor, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

4.4.2 Firmeza:

Al evaluar el efecto de los factores de riego y su interacción con el calcio en el comportamiento de la firmeza, el anova no presentó diferencias estadísticas significativas a lo largo de las mediciones realizadas durante los 16 d de evaluación poscosecha de los frutos de uchuva (tabla 8). Los frutos provenientes de plantas sometidas a distintas láminas de riego no presentaron diferencias significativas en la firmeza durante el almacenamiento, no obstante, la aplicación de un coeficiente de riego de 0,7 presentó frutos con una firmeza 5,4% menor a los frutos de plantas regadas con una lámina de 1,3 veces la evaporación al cabo de los 16 d, del mismo modo ocurrió con la frecuencia de riego, ya que los frutos regados cada 14 d presentaron un 3,6% menos de firmeza que

los frutos regados cada 4 días, sin que se presentaran diferencias estadísticas significativas. Al respecto, se ha encontrado que cuando se disminuye la cantidad de agua aplicada, los frutos son más blandos y tienden a presentar arrugamiento, lo cual correlaciona con la pérdida de turgencia y por lo tanto una menor firmeza (Ritenour *et al*., 2002), este comportamiento se ha observado en vid (Porro *et al*., 2010) y manzana (Mpelasoka *et al*., 2000).

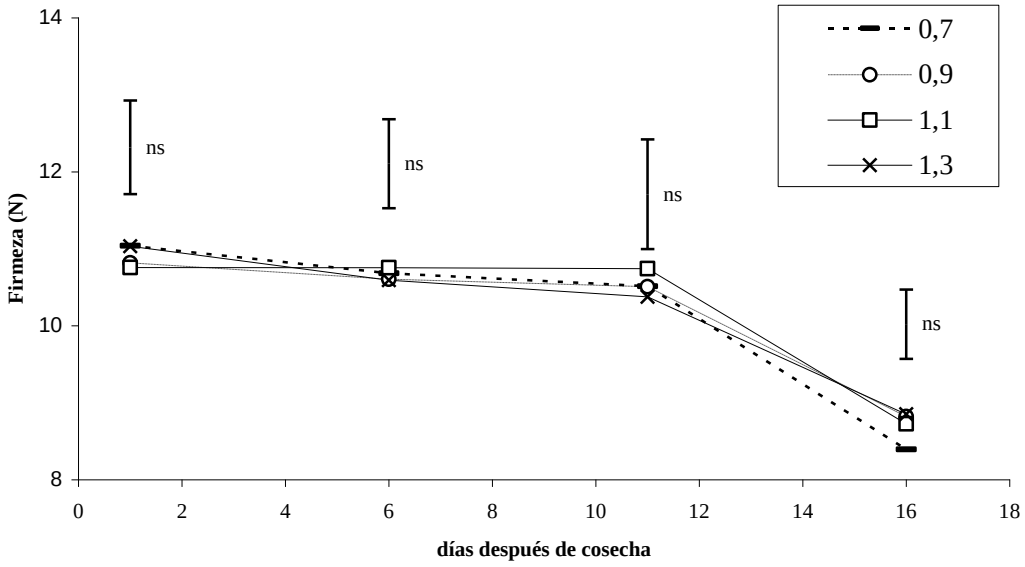


Figura 25. Firmeza en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes láminas de riego. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo.

La firmeza de los frutos no presentó diferencias significativas cuando las plantas fueron fertilizadas con diferentes dosis de calcio debido probablemente a que el Ca^{2+} que es aplicado en la fertilización es absorbido por la planta de uchuva y acumulado en las hojas y el cáliz y no es retraslocado hacia los frutos con los cual la concentración de Ca^{2+} en estos permanece constante independientemente de la fertilización realizada con este elemento (Capitulo 4.5). Además, Silber *et al*. (2003) mencionan que cuando se realizan tratamientos de riego, la cantidad de calcio absorbida por la planta disminuye tanto por déficit como por exceso de riego, por lo que la cantidad del elemento suministrada al fruto no es eficiente. Cabe resaltar que el Ca^{2+} desempeña un papel importante en el mantenimiento de la calidad de los frutos (Hernández-Muñoz *et al*., 2006), y que la

firmeza es uno de los atributos más importantes a la hora de la manipulación poscosecha y la comercialización del producto (Paniagua *et al*., 2013), lo que resalta el papel del Ca^{2+} ya que mantiene la estabilidad e integridad de la pared celular, al ligarse a los residuos del ácido galacturónico, principal componente de las pectinas, con lo cual forma un gel pectina-calcio, el cual afecta positivamente las propiedades mecánicas de la pared celular y le confiere mayor rigidez (Negi y Handa, 2008), de tal manera que conforme mayor es la concentración de calcio, los poros de la pectina son más pequeños, debido a la mayor cantidad de enlaces presentes, y la pared celular va a ser más fuerte (Pilbeam y Morley, 2007), por lo que los frutos van a presentar mayor firmeza. Del mismo modo, el Ca^{2+} disminuye la maduración de los frutos y la velocidad de deterioro de los mismos en poscosecha, ya que retarda el rompimiento de las pectinas solubles de la pared celular debido a que estas fortalecen los enlaces iónicos entre las moléculas de la pared celular (Chen *et al*., 2011).

Al analizar la firmeza de los frutos de uchuva en el tiempo, estos presentaron una reducción del 20% en promedio en todos los tratamientos durante el almacenamiento poscosecha. Cabe resaltar que esta disminución no fue tan marcada en los primeros 11 d de almacenamiento y que de los 11 d a los 16 d ocurrió de forma significativa, la mayor pérdida de firmeza del producto, con lo cual se dio inicio al ablandamiento y posterior deterioro de la calidad del fruto (figura 25). Lo anterior puede estar mediado probablemente por un aumento en la producción de etileno (Arellano-Gómez *et al*., 2005), el cual promueve la actividad de enzimas hidrolasas en la pared de la célula que actúan sobre la pectina (Galvis, 2003), específicamente para el caso de uchuva, las enzimas responsables de la solubilización de la pectina pertenecen al grupo de las glicosidasas, ya que la actividad de la poligalacturonasa (PG) durante el ablandamiento del fruto fue baja (Trinchero *et al.,* 1999), no obstante, Majumder y Mazumdar (2002) al evaluar las pectinas de la pared celular de los frutos de uchuva observaron que las pectinas solubles en agua y en oxalato se incrementan con el ablandamiento de la pared, en contraste con las pectinas solubles en ácido y álcali, las cuales disminuyeron conforme el fruto madura, lo cual muestra la degradación a la que son sometidos los componentes de la pared celular. Así mismo, contrario a Trinchero *et al*. (1999), Majumder y Mazumdar (2002) encontraron actividad de la PG a partir del estado 3 de madurez y deducen que la actividad de las PG se incrementa debido a los aumentos previos (etapa 2) del etileno, y puede llegar a alcanzar valores de hasta 0,214 μmol min^{-1}

g^{-1}, lo cual favorece la degradación de la pared celular, del mismo modo, enzimas hidrolasas de pared como la pectinmetilesterasa (PME) disminuyen su actividad a partir del estado 3, lo que indica que estas enzimas no tienen efecto sobre el ablandamiento de la pared celular, sin embargo, Zarra y Revilla (1996) mencionan que la actividad de las PME se da en los primeros estados de crecimiento del fruto rompiendo los enlaces 1,4 de las cadenas de xiloglucano (XG), para facilitar luego la actividad de las PG. Del mismo modo, Negi y Handa (2008) mencionan que la degradación del material péctico tiene una fuerte correlación con la pérdida de firmeza, y mencionan que esta comienza, antes de la separación de los frutos de la planta, con el rompimiento de los XG en los estados iniciales de maduración y continua con la degradación de los poliurónidos cuando la pérdida de la firmeza es excesiva. Por otro lado, la pérdida de la firmeza también puede ocurrir debido a que los frutos en poscosecha pierden una gran cantidad de agua, y según Paniagua *et al*. (2013), la pérdida de humedad es la mayor causa de la pérdida de firmeza.

4.4.3 Sólidos solubles totales:

El Anova mostró diferencias significativas para el factor frecuencia de riego durante todas las mediciones realizadas en el almacenamiento poscosecha (tabla 8) y para la dosis de calcio sólo en la primera medición, producto de las diferencias con las cuales arrancaron los frutos la etapa poscosecha, mientras que la lámina de riego y la interacción lámina de riego por dosis de calcio no afectaron de forma significativa los SST de los frutos de uchuva.

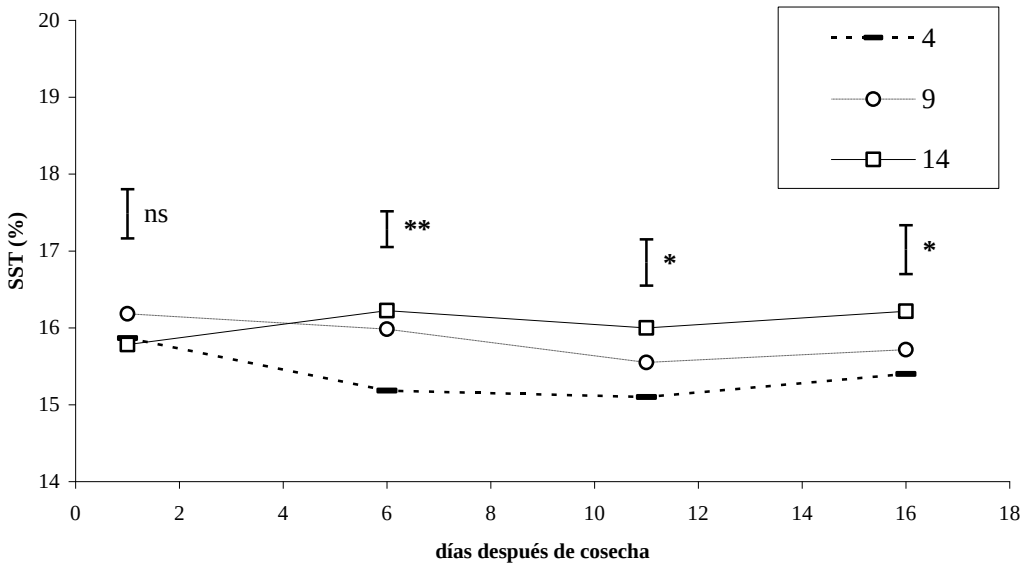


Figura 26. Sólidos solubles totales (SST) en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes frecuencias de riego. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *,**, indican efecto significativo con *P* ≤0,05, *P* ≤0,01, respectivamente.

La frecuencia de riego de 14 d presentó los valores más altos de SST en las 4 fechas de medición, seguida por la aplicación de riego cada 9 y 4 d (tabla 9), estas diferencias se dieron probablemente porque ocurre un ajuste osmótico inducido por el estrés, por lo que se genera un mayor desdoblamiento de carbohidratos de reserva a azúcares más simples empleados en la respiración (Mpelasoka *et al*., 2001), con lo cual se incrementan los SST en los tratamientos de aplicación cada 14 d, del mismo modo, se puede presentar un efecto dilución en el cual al aplicarse un menor suministro de agua, los frutos van a tener un menor contenido de humedad, por lo que la materia seca en concentración se incrementa y los SST aumentarán (Fallahi *et al*., 2010).

Los incrementos en los azúcares libres de los frutos ocurren debido a que durante la maduración aumenta la actividad de las enzimas que hidrolizan el almidón como la α-amilasa, β-amilasa y almidón fosforilasa (Kays, 1997), así mismo, la actividad de la sacarosa sintasa y sacarosa fosfato sintasa aumenta bajo condiciones de estrés hídrico (Qi *et al*., 2003), por lo que se eleva el gradiente de concentración de sacarosa entre las hojas y los frutos, de tal forma que se da un mayor transporte de fotoasmilados hacia los

frutos, y se incrementa la velocidad de transformación de la sacarosa a glucosa y fructosa, lo que finalmente eleva los niveles de SST en el fruto (Kan, 2008).

En la figura 26 se puede apreciar que los SST tienden a disminuir conforme avanza el almacenamiento poscosecha de los frutos hasta el día 11, esta condición es similar a la encontrada en frutos de uchuva (Ávila *et al*., 2006; Garzón-Acosta *et al*., 2013) y papaya (Rivera-López *et al*., 2005). La disminución de los SST en poscosecha es atribuida a que la respiración tiende a aumentar durante el almacenamiento a temperatura ambiente, y por ende se incrementa el consumo de azúcares como sustrato en varios procesos metabólicos (Sharma *et al*., 2008), dentro de los cuales se destaca la glicólisis y la reconversión a sacarosa (Tucker, 1993). A partir de los 11 d de almacenamiento, los SST se incrementan, este efecto ocurre probablemente porque la pérdida de agua por transpiración es mayor que la pérdida de carbohidratos producto de la respiración (Hernández-Muñoz *et al*., 2006), similar a lo encontrado en uchuva (Lanchero *et al*., 2007) y pera (Chen *et al*., 2006).

4.4.4 Acidez total titulable (ATT):

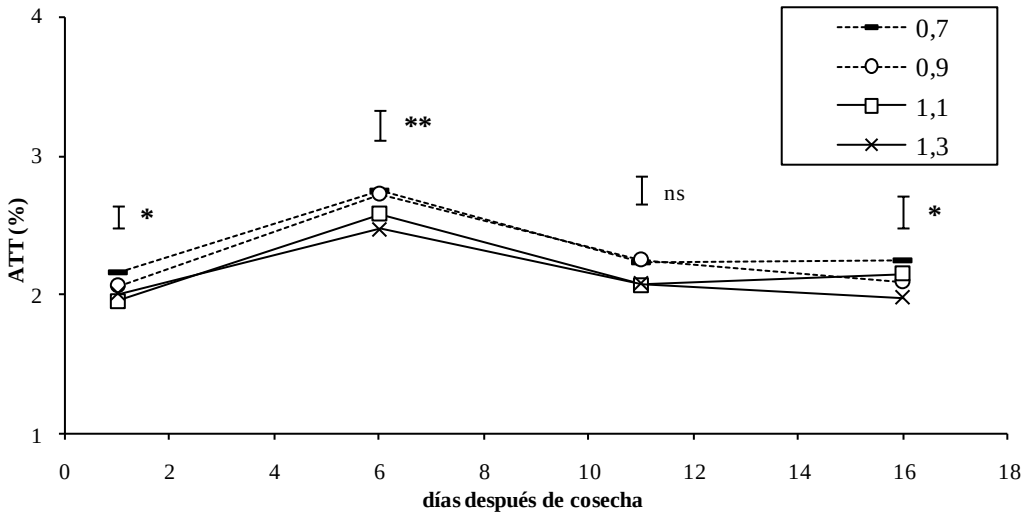
El anova presentó diferencias significativas en cada una de las mediciones realizadas durante el almacenamiento de los frutos de uchuva para el factor lámina de riego y para el factor frecuencia de riego, exceptuando en este último, la tercera medición realizada a los 11 d (tabla 8). La dosis de calcio y la interacción lámina de riego por dosis de calcio no fueron significativos en la variable ATT.

En la figura 27a se puede apreciar que las láminas de riego de 0,7 y 0,9 presentaron la ATT más alta a lo largo de los 16 d de medición, lo que implica que los frutos provenientes de plantas que fueron regados con menor cantidad de agua presentaron mayor ATT durante el almacenamiento. Estas diferencias se deben probablemente a que cuando las plantas tienen poca disponibilidad de agua sufren estrés hídrico, el cual hace que se incremente la producción de ácidos orgánicos como mecanismo de adaptación al estrés (Ehert y Ho), por lo que ácidos como el ascórbico se incrementan en uchuva (Capítulo 4) y tomate (Patané *et al*., 2011). Del mismo modo, es probable que los frutos provenientes de plantas que recibieron mayor aporte hídrico, tengan un mayor contenido

de agua, lo cual generaría que la concentración de ácidos se vea disminuida por efecto dilución (Fischer *et al*., 1999).

En cuanto a las frecuencias de riego, la de 4 días, generó en los frutos una mayor ATT que la frecuencia de 9 y 14 d (figura 27b), por lo que se supone que al regar cada 4 d se estimuló el crecimiento vegetativo y se aumentó la cantidad de agua y fotoasimilados que van hacia los frutos, similar a lo ocurrido en tomate (Ismail *et al*., 2007), por lo que se generaron frutos con mayor ATT conforme la frecuencia de riego fue más alta. Así mismo, se puede decir que las frecuencias de riego de 9 y14 días implican un estrés muy fuerte, de tal forma, que disminuye la producción de ácidos, como en el caso del AA en melón (Li *et al*., 2012) ó en fresa cv. Elsanta (Giné-Bordonaba y Terry, 2010) y del ácido málico en uva (Porro *et al*., 2010). La disminución en la acidez a causa de un estrés hídrico severo está acompañada por un aumento en el estado de oxidación, pérdida de turgencia y daño oxidativo irreversible (Jubany-Marí *et al*., 2010).

A



B

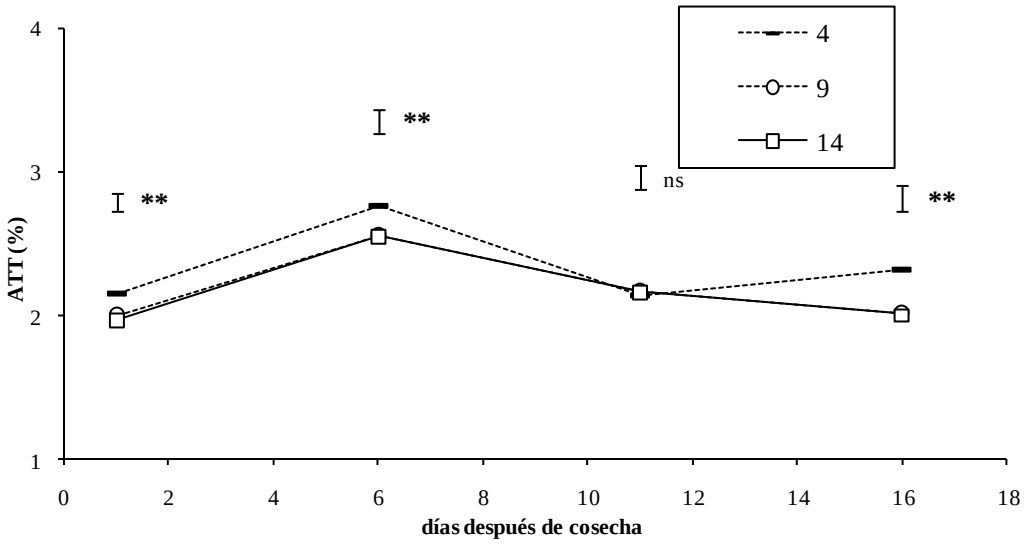


Figura 27. ATT en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego y; B) diferentes frecuencias de riego. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *,**, indican efecto significativo con *P* ≤0,05, *P* ≤0,01, respectivamente.

A pesar de no encontrar diferencias significativas en la ATT de los frutos provenientes de plantas fertilizadas con diferentes dosis de Ca^{2+}, Aguayo *et al*. (2010) afirman que la aplicación de ascorbato de calcio mantuvo por más tiempo la acidez en los frutos de manzana, ya que el Ca^{2+} contribuye a retardar la maduración, por lo que el proceso de oxidación y pérdida de ácidos es menor. Además es probable que no se hayan presentado diferencias significativas en los frutos de uchuva debido a que estos no acumulan gran cantidad de calcio (Capítulo 4.5).

Al evaluar el comportamiento de la acidez en el tiempo esta presentó un aumento significativo desde el inicio del almacenamiento y hasta el día 6, a partir de este momento disminuyó también de forma significativa hasta el último día de poscosecha, este comportamiento fue similar al reportado por Ávila *et al*. (2006) para uchuva y por Garzón-Acosta *et al*. (2013). El aumento de la ATT en poscosecha es atribuido a incrementos en el CO_2 circundante, producto del incremento en la respiración, lo cual causa que el ambiente celular sea más ácido ya que se produce ácido carbónico (Rattanapanone y Watada, 2000), este efecto fue reportado por Sarzi de Souza *et al*. (2006) en mango. La disminución en la ATT que se aprecia a partir de los 6 d de almacenamiento es probable que suceda debido a

que muchos de los ácidos orgánicos son empleados como sustrato en las reacciones enzimáticas de la respiración (Kays, 1997) similar a lo ocurrido en uchuva (Lanchero *et al*., 2007), tomate (Beckles, 2012) y fresa (Hernández-Muñoz *et al*., 2006). Para el caso de uchuva, es probable que la degradación de azucares a ácidos continúe durante la poscosecha, ya que el efecto dilución en la ATT no se aprecia, como si ocurre con los SST. Al respecto, Fischer y Martínez (1999) mencionan que los principales ácidos orgánicos en el fruto de uchuva (cítrico, málico y oxálico) disminuyen durante el periodo de maduración debido a la actividad de las deshidrogenasas, comportamiento similar al presentado en tomate (Wills y Ku, 2002).

4.4.5 Relación de madurez (RM):

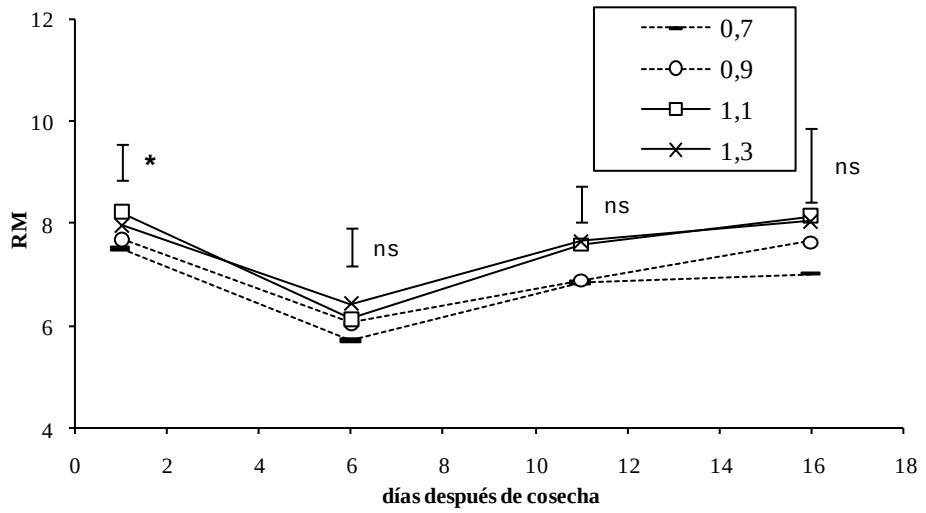
Esta variable presentó diferencias significativas en el anova para el factor frecuencia de riego en las mediciones realizadas en los días, 1, 6 y 16 después de cosecha (ddc), del mismo modo, para el factor lámina de riego se presentaron diferencias durante la primera y tercera medición, aun así, ni la aplicación de Ca^{2+}, ni la interacción lámina de riego por dosis de Ca^{2+} tuvieron efecto sobre la RM de los frutos de uchuva.

En la figura 28a se puede observar, que las láminas de riego de 0,7 y 0,9 generaron los frutos con menor RM, mientras que las mayores aplicaciones de agua, generaron frutos con mayor RM durante el almacenamiento poscosecha, lo anterior se relaciona claramente con el comportamiento de la ATT, ya que esta fue más alta con las menores aplicaciones de agua, mientras que los SST de los frutos de uchuva no fueron afectados por la cantidad de agua aplicada a las plantas. Estos resultados contrastan con lo reportado por Beckles (2012) en tomate y Berenguer *et al*. (2006) en olivo, quienes mencionan que conforme se aumenta la cantidad de agua aplicada, la RM disminuye y en general los índices de madurez presentan valores más bajos.

En la figura 28b se visualiza que la frecuencia de riego de 4 d generó en la mayoría de las mediciones frutos con una menor RM que los frutos provenientes de plantas regadas cada 9 y 14 d, lo anterior se pude explicar debido a que cuando las plantas son sometidas a un estrés hídrico la RM aumenta, por lo que una mayor cantidad de agua aplicada afecta en mayor proporción la disminución de los SST que de la ATT (Capítulo 4.3), comportamiento similar al reportado en tomate por Beckles (2012). En cuanto al efecto del calcio en la RM,

esta no se vio afectada debido probablemente a que los frutos de uchuva asimilan cantidades de Ca^{2+} similares a pesar de ser fertilizados con distintas dosis (Capitulo 4.5), lo cual resulta acorde a lo encontrado para frutos de uchuva (Martínez *et al*., 2008) y pepino (Marín *et al*., 2009), ya que después de aplicar diferentes dosis de calcio a las plantas no encontraron diferencias significativas en la RM, del mismo modo, Ferguson *et al*. (1999) afirman que el Ca^{2+} tiene poca influencia en la RM.

A



B

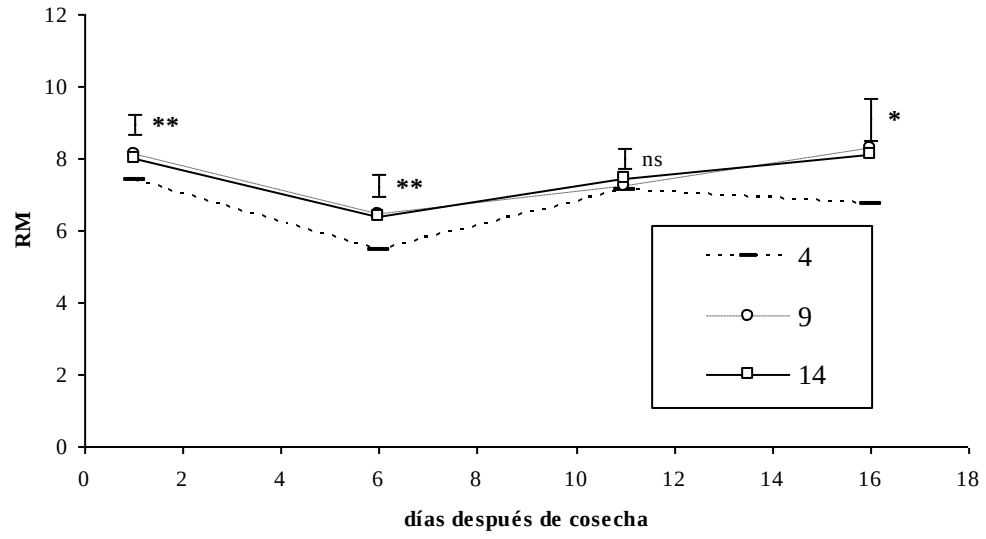


Figura 28. RM en frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a: A) diferentes láminas de riego y; B) diferentes frecuencias de riego. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *,**, indican efecto significativo con *P* ≤0,05, *P* ≤0,01, respectivamente.

Al analizar el comportamiento de la RM en el tiempo se pudo apreciar en las figuras 28a y 28b que esta disminuye desde la cosecha y hasta el día 6 de almacenamiento, y que luego se incrementa hasta el final de la poscosecha, dicho comportamiento es similar al encontrado por Novoa *et al*. (2006) en frutos de uchuva almacenados a diferentes temperaturas. Esta disminución ocurrió debido al aumento de la acidez presentado durante este periodo (figuras 27a y 27b). A partir del día 6 de almacenamiento, la RM se incrementó debido a que la tendencia de los SST tenía una pendiente positiva, mientras que los valores de ATT disminuían, lo cual es acorde a lo reportado para uchuva por Lanchero *et al*. (2007). Del mismo modo, Parra y Hernández (2005) mencionan que durante la maduración aumenta la concentración de azúcares y disminuye la proporción de ácidos, con lo cual la RM es mayor, y así mismo el sabor de los frutos.

4.4.6 pH:

El anova mostró diferencias significativas solo para el factor frecuencia de riego en la primera y tercera medición poscosecha de los frutos de uchuva (tabla 8). En la figura 29 se observa que las frecuencias de riego que causan un mayor estrés hídrico (a los 9 y 14 d) mantienen el pH de los frutos más bajo durante el almacenamiento poscosecha, sin embargo, se puede mencionar que el comportamiento del pH durante la evaluación realizada correlaciona con el pH al momento de la recolección, ya que frutos que comenzaron con un pH bajo así mismo culminaron, lo que resalta la importancia del régimen de riego aplicado a las plantas en la calidad de los frutos. Al respecto, Abdel-Al y Saeed (1975) encontraron que el pH disminuyó de forma significativa en frutos de tomate cuando el cultivo pasó de una frecuencia de riego semanal a recibir aplicación de agua cada dos semanas, no obstante, Porro *et al*. (2010) encontraron en uva, que el estrés hídrico no afectó el pH de los frutos, y que estos presentaron piel más gruesa.

Al observar el comportamiento del pH en los frutos de uchuva durante el periodo poscosecha (figura 29) se puede ver que este aumentó desde valores de 3,70 hasta

4,08, conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento. Esta tendencia en frutos de uchuva también ha sido reportada por varios autores (Novoa *et al*., 2006; Ávila *et al*., 2006; Lanchero *et al*., 2007), quienes mencionan valores de pH que oscilan entre 3,6 y 4,4 durante la vida poscosecha. Este aumento en el pH durante el almacenamiento ocurre debido a que al aumentar la respiración, la regeneración de la membrana celular es ralentizada, mientras que los procesos catabólicos continúan, por lo que la actividad de la Ca^{2+}-ATPasa y H^{+}-ATPasa disminuye así como la permeabilidad selectiva de la membrana, lo cual genera un incremento en la concentración de Ca^{2+} citosólico, salida de H^{+} del citosol y un aumento en la acidez. Estos dos eventos son los precursores de la activación de la D-fosfolipasa enzima que inicia la ruta de la degradación autocatalítica en la membrana con la consecuente senescencia del fruto (Lester, 2003). Al mismo tiempo, los frutos se tornan menos ácidos producto del desdoblamiento de los ácidos orgánicos como sustrato respiratorio (Kays, 1997), proceso denominado gluconeogenesis (Paliyath y Murr, 2008).

4.4.7 Color:

Los valores de L, a, b, así como el CI no presentaron diferencias significativas durante el periodo poscosecha en los frutos de uchuva para ninguno de los factores evaluados, ni las interacciones, a excepción de la primera medición en la que la frecuencia de riego afectó el valor de L y el del CI (tabla 8), cabe resaltar que estas diferencias no se dan durante la poscosecha, sino que vienen en los frutos, previo a la recolección, producto de los tratamientos precosecha realizados, lo cual fue discutido en el Capítulo 4.3.

Al analizar el comportamiento del valor de L en los frutos de uchuva durante el almacenamiento, este disminuyó durante todo el periodo poscosecha (tabla 9), y presentó valores de 28,6, 27,7, 24,8 y 20,2 para las cuatro mediciones realizadas en el tiempo, lo que implica que los frutos de uchuva van perdiendo la luminosidad conforme aumenta el tiempo en poscosecha, con lo cual, estos se oscurecen en un 28%, probablemente por procesos de oxidación (Cogo *et al*., 2011), pérdida de humedad y pardeamiento, atribuido a la degradación en el tiempo del AA (Restrepo y Aristizabal, 2010). Este fenómeno de pérdida de L durante el almacenamiento se ha observado en caramelos de uchuva (Valencia *et al*., 2012), fresas (Restrepo y Aristizabal, 2010; Hernández-Muñoz *et al*., 2006), tomate (Zapata *et al*., 2007) y mango (Sarzi de Souza *et*

al., 2006), no obstante, estos últimos autores lograron disminuir la pérdida de luminosidad al almacenar los frutos de mango en atmósferas con bajo oxígeno.

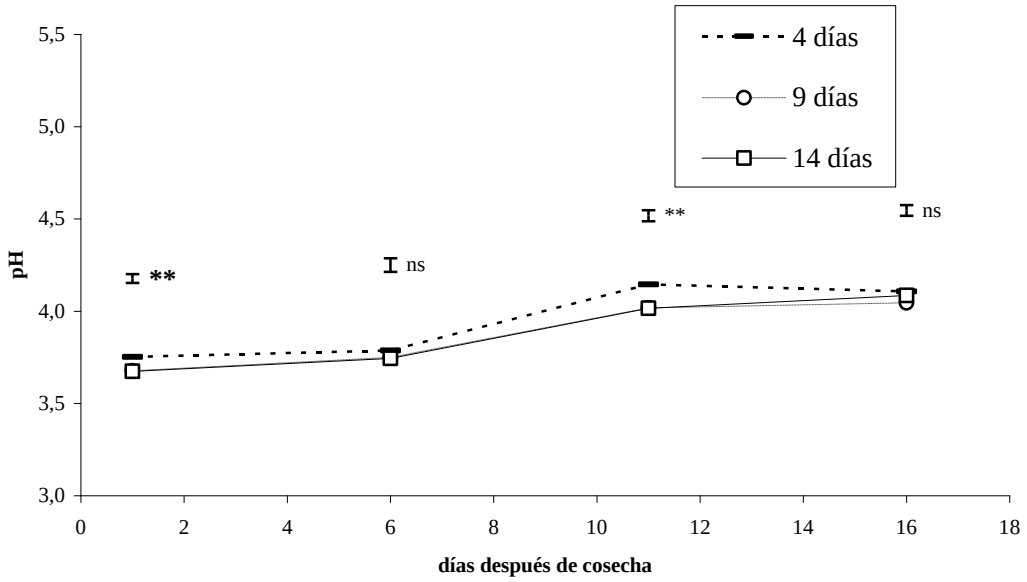


Figura 29. pH de frutos de uchuva provenientes de plantas sometidas a diferentes frecuencias de riego. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *,**, indican efecto significativo con *P* ≤0,05, *P* ≤0,01, respectivamente.

El valor de a (cromaticidad de verde a rojo) aumentó hasta el día 6 de almacenamiento y a partir de este día se mantuvo estable hasta el final del periodo poscosecha, y presentó los siguientes valores durante las mediciones realizadas: 17,8, 21,8, 21,4 y 20,0; lo cual implica que los frutos de uchuva en la primera semana de almacenamiento ganaron color rojo y esta ganancia a partir del día 6 permaneció constante. Es probable que la ganancia en color rojo en los frutos de uchuva se haya presentado debido a los procesos de oxidación presentados en la maduración de los frutos, lo cual genera la degradación de las clorofilas causado por la clorofilasa, peroxidasa (Cogo *et al*., 2011) y feofitinasa (Schelbert *et al*., 2009), no obstante, Restrepo y Aristizabal (2010) atribuyen el incremento en los valores de la cromaticidad a en fresas a la pérdida de humedad durante el almacenamiento. Duque *et al*. (2007) midieron el a en frutos de uchuva y obtuvieron valores de 3,04, lo cual sugiere que los frutos cosechados bajo diferentes

regímenes de riego y dosis de calcio en el presente estudio fueron cosechados en un estado de madurez más avanzado.

En cuanto al comportamiento del valor de b en los frutos, este disminuyó durante el almacenamiento y mostró valores de 16,6, 16,4, 15,2 y 12,2, con lo cual se presentó un comportamiento similar a lo reportado en caramelos de uchuva (Valencia *et al*., 2012) y *Campomanesia lineatifolia* (Balaguera-López y Herrera, 2012). Esta disminución permite inferir que los frutos de uchuva durante la poscosecha disminuyen la cromaticidad amarilla, la cual es atribuida a la inestabilidad que presentan los carotenoides, los cuales tienen una estructura química altamente insaturada que favorece los procesos de oxidación (Meléndez *et al*., 2004). Al determinar la relación a/b, esta aumentó de 1,07 en el primer día de almacenamiento a 1,63 al día 16 de poscosecha, relación que tuvo una alta correlación positiva en frutos de tomate con el licopeno y el B-caroteno (Zapata *et al*., 2007).

El valor del CI aumentó conforme el almacenamiento de los frutos se hizo más prolongado, comenzó en 39,2 en la primera medición y terminó en 78,0 a los 16 d de almacenamiento, con lo cual se puede decir que la intensidad de los colores oscuros conforme aumento la duración del periodo poscosecha predominó cada vez más sobre los colores claros. Al respecto, Ferrer *et al*. (2005) afirman que la intensidad y uniformidad del color afectan la calidad de los frutos debido a la pérdida de clorofila, producto de la síntesis de nuevos pigmentos como los carotenoides y la exposición de pigmentos previamente formados a la luz durante la maduración, el cual es una de las características más importantes que determina la calidad de un fruto y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto (García *et al*., 2011). A pesar de no encontrar diferencias significativas en los parámetros evaluados de color en los frutos de uchuva respecto al factor dosis de calcio, se conoce que el calcio retarda los cambios en la coloración de algunos frutos, como fresas (Hernández-Muñoz *et al*., 2006) y mango (Sarzi de Souza *et al*., 2006).

4.5. Distribución del calcio, potasio y magnesio y actividad de la poligalacturonasa en uchuva (*physalis peruviana* l.) sometida a tratamientos de riego y nutrición con calcio

En este capítulo se analiza el efecto que tuvo la aplicación de diferentes frecuencias de riego, láminas de riego y dosis de calcio en plantas de uchuva sobre la concentración del calcio, magnesio y potasio en diferentes órganos de la planta, para este caso, cáliz, frutos y hojas. Del mismo modo, se determinó el efecto de los diferentes factores que conforman los tratamientos en la actividad de la poligalacturonasa (PG) en los frutos de uchuva.

4.5.1 Calcio:

El Anova presentó diferencias estadísticas significativas para la concentración de calcio ([Ca^{2+}]) en el cáliz de uchuva, y estas fueron generadas por la dosis de calcio y la frecuencia de riego aplicadas a las plantas, por el contrario, la lámina de riego y la interacción lámina de riego por dosis de calcio no afectaron la [Ca^{2+}] en el cáliz (tabla 10). La aplicación a las plantas de 100 kg ha^{-1} de Ca^{2+} aumentó la concentración de este elemento en el cáliz en un 72% (tabla 11) respecto a cuándo no se aplicó Ca^{2+} en la fertilización, del mismo modo disminuyó el rajado en un 11% (Álvarez-Herrera *et al*., 2012). Al respecto, Fischer y Lüdders (1997) mencionan que el cáliz es una hoja modificada encargada de proteger el fruto y que sirve como fuente de carbohidratos que se retraslocan hacia el mismo durante los primeros 20 días de crecimiento, de tal forma que es probable que el cáliz acumule altas cantidades de Ca^{2+} al ser un órgano que transpira, pues es sabido que el Ca^{2+} se mueve principalmente por la corriente transpiratoria, por intercambio de cationes en el xilema, y por el mecanismo de presión radicular (Saure, 2005). Del mismo modo, cuando la frecuencia de riego pasó de 4 a 14 días, la [Ca^{2+}] en el cáliz disminuyó un 25%, esto puede ocurrir ya que cuando existe un bajo contenido de humedad en el suelo, la absorción de calcio por parte de las raíces disminuye (Dris, 2001) y la consecuente retraslocación hacia los diferentes órganos de la planta se ve disminuida.

En los frutos de uchuva el anova no presentó diferencias significativas en la [Ca^{2+}], a pesar de haber aplicado diferentes dosis de este elemento a las plantas y distintos

regímenes de riego, lo que implica que el contenido de Ca^{2+} en el fruto no se vio afectado por los factores evaluados. Al respecto, Manganaris *et al*. (2005) aplicaron diferentes dosis de calcio directamente sobre frutos de durazno en precosecha y estos no presentaron un mayor contenido de calcio, del mismo modo, los frutos no vieron afectada la respiración, ni la actividad enzimática, lo que concuerda con lo encontrado en mangostino, ya que la aplicación de calcio al suelo disminuyó la presencia de desórdenes fisiológicos, sin embargo, la concentración de Ca en la pulpa fue similar a la del control (Poovarodom y Boonplang, 2010), al igual que lo ocurrido en melón (Johnstone *et al*., 2008) en donde la aplicación de fertirriego con calcio, no logró incrementar el contenido de este elemento en los frutos. Al respecto, Saure (2005) menciona que un aumento en el suplemento de calcio en la fertilización permite un incremento de la [Ca^{2+}] en las hojas, pero no necesariamente en los órganos que tienen poca transpiración como los frutos, ya que las plantas han desarrollado mecanismos para restringir el transporte de Ca^{2+} hacia estos órganos, pues los frutos requieren de un bajo nivel de este elemento, para favorecer la rápida expansión celular y una alta permeabilidad de la membrana, lo que pudo originar la ausencia de diferencias significativas en la [Ca^{2+}] en los frutos de uchuva.

Tabla 10. Valores de F del Anova de las variables poscosecha evaluadas en frutos de uchuva sometidos a diferentes láminas de riego, dosis de calcio y frecuencias de riego

Órgano de la planta	Fuente de variación	Calcio	Magnesio	Potasio
Cáliz	Lr	1,85	3,01*	1,40
	Ca	15,94***	5,33**	4,04*
	Lr x Ca	0,96	0,22	0,59
	Fr	5,00**	2,05	0,54
Fruto	Lr	3,56*	3,14*	7,46***
	Ca	0,65	0,08	1,74
	Lr x Ca	1,21	1,56	0,61
	Fr	0,80	1,42	2,10
Hojas	Lr	3,91*	2,28	2,03
	Ca	28.5***	6,05**	0,88
	Lr x Ca	1,26	0,86	0,45
	Fr	20,75***	10,32***	16,41***

Lr: lámina de riego; Ca: dosis de Calcio; Fr: frecuencia de riego; ddc: días después de cosecha;

*,**,***, indican efecto significativo con $P \leq 0{,}05$, $P \leq 0{,}01$, $P \leq 0{,}001$, respectivamente.

Además, Marschner (2002) menciona que altas tasas de crecimiento en órganos con baja transpiración incrementan el riesgo de disminuir el contenido de Ca^{2+} a niveles críticos que ponen en riesgo la estabilización de la pared celular e integridad de la membrana, situación que claramente puede ser una de las causas del rajado del fruto en uchuva. Del mismo modo, Belda *et al*. (1996) mencionan que dentro del fruto, el desarrollo del tejido xilemático, especialmente en la parte distal, puede ser retardado por factores como la salinidad o el estrés hídrico, por lo que se asume, que esto puede causar una alta resistencia al movimiento del agua dentro del xilema, lo que consecuentemente causa una pobre distribución del Ca^{2+} en la partes distales del fruto. Así mismo, Lazcano (2000) menciona que una de las principales causas de que se presente un bajo contenido de Ca^{2+} en los frutos de tomate es ocasionada por las altas temperaturas y un déficit hídrico, los cuales producen una baja traslocación de este nutriente al fruto, ocasionado por la disminución en la movilidad del Ca^{2+} en el suelo.

Por otro lado, existen reportes sobre aumentos en las [Ca^{2+}] en los frutos de varios cultivos que fueron sometidos a aplicaciones de Ca^{2+}, en mango, las dosis más altas de este elemento incrementaron la concentración en los frutos (Silva *et al*., 2008), al igual que en durazno (Elmer *et al*., 2007) y kiwi (Gerasopoulos *et al*., 1996), del mismo modo ocurrió en melón, no obstante, las concentraciones son diferentes en la piel que en la pulpa (Madrid *et al*., 2004); de forma similar en naranja, la aplicación de 3 g kg^{-1} de Ca en precosecha a los frutos modificó la estructura de los tejidos de la membrana, lo que causó que estos fueran más compactos, homogéneos y con mayor contenido de Ca (Dong *et al*., 2009), por lo tanto, se podría inferir que la [Ca^{2+}] en el fruto responde a las aplicaciones realizadas del elemento, sin embargo, estas aplicaciones tienen en común que van dirigidas en forma de aspersión, tanto al follaje como a los frutos, situación que en el cultivo de uchuva no es posible, pues los frutos son protegidos por el cáliz y una resina traslúcida (Fischer, 2000), que impide la aplicación directa del Ca^{2+} al fruto, lo cual genera la dificultad para aumentar los contenidos de este elemento en los frutos de uchuva, ya que el Ca^{2+} debe ser aplicado directamente al fruto (Saure, 2005).

Al observar el efecto de los tratamientos empleados en la [Ca^{2+}] en las hojas, esta mostró diferencias altamente significativas en el anova (tabla 10), las cuales son originadas por

los factores dosis de calcio, frecuencia de riego y lámina de riego. La aplicación de 50 y de 100 kg ha^{-1} de Ca^{2+} a las plantas de uchuva aumentó la [Ca^{2+}] en las hojas en un 57% y 107%, respectivamente, esto implica que conforme mayor es la aplicación de calcio en la fertilización mayor es la acumulación de Ca^{2+} a nivel foliar, lo que coincide con lo reportado en tomate (Parra *et al*., 2008), mango (Silva *et al*., 2008) y manzano (Shear y Faust, 1970). Al respecto, Saure (2005) afirma que el incremento a nivel foliar en el contenido de Ca^{2+} producto de la fertilización es común, y que la principal dificultad radica en elevar la acumulación de este elemento en los frutos, ya que el Ca^{2+} se moviliza dentro de la planta siguiendo la corriente transpiratoria, y la concentración de este nutriente de menor a mayor en las plantas sigue el siguiente orden: raíces, tallos y hojas (Marschner, 2002), y una vez el Ca^{2+} es depositado en las hojas, este se convierte en un elemento poco móvil, y su retraslocación se vuelve difícil (Shear y Faust, 1970).

En cuanto al régimen de riego aplicado, la [Ca^{2+}] en las hojas disminuyó a medida que la lámina de riego aumentaba (tabla 11), ya que las láminas de riego más altas (coeficientes de riego de 1,1 y 1,3) generaron un 24% menos de Ca^{2+} en las hojas que cuando se aplicaron láminas de riego bajas (coeficientes de 0,7 y 0,9), lo que pudo ocurrir por un efecto dilución del elemento al haber mayor disponibilidad de agua para la planta. Al analizar la frecuencia de riego, conforme el riego se hizo de forma más intenso (4 días), la [Ca^{2+}] en las hojas fue un 82% mayor que cuando se aplicó agua con una frecuencia de 14 días. Lo anterior implica, que el estrés hídrico provocado por aplicaciones de riego cada 14 días es severo y logra disminuir la acumulación del nutriente en las hojas, así este se encuentre con buena disponibilidad en el suelo o sustrato, ya que es sabido que el Ca^{2+} se mueve principalmente por flujo de masas, y al haber, una disminución en la aplicación de agua este flujo se ve fuertemente restringido (Dris, 2001), mientras que si el suministro de agua es continuo y suficiente las plantas acumularan un buen contenido de Ca^{2+} en las hojas y el cáliz. Además, es sabido que la frecuencia de riego afecta directamente los patrones de humedad en el suelo y la distribución de agua, y de forma indirecta incide sobre la eficiencia del sistema radicular, evidenciada en la densidad de pelos radiculares y la arquitectura del sistema de raíces, lo que afecta la absorción de Ca^{2+} (Silber y Bar-Tal, 2008), ya que este elemento es absorbido principalmente por los ápices de los pelos radiculares más jóvenes y depende en gran medida del número y distribución de estos en el suelo (Saure, 2005).

Tabla 11. Efecto del coeficiente de riego, la dosis de calcio y la frecuencia de riego en la relación de madurez, el pH y la firmeza de frutos de uchuva.

Órgano de la planta	Factor	Nivel del factor	Variable		
			Calcio (%)	Magnesio (%)	Potasio (%)
Cáliz	Coeficiente de riego	0,7	0,3915a	0,1594a	0,8031a
		0,9	0,3635a	0,1275ab	0,6950a
		1,1	0,3184a	0,1025b	0,5344a
		1,3	0,4071a	0,1360ab	0,6743a
	Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	0,2526a	0,1001b	0,5876b
		50	0,4190a	0,1465a	0,8638a
		100	0,4351a	0,1474a	0,5786b
	Frecuencia de riego (días)	4	0,4337a	0,1490a	0,6574a
		9	0,3317b	0,1156a	0,6291a
		14	0,3451b	0,1294a	0,7435a
Fruto	Coeficiente de riego	0,7	0,0630b	0,0599b	1,6473b
		0,9	0,0859a	0,0807a	2,7632a
		1,1	0,0731ab	0,0643ab	1,4566b
		1,3	0,0845a	0,0749ab	1,9492b
	Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	0,0722a	0,0690a	1,7021a
		50	0,0798a	0,0715a	2,1825a
		100	0,0779a	0,0694a	1,9776a
	Frecuencia de riego (días)	4	0,0716a	0,0650a	2,0848a
		9	0,0798a	0,0760a	2,1278a
		14	0,0785a	0,0689a	1,6496a
Hojas	Coeficiente de riego	0,7	1,3289a	0,4608a	1,1544a
		0,9	1,3865a	0,4501a	1,5011a
		1,1	0,9783b	0,3531a	0,9775a
		1,3	1,1991ab	0,4472a	1,1860a
	Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	0,7898c	0,3514b	1,0747a
		50	1,2438b	0,4411ab	1,2166a
		100	1,6360a	0,4910a	1,3230a
	Frecuencia de riego (días)	4	1,5930a	0,5104a	1,8240a
		9	1,2056b	0,4450a	0,9036b
		14	0,8710c	0,3280b	0,8867b

Promedios con letras distintas en la misma columna y clasificados por el nivel del factor indican diferencias estadísticas significativas en el tiempo según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Más aun, es probable que al estar el cultivo sembrado bajo una cubierta plástica la cual albergó en promedio una temperatura 5 °C superior a la temperatura exterior, se pudieron haber incrementado los procesos de transpiración, con lo cual se acumuló una mayor concentración de calcio en las hojas, y disminuyó la respectiva concentración de

este elemento en el fruto, ya que el contenido a nivel foliar fue 18 veces más que el contenido en los frutos, lo cual es acorde a lo demostrado por Nelson y Niedziela (1998) en tulipanes, quienes encontraron que las plantas sometidas a bajas temperaturas no presentaron deficiencias de Ca^{2+}, mientras que las plantas sometidas a altas temperaturas tuvieron dificultad en absorber este elemento y presentaron síntomas de deficiencia de Ca^{2+}, ya que el rápido crecimiento de los brotes vegetativos compite por la absorción de calcio con los frutos (Dris, 2001).

4.5.2 Magnesio:

El anova para esta variable presentó diferencias significativas en la concentración de magnesio ([Mg^{2+}]) en el cáliz sólo para los factores lámina de riego y dosis de calcio por separado, no obstante, la frecuencia de riego y la interacción lámina de riego por dosis de calcio no fueron significativas (tabla 10), lo anterior implica que la combinación de los factores lámina de riego y dosis de calcio anula el efecto que pueden tener cada uno de estos factores de forma individual en la [Mg^{2+}] en el cáliz.

Cuando aumentó la aplicación de calcio en las plantas, la [Mg^{2+}] en el cáliz también se incrementó, del mismo modo, conforme la lámina de riego fue menor, la [Mg^{2+}] en el cáliz fue mayor (tabla 11). Lo anterior se puede explicar probablemente debido a que la traslocación tanto del Mg^{2+} como del Ca^{2+} ocurre dentro de la planta principalmente por la corriente transpiratoria (Huang, 2001), con lo cual en condiciones normales de crecimiento de cultivo, estos dos elementos tendrán una asimilación proporcional, no obstante, la disponibilidad y absorción de estos cationes obedece en el suelo al flujo de masas (Silber y Bar-Tal, 2008), por lo que, un suministro hídrico deficiente puede disminuir el contenido de agua en hojas y cáliz, al aumentar la resistencia al movimiento del agua en todo el sistema aéreo de la planta (Vélez y Álvarez, 2012), de tal forma que la concentración del elemento se puede ver disminuida por efecto dilución.

La [Mg^{2+}] en el fruto no presentó diferencias significativas en el Anova, no obstante, se aprecia en la tabla 11 que cuando disminuye la cantidad de agua aplicada a las plantas de uchuva, la [Mg^{2+}] en el fruto es más baja que cuando las plantas tienen un suministro de agua adecuado, lo cual es acorde a lo encontrado por Neilsen y Stevenson (1986), quienes mencionan que el déficit de riego disminuyó la concentración de Mg en los frutos

de manzana así como el tamaño de los mismos, sin embargo, Nadler *et al*. (2001) mencionan que la absorción de Mg^{2+} está regulada por la concentración de magnesio intracelular ligado al ATP (Mg^{2+}·ATP) y afirman que el ATP inhibe la absorción de Mg^{2+}, lo cual explicaría que la [Mg^{2+}] en el fruto de uchuva se vea regulada. Al evaluar el efecto de los factores por separado, dosis de calcio y frecuencia de riego, estos tampoco tuvieron significancia en la [Mg^{2+}] en el fruto, lo cual difiere de lo reportado por Paiva *et al*. (1998) quienes probaron diferentes concentraciones de Ca^{2+} en una solución nutritiva aplicada a plantas de tomate y encontraron que a medida que se incrementó la aplicación de este elemento, el contenido de Mg^{2+} disminuyó, aun así, contrasta con los resultados de Parra *et al*. (2008), en los cuales no hubo diferencias significativas en la [Mg^{2+}] en los frutos provenientes de plantas fertilizadas con diferentes concentraciones de calcio.

El Anova para la [Mg^{2+}] a nivel foliar mostró diferencias significativas, aun así, la interacción lámina de riego por dosis de calcio no presentó un efecto en esta variable. Al evaluar el efecto por separado de los factores, la dosis de calcio y la frecuencia de riego afectaron significativamente la [Mg^{2+}] en las hojas de las plantas de uchuva. A medida que se incrementó la dosis de fertilización de Ca^{2+}, la [Mg^{2+}] en las hojas también aumentó. Acorde a lo anterior, Huang (2001) menciona que condiciones de sequía o de disponibilidad de agua irregular pueden causar deficiencias de magnesio en las plantas, del mismo modo, afirma que la habilidad de las plantas para absorber magnesio y traslocarlo está relacionada con las tasas de transpiración y la disponibilidad del elemento en el suelo, y que los principales competidores por los sitios de cambio en las arcillas son en su orden, el potasio, el amonio y el calcio (Merhaut, 2007). En tomate, las concentraciones de magnesio en hojas (Gunes *et al*., 1998) y frutos (Paiva *et al*., 1998) disminuyeron conforme la tasa de fertilización con calcio aumentó, no obstante, Merhaut (2007) menciona que un aspecto que se debe tener en cuenta es la relación entre nutrientes y que relaciones Mg/Ca con valores que oscilan entre 1:1 y 1:5 son adecuadas para el crecimiento sin producir limitaciones en la absorción de ninguno de los dos nutrientes, por lo que la relación Mg/Ca de 1:2,85 encontrada a nivel foliar en las plantas de uchuva implica que hubo un balance nutricional dentro de los rangos normales para el desarrollo del cultivo. Respecto a lo anterior, en estudios similares, Ernani *et al*. (2008) y Talamini *et al*. (2006), afirman que cuando la relación Mg/Ca se incrementó, la aparición de desórdenes fisiológicos relacionados con el calcio como el "bitter pit" (manchas amargas) también aumentó.

En cuanto a la frecuencia de riego, la [Mg^{2+}] a nivel foliar fue un 55% mayor cuando las plantas fueron regadas cada 4 días, que cuando recibieron aplicación de agua cada 14 días, lo anterior es similar a lo reportado por Neilsen y Stevenson (1986), quienes encontraron en manzano, que los contenidos de Mg^{2+} a nivel foliar aumentaron en un 200% cuando el riego se hizo diariamente, que cuando este se realizó dos veces por semana, al respecto, Silber y Bar-Tal (2008) mencionan que el manejo de altas frecuencias de riego reduce la variación en la concentración de nutrientes, con lo cual la disponibilidad para las plantas es mayor y la lixiviación es menor.

El contenido de Mg encontrado en las plantas de uchuva se encuentra categorizado como suficiente dentro de los promedios de la escala propuesta por Merhaut (2007), lo cual implica que este elemento no presentó deficiencias en el cultivo, ya que es conocido que el magnesio es el catión divalente más abundante en la célula, y que este es particularmente importante como componente integral de la molécula de la clorofila y de los procesos enzimáticos asociados con la fotosíntesis y la respiración, la asimilación de carbono y las transformaciones energéticas, las cuales son afectadas cuando hay deficiencias de este elemento (Gardneer, 2003).

4.5.3 Potasio: al analizar el Anova, este no presentó diferencias significativas en la concentración de potasio ([K^+]) en el cáliz para ninguno de los factores evaluados ni para la interacción lámina de riego por dosis de calcio. Los valores promedio para la [K^+] en el cáliz fueron de 0,67±0,11 %, estos valores son superiores a los presentados en su orden para Ca^{2+} y Mg^{2+} en este órgano de la planta, del mismo modo, los valores encontrados para K^+ en el cáliz de uchuva son menores a los reportados en pecíolos de tomate, los cuales presentan un 0,8% (Fontes *et al*., 2000) y a los de hojas de manzano cercanas al fruto, las cuales tienen valores de 1,6% en promedio (Dris *et al*., 1997). La ausencia de diferencias significativas en la [K^+] en el cáliz respecto a los diferentes factores evaluados se pudo haber dado debido a que la [K^+] en la planta responde positivamente a la fertilización potásica realizada, ya que este es un elemento que tiene alta movilidad dentro de la planta, y puede ser transportado rápidamente dentro de un tejido (Mengel, 2007), y debido a que esta fue uniforme para todos los tratamientos, la [K^+] en el cáliz no varió, además, el cáliz fue evaluado cuando el fruto se encontraba maduro, razón por la cual, ya no es un órgano vertedero importante.

Los valores de [K^+] en el fruto presentaron diferencias altamente significativas para la variable lámina de riego, mientras que la interacción lámina de riego por dosis de calcio y la frecuencia de riego no mostró el mismo comportamiento (tabla 10). El coeficiente de riego de 0,9 originó la mayor [K^+] en el fruto, mientras que los demás coeficientes presentaron valores similares entre sí (tabla 11), lo que implica que las plantas que recibieron un coeficiente de 0,7 de la evaporación es probable que tengan un estrés hídrico fuerte que impida la absorción de potasio normalmente y su traslocación hacia los frutos, del mismo modo, se presentó que, las láminas de riego más altas (coeficientes de 1,1 y 1,3) presentaron los frutos más grandes (Álvarez-Herrera *et al*., 2012), por lo que, por efecto dilución es probable que la [K+] en el fruto, en los tratamientos con mayor agua haya sido más baja, no obstante, Mengel (2007) menciona que cuando un tejido tiene una alta [K^+], mayor contenido de agua presenta, lo cual es debido al potencial osmoregulador del K^+ (Marschner, 2002), y resulta acorde a lo encontrado por Porro *et al*. (2010) en uva, quienes afirman que el ácido málico y la [K^+] presentaron mayores valores en los frutos de plantas sometidas a estrés hídrico.

A pesar de que la aplicación de diferentes dosis de calcio no influyó sobre la [K^+] en el fruto, Paiva *et al*. (1998) probaron diferentes concentraciones de Ca^{2+} en una solución nutritiva aplicada a plantas de tomate y encontraron que a medida que se incrementó la aplicación de Ca^{2+}, el K^+ y el Mg^{2+}, el licopeno y los carotenos disminuyeron, debido probablemente a la disminución de K, aun así, Pereira *et al*. (2002) encontraron en melón que con mayor aplicación de Ca^{2+}, se incrementó tanto la [K^+], como la de los SST debido a una mayor traslocación originada por el aumento en las diferencias de potencial osmótico, con lo cual se puede inferir que el papel del Ca^{2+} en la absorción del K^+ depende de la especie, y las condiciones abióticas.

La relación K/Ca obtenida para los frutos de uchuva fue en promedio de 25, la cual es similar a la obtenida por Dris *et al*. (1997) para manzana con valores de 28. Al respecto, Poovarodom y Boomplang (2010) mencionan que esta relación es un buen indicador del desorden fisiológico denominado TFD (translucent flesh disorder), ya que a mayor relación K/Ca, mayor fue la presencia de TFD, y además afirman que en los frutos cuando el K aumentó, el tamaño del fruto y la concentración de Ca^{2+} disminuyó, así mismo, indican que frutos grandes tienen tendencia a tener mayor TFD que frutos pequeños, del mismo modo, en frutos de fresa que presentan albinismo, la concentración

de K es más alta que la de Ca^{2+}, y esta a su vez es menor, que la que se presenta en frutos normales (Sharma *et al*., 2006), por lo que la relación K/Ca fue mayor, similar a la presencia de 'bitter pit' en manzana (Dris, 2001). Lo anterior puede implicar que la presencia del desorden fisiológico del rajado en los frutos de uchuva, puede tener una alta correlación con la relación K/Ca.

Para el caso de la $[K^+]$ en las hojas de las plantas de uchuva, esta presentó diferencias altamente significativas generadas principalmente por la frecuencia de riego (tabla 10), aun así, ni la interacción ni el efecto separado de los factores lámina de riego y dosis de calcio influyó en la $[K^+]$ a nivel foliar. Cabe resaltar que la frecuencia de riego de 4 días generó la mayor asimilación de K^+ en las hojas, la cual fue aproximadamente el doble a la obtenida cuando se aplicó agua cada 9 y 14 días, similar a lo reportado por Neilsen *et al*. (2010b), quienes mencionan que al aumentar la frecuencia de riego, la concentración de K foliar en cerezas aumentó, del mismo modo, en uva, los niveles foliares de Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^+ incrementaron sus concentraciones cuando las plantas estaban bien regadas a diferencia de cuando estaban sometidas a estrés hídrico (Porro *et al*., 2010). Al respecto, Mengel (2007) menciona que cuando las plantas presentan un bajo suplemento hídrico, los niveles de K^+ pueden llegar a presentar deficiencias, con lo cual los márgenes de las hojas pierden turgor y estas lucen flácidas.

4.5.4 Actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos:

Esta variable sólo presentó diferencias significativas para el factor dosis de calcio, sin embargo, el régimen de riego y la interacción no causaron un efecto significativo en la actividad de la PG (Anexo 8). La actividad de la PG en los frutos de uchuva presentó un promedio de ácido poligalacturónico de 244 μmol mg^{-1} min^{-1} de masa fresca (UPG), actividad similar a la reportada por Majumder y Mazumdar (2002), la cual fue de 214 UPG para uchuvas en estado de madurez VI. Los frutos de uchuva provenientes de plantas que no recibieron Ca^{2+} en la fertilización presentaron una actividad de la PG un 119% mayor a la de los frutos de plantas que recibieron la aplicación de 100 kg ha^{-1}.

Lo anterior se puede explicar debido a que el Ca^{2+} desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la integridad y la rigidez de la pared celular (White y Broadley, 2003), ya que este se encuentra unido a las cargas negativas de los residuos metil

esterificados del ácido poligalacturónico (PGA) en la posición C6, con lo cual se conforma el complejo Ca^{2+}-PGA (Pilbeam y Morley, 2007), que junto con celulosas y pectinas, forman una compleja malla tridimensional estabilizada por puentes de hidrógeno, interacciones iónicas que involucran el calcio, y componentes fenólicos como la hidroxiprolina (Paliyath y Murr, 2008). Entre más pequeños sean los poros que forman las microfibrillas de celulosa, mayor es la concentración de Ca^{2+} y mayor será el número de entrecruzamientos en la pared celular, con lo cual esta tendrá una mayor fuerza tensil (Pilbeam y Morley, 2007), del mismo modo, Zarra y Revilla (1996) mencionan que regiones de homogalacturonano (HG) no esterificado pueden asociarse mediante puentes de Ca^{2+} a nivel de la lámina media, unión que puede ser responsable de la adhesión célula a célula y a mayor escala de la integridad de los tejidos.

Se ha reportado que el Ca^{2+} inhibe la degradación de las pectinas en la pared celular debido a que causa la inhibición de la formación de PG (Pilbeam y Morley, 2007), por lo tanto, una baja [Ca^{2+}] en los frutos de uchuva incrementó la actividad de la PG. Similares resultados de incrementos en la actividad de la PG causados por deficiencias de Ca^{2+} fueron encontrados en tomate (Poovaiah, 1979), papa (Seling *et al*., 2000) y durazno (Manganaris *et al*., 2006), en este último, se presentó una mayor actividad de la PG cuando el Ca^{2+} fue un 42% menor en los frutos y estos a su vez presentaron un mayor pardeamiento interno en condiciones de almacenamiento refrigerado, del mismo modo, Tieman y Handa (1989) afirman que la mayor actividad de la PG en los frutos de tomate ocurre en la parte central de los frutos. También en naranja, aplicaciones precosecha de Ca^{2+} disminuyeron drásticamente la actividad de la PG en los frutos, lo que originó una restricción en la liberación de pectinas de la pared celular durante la maduración (Dong *et al*., 2009).

Al determinar la actividad de la PG en frutos sanos y rajados, los frutos sanos presentaron una actividad de 97,5 UPG, mientras que el promedio para frutos rajados fue de 487 UPG, lo cual implica que una vez el fruto presenta fisiopatías, la actividad de la PG aumenta considerablemente. Esto no significa que la PG sea la causal del rajado en los frutos de uchuva, debido a que es probable que en el ablandamiento inicial de la pared celular se encuentren involucradas otras enzimas, tal como lo reporta Trinchero *et al*. (1999), ya que conforme los frutos maduran, la actividad de las pectinmetilesterasas (PME) y las α-galactosidadas aumentó, mientras la actividad de la PG se mantuvo baja

durante el proceso de maduración. Al respecto, Willats *et al*. (2001) mencionan que los HG disminuyen durante el desarrollo del fruto debido a la acción de PME apoplásticas. Lo anterior sugiere, que se debe realizar estudios de la actividad de PME y otras enzimas pectolíticas, con el fin de esclarecer el problema del rajado en los frutos de uchuva.

4.5.5 Correlación de la concentración de los nutrientes medidos en diferentes órganos de las plantas de uchuva con la actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos

Los valores de los nutrientes en los diferentes órganos evaluados de las plantas de uchuva indican que en promedio la mayor [K^+] se encuentra en los frutos con 1,95%, seguida por las hojas, las cuales tienen un valor promedio de 1,20%, y con una menor [K^+] el cáliz. Del mismo modo, la [K^+] en los frutos y el cáliz es mayor que la de Ca^{2+} y Mg^{2+}, al igual que en los frutos de maracuyá (Vasconcellos *et al*., 2001) y tomate (Parra *et al*., 2008). De acuerdo con lo anterior, Marschner (2002) menciona que en órganos con altas tasas de crecimiento (hojas jóvenes o frutos), habrá un mayor volumen de flujo de solutos en el floema y que esto incrementará la [K^+] y a su vez disminuirá el flujo de Ca^{2+} hacia los frutos, razón que explicaría el mayor contenido de K^+ que de Ca^{2+} y Mg^{2+} en los frutos de uchuva.

Para el caso de las hojas y el cáliz, el comportamiento es similar en los dos órganos, ya que la [Ca^{2+}] es la predominante, seguida por el K^+ y el Mg^{2+}, también similar a lo reportado para maracuyá. Al respecto, Marschner (2002) menciona que el importe neto de Ca^{2+} a las hojas se da por xilema, y que conforme mayor es la transpiración y el potencial como vertedero del órgano, mayor será el flujo de este elemento hacia las hojas, además la llegada de K^+ se da principalmente por floema, y tan solo entre el 25% y 40% del Mg^{2+} llegan por floema. Del mismo modo, menciona que bajo condiciones de alta transpiración, se incrementa el flujo del Ca^{2+} hacia los órganos con alta transpiración (hojas) y disminuye el flujo de este elemento hacia los frutos.

Al analizar la correlación entre la actividad de la PG en los frutos de uchuva y la concentración de nutrientes y sus respectivas relaciones en los diferentes órganos de la planta, esta no mostró un grado de correlación alto con ninguno de los parámetros evaluados, y la [Ca^{2+}] en los frutos de uchuva, tan solo explica un 18,9% de la variación

de la actividad de la PG (tabla 12), sin que haya un efecto significativo de relación entre las dos variables, lo que se puede explicar debido a que el fruto se encontraba en un estado de madurez avanzado, en el cual otras enzimas que actúan sobre la pared celular han intensificado la actividad de degradación (Trinchero *et al*., 1999), además estos autores encontraron que la actividad de la PG se mantuvo baja durante el proceso de maduración. Del mismo modo, la [Ca^{2+}] en los frutos tiende a disminuir a lo largo del crecimiento y desarrollo del mismo, por lo que los contenidos de este elemento al final tendrán valores bajos en dicho órgano (Saure, 2005), situación que es probable en los frutos de uchuva, ya que estos podrían presentar pocas estructuras xilemáticas, lo que se traduciría en un flujo bajo de Ca^{2+} hacia los frutos (Marschner, 2002).

Tabla 12. Correlaciones de Pearson entre la concentración de nutrientes en diferentes órganos de la planta y la actividad de la PG en frutos de uchuva.

Variable	PG	Ca cáliz	Ca fruto	Ca hojas	Mg cáliz	Mg fruto	Mg hojas	K cáliz	K fruto	K hojas
PG	1									
Ca cáliz	-0.055	1								
Ca fruto	0.189	0.069	1							
Ca hojas	-0.091	**0.749*** **	0.059	1						
Mg cáliz	-0.032	**0.824*** **	-0.020	**0.611** **	1					
Mg fruto	0.100	0.026	**0.718*** **	0.027	-0.037	1				
Mg hojas	0.002	0.518**	0.074	**0.811** **	0.461**	0.108	1			
K cáliz	0.042	0.348*	0.004	0.011	0.444**	-0.027	0.059	1		
K fruto	0.115	0.322	**0.514** **	0.449**	0.225	**0.522** **	0.472**	0.135	1	
K hojas	-0.010	0.447***	-0.081	**0.679*** **	0.447**	-0.019	**0.553*** **	-0.028	0.314	1

,*, Indican la existencia de asociación positiva entre las variables, *P* ≤0,01, *P* ≤0,001, respectivamente.

Letras con negrilla indica que el modelo lineal explica más del 50% de la variación.

Al observar las relaciones entre los nutrientes en los demás órganos, se puede apreciar que tanto la [Ca^{2+}] en hojas como en cáliz, tienen una alta correlación y estas a su vez están ligadas a la [Mg^{2+}] en los mismos órganos, lo cual sugiere que la movilidad de estos dos nutrientes dentro de la planta es similar en las plantas de uchuva, ya que es probable que la traslocación tanto del Mg^{2+} como del Ca^{2+} ocurra dentro de la planta principalmente por el flujo transpiratorio y en condiciones normales estos dos elementos tendrán una asimilación proporcional (Huang, 2001), debido a que la disponibilidad y absorción de estos cationes depende principalmente de la humedad y del movimiento de flujo de masas en el suelo (Silber y Bar-Tal, 2008). Además, Fischer y Lüdders (1997) mencionan que el cáliz de la uchuva es una hoja modificada, por lo que se puede afirmar que a nivel nutricional tanto hojas como cáliz tienen un comportamiento similar en la acumulación de los elementos.

4.6. Potencial hídrico y consumo de agua en plantas de uchuva sometidas a tratamientos de riego y nutrición con calcio

4.6.1 Potencial hídrico de hoja (ψ_{hoja}):

Al analizar el comportamiento del ψ_{hoja} en las plantas de uchuva, éste presentó una tendencia sinusoidal a lo largo del día (figura 30). No hubo diferencias significativas entre las láminas de riego evaluadas (figura 30A), no obstante se apreció que conforme se elevó la cantidad de agua aplicada, el ψ_{hoja} fue mayor 0,09 MPa en promedio a lo largo de las diferentes mediciones en el día. Lo anterior coincide con lo reportado por Singh y Singh (2006), quienes encontraron que incrementos en el estrés hídrico causaron una reducción en el ψ_{hoja} al alba en *Dalbergia sissoo*, los cuales variaron de 0,4 a 1,16 MPa, del mismo modo mencionan que a mayor tasa fotosintética, mayor fue el potencial hídrico (ψ), lo que implica que plantas bien regadas tendrán un desarrollo normal y un ψ_{hoja} adecuado.

El ψ_{hoja} mostró diferencias significativas entre las distintas frecuencias de riego aplicadas solo en algunas horas del día (mañana, 8 am; mediodía, 12 m; y en la tarde, 4 pm; figura 30B), mientras que en las horas en las que se presenta ausencia de luz solar (alba, 4 am;

noche, 8 pm y 12 pm) el estado hídrico de la planta fue homogéneo independientemente de las frecuencia de riego. Lo anterior indica que el efecto de los tratamientos sobre el ψ_{hoja} se ve incrementado cuando la planta recibe la luz solar, lo cual es acorde a lo expresado por Girona *et al*. (2006), quienes encontraron que en avellano, la variación diaria del potencial hídrico de hoja está más relacionada con los componentes del clima en especial con la radiación solar, que con el potencial hídrico del suelo. Asimismo, Sousa *et al*. (2006) mencionan que el ψ_{hoja} de plantas de uva en la noche tiene una alta correlación con el potencial de agua en el suelo. El ψ_{hoja} en las plantas de uchuva presentó valores de -0,51; -0,84; -1,15; -1,01; -0,74 y -0,65 MPa para las diferentes horas (4 am, 8 am, 12 m, 4 pm, 8 pm y 12 pm, respectivamente), y registró las máximas diferencias entre tratamientos al medio día.

La frecuencia de riego de 4 días presentó los valores más altos de ψ_{hoja}, seguida por la aplicación de riego cada 9 y 14 días, esto ocurre probablemente debido a que conforme el estrés hídrico es mayor, el ψ_{hoja} disminuye en las plantas de uchuva. De forma similar, Zhu *et al*. (2004) determinaron que el ψ_{hoja} en árboles de manzana disminuyó a medida que el estrés hídrico aumentó y mencionan que la concentración de citoquininas a nivel foliar también disminuye, producto de una menor actividad de esta hormona en la zona radicular, lo que implica retrasos en procesos como la división celular. También, Kitsaki y Drossopoulos (2005) mencionan que a medida que el ψ_{hoja} se hace más negativo, mayor es el contenido de ABA, con lo cual se puede inferir que la medición del ψ_{hoja} es una medida confiable del nivel de estrés al cual está sometida una planta (Girona *et al*., 2006), además, en uva, la tasa de crecimiento de los brotes y la asimilación neta de CO_2 tuvo mayor correlación con el ψ_{hoja} al medio día, que con el ψ_{hoja} al alba (Pilar *et al*., 2007).

Por el contrario, Jaimez *et al*. (1999) evaluaron en *Capsicum chinense* distintas frecuencias de riego (3, 6 y 9 días) y encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico al alba y al medio día, no obstante las diferencias entre tratamientos fueron más marcadas al alba, lo cual difiere de lo encontrado en este estudio para uchuva, ya que es probable que las condiciones de siembra bajo invernadero atenúen el efecto de los parámetros ambientales sobre el ψ_{hoja} (Girona *et al*., 2006). Jaimez *et al*. (1999) también afirman que en condiciones de zonas con alta demanda evaporativa, las plantas presentan una pérdida de turgencia que se relaciona con los bajos valores de potencial

hídrico y mencionan que si la frecuencia de riego afecta el potencial hídrico es probable que la planta tenga dificultades para realizar un ajuste osmótico bajo condiciones de estrés, y que por debajo de valores de -1,6 a -1,8 MPa la conductancia estomática disminuye y, consecuentemente, las tasas fotosintéticas. Del mismo modo, Marsal y Girona (1997) evaluaron el potencial hídrico de hoja en durazneros y mencionan que valores inferiores a -3 MPa afectan severamente las plantas, asimismo, encontraron que es probable que en pleno crecimiento del fruto, este genere una mayor movilización de agua hacia el mismo y disminuya la cantidad de agua en las hojas.

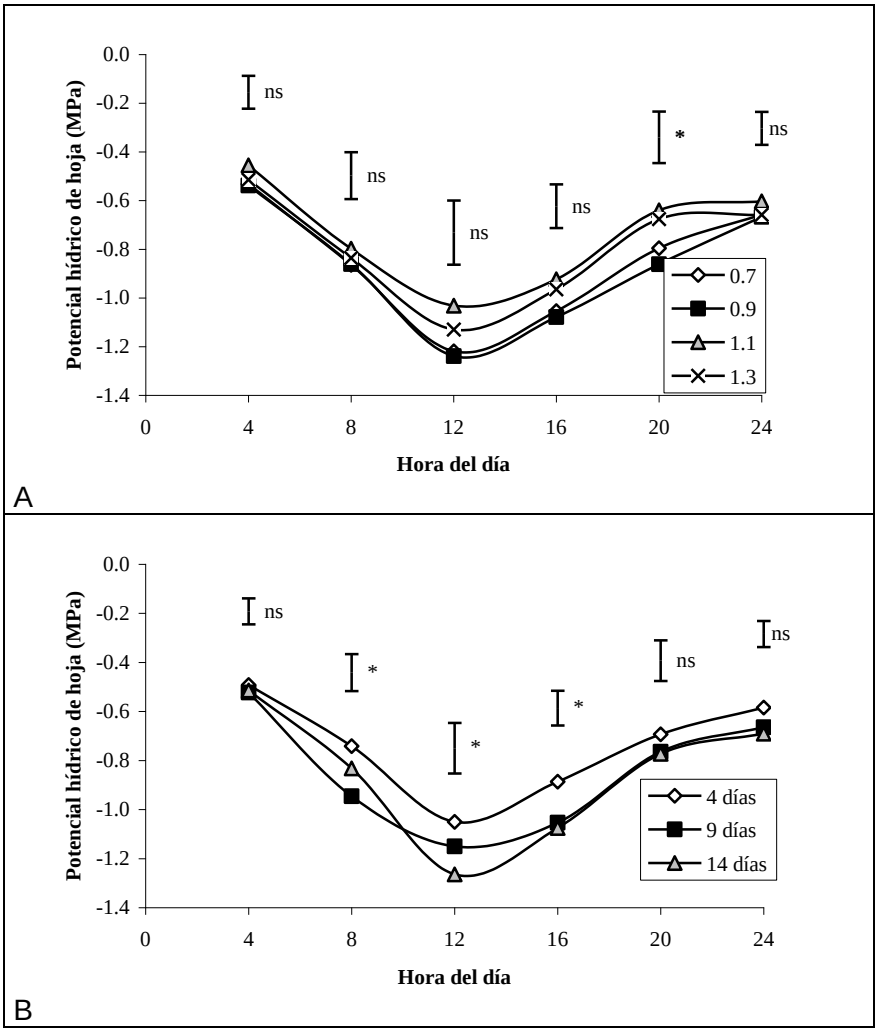
En cuanto al efecto de las diferentes dosis de calcio aplicadas al cultivo de uchuva, estas no afectaron el ψ_{hoja}, como se aprecia en la figura 30C. A pesar de que al aumentar la aplicación de Ca^{2+}, la [Ca^{2+}] en las hojas se vio incrementada (Capitulo 4.5), esta no tuvo ningún efecto en el ψ_{hoja}, lo cual se debe probablemente a que los cambios en el ψ_{hoja} están fuertemente influenciados por las condiciones ambientales, especialmente por el déficit de presión de vapor (DPV) (Singh y Singh, 2006).

4.6.2 Potencial hídrico de tallo (ψ_{tallo}):

Este potencial tuvo un comportamiento muy similar al ψ_{hoja}, ya que el ψ_{tallo} fue mayor al alba (4 am) y en las horas de la noche (figura 31), mientras que para las horas contempladas entre las 8 am y las 4 pm alcanzó valores inferiores, dentro de las cuales al medio día descendió a un mínimo en promedio de -0,97 MPa, valores que se ajustan a los encontrados para cítricos a la misma hora del día de -0,6 a -1,3 MPa (García-Tejero *et al*., 2010), y a los que definen De Swaef *et al*. (2009) para la mayoría de los frutales, de entre -0,5 y -1,5 MPa.

El ψ_{tallo} presentó diferencias significativas entre láminas de riego sólo en las mediciones efectuadas al medio día (figura 31A). Se puede apreciar que la lámina de riego que presentó los valores más altos de ψ_{tallo} es la lámina con coeficiente de 1,1, tanto al medio día como en las demás horas del día, mientras que las láminas de 0,7, 0,9 y 1,3 durante todo el día presentaron los menores valores de $\psi_{tallo.}$ Es probable que la lámina con coeficiente de 1,3 haya causado un efecto de hipoxia radicular temporal que haya afectado la medición del potencial. Los valores de ψ_{tallo} oscilaron en promedio al alba en -0,50 MPa, similares a los encontrados por Nortes *et al*. (2005) en almendros con valores

promedio de -0,4 MPa, y que resulta acorde a lo mostrado por Navarro *et al*. (2007) quienes mencionan que en plantas sometidas a estrés, el ψ_{tallo} al alba y al mediodía es menor que en las plantas control, lo cual refleja las señales hidráulicas que envían las raíces a los brotes, además afirman que, en condiciones de estrés, mantener la presión de turgor a nivel celular implica un ajuste osmótico y probables cambios en la elasticidad de la pared celular, de tal manera que repercute en la disminución del ψ. Además, medir el ψ_{tallo} refleja directamente el estado hídrico de la planta, ya que este mantiene una fuerte relación con el flujo en los haces vasculares, lo que resalta la importancia de determinar el ψ_{tallo} (García-Tejero *et al*., 2010).



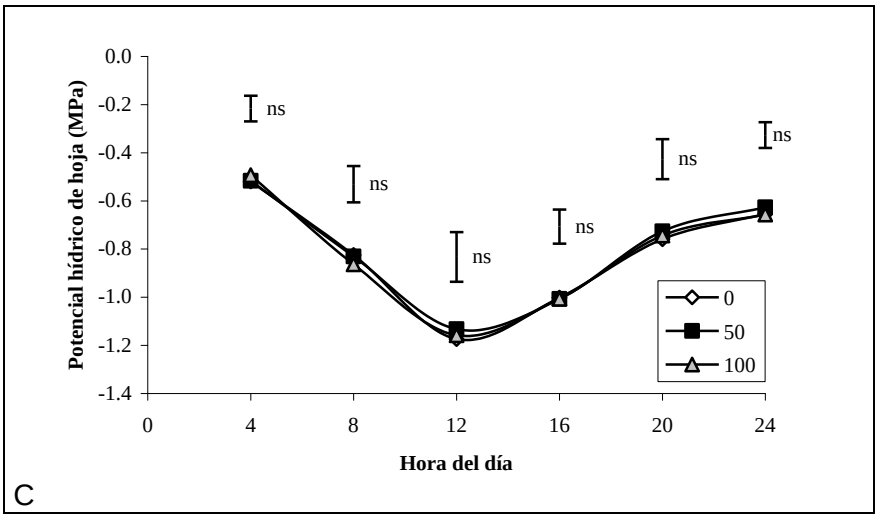
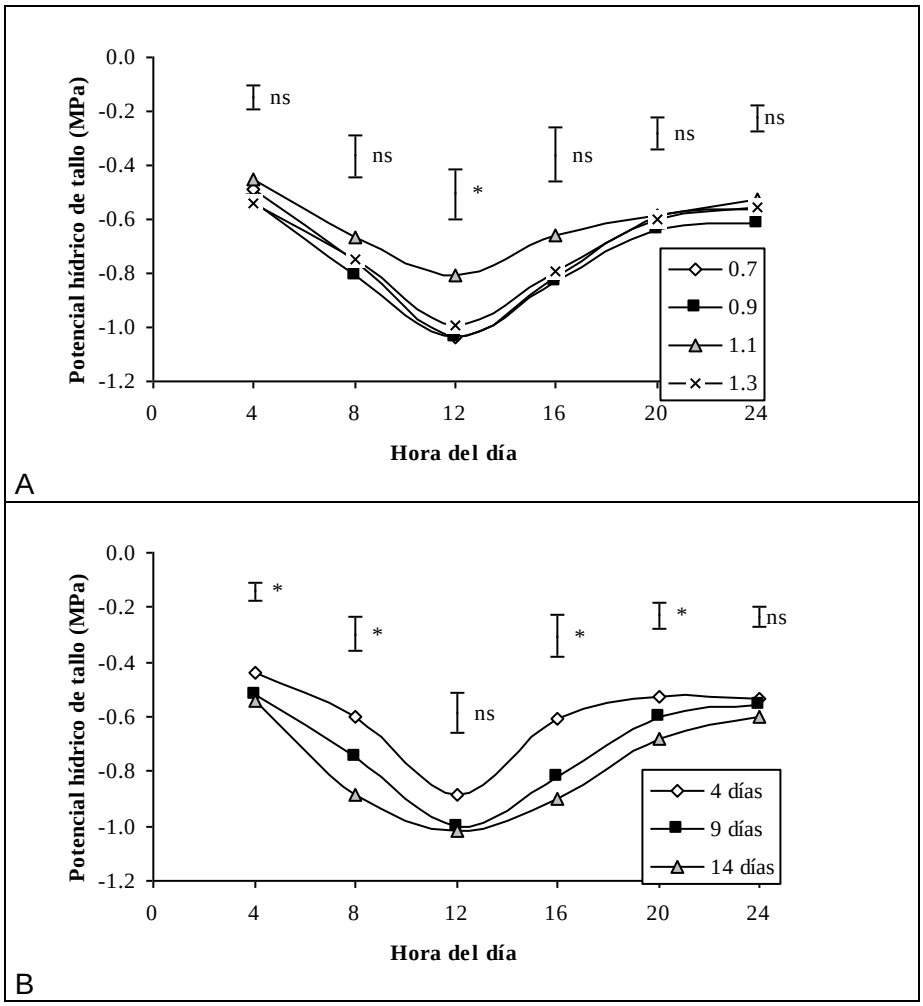


Figura 30. Potencial hídrico de hoja en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) frecuencias de riego y C) dosis de calcio en kg ha^{-1}. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *, indica efecto significativo con *P* ≤0,05.



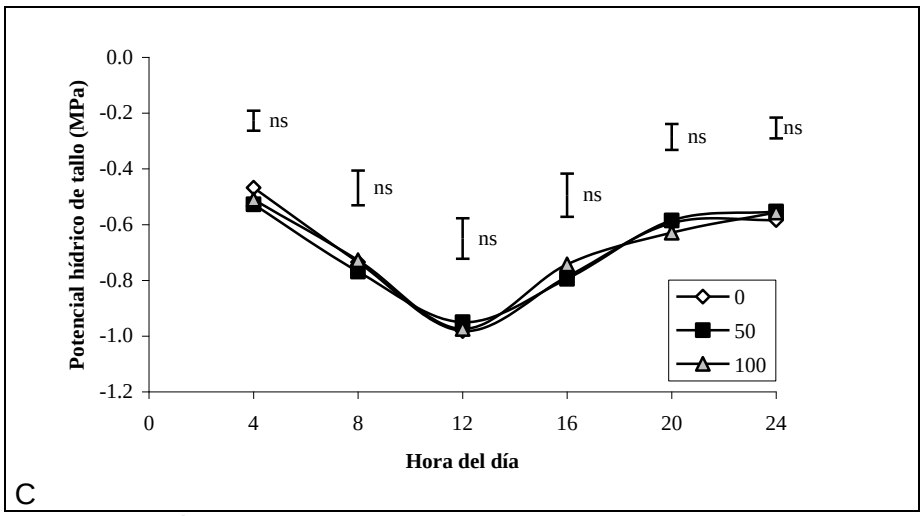


Figura 31. Potencial hídrico de tallo en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a: A) diferentes láminas de riego; B) frecuencias de riego y C) dosis de calcio en kg ha^{-1}. Las barras indican diferencia mínima significativa de acuerdo a la prueba de Tukey (*P* ≤0,05). ns: no significativo. *, indica efecto significativo con *P* ≤0,05.

En cuanto a la frecuencia de riego, esta generó diferencias significativas en el ψ_{tallo} al alba y no así al medio día (figura 31B). Lo anterior se puede explicar debido a que el ψ_{tallo} es una medida que correlaciona muy bien con el ψ del suelo, acorde a los expuesto por Sousa *et al*. (2006) en uva, por lo tanto, una medida de ψ_{tallo} al alba, indicaría de cierta forma el contenido de humedad en el que se encuentra el sustrato, mientras que la medida de ψ_{tallo} al medio día al tener fuerte correlación con las condiciones ambientales estaría indicando la demanda evaporativa (De Swaef *et al*., 2009). No obstante, en trigo, Sato *et al*. (2006) no encontraron correlación entre el ψ_{tallo} al alba y el ψ_{suelo}, lo que se pudo haber dado debido a la capacidad de retención de humedad que tiene los suelos, así como a la habilidad de las plantas para absorber agua, a la especie, estado de crecimiento y a las condiciones ambientales. Al respecto, los valores tanto de ψ_{tallo} como de ψ_{hoja} resultan ser menores al medio día, debido a que conforme se incrementa la transpiración y la presión disminuye en el xilema, las células comienzan a deshidratarse, por lo que es común encontrar presiones de entre -1 a -2 MPa (Boyer, 1995). Del mismo modo, esta disminución presentada en el ψ de las plantas de uchuva a causa del estrés genera problemas en el desarrollo y crecimiento de la planta, ya que esto afecta procesos como la fotosíntesis, pues bajo condiciones de estrés el primer mecanismo de defensa en respuesta al déficit de agua es el cierre parcial de los estomas, lo cual restringe la toma de CO_2 (De Pauw *et al*., 2008), y logró afectar el crecimiento de los

frutos (Capítulo 4.1), así como otros parámetros de calidad de los mismos (Capítulo 4.3 y 4.4). Además, Moriana *et al*. (2012), en olivo, encontraron que bajo condiciones de estrés el ψ_{tallo} al medio día alcanzó -2,0 MPa y mencionan que cuando las plantas tienen una respuesta isohídrica a las condiciones de sequía, el control estomático previene la deshidratación y los valores de potencial no se ven afectados, pero que cuando la respuesta es anisohídrica, el potencial hídrico de la planta es más sensible al estrés hídrico.

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis de calcio aplicadas a las plantas de uchuva, estas no mostraron diferencias significativas en el comportamiento del ψ_{tallo} para ninguna de las horas del día (figura 31C) al igual que ocurrió con el ψ_{hoja}, y lo que dejan ver es el patrón de variación que describe el ψ_{tallo} de las plantas de uchuva a lo largo del día. Del mismo modo que con el ψ_{hoja}, es probable que esta medición al ser fuertemente influenciada por el clima, no se vea alterada por la fertilización realizada con calcio, no obstante, Li et al. (2003) encontraron que cuando las aplicaciones de Ca^{2+} externo se hacen directamente sobre el follaje, este logró incrementar la tolerancia a la sequía y disminuir el potencial hídrico debido a que este elemento influyó en la mitigación del estrés oxidativo al disminuir la actividad de la catalasa, la superoxido dismutasa y la polifenol oxidasa.

4.6.3 Comparación entre potencial hídrico de hoja y de tallo y relación con el DPV:

En la figura 32 se aprecia el comportamiento promedio a lo largo del día del ψ_{hoja} y de ψ_{tallo} de las plantas de uchuva. El ψ_{tallo} es menor que ψ_{hoja} con diferencias significativas durante todas las horas del día a excepción del momento del alba (4 am) en donde los valores son de -0,50 y -0,51 MPa para ψ_{tallo} y ψ_{hoja}, respectivamente, lo cual resulta acorde a lo expresado por Vélez *et al*. (2007), quienes mencionan que en cítricos la medición del ψ_{tallo} y del ψ_{hoja} al alba tanto en tratamientos con déficit de riego como con un adecuado suplemento hídrico presentan valores similares, y sugieren que para tener un mejor control del déficit de agua impuesto se hace necesario medir la variación diaria del tronco, de igual forma, el comportamiento de equilibrio entre potenciales observado implica que al alba, el estado hídrico es uniforme en toda la planta y tiene una mínima influencia de las condiciones ambientales, lo cual a su vez, reflejaría el potencial hídrico

del sustrato empleado, acorde a lo encontrado para almendros por Nortes *et al*. (2005), y se podría sugerir que esta medición tendría una mayor correlación en sustratos, que en suelos especialmente arcillosos, debido a la fuerte retención de humedad que limitaría el efecto de tratamientos deficitarios en riego, tal y como lo expresan Sato *et al*. (2006).

Durante las demás horas del día, las diferencias entre los potenciales medidos ocurren debido al mayor tiempo de embolsado de la hoja (3 horas) para la realización de la medición del ψ_{tallo}, proceso que limita la influencia de las condiciones ambientales (temperatura y radiación) y disminuye la fotosíntesis de la hoja embolsada con lo cual se crea un continuo entre el tallo y la hoja (Boyer, 1995), que genera valores menores a los registrados en el ψ_{hoja}, en el cual el tiempo de embolsado (15 min) sólo disminuye la temperatura y los efectos de radiación solar, pero que no genera un equilibrio continuo en el sistema vascular, que se ve reflejado en las diferencias de los potenciales en las diferentes horas del día a excepción de la medición al alba. De igual manera, la mayor diferencia entre potenciales, se presentó al medio día, con lo cual se puede inferir que esta es la hora en la cual las condiciones ambientales afectan de mayor forma el ψ, con lo cual para uchuva, la medición de este parámetro al medio día sería un buen indicador del estrés hídrico, debido a la alta sensibilidad que presenta, similar a lo encontrado por Nortes *et al*. (2005).

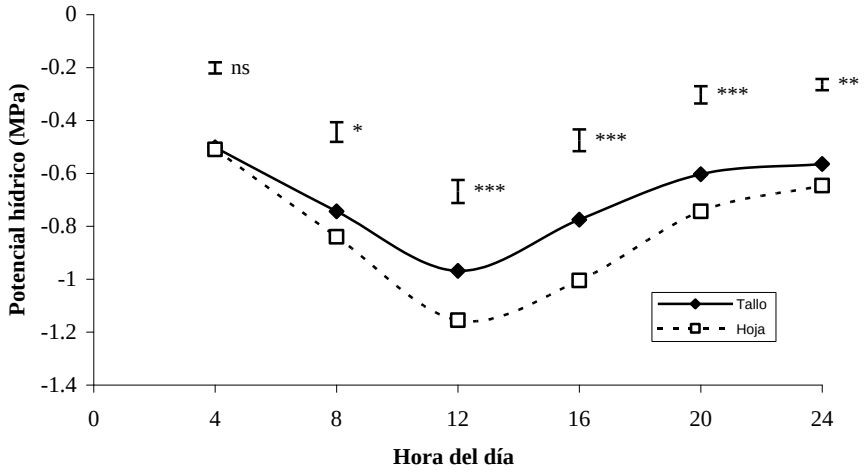


Figura 32. Potencial hídrico de hoja y tallo en plantas de uchuva sembradas en turba rubia en invernadero y sometidas a diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio en kg ha^{-1}.

Debido a que se ha relacionado el ψ_{tallo} y ψ_{hoja}, con las condiciones ambientales, se expresó la relación entre estos parámetros del estado hídrico de la planta con el déficit de presión de vapor (DPV), el cual ha mostrado tener una fuerte correlación con el ψ en ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2006) y almendros (Nortes *et al*., 2005). En la figura 33 se aprecia que a medida que el DPV aumenta, tanto el ψ_{tallo} como el ψ_{hoja} disminuyen, y el DPV explica esta disminución en un 95,3% y 83,2%, respectivamente. Este comportamiento encontrado es similar a lo reportado para ciruelo (Intrigliolo y Castel, 2006), rosa (Urban y Langelez, 2003) y *Dalbergia sissoo* (Singh y Singh, 2006), quienes encontraron que los mayores valores de ψ_{hoja} fueron debidos a los menores valores de DPV. De igual forma, la relación entre los potenciales medidos y el DPV presentó una tendencia polinómica. Al respecto, Hogg y Hurdle (1997) mencionan que la relación entre el potencial hídrico y el DPV no es lineal, debido a que el cierre estomático es gradual conforme se incrementa el DPV y se estabiliza como respuesta necesaria para mantener lo suficientemente alto el potencial hídrico y evitar daños en la planta, no obstante Intrigliolo y Castel (2006) han observado relaciones lineales en ciruelos y también Sato *et al*. (2006) encontraron relación lineal entre las mediciones al alba del potencial hídrico y el DPV, las cuales se explican debido a la transpiración nocturna. Así mismo, De la Rosa *et al*. (2013) mencionan que en duraznero el ψ_{tallo} al medio día tuvo mejor correlación con la temperatura promedio y con el DPV, que con las demás variables climáticas, no obstante, sugieren que para automatizar las mediciones del estado hídrico de la planta, medir la máxima contracción diaria del tronco al medio día, sería una alternativa confiable, similar a medir el ψ_{tallo} (Vélez *et al*., 2007, Intrigliolo y Castel, 2005) o la conductancia estomática, la cual tiene un comportamiento inversamente proporcional al ψ_{tallo} en especies forestales (Hogg *et al*., 2000).

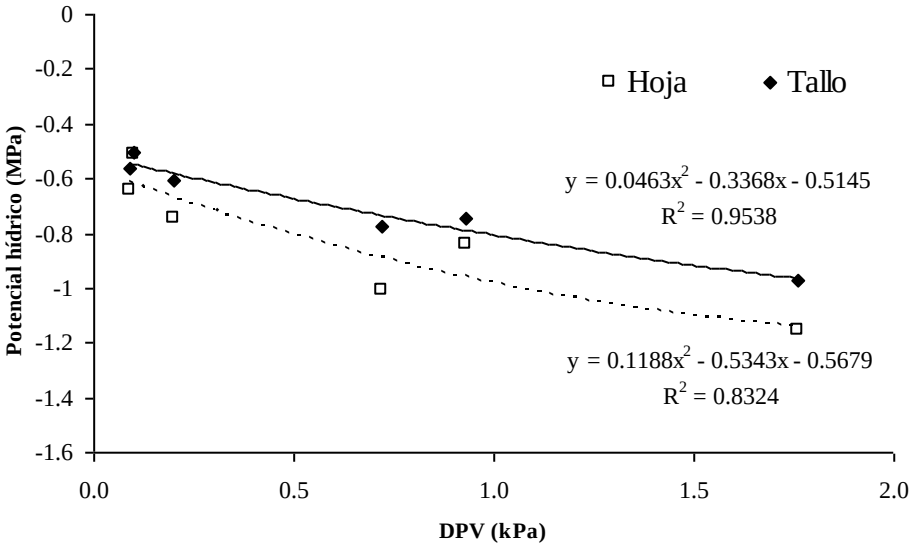


Figura 33. Relación entre el potencial hídrico de hoja y tallo en plantas de uchuva con el déficit de presión de vapor (DPV)

4.6.4 Consumo de agua y eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR):

En la tabla 14 se aprecia el consumo de agua aplicado durante la fase de tratamientos al cultivo de uchuva, las plantas que más recibieron agua correspondieron al tratamiento de 1,3 con una frecuencia de riego de 9 días, mientras que la menor aplicación de agua correspondió a la frecuencia de riego de 4 días con un coeficiente de 0,7, de igual forma, el consumo de agua diario varió de 1,4 a 2,8 L/planta-día (Tabla 15) para los tratamientos con frecuencia de riego cada 4 días con coeficiente de 0,7 y frecuencia de riego de 9 días con coeficiente de 1,3, respectivamente, lo que refleja que la variación en el régimen de riego utilizada alcanzó a ser del 100%.

Tabla 13. Aplicación total de agua (L) en plantas de uchuva a lo largo del periodo de producción (6 meses)

Coeficiente de riego	Frecuencia de riego (días)		
	4	9	14
0,7	257	271	262
0,9	331	348	337
1,1	404	425	412
1,3	478	503	487

Tabla 14. Consumo de agua diaria (L/planta-día) en plantas de uchuva

Coeficiente de riego	Frecuencia de riego (días)		
	4	9	14
0,7	1,4	1,5	1,5
0,9	1,8	1,9	1,9
1,1	2,2	2,4	2,3
1,3	2,7	2,8	2,7

Para conocer las diferencias en cuanto a generación de biomasa con respecto a la cantidad de agua aplicada, se determinó la eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR), esta no presentó diferencias significativas para la interacción lámina de riego por dosis de calcio ni para la frecuencia de riego (anexo 9), no obstante, si presentó diferencias al analizar el efecto por separado del factor lámina de riego. El coeficiente que presentó la mayor EUAR fue el de 0,7, el cual fue superior en un 30%, 39% y 50% a las láminas de riego de 1,1; 0,9 y 1,3, por lo que se puede afirmar que entre menor agua se aplicó a las plantas de uchuva, mayor fue la eficiencia en la producción de biomasa, lo cual es acorde a lo reportado en tomate (Savic *et al*., 2011; Zotarelli *et al*., 2009). Estos últimos autores mencionan que los tratamientos con mayor EUA tenían mayor cantidad de aplicaciones diarias de agua en riegos más frecuentes, y que a mayor cantidad de aplicaciones menor era el agua que se perdía por infiltración, además, Intrigliolo y Castel (2010) afirman que en ciruelo en la primera temporada el déficit de riego generó una mayor EUAR, sin embargo, para la segunda y tercera temporada, los tratamientos

comenzaron a disminuir la EUAR, producto del desgaste de la planta al estar sometida a un estrés permanente. Del mismo modo, Parra *et al*. (2002) mencionan que conforme mayor es la EUAR, mayor es la tolerancia al déficit hídrico, no obstante los valores del ψ son menores, situación similar a la registrada en la presente investigación, en donde el menor coeficiente de riego (0,7) tuvo los valores más bajos de ψ_{tallo}. Paralelamente, Fischer (1995) encontró que la EUAR en plantas de uchuva es afectada por la temperatura de la zona radicular y que cuando la temperatura edáfica se acerca a los 30° la EUAR es mayor que cuando las plantas están sembradas en zonas radiculares de 22 y 14 °C.

Debido a que la lámina de riego de 1,1 tuvo la segunda mayor EUAR, y esta generó la mayor cantidad de frutos grandes y producción (Capitulo 4.1.) se puede mencionar, que este es el coeficiente de riego adecuado para la producción de uchuva, ya que una lámina de riego de 0,7 tiene una mayor EUAR, pero menor producción con frutos más pequeños, aunque los frutos posean mayor cantidad de SST y menor ATT, similar a lo encontrado por Intrigliolo y Castel (2010) en ciruelo, en donde las menores cantidades de agua mostraron mayor EUAR, pero afectaron positivamente la calidad de los frutos, lo que también fue observado en tomate bajo condiciones de invernadero (Savic *et al*., 2011).

5. Conclusiones y recomendaciones

- Las plantas regadas cada 4 días producen un porcentaje mayor de frutos grandes.

- Los frutos más grandes presentan mayor incidencia de rajado.

- Las plantas que recibieron menor cantidad de agua presentan los frutos con el mayor porcentaje de rajado.

- Con una frecuencia de riego de 15 días, el rajado en los frutos es menor que cuando el suministro hídrico se hace cada 4 días.

- El régimen de riego tiene gran influencia en el rajado de los frutos de uchuva.

- La frecuencia de riego de 4 días combinada con la aplicación de un coeficiente de riego de 1,3 produce la mayor producción de frutos por planta.

- Los frutos más grandes de uchuva, el mayor número de frutos y las mayores producciones por planta se dan en las primeras cosechas, así como también el mayor porcentaje de rajado.

- En las últimas cosechas, la cantidad de frutos pequeños es la más abundante.

- Al aumentar la cantidad de agua aplicada, los frutos de uchuva presentaron menor acidez y grados brix.

- A menor frecuencia de riego, aumentó el porcentaje de sólidos solubles, mientras que la acidez y el pH disminuyeron.

- Los frutos presentan una mayor tendencia al rajado cuando se aplican bajas cantidades de calcio en la fertilización.

- Los frutos rajados presentan menor cantidad de ácido ascórbico que los frutos sanos.

- Los frutos sanos presentan mayor contenido de carotenoides totales que los frutos rajados, por lo que, los frutos de uchuva rajados presentan menor calidad nutricional.

- Frutos con disponibilidad de agua adecuada presentan mayor cantidad de carotenoides.

- Una frecuencia de riego baja genera frutos con mayor concentración de AA.

- Los frutos provenientes de plantas regadas cada 14 días presentaron menor luminosidad.

- Los frutos de las plantas que recibieron mayor aplicación de calcio presentaron menor cantidad de SST, menor pérdida de masa en el tiempo y mayor firmeza.

- La frecuencia de riego de 14 días presentó los mayores valores de SST.

- La vida poscosecha de los frutos de uchuva se vio aumentada al aplicar 100 kg ha^{-1} de calcio con un coeficiente de riego de 0,9 y una frecuencia de riego de 4 días, no obstante los frutos son menos dulces.

- La luminosidad de los frutos de uchuva disminuye durante la vida poscosecha.

- Las plantas de uchuva fertilizadas con calcio acumulan este nutriente principalmente en las hojas y el cáliz, mientras que la concentración en los frutos permanece constante.

- El contenido de calcio en las hojas disminuye conforme aumenta la aplicación de agua.

- A medida que se incrementó la dosis de fertilización de Ca^{2+}, la [Mg^{2+}] en las hojas también aumentó.

- Los frutos de uchuva presentan una mayor actividad de la poligalacturonasa cuando provienen de plantas que no recibieron aplicaciones de calcio.

- Tanto hojas como cáliz tienen un comportamiento similar en la acumulación de calcio, magnesio y potasio.

- Los frutos de uchuva acumulan mayor concentración de K^{+}, que de Ca^{2+} y Mg^{2+}.

- El ψ_{hoja} y el ψ_{tallo} en las plantas de uchuva presenta una tendencia sinusoidal a lo largo del día.

- La frecuencia de riego de 4 días con una lámina de riego de 1,1 presenta los valores más altos de ψ_{hoja} y ψ_{tallo}.

- Los ψ_{hoja} y el ψ_{tallo} alcanzaron los valores más altos al alba (4 am) producto de los bajos niveles en el DPV existentes a esa hora, y llegaron a su punto más bajo en las horas del mediodía.

- La aplicación de láminas de riego menores a la ETc producen estrés hídrico en la planta y llevan al cultivo hacia la marchitez.

- Debido a que la lámina de riego de 1,1 tuvo la segunda mayor EUAR, y esta generó la mayor cantidad de frutos de tamaño grande, uno de los menores porcentajes de rajado de frutos, la segunda mayor producción, frutos con buena calidad y nivel nutricional y un buen comportamiento en poscosecha, se puede mencionar a esta como la mejor lámina para la producción de uchuva.

- La medición del potencial hídrico de tallo tiene mayor confiabilidad pues es menos susceptible a las condiciones ambientales, además esta debe realizarse al alba y en

las horas del mediodía, pues son los momentos en los cuales se expresa mejor las condiciones de equilibrio con el suelo y de mayor estrés, respectivamente.

- En futuras investigaciones se recomienda la aplicación en invernadero de frecuencias de riego menores a 4 días con el fin de maximizar las producciones y ver la problemática del rajado en frutos bajo estas condiciones.

Anexos

ANEXO 1. VALORES DE LA EVAPORACIÓN (mm) MEDIDA EN EL TANQUE CLASE A Y USADOS PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES DE AGUA A APLICAR A LAS PLANTAS DE UCHUVA

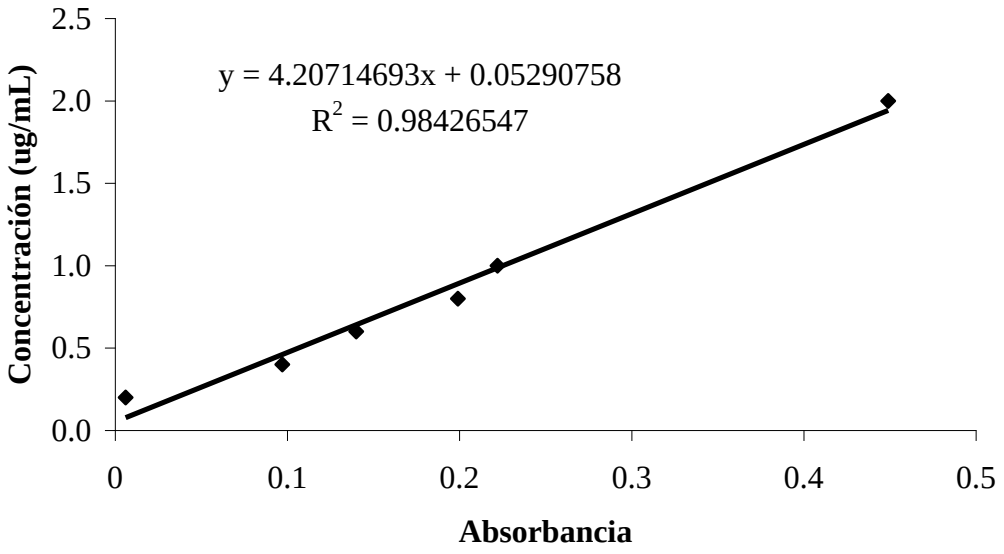
		Frecuencia de riego		
Día	Fecha	4 días	9 días	14 días
V	26-jun			
L	29-jun	9		
V	03-jul	12		
L	06-jul	9	30	
V	09-jul	12		42
L	13-jul	10		
M	15-jul		25	
V	17-jul	10		
L	20-jul	7		
V	24-jul	8	22	35
L	27-jul	8		
V	31-jul	9		
L	03-ago	9	26	
V	07-ago	9		35
L	10-ago	6		
M	12-ago		20	
V	14-	10		

	ago			
L	17-ago	7		
V	21-ago	8	20	31
L	24-ago	6		
V	28-ago	5		
L	31-ago	8	20	
V	04-sep	11		31
L	07-sep	6		
M	09-sep		23	
V	11-sep	12		
L	14-sep	10		
V	18-sep	3	23	31
L	21-sep	5		
V	25-sep	11		
L	28-sep	7	23	
V	02-oct	9		32
L	05-oct	9		
M	07-oct		24	
V	09-oct	5		
L	12-oct	8		
V	16-oct	2	21	30
L	19-oct	5		

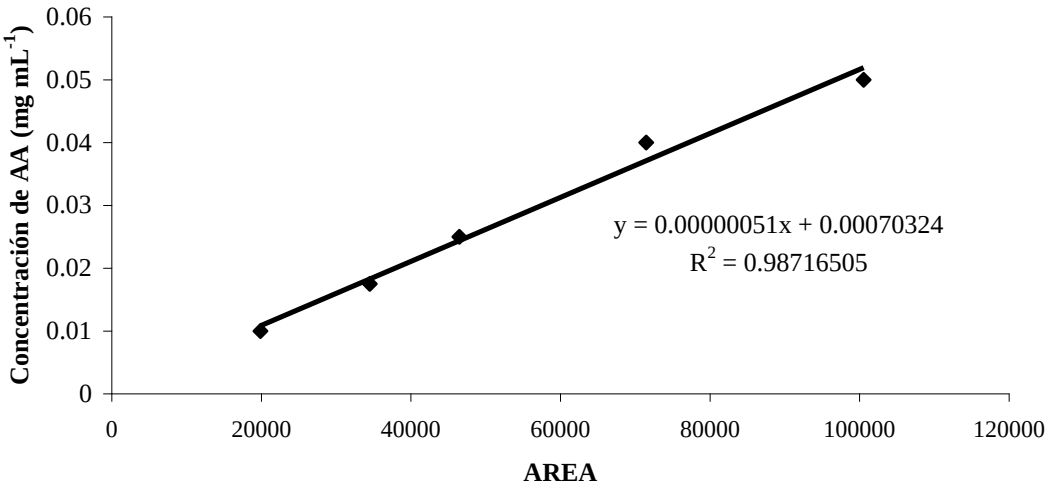
V	23-oct	10		
L	26-oct	6	21	
V	30-oct	11		32
L	02-nov	9		
M	04-nov		23	
V	06-nov	9		
L	09-nov	7		
V	13-nov	11	27	36
L	16-nov	9		
V	20-nov	5		
L	23-nov	5	19	
V	27-nov	7		26
L	30-nov	9		
M	02-dic		16	
V	04-dic	8		
L	07-dic	7		
V	11-dic	9	24	33

L: lunes; M: miercoles; V: viernes

ANEXO 2. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES

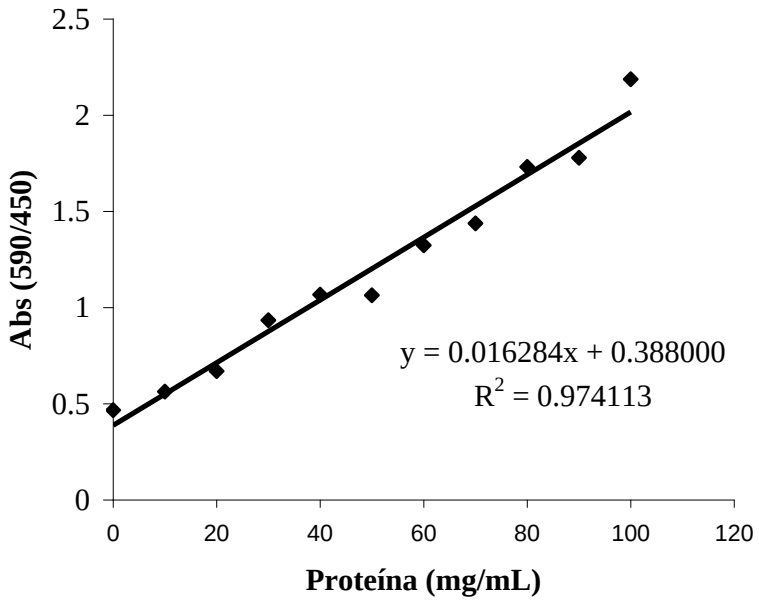


ANEXO 3. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO

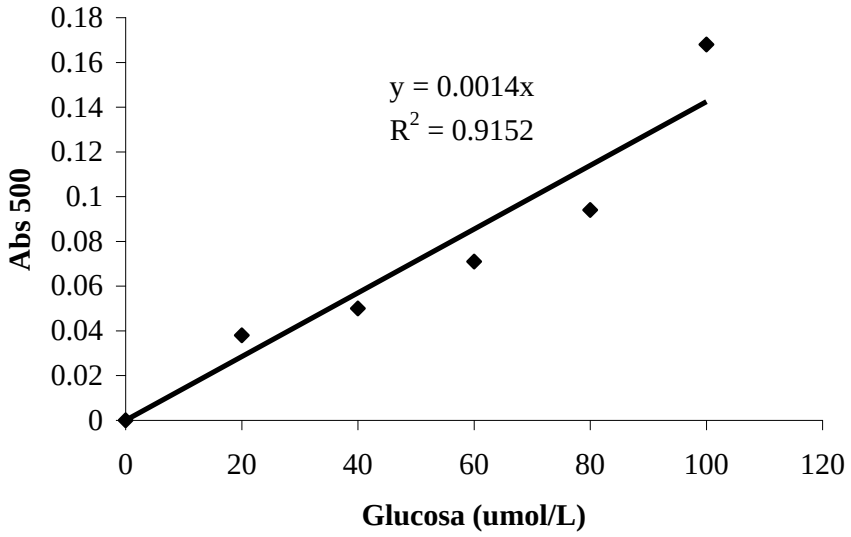


ANEXO 4. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE POLIGALACTURONASA

CURVA DE CALIBRACIÓN PARA PROTEÍNA



CURVA DE CALIBRACIÓN PARA GLUCOSA



ANEXO 5. ANOVAS Y PRUEBAS DE TUKEY DE LAS VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE UCHUVA

Variable dependiente: PORCENTAJE DE FRUTOS GRANDES

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	270.7453689	20.8265668	0.76	0.6874
Error	22	600.3084817	27.2867492		
Total corregido	35	871.0538506			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PE Media
0.310825	56.93753	5.223672	9.174392

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	16.7633084	5.5877695	0.20	0.8920
CAL	2	44.6271594	22.3135797	0.82	0.4544
LAM*CAL	6	49.9549513	8.3258252	0.31	0.9275
FREC	2	159.3999498	79.6999749	2.92	0.0750

Variable dependiente: PORCENTAJE DE FRUTOS MEDIANOS

Suma de Cuadrado de

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	1574.069210	121.082247	1.65	0.1444
Error	22	1611.224666	73.237485		
Total corregido	35	3185.293876			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PD Media
0.494168	27.21741	8.557890	31.44270

Fuente	DF	Cuadrado de Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	255.6602065	85.2200688	1.16	0.3461
CAL	2	627.4081169	313.7040584	4.28	0.0268
LAM*CAL	6	508.8649605	84.8108268	1.16	0.3635
FREC	2	182.1359264	91.0679632	1.24	0.3079

Variable dependiente: PORCENTAJE DE FRUTOS PEQUEÑOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	1650.818524	126.986040	2.70	0.0193
Error	22	1034.263999	47.012000		
Total corregido	35	2685.082523			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PA Media
0.614811	11.47529	6.856530	59.75040

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	301.9119273	100.6373091	2.14	0.1240
CAL	2	369.1297562	184.5648781	3.93	0.0348
LAM*CAL	6	519.0398211	86.5066368	1.84	0.1374
FREC	2	460.7370196	230.3685098	4.90	0.0174

Variable dependiente: MASA PROMEDIO DE FRUTOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	4.95025579	0.38078891	3.82	0.0028
Error	22	2.19046642	0.09956666		
Total corregido	35	7.14072222			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PESOPROMF Media
0.693243	8.869030	0.315542	3.557794

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	0.54306121	0.18102040	1.82	0.1733
CAL	2	0.14727350	0.07363675	0.74	0.4888
LAM*CAL	6	0.54615697	0.09102616	0.91	0.5032
FREC	2	3.71376411	1.85688205	18.65	<.0001

Variable dependiente: RAJADO TOTAL DE FRUTOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	3432.615568	264.047351	3.03	0.0107
Error	22	1919.640994	87.256409		
Total corregido	35	5352.256562			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RAJAtotal Media
0.641340	30.61110	9.341114	30.51545

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	1641.679165	547.226388	6.27	0.0031
CAL	2	9.035069	4.517535	0.05	0.9497
LAM*CAL	6	438.722371	73.120395	0.84	0.5539
FREC	2	1343.178962	671.589481	7.70	0.0029

Variable dependiente: RAJADO FRUTOS GRANDES

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	11803.66265	907.97405	12.22	<.0001
Error	22	1634.59250	74.29966		
Total corregido	35	13438.25515			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RAJAE Media
0.878363	41.45314	8.619725	20.79390

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	25.72327	8.57442	0.12	0.9501
CAL	2	28.64650	14.32325	0.19	0.8260
LAM*CAL	6	242.21893	40.36982	0.54	0.7696
FREC	2	11507.07395	5753.53698	77.44	<.0001

Variable dependiente: RAJADO FRUTOS MEDIANOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	4424.045039	340.311157	3.60	0.0040
Error	22	2079.484265	94.522012		
Total corregido	35	6503.529305			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RAJAD Media
0.680253	29.80736	9.722243	32.61692

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	1818.665702	606.221901	6.41	0.0028
CAL	2	64.757357	32.378679	0.34	0.7137
LAM*CAL	6	736.111206	122.685201	1.30	0.2991
FREC	2	1804.510774	902.255387	9.55	0.0010

Variable dependiente: RAJADO FRUTOS PEQUEÑOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	1374.598105	105.738316	1.21	0.3341
Error	22	1919.346006	87.243000		
Total corregido	35	3293.944111			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RAJAA Media
0.417311	44.85579	9.340396	20.82317

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	1068.755751	356.251917	4.08	0.0190
CAL	2	62.327241	31.163621	0.36	0.7036
LAM*CAL	6	121.125275	20.187546	0.23	0.9618
FREC	2	122.389838	61.194919	0.70	0.5066

Variable dependiente: RELACIÓN CÁLIZ FRUTO

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F

Modelo	13	13.85127312	1.06548255	0.60	0.8268
Error	22	38.92 668811	1.76939491		
Total corregido	35	52.77796123			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PORCCAFRU Media
0.262444	16.34195	1.330186	8.139703

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	4.19054305	1.39684768	0.79	0.5127
CAL	2	3.41665647	1.70832823	0.97	0.3964
LAM*CAL	6	5.45958063	0.90993011	0.51	0.7911
FREC	2	0.78449297	0.39224649	0.22	0.8029

Variable dependiente: MASA SECA DE FRUTOS

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	0.01558461	0.00119882	1.35	0.2578
Error	22	0.01950866	0.00088676		
Total corregido	35	0.03509327			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MSF1 Media
0.444091	18.20341	0.029778	0.163587

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	0.00031407	0.00010469	0.12	0.9485
CAL	2	0.00032590	0.00016295	0.18	0.8334
LAM*CAL	6	0.00603975	0.00100663	1.14	0.3751
FREC	2	0.00890489	0.00445244	5.02	0.0160

Variable dependiente: PRODUCCIÓN

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	2993739.753	230287.673	3.68	0.0035
Error	22	1378375.660	62653.439		
Total corregido	35	4372115.413			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PRODUTOT Media
0.684735	32.90003	250.3067	760.8100

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	1270154.196	423384.732	6.76	0.0021
CAL	2	85842.756	42921.378	0.69	0.5145
LAM*CAL	6	99144.333	16524.056	0.26	0.9480
FREC	2	1538598.468	769299.234	12.28	0.0003

ariable dependiente: NÚMERO DE FRUTOS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	203671.6981	15667.0537	3.70	0.0034
Error	22	93119.0815	4232.6855		
Total corregido	35	296790.7796			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	NUMTOT Media
0.686247	34.85481	65.05909	186.6574

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	93955.81690	31318.60563	7.40	0.0013
CAL	2	4939.26786	2469.63393	0.58	0.5664
LAM*CAL	6	10972.86376	1828.81063	0.43	0.8495
FREC	2	93803.74956	46901.87478	11.08	0.0005

Variable dependiente: MASA FRESCA CÁLIZ

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	0.00062349	0.00004796	2.39	0.0345
Error	22	0.00044107	0.00002005		
Total corregido	35	0.00106456			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MASACALIZ Media
0.585677	12.51105	0.004478	0.035789

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	0.00002743	0.00000914	0.46	0.7157
CAL	2	0.00003102	0.00001551	0.77	0.4735
LAM*CAL	6	0.00004629	0.00000771	0.38	0.8808
FREC	2	0.00051875	0.00025938	12.94	0.0002

Variable dependiente: RELACIÓN MASA SECA/MASA FRESCA CÁLIZ

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	3.17012778	0.24385598	1.18	0.3549
Error	22	4.55179444	0.20689975		
Total corregido	35	7.72192222			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PORCSECO1 Media
0.410536	16.40457	0.454862	2.772778

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	0.43756667	0.14585556	0.70	0.5592
CAL	2	0.16910556	0.08455278	0.41	0.6695
LAM*CAL	6	0.96218333	0.16036389	0.78	0.5980
FREC	2	1.60127222	0.80063611	3.87	0.0363

Pruebas de Tukey para variables de cosecha

Factor	Nivel del factor	Variable				
		Masa promedio de frutos (g)	Relación Cáliz Fruto	MS de frutos (g)	Relación MS/MF de Cáliz	MF Cáliz (g)
Coeficiente de riego	0,7	3,3814a	8,5960a	0,16264a	2,9022a	0,036856a
	0,9	3,7236a	7,6336a	0,16361a	2,8056a	0,034600a
	1,1	3,5340a	8,1602a	0,16815a	2,7856a	0,036344a
	1,3	3,5922a	8,1689a	0.15996a	2,5978a	0,035356a
Dosis de calcio (kg ha^{-1})	0	3,4823a	8,5636a	0,16765a	2,8650a	0,035942a
	50	3,6387a	8,0147a	0,16046a	2,7008a	0,036842a
	100	3,5525a	7,8407a	0,16265a	2,7525a	0,034583a
Frecuencia de riego (días)	4	3,9251a	8,3300a	0,18572a	3,0708a	0,040333a
	9	3,6055a	8,1188a	0,15447b	2,6333a	0,035992a
	14	3,1427b	7,9703a	0,15058b	2,6142a	0,031042b

MS: masa seca; MF: masa fresca

ANEXO 6. CONDICIONES CLIMÁTICAS DENTRO DEL INVERNADERO DURANTE EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

MAYO					JUNIO					JULIO					AGOSTO				
Día	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**
1	17.0	31	9	77	**1**	17.4	33	9	59	**1**	15.8	30	10	74	**1**	17.9	32	12	63
2	17.6	30	13	77	**2**	17.8	33	9	60	**2**	16.6	30	10	70	**2**	18.3	32	11	63
3	17.4	30	12	76	**3**	18.1	32	12	63	**3**	16.6	29	12	73	**3**	19.0	32	12	58
4	16.8	29	11	79	**4**	18.0	31	12	66	**4**	16.3	29	10	69	**4**	18.5	31	12	59
5	17.6	31	12	76	**5**	17.0	29	13	86	**5**	17.2	31	10	67	**5**	18.4	32	12	66
6	17.2	31	10	78	**6**	17.4	32	12	72	**6**	15.5	30	7	70	**6**	17.5	31	12	72
7	17.3	30	13	77	**7**	17.1	32	12	74	**7**	17.1	31	11	67	**7**	17.1	30.2	11	66
8	17.2	31	10	72	**8**	17.8	31	12	71	**8**	16.0	28	11	75	**8**	17.1	30	11	73
9	17.5	30	12	70	**9**	17.6	33	10	68	**9**	17.3	31	10	66	**9**	17.3	30	12	69
10	18.4	31	13	66	**10**	17.5	30	13	73	**10**	16.8	31	10	70	**10**	16.4	30	7	65
11	17.8	32	12	69	**11**	18.0	32	12	68	**11**	15.9	29	11	73	**11**	17.5	30	12	69
12	16.5	33	8	71	**12**	16.8	32	10	73	**12**	15.8	31	8	71	**12**	17.9	32	10	62
13	17.9	32	12	69	**13**	16.1	28	11	79	**13**	17.0	32	8	64	**13**	17.8	31	12	66
14	16.9	31	9	74	**14**	16.3	30	11	77	**14**	16.5	30	10	68	**14**	17.1	30	12	71
15	16.5	31	9	76	**15**	17.3	33	10	78	**15**	15.7	30	8	69	**15**	16.7	31	9	71
16	16.3	32	7	73	**16**	18.2	32	13	65	**16**	16.9	30	9	64	**16**	16.5	32	9	75
17	16.6	29	9	79	**17**	17.6	32	11	59	**17**	18.1	31	13	63	**17**	17.5	33	9	71
18	17.1	32	9	70	**18**	17.4	30	11	68	**18**	16.8	31	9	68	**18**	17.8	32	11	69
19	17.3	31	11	68	**19**	17.1	31	9	67	**19**	16.4	32	9	67	**19**	17.8	33	11	69
20	18.5	32	12	62	**20**	17.6	31	11	69	**20**	17.5	31	12	68	**20**	16.6	32	10	78
21	16.8	30	10	74	**21**	16.4	31	9	70	**21**	15.9	31	9	80	**21**	16.1	30	10	79
22	16.8	30	10	74	**22**	16.7	30	11	76	**22**	17.1	30	12	71	**22**	17.3	32	9	66
23	16.6	31	9	73	**23**	15.8	29	10	80	**23**	16.3	30	9	68	**23**	16.7	31	9	76
24	17.0	32	8	68	**24**	16.3	30	8	71	**24**	18.3	31	13	57	**24**	17.8	32	10	64
25	17.4	32	10	66	**25**	14.6	31	6	73	**25**	17.7	32	11	61	**25**	18.1	31	13	64
26	15.6	31	6	68	**26**	17.4	31	11	62	**26**	16.6	29	11	69	**26**	17.0	31	10	66
27	16.9	31	9	69	**27**	16.8	31	10	67	**27**	17.9	30	12	66	**27**	17.5	30	10	60
28	16.0	30	9	72	**28**	17.4	31	12	66	**28**	17.5	31	11	59	**28**	16.6	31	10	67
29	16.8	30	12	74	**29**	17.6	31	12	69	**29**	17.4	30	12	68	**29**	17.8	32	12	64
30	16.1	33	6	62	**30**	17.1	31	11	67	**30**	18.0	32	11	62	**30**	17.3	32	10	65
31	16.8	34	9	58						**31**	17.4	32	9	67	**31**	17.5	32	11	60

SEPTIEMBRE					OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE				
Día	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**	**Día**	**T**	**TM**	**Tm**	**HR**
1	14.9	32	3	62	**1**	17.2	32	7	59	**1**	17.2	31	11	74	**1**	17.7	33	9	68
2	17.4	32	11	69	**2**	16.8	32	7	66	**2**	16.9	31	12	76	**2**	16.9	33	8	65
3	16.5	31	8	70	**3**	18.0	32	12	66	**3**	16.9	30	11	78	**3**	16.5	33	6	69
4	17.4	30	11	64	**4**	17.8	32	11	63	**4**	18.0	32	12	74	**4**	16.3	34	5	69
5	18.0	32	11	56	**5**	16.6	32	8	66	**5**	17.7	32	11	73	**5**	16.7	34	6	68
6	18.1	33	10	53	**6**	15.5	35	5	68	**6**	17.0	31	11	78	**6**	17.2	33	9	72
7	17.3	30	10	66	**7**	18.3	33	11	59	**7**	17.3	31	12	78	**7**	16.5	34	5	63
8	17.5	32	9	61	**8**	17.4	30	12	63	**8**	17.8	31	13	75	**8**	15.6	34	5	67
9	19.0	32	13	58	**9**	16.2	33	7	49	**9**	16.7	33	7	77	**9**	16.2	32	7	70
10	18.5	32	12	54	**10**	15.3	33	4	64	**10**	17.1	32	9	71	**10**	16.7	32	7	71
11	13.8	29	8	70	**11**	17.3	32	11	75	**11**	17.1	33	10	70	**11**	17.8	32	11	64
12	17.6	31	12	63	**12**	16.2	30	10	80	**12**	17.0	31	10	75	**12**	17.4	32	9	63
13	16.3	31	9	73	**13**	16.5	32	11	78	**13**	17.7	31	13	71	**13**	16.4	35	4	61
14	17.9	32	12	72	**14**	16.9	31	11	76	**14**	16.5	31	11	77	**14**	16.5	32	7	58
15	17.0	29	13	78	**15**	15.9	30	11	80	**15**	16.4	33	8	79	**15**	15.7	32	5	68
16	17.1	29	13	79	**16**	16.8	30	11	73	**16**	15.7	32	8	77	**16**	14.9	33	5	74
17	17.1	32	10	73	**17**	16.6	32	9	67	**17**	17.0	31	10	79	**17**	17.7	33	10	66
18	17.6	33	12	65	**18**	16.3	32	8	71	**18**	18.5	31	13	73	**18**	17.8	30	11	74
19	16.4	33	6	64	**19**	17.4	32	12	76	**19**	17.8	32	10	70	**19**	16.6	29	11	75
20	16.1	32	7	66	**20**	16.1	30	12	81	**20**	17.1	33	10	68	**20**	17.3	32	12	75
21	17.2	31	9	65	**21**	16.4	33	10	77	**21**	17.1	32	9	72	**21**	17.2	31	11	78
22	17.5	31	11	62	**22**	16.8	33	10	75	**22**	18.9	31	14	64	**22**	16.9	32	8	69
23	16.8	33	8	56	**23**	18.3	32	13	74	**23**	17.8	32	10	61	**23**	18.0	32	13	69
24	18.1	33	9	48	**24**	16.8	30	11	79	**24**	15.9	32	6	63	**24**	15.5	31	8	76
25	17.6	32	8	53	**25**	17.0	30	12	74	**25**	15.3	32	4	73	**25**	16.8	33	4	71
26	16.8	31	7	64	**26**	16.8	31	9	65	**26**	16.9	32	8	70	**26**	16.9	32	9	72
27	17.0	31	10	62	**27**	16.1	32	5	64	**27**	17.4	33	7	67	**27**	16.3	33	8	71
28	17.1	30	8	65	**28**	16.6	32	6	66	**28**	17.8	33	11	74	**28**	15.4	32	5	73
29	17.6	32	10	58	**29**	16.5	32	7	71	**29**	18.8	32	14	69	**29**	15.0	35	3	68
30	17.8	31	10	53	**30**	17.5	30	13	73	**30**	17.8	32	10	75	**30**	17.4	34	4.8	55
					31	17.1	30	11	76						**31**	14.9	34	1.9	49

T: temperatura promedio diaria; TM: temperatura máxima; Tm: temperatura mínima; HR: Humedad relativa

ANEXO 7. ANOVAS DE LAS VARIABLES MEDIDAS EN LA COSECHA

Variable dependiente: **BRIX**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	43.12611111	3.31739316	2.72	0.0187
Error	22	26.82944444	1.21952020		
Total corregido	35	69.95555556			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	BRIX2 Media
0.616479	6.270580	1.104319	17.61111

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	19.31111111	6.43703704	5.28	0.0068
CALCIO	2	0.88388889	0.44194444	0.36	0.7001
LAMINA*CALCIO	6	7.19388889	1.19898148	0.98	0.4602
FRECUENCIA	2	15.73722222	7.86861111	6.45	0.0062

Variable dependiente: **ACIDEZ**

Suma de Cuadrado de

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	0.67286111	0.05175855	2.42	0.0324
Error	22	0.46969444	0.02134975		
Total corregido	35	1.14255556			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ACIDEZ Media
0.588909	6.439960	0.146116	2.268889

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	0.54148889	0.18049630	8.45	0.0006
CALCIO	2	0.01703889	0.00851944	0.40	0.6757
LAMINA*CALCIO	6	0.04962778	0.00827130	0.39	0.8791
FRECUENCIA	2	0.06470556	0.03235278	1.52	0.2418

Variable dependiente: **RM**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	9.28655000	0.71435000	3.18	0.0082
Error	22	4.94645000	0.22483864		

Total corregido	35	14.23300000

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	RM Media
0.652466	6.442548	0.474172	7.360000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	3.80520000	1.26840000	5.64	0.0050
CALCIO	2	0.15086667	0.07543333	0.34	0.7186
LAMINA*CALCIO	6	1.19766667	0.19961111	0.89	0.5205
FRECUENCIA	2	4.13281667	2.06640833	9.19	0.0013

Variable dependiente: **pH2**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	0.08870694	0.00682361	2.29	0.0419
Error	22	0.06555294	0.00297968		
Total corregido	35	0.15425989			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pH2 Media
0.575049	1.391821	0.054586	3.921944

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	0.00310944	0.00103648	0.35	0.7910
CALCIO	2	0.00003072	0.00001536	0.01	0.9949
LAMINA*CALCIO	6	0.00524772	0.00087462	0.29	0.9336
FRECUENCIA	2	0.08031906	0.04015953	13.48	0.0002

Variable dependiente: **FIRMEZA**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	22.22341667	1.70949359	1.43	0.2205
Error	22	26.21868333	1.19175833		
Total corregido	35	48.44210000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	FIRMEZA1 Media
0.458762	10.22010	1.091677	10.68167

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	2.62625556	0.87541852	0.73	0.5425
CALCIO	2	0.16846667	0.08423333	0.07	0.9320

LAMINA*CALCIO	6	18.88024444	3.14670741	2.64	0.0440
FRECUENCIA	2	0.54845000	0.27422500	0.23	0.7963

Variable dependiente: **BCAROTENO**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	0.81011104	0.06231623	0.80	0.6511
Error	22	1.70586715	0.07753942		
Total corregido	35	2.51597820			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	BCAROTENO Media
0.321987	49.66329	0.278459	0.560694

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	0.23358682	0.07786227	1.00	0.4096
CALC	2	0.04482056	0.02241028	0.29	0.7518
LAM*CALC	6	0.30581358	0.05096893	0.66	0.6843
FREC	2	0.22589008	0.11294504	1.46	0.2546

Variable dependiente: **ÁCIDO ASCÓRBICO**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	197.0531228	15.1579325	0.99	0.4914
Error	22	337.0323013	15.3196501		
Total corregido	35	534.0854240			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ASCOR Media
0.368954	17.41225	3.914032	22.47861

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	26.7221971	8.9073990	0.58	0.6334
CALC	2	11.9580375	5.9790187	0.39	0.6815
LAM*CALC	6	38.8628181	6.4771364	0.42	0.8558
FREC	2	119.5100700	59.7550350	3.90	0.0355

Variable dependiente: **L(luminosidad)**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	380.7603749	29.2892596	1.53	0.1844

Error	22	421.8880869	19.1767312
Total corregido	35	802.6484619	

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	L Media
0.474380	15.31481	4.379124	28.59406

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	78.1822019	26.0607340	1.36	0.2813
CALCIO	2	32.8074294	16.4037147	0.86	0.4388
LAMINA*CALCIO	6	134.7094006	22.4515668	1.17	0.3572
FRECUENCIA	2	135.0613431	67.5306715	3.52	0.0471

Variable dependiente: **a (Cromaticidad verde a rojo)**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	105.8851707	8.1450131	0.65	0.7888
Error	22	276.4167656	12.5643984		
Total corregido	35	382.3019363			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	A Media

0.276967	19.81805	3.544630	17.88586

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	38.43318342	12.81106114	1.02	0.4030
CALCIO	2	12.15872039	6.07936019	0.48	0.6228
LAMINA*CALCIO	6	47.26825650	7.87804275	0.63	0.7070
FRECUENCIA	2	8.02501039	4.01250519	0.32	0.7299

Variable dependiente: **b (Cromaticidad azul a amarillo)**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	117.5200857	9.0400066	1.32	0.2720
Error	22	150.2837459	6.8310794		
Total corregido	35	267.8038316			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media
0.438829	15.75635	2.613633	16.58781

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F

LAMINA	3	24.78449631	8.26149877	1.21	0.3297
CALCIO	2	8.78988239	4.39494119	0.64	0.5351
LAMINA*CALCIO	6	39.51101094	6.58516849	0.96	0.4718
FRECUENCIA	2	44.43469606	22.21734803	3.25	0.0579

Variable dependiente: **CI (Índice de color)**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	1996.154793	153.550369	1.83	0.1017
Error	22	1843.318141	83.787188		
Total corregido	35	3839.472934			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CI Media
0.519903	23.32605	9.153534	39.24169

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAMINA	3	318.1977680	106.0659227	1.27	0.3105
CALCIO	2	160.7339132	80.3669566	0.96	0.3987
LÁMINA*CALCIO	6	809.7186792	134.9531132	1.61	0.1914
FRECUENCIA	2	707.5044325	353.7522163	4.22	0.0281

ANEXO 8. ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA ACTIVIDAD DE LA POLIGALACTURONASA

Variable dependiente: POLIGACTURONASA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	372767.2221	28674.4017	1.33	0.2674
Error	22	473446.7219	21520.3055		
Total corregido	35	846213.9440			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PG Media
0.440512	60.03047	146.6980	244.3726

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	12291.7677	4097.2559	0.19	0.9018
CAL	2	199914.8425	99957.4212	4.64	0.0208
LAM*CAL	6	122086.6325	20347.7721	0.95	0.4833
FREC	2	38473.9795	19236.9897	0.89	0.4234

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para POLIGALACTURONASA

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	22
Error de cuadrado medio	31967.11

Valor crítico del rango estudentizado 3.92704

Diferencia significativa mínima LAM 192.03

Diferencia significativa mínima CAL 150.45

Diferencia significativa mínima FRE 150.45

Tukey Agrupamiento	Media	N	LAM
A	271.54	9	0,9
A	250.58	9	1,3
A	231.69	9	0,7
A	223.68	9	1,1

Tukey Agrupamiento	Media	N	CAL
A	305.61	12	0
AB	288.03	12	50
B	139.48	12	100

Tukey Agrupamiento	Media	N	FREC
A	278.50	12	4
A	254.31	12	9
B	200.30	12	14

ANEXO 9. ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN PLANTAS DE UCHUVA

Variable dependiente: WUE (Water Use Efficiency)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	13	8.00034703	0.61541131	1.09	0.4168
Error	22	12.45167006	0.56598500		
Total corregido	35	20.45201709			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	WUE Media
0.391176	30.17030	0.752320	2.493577

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LAM	3	5.77580469	1.92526823	3.40	0.0357
CAL	2	0.47787153	0.23893576	0.42	0.6608
LAM*CAL	6	1.23153413	0.20525569	0.36	0.8946
FRE	2	0.51513668	0.25756834	0.46	0.6402

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para WUE

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	22
Error de cuadrado medio	0.565985
Valor crítico del rango estudentizado	3.92704
Diferencia significativa mínima LAM	0.9848
Diferencia significativa mínima CAL	0.7715
Diferencia significativa mínima FRE	0.7715

Tukey Agrupamiento		Media	N	LÁMINA
	A	3.1578	9	0.7
B	A	2.4341	9	1.1
B	A	2.2753	9	0.9
B		2.1071	9	1.3

Tukey Agrupamiento		Media	N	CALCIO
	A	2.5937	12	50
	A	2.5548	12	100
	A	2.3322	12	0

Tukey Agrupamiento		Media	N	FRECUENCIA
	A	2.6619	12	4
	A	2.4237	12	9
	A	2.3951	12	1

Bibliografía

Abbott, J., M. Peet, D. Willits, D. Sanders y R. Gough. 1986. Effects of irrigation frequency and scheduling on fruit production and radial fruit cracking in greenhouse tomatoes in soil beds and in a soil-less medium in bags. Scientia Hort. 28(3), 209-217.

Abdel-Al, Z.E. y A. Saeed. 1975. The effects of plant population, irrigation frequency and cultivars on yield and canning qualities of tomato fruits grown under hot tropical conditions. Acta Hort. (ISHS) 49, 193-208.

Acevedo-Opazo, C., S. Ortega-Farias y S. Fuentes. 2010. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. Agr. Water Manage. 97, 956-964.

Agronet, 2008. Información de monitoreo Internacional. Uchuva fresca. Sistema de Inteligencia de Mercados. Ministerio de Agricultura y Corporación Colombia Internacional En: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006427154348_UCHUVAmarzo.pdf. (Consulta, octubre 2008)

Agusti, M. 2000. Crecimiento y desarrollo del fruto. pp. 419-433. En Azcon-Bieto, J. y Talón, M. (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. Mc Graw Hill /Interamericana de España, Madrid. 522 p.

Alcaraz-López, C., M. Botìa, C.F. Alcalar y F. Riquelme. 2005. Induction of fruit calcium assimilation and its influence on the quality of table grapes. Spanish Journal of Agricultural Research 3, 335-343.

Alcobendas, R., J. Mirás-Avalos, J. Alarcón, F. Pedrero y E. Nicolás. 2012. Comnied effects of irrigation, crop load and fruir position on size, color and firmness of frutis in a extra-early cultivar of peach. Sci. Hortic. 142, 128-135.

Álvarez-Herrera, J., H. Balaguera-López y G. Fischer. 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.

Almanza, P. y C. Espinosa. 1995. Desarrollo morfológico y análisis físico químico de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) para identificar el momento óptimo de cosecha. Trabajo final. Especialización en Frutales de Clima Frío. Facultad de Agronomía. UPTC. Tunja. 84 p.

Amézquita, N., H. Balaguera-López y J. Álvarez-Herrera. 2008. Efecto de la aplicación precosecha de giberelinas y calcio en la producción, calidad y rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Rev. Colomb. Cienc Hort. 2(2), 133-144.

Angulo, R. 2005. Crecimiento, desarrollo y producción de la uchuva en condiciones de invernadero y campo abierto. pp. 111-129. En: Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W. y Romero, J. (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia. 221p.

Arellano-Gómez, L.A., C. Saucedo-Veloz y L. Arévalo Galarza. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). Agrociencia 39, 173-181.

Arpaia, M. 1994. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. HortScience 29(9), 982-985.

Ávila, J.A., P. Moreno, G. Fischer y D. Miranda. 2006. Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. Acta Agronómica 55(4), 29-38.

Balaguera-López, H.E. y A. Herrera. 2012. Determining optimal harvest for champa (*Campomanesia lineatifolia* R. & P.) fruit based on skin color. Ingeniería e Investigación 32(1), 88-93.

Beckles, D. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biol. Tec. 63,129-140.

Belda, R.M., J.S. Fenlon y L.C. Ho. 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibilities to blossom-end rot. J. Hort Sci. 71 (2), 173-179.

Berenguer, M.J., P.M. Vossen, S.R. Grattan, J.H. Connell y V.S. Polito. 2006. Trre irrigation levels for optimun chemical and sensory properties of olive oil. HortScience 41(2), 427-432.

Boyer, J. 1995. Measuring the water status of plants and soils. London, Academic Press.

Budiarto, K., Y. Sulyo, E. Dwi y R. Maaswinkel. 2007. Effects of irrigation frequency and leaf detachment on chrysanthemum grown in two types of plasctic house. Indo. J. Agr. Sci. 8(1):39-42.

Campos, A. 2000. Manejo del riego. p.p 51-56. En: Flórez, V., Fischer, G. y Sora, A. (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Bogotá. 175p.

Castañeda, G. y R. Paredes. 2003. Estudio del proceso respiratorio, principales ácidos orgánicos, azucares y algunos cambios fisicoquímicos en el desarrollo del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 92 p.

Cayuela, J.A., y C. Weiland. 2010. Intact orange quality prediction with two protable NIR spectrometers. Postharvest Biol. Tec. 58, 113-120.

Clover, A. 1991. The new theory of calcium transport. Grower 116(19), 8-11.

Corporación Colombia Internacional. 2000. Análisis de los componentes del precio internacional de la uchuva. Boletín Precios Internacionales No. 23, mayo del 2000. Sistema de Inteligencia de Mercados, Bogotá, Pág. 2.

Chen, J.L., J.H. Wu, Q. Wang, H. Deng y X.S. Hu. 2006. Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Kuerle fragrant pear (*Pyrus serotina* Reld) during storage. J. Agric. Food Chem. 54, 8842-8847.

Chen, F., H. Liu, H. Yang, S. Lai, X. Cheng, Y. Xin, B. Yang, H. Hou, Y. Yao, S. Zhang, G. Bu y Y. Deng. 2011. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. Food Chemistry 126, 450-459.

Chun-Zhi, Z., B. Zhi-Long y Y. Bao-Zhong. 2009. Determination of optimun irrigation water amount for drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L.) in plastic greenhouse. Agr. Water Manage. 96: 595-602.

Ciccarese, A., A.M. Stellacci, G. Gentilesco y P. Rubino. 2013. Effectiveness of pre- and post-veraison calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. Postharvest Biol. Tec. 75, 135-141.

Ciro, H., O. Buitrago y S. Pérez. 2007. Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 60(1), 3785-3796.

Cliff, M.A., J.B. Li, P.M.A.Toivonen y D.L. Ehret. 2012. Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. Postharvest Biol. Tec. 74, 132-140.

Cogo, S. F., M. Chaves, R. Schirmer, L. Zambiazi, J. Nora, J. Silva y C. Rombaldi. 2011. Low soil water content during growth contributes to preservation of green colour and bioactive compounds of cold-stored broccoli (*Brassica oleraceae* L.) florets. Postharvest Biol. Tec. 60, 158-163.

Cooman, A., C. Torres y G. Fischer. 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. Agr. Colomb. 23(1), 74-82.

Da-Silva, A. V. C. y J. B. Menezes de. 2000. Quality of mango cv. Tommy Atkins fruit given preharvest applications of calcium chloride. Rev. Brasil. Frutic. 22, 86-90.

De la Cerda, C. 1995. Efectos de la conducción y fertilización sobre la producción y calidad en uvilla (*Physalis peruviana* Linn). Trabajo de Grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Escuela de Agronomía. Santiago de Chile.

De la Rosa, J.M., M.R. Conesa, R. Domingo, R. Torres y A. Pérez-Pastor. 2013. Feasibility of using trunk diameter fluctuation and stem water potential reference lines for irrigation scheduling of early nectarine trees. Agr. Water Manage. 126, 133-141.

De Pauw, D.J.W., K. Steppe y B. De Baets. 2008. Identifiability analysis and improvement of a tree water flow and storage model. Math. Biosci. 211, 314-332.

De Swaef, T., K. Steppe y R. Lemeur. 2009. Determining reference values for stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. Agr. Water Manage. 96, 541-550.

Dong, T., R. Xia, Z. Xiao, P. Wang y W. Song. 2009. Effect of pre-harvest application of calcium and boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in 'Cara Cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. Scientia Hort. 121, 272-277.

Doupis, G., M. Bertaki, G, Psarras, I. Kasapakis y K. Chartzoulakis. 2013. Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. Sci. Hortic. 153, 150-156.

Dris, R., R. Niskanen y I. Voipio. 1997. Nutritional status of appe orchards in the Aland Island 1993-1995. Department of plant production, Horticultural section, University of Helsinki, Publication No. 32, Helsinki, 120p.

Dris, R. 2001. Influence of calcium nutrition on the quality and postharvest behavior of apples. pp. 175-186. En: Dris, R., Niskanen, R. y Jain, S. (eds.). Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol. 1. Quality management. Science Publishers, Enfield, NH. 364p.

Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca y P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. J. Sci. Food Agr. 83, 369-382.

Duque, A., G. Giraldo y V. Quintero. 2011. Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Temas Agrarios 16(1), 75-83.

Duque, A., G. Giraldo y C. Mejía. 2007. Variación del color en mango, mora y uchuva en diferentes tratamientos de deshidratación osmótica. Revista de Investigaciones 17, 19-26.

Ehert, D.L. y L. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter portioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. J. Hort. Sci. 61, 361-367.

Elmer, P.A.G., T.M. Spiers y P.N. Wood. 2007. Effects of pre-harvest foliar calcium sprays on fruit calcium levels and brown rot of peaches. Crop Protection 26, 11-18.

Encina, C., M. Ureña y R. Repo. 2007. Determinación de compuestos bioactivos del aguaymanto (*Physalis peruviana*, L.) y de su conserva en almíbar maximizando la retención de ácido ascórbico. Alimentos Ciencia e Ingeniería 16(2), 188-190.

Eo, J. y B. Yil. Effects of ethylene, abscisic acid and auxin on fruit abscission in wáter dropwort (Oenanthe stolonifera DC.) Sci. Hortic. 123(2), 224-227.

Epstein, E. y A. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Segunda edición. Sinauer Associates, Sunderland, Maryland. 400p.

Ericsson, T. y M. Khär. 1995. Growth and nutrition of bircj seedlings at varied relative addition rates of magnesium. Tree Physiol. 15, 85-93.

Ernani, P.R., J. Dias, C.V.T. Do Amarante, D.C. Ribeiro y D.A. Rogeri. 2008. Preharvest calcium sprays were not always needed to improve fruit quality of ‘Gala’ apples in Brazil. Rev. Bras. Frutic. 30(4), 892-896.

Espinal, M. 2010. Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba Palmira ICA I (*Psidium guajava*). Tesis presentada como requisito para optar al título de Magíster en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.

Fallahi, E., Neilsen, D. Neilsen, G., Fallahi, B. y Shafii, B. 2010. Efficient irrigation for optimum fruit quality and yield in apples. Hortscience 45(11):1616-1619.

FAO. 2008. Biodiversity to curb world's food insecurity. Global conference on biological diversity in Bonn. En: http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000841/index.html. 19 May 2008, Rome.

Favati, F., S. Lovelli, F. Galgano, V. Miccolis, T. Di Tommaso y V. Candido. 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. Sci. Hortic. 122, 562-571.

Ferguson, I., R. Volz, F. Harker, C. Watkins y P. Brookfield. 1995. Regulation of postharvest fruit physiology by calcium. Act. Hort. 398, 23-30.

Ferguson, I., R. Volz y A. Wolf. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. Postharvest Biol. Technol. 15, 255-262.

Ferreira, R., G. Selles y G. Lemus. 2002. Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv. kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. Agric. Téc. 62(4), 565-573.

Ferrer, A., S. Remón, A. Negueruela y R. Oria. 2005. Changes during ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda. Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indixes. Sci. Hort. 105, 435-446.

Fernández, M. F., E. Orgaz, J. Federes, A. López, A. Céspedes y S. Bonachela. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Editorial Cajamar (Caja Rural de Almería y Málaga). Almería. España.

Figueroa, C.R., M.C. Opazo, P. Vera, O. Arriagada, M. Díaz y M. A. Moya-León. 2012. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. Food Chemistry 132, 2014-2022.

Fischer, G. 1995. Effect of root zone temperature and tropical altitude on the growth, development and fruit quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Tesis de doctorado. Universidad de Humboldt, Berlín.

Fischer, G. 2000. Crecimiento y desarrollo. pp. 9-26. En: Flórez, V., Fischer, G. y Sora, A. (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). 175p.

Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. pp. 55-82. En: Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W. y Romero, J. (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. en Colombia. 221p.

Fischer, G. y P. Lüdders. 1997. Developmental changes of carbohydrates in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits in relation to the calyx and the leaves. Agr. Colomb. 14(2), 95-107.

Fischer, G. y O. Martínez. 1999. Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. Agr. Colomb. 16(1-3), 35-39.

Fischer, G., G. Ebert y P. Lüdders. 2000. Provitamin A carotenoids, organic acids and ascorbic acid content of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) ecotypes grown at two tropical altitudes. Acta Hort. 531, 263-268.

Fischer, G., G. Ebert y P. Lüdders. 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. y Torres, F. 1997. Influencia de la separación del cáliz de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) sobre el desarrollo del fruto. Revista Comalfi 24(1-2):3-16.

Fischer, G., F. Torres C. y P. Lüdders. 1998. Efecto de la altitud sobre los componentes de la producción en uchuva (Physalis peruviana L.). Cienc. Agr. 4, 156-170.

Fischer, G., A. Herrera y P.J. Almanza. 2011. Cape Gosseberry (*Physalis peruviana* L.). pp. 374-396. En: Yahia, E.M. (ed.). Postharvest Biol. Tec. of tropical and subtropical fruits. Vol. 2. Acai to citrus. Woodhead Publishing, Oxford, U.K. 501p.

Flores, P., J. Navarro, C. Garrido, J. Rubio y V. Martínez. 2004. Influence of Ca^{2+}, K^{+} and NO^{3-} fertilisation on nutritional quality of pepper. J. Sci. Food Agr. 84(6), 569-574.

Fontes, P., R. Sampaio y E. Mantovani. 2000. Tomato yield and potassium concentrations in soil and in plant petioles as affected by potassium fertirrigation. Pesq. Agrop. Bras. 35(3), 575-580.

Forney, C. 2003. Postharvest response of horticultural products to ozone. pp. 13-53. En: D.M. Hodges (ed.). Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Food Products Press, New York.

Galvis, J.A., G. Fischer y O.P. Gordillo. 2005. Cosecha y poscosecha de la uchuva. pp. 165-190. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 221p.

Gallo, F. 1992. Manejo poscosecha, almacenamiento y transporte de frutas de Colombia. Act. Hort. 310, 155-169.

Galvis, J.A., H. Arjona y G. Fischer. 2003. Efectos de la aplicación de soluciones de cloruro de calcio ($CaCl_2$) sobre la vida de almacenamiento y la calidad del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. Agr. Colomb. 21(3), 190-197.

García, Y., A. García, A. Hernández y J. Pérez. 2011. Estudio de la variación del índice de color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. Rev. Cie. Téc. Agr. 20(4), 12-16.

García-Tejero, I., R. Romero-Vicente, J.A. Jiménez-Bocanegra, G. Martínez-García, V.H. Durán-Zuazo y J.L. Muriel-Fernández. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation

during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. Agr. Water Manage. 97, 689-699.

Gardner, R.C. 2003. Genes for magnesium transport. Curr. Opin. Plant Biol. 6, 263-267.

Garzón-Acosta, C. D.M. Villareal-Garzón, G. Fischer, A. Herrera y D. Sanjuanelo. 2013. La deficiencia del fósforo, calcio y magnesio afecta la calidad poscosecha del fruto de uchuva. Act. Hort. (en imprenta).

Gerasopoulos, D., V. Chouliaras y S. Lionakis. 1996. Effects of preharvest calcium chloride sprays on maturity and storability of Haywars kiwifruit. Postharvest Biol. Tec. 7, 65-72.

Girona J., M. Mata, J. del Campo, A. Arbone, E. Bartra y J. Marsal. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. Irrig. Sci. 24, 115-127.

Giné-Bordonaba, J. y L.A. Terry. 2010. Manipulating the taste-related composition of strawberry fruits (*Fragaria* x *ananassa*) from different cultivars using deficit irrigation. Food Chem. 122, 1020-1026.

Gordillo, O., G. Fischer y R. Guerrero. 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). Agr. Colomb. 22(1), 53-62.

Goutam, M., H.S. Dhaliwal y B.V.C. Mahajan. 2010. Effect of pre-harvest calcium sprays on post-harvest life of winter guava (*Psidium guajava* L.). J. Food Sci. Technol. 47(5), 501-506.

Green, F., C.A. Clausen y T.L. Highley. 1989. Adaptation of the Nelson-Somogyi reducing sugar assay to a microassay using microtiter plates. Analytical Biochem. 182, 197-199.

Guerrero, D., M. Velandia, G. Fischer y H. Montenegro. 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. Hort. 1(1), 9-19.

Guichard, S., N. Bertin, C. Leonardi y C. Gary. 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. Agronomie 21, 385 - 392.

Gunes, A., M. Alpaslan y A. Inal. 1998. Critical nutrient concentrations and antagonistic and sinergistic relations among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. J. Plant Nutr. 21, 2035-2047.

Gutiérrez, T., O. Hoyos y M. Páez. 2007a. Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.) por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 5(1), 70-79.

Gutiérrez, T., M. Páez y O. Hoyos. 2007b. Seguimiento de la degradación térmica y lumínica del ácido ascórbico en Uchuva (*Physalis peruviana* L.). Scientia Et Technica 13(33), 211-215.

Gupta, N., S. Kaur y P. Singh. 2011. Effect of calcium on cold storage and post-storage quality of peach. J. Food Sci. Technol. 48(2), 225-229.

Hernández, J.A., M.A. Ferrer, A. Jiménez, A.R. Barcelo y F. Sevilla. 2001. Antioxidant systems and $O^{-2}(^{\cdot-})/H_2O_2$ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. Plant Phsyiol. 127, 817-31.

Hernández-Muñoz, P., E. Almenar, M.J. Ocio y R. Gavara. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria* x *ananassa*). Postharvest Biol. Tec. 39, 247-253.

Herrera, A. 2000. Manejo poscosecha. pp. 109-127. En: Flórez, V., Fischer, G. y Sora, A. (eds.). Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). 175p.

Herrera, A.M., J. Ortiz, G. Fischer y M. Chacón. 2011. Behavior in yield and quality of 54 cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. Agr. Colomb. 29(2), 189-196.

Hogg, E.H. y P.A. Hurdle. 1997. Sap flow in trembling aspen: implications for stomatal responses to vapor pressure deficit. Tree Physiol. 17, 501-509.

Hogg, E.H., B. Saugier, J.-Y. Pontailler, T.A. Black, W. Chen, P.A. Hurdle y A. Wu. 2000. Responses of trembling aspen and hazelnut to vapor pressure deficit in a boreal deciduous forest. Tree Physiol. 20, 725-734.

Holzapfel, E., R. Hepp y M. Mariño. 2004. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. Agr. Water Manage. 67, 173-184.

Ho, L., R. Belda, M. Brown, J. Andrews y P. Adams. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. J. Exp. Botany 44, 509-518.

Ho, L. 1996. Tomato. pp. 709-728. En: Zamski, E. y Schaffer, A. (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops, source-sink relationships. Marcel Dekker, Inc., New York.

Huang, B. 2001. Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars. HortScience 36(1), 148-152.

Hurd, R., A. Gay y A. Mountifield. 1979. The effect of partial flower removal on the relation betwen root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomate. Ann. Appl. Biol. 93, 77-89.

Hussain, P.R., R.S. Meena, M.A. Dar y A.M. Wani. 2012. Effect of postharvest calcium chloride dip treatment and gamma irradiation on storage quality and shelf-life extension of Red delicious apple. J. Food Sci. Technol. 49(4), 415-426.

ICONTEC. 1999. Uchuva (*Physalis peruviana*), para el consumo fresco o destinado al procesamiento industrial. Colombia. Norma Técnica Colombiana NTC 4580.

Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA). 2006. Manual de procedimientos – frutas. Universidad Nacional de Colombia, ICTA, Laboratorio de Control de Calidad, Bogotá. 21 p.

Intrigliolo, D.S. y J.R. Castel. 2006. Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. Agr. Water Manage. 83, 173-180.

Intrigliolo, D.S. y J.R. Castel. 2005. Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees. Tree Physiol. 26, 303-311.

Intrigliolo, D.S. y J.R. Castel. 2010. Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: tree growth, yield and fruit quality. Irrig. Sci. 28, 525-534

Ishaq, S., H.A. Rathore, T. Masud y S. Ali. 2009. Influence of postharvest calcium chloride application, ethylene absorbent and modified atmosphere on quality characteristics and shelf life of apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit during storage. Pakistan Journal of Nutrition 8(6), 861-865.

Ismail, S.M., K. Ozawa y N.A. Khondaker. 2007. Effect of irrigation frequency and timing on tomato yield, soil water dynamics and water use efficiency under drip irrigation. En: Proceedings of the Eleventh International Water Technology Conference, vol. 1, Sharm El-Sheikh, Egypt, March 15-18, p. 69-84.

Jaimez, R.E., F. Rada y C. García-Nuñez. 1999. The effect of irrigation frequency on water and carbon relations in three cultivars of sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq), in a tropical semiarid region. Sci. Hortic. 81, 301-388.

Jana, C. 1990. Evaluación del uso de evaporímetros de Piché como estimador de la evapotranspiración de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero frío para la localidad de Quillota. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.

Jensen, M., R. Burman y R. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. Ed. American society of civil engineers, New York, USA. p. 111 – 117.

Jones, A. y H. Aldwinckle. 1990. Compendium of apple and pear diseases. APS Press, St.Paul, Minn.

Jubany-Marí, T., S. Munné-Bosch y L. Alegre. 2010. Redox regulation of water stress responses in field-grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. Plant Physiol. Biochem. 48, 351-358.

Jungk, A.O. 2002. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. pp. 587-616. En: Waisel, Y., A. Eshel y U. Kafkafi. (eds.). Plant roots: the hidden half. 3a edición. New York: Marcel Dekker, Inc.

Kader, A. 2013. Postharvest technology of horticultural crops - An overwiew from farm to fork. Ethiop. J. Appl. Sci. Technol. Número especial(1), 1-8.

Kaddour, R., H. Mahmoudi, O. Baâtour, I. Tarchoun, N. Nasri, I. Saleh, P. Berthomieu, M. Gruber y M. Lachaâl. 2012. Physiological and molecular responses of two Arabidopsis accesions to calcium amendment and salt constraint. Acta Physiol. Plant 34, 439-450.

Kan, I. 2008. Yield quality and irrigation with saline water under environmental limitations: the case of processing tomatoes in California. Agricultural Economics 38, 57-66.

Karley, A. y White, P. 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. Curr. Opin. Plant Biol. 12, 291-298.

Kays, S. 1997. Postharvest physiology of perishable plant products. Exon Press, Athens, GA. 532p.

Kays, S.J. y R.E. Paull. 2004. Postharvest biology. Exxon Press, Athens, G.A.

Khalid, A. y W. Cai. 2011. The effects of mannitol and salinity stresses on growth and biochemical accumulations in lemon balm. Act. Ecol. Sinica 31, 112-120.

Kitsaki, C.K. y J.B. Drossopoulos. 2005. Environmental effect on ABA concentration and water potential in olive leaves (*Olea europaea* L. cv “Koroneiki”) under non-irrigated field conditions. Environ. Exp. Botany 54, 77-89.

Klinac, N. 1986. Cape gooseberry (*Physalis peruviana*) production systems. New Zeland J. Exp. Agr. 14, 425-430.

Klinac, N. y F. Wood. 1986. Cape gooseberry (*Physalis peruviana*). The Orchardist of New Zeland 59, 103.

Lanchero, O., G. Velandia, G. Fischer, N.C. Varela y H. García. 2007. Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria 8(1), 61-68.

Lazcano, I. 2000. Deficiencia de Ca en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá, 39, 7-8.

Léchaudel, M. y J. Joas. 2007. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behaviour. Braz. J. Plant Physiol. 19:287–298.

Leskovar D, H. Bang, K.M. Crosby, N. Maness, J.A. Franso y P. Perkins-Veazie. 2004 Lycopene, carbohydrates, ascorbic acid and yield components of diploid and triploid watermelon cultivars are affected by deficit irrigation. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 79, 75-81.

Lester, G.E. 2003. Oxidative stress affecting fruit senescense. pp. 113-129. En: D.M. Hodges (ed.). Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Food Products Press, New York.

Li, M., G. Xuan-Wang y J. Lin. 2003. Application of external calcium in improving the PEG-induced water stress tolerance in liquorice cells. Bot. Bull. Acad. Sin. 44, 275-284.

Li, Y.J., B.Z. Yuan, Z.L. Bie y Y. Kang. 2012. Effect of drip irrigation criteria on yiled and quality of muskmelon grown in grennhouse conditions. Agr. Water Manage. 109, 30-35.

Liao, H., G. Rubio, X. Yan. 2001. Effect of phosphorus avilability on basal root shallowness in common bean. Plant soil 232, 69-79.

Lim, J.H., K.J. Park, B.K. Kim, J.W. Jeong y H.J. Kim. 2012. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. Food Chem. 135, 1065-1070.

Liu, C., Y. Liu, K. Guo, D. Fan, G. Li, Y. Zheng, L. Yu y R. Yang. 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Environ. Exp. Botany 71, 174-183.

Liu, M.C., T. Kojima, M. Tanaka y H. Chen. 2001. Effect of soil moisture on plant growth and fruit properties of strawberry. Acta Hortic. Sin. 28(4), 307-311.

López, F., N. Guío, G. Fischer y D. Miranda. 2006. Propagación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante diferentes tipos de esquejes en distintos sustratos. pp. 99. En: Memorias Primer Congreso Colombiano de Horticultura. 240 p.

López, G., C. Larrigaudiere, J. Girona, M.H. Behboudian y J. Marsal. 2011. Fruit thinning in 'Conference' pear grown under deficit irrigation: Implications for fruit quality at harvest and after cold storage. Sci. Hortic. 129, 64-70.

López, A. 1978. Un nuevo cultivo de alta rentabilidad la uvilla o uchuva. *Physalis peruviana* L. Revista ESSO Agrícola 25(2), 21-28.

Lurie, S. 2003. Antioxidants. pp. 131-150. En: D.M. Hodges (ed.). Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Food Products Press, New York.

Madrid, R., M. Valverde, V. Alcolea y F. Romojaro. 2004. Influence of calcium nutrition on water soaking disorder of ripening muskmelon melon. Scientia Hort. 101, 69-79.

Majumder, K. y B. Mazumdar. 2002. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. Sci. Hortic. 96, 91-101.

Manganaris, G.A., M. Vasilakakis G. Diamantidis y I. Mignani. 2005. Cell wall cationic composition and distribution in chilling-injured nectarine fruit. Postharvest Biol. Tec. 37, 72-80.

Manganaris, G.A., M. Vasilakakis G. Diamantidis y I. Mignani. 2006. Cell wall physicochemical aspects of peach fruit related to internal breakdown symptoms. Postharvest Biol. Tec. 39, 69-74.

Marín, A., J. Rubio, V. Martinez y M. Gil. 2009. Antioxidant compounds in green and red peppers as affected by irrigation frequency, salinity and nutrient solution composition. J. Sci. Food Agric. 89, 1352-1359.

Marouelli,W.A. y W.L.C. Silva. 2007. Water tension thresholds for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brazil. Irrigation Sci. 25, 411-418.

Marsal, J. y J. Girona, 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. J. Am. Soc. Hort. Sci.
122, 297-464.

Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2a ed. Academic Press, London. 889p.

Martínez, F., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez. 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.). Agr. Colomb. 26(3), 389-398.

Mattheis, J. y J. Fellman. 1999. Preharvest influencing flavor of fresh fruit and vegetables. Postharvest Biol. Tec. 15, 227-232.

Mazorra, M., A.P. Quintana, D. Miranda, G. Fischer y B. Chávez. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). Agr. Colomb. 21(3), 175-189.

Mazumdar, B. 1979. Cape gooseberry–the jam fruit of India. World Crops 31(1), 19-23.

Meléndez, M. A., I. Vicario y F. Heredia. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54(2), 209-215.

Mengel, K. 2007. Potassium. p.91-120. En: Barker, A. y D. D. Pilbeam (eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 613p.

Merhaut, D. 2007. Magnesium. p.145-181. En: Barker, A. y D. D. Pilbeam (eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 613p.

Mestre, T., F. García-Sánchez, F. Rubio, V. Martínez y R.M. Rivero. 2012. Glutathione homeostasis as an important and novel factor controlling blossom-end rot development in calcium-deficient tomato fruits. J. Plant Physiol. 169, 1719-1727.

Miranda, D. 2005. Criterios para el establecimiento, los sistemas de cultivo, el tutorado y la poda de la uchuva. pp. 29-53. En: Fischer, G., D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero. (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia.

Moreno, N., J.G. Álvarez-Herrera y H.E. Balaguera-López. 2009. Propagación asexual de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en diferentes sustratos y a distintos niveles de auxina. Agr. Colomb. 27(3), 341-348.

Moriana, A., D. Pérez-López, M.H. Prieto, M. Ramírez-Santa-Pau y J.M. Pérez Rodríguez- 2012. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. Agr. Water Manage. 112, 43-54.

Mpelasoka, B.S., M.H. Behboudian, J. Dixon, S.M. Neal y H.W. Caspari. 2000. Improvement of fruit quality and storage potential of 'Breaburn' apple through deficit irrigation. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75, 615-621.

Mpelasoka, B. S., M.H. Behboudian y S. Ganesh. 2001. Fruit quality attributes and their interrelationships of ‘Braeburn’ apple in response to deficit irrigation and to crop load. Gartenbauwissenschaft 66(5), 247-253.

Munné-Bosch, S. y L. Alegre. 2000. Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in *Rosmarinus officinalis* plants. Planta 210(6), 925-931.

Nadler M.J.S., M.C. Hermosura, K. Inabe, A.L. Perraud, Q.Q. Zhu, A.J. Stokes, T. Kurosaki, J.P. Kinet, R. Penner y A.M. Scharenberg. 2001. LTRPC7 is a Mg·ATP-regulated divalent cation channel required for cell viability. Nature 411, 590-595.

Navarro, A., S. Bañon, E. Olmos y M.J. Sánchez-Blanco. 2007. Effects of sodium chloride on water potential components, hydraulic conductivity, gas exchange and leaf ultrastructure of *Arbutus unedo* plants. Plant Sci. 172, 473-480.

Navarro, J., J.G. Pérez-Pérez, P. Romero y P. Botía. 2010. Analysis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by deficit irrigation treatments. Food Chem. 119, 1591-1596.

Negi, P.S. y A.K. Handa. 2008. Structural deterioration of the produce: the breakdown of cell wall components. pp. 162-194. En: Paliyath, G., Murr, D., Handa, A., Lurie, S. (eds.). Postharvest biology and tecnology of fruits, vegetables and flowers. Wiley-Blackwell Publishing. Iowa, USA. 482p.

Neilsen, G.H., D. Neilsen, F. Kappel y L. Herbert. 2010. Effect of nutrient and water management on nutrition and growth of young 'cristalina' and 'skeena' sweet cherry on gisela 6 rootstock. Acta Hort. (ISHS) 868, 81-86.

Neilsen, G.H. y D.S. Stevenson. 1986. Effects of frequency of irrigation on nutrient uptake of apple trees. Can. J. Plant Sci. 66: 177-180. 1986

Nelson, N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. J. Biol. Chem. 153, 378-380.

Nelson, P.V. y C.E. Niedziela. 1998. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. Sci. Hortic. 73, 137-150.

Neves, L.C., R. J. Bender, C.V. Rombaldi y R. L. Vieites. 2004. Qualidade de carambolas azedas cv. 'Golden Star' tratadas com $CaCl_2$ por imersão e armazenadas sob refrigeração. Rev. Bras. Frutic. 26(1), 32-35.

Nortes, P.A., A. Pérez-Pastor, G. Egea, W. Conejero y R. Domingo. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees. Agr. Water Manage. 77, 296-307.

Novoa, R.H., M. Bojacá, J.A. Galvis y G. Fischer. 2006. La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) almacenada a 12 ºC. Agron. Colomb. 24(1), 77-86.

Oktem, A. 2006. Effect of different irrigation intervals to drip irrigated dent corn (*Zea mays* L. indentata) water-yield relationship. Pakistan J. Biol. Sci. 9(8), 1476-1481.

Oliveira, V.H., F.R. Miranda, R.N. Lima y R.R. Cavalcante. 2006. Effect of irrigation frequency on cashew nut yield in northeast brazil. Sci. Hort. 108, 403-407.

Ortiz, X., X. Acevedo y H. Martínez. 2002. Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Bogotá.

Paiva, E., R.A. Sampaio y H.E. Martinez. 1998. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. J. Plant Nutr. 21(12), 2653-2661.

Paliyath, G. y D. Murr. 2008. Biochemistry of fruits. pp. 19-50. En: Paliyath, G., D. Murr, A. Handa y S. Lurie. (eds.). Postharvest biology and tecnology of fruits, vegetables and flowers. Wiley-Blackwell Publishing. Iowa, USA. 482p.

Paniagua, A.C., A.R. East, J.P. Hindmarsh y J.A Heyes. 2013. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. Postharvest Biol. Tec. 79, 13-19.

Parés, J., A. Blanco y J. Val. 2010. Optimización en el uso del agua y del abonado nitrogenado en plantaciones de manzano (Malus x domestica Borkh) cultivadas en zonas

vulnerables del valle Medio del Ebro: Influencia sobre la fisiología del crecimiento vegetativo, reproductivo y la calidad de fruto. Tesis de doctorado. Universidad de Zaragoza.

Parra, A. y J.E. Hernández. 2005. Fisiología poscosecha de frutas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 64 p.

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

Parra, R.A., E. Becerril y C. López. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano 'golden delicious' injertado sobre portainjertos clonales. Terra 20(2), 113-121.

Patané, C. y S.L. Cosentino. 2010. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. Agr. Water Manage. 97, 137-138.

Patané, C., S. Tringali, O. Sortino. 2011. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. Sci. Hortic. 129, 590-596.

Peet, M. 1992. Radial fruit cracking in tomato. HortTec. 2:216-223.

Peet, M. y D. Willits. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. HortScience 30(1), 65-68.

Pereira, A., A. Blank, M. Alvarenga y R. De Souza. 2002. Aplicação de fontes e doses de cálcio na produção e qualidade de frutos de melão. Hortic. Bras. 20(3), 428-431.

Pérez-Marín, D., M.T. Sánchez, P. Paz, V. González-Dugo y M.A. Soriano. 2011. Postharvest shelf-life discrimination of nectarines produced under different irrigation strategies using NIR-spectroscopy. LWT - Food Sci. Tec 44, 1045-1414.

Perry, L.M., 1980. Medicinal Plants of East and Southeast Asia? Attributed Properties and Uses. MIT Press, Cambridge, USA, p. 393.

Phan, T., W. Bo, G. West, G. Lycett y G. Tucker. 2007. Silencing of the major salt-dependent isoform of pectinsterase in tomato alters fruit softening. Plant Physiol. 144, 1960-1967.

Pilar, B., P. Sánchez-de-Miguel, A. Centeno, P. Junquera, R. Linares y J.R. Lisarrague. 2007. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigations scheduling. Sci. Hortic. 114, 151-158.

Pilbeam, D. y P. Morley. 2007. Calcium. p. 121-144. En: Barker, A. y D. D. Pilbeam (eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 613p.

Ploetz, G. 1994. Mango. Part III. In: Compendium of Tropical Fruit Diseases. R. Ploetz; G. Zentmyer; W. Nishijima; K. Rohobach and H. Ohr. (Eds). APS Press. The American Phytopathological Society. p. 34-36.

Podesta, L., F. Gil, M. Rodríguez y C. Arjona. 1998. Efecto del calcio y el ácido giberélico sobre el tamaño, el *cracking* y otros parámetros de calidad en frutos de cerezo (*Pronus avium* L.) cv. Bing. XXI Congreso Argentino de Horticultura. Departamento de Producción Agropecuaria. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina. 36 p.

Poovaiah, B.W. 1979. Role of calcium in ripening and senescence. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10, 83-88.

5.1 Poovarodom, S. y N. Boonplang. 2010. Soil calcium application and pre-harvest calcium and boron sprays on mangosteen fruit quality attributes. Acta Hort. 868, 359-366.

Porro, D., Ramponi, M., Tomasi, T., Rolle, L. y Poni, S. 2010. Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. Acta Hort. (ISHS) 868:73-80

Qi, H.Y., T. L. Li, J. Zhang, L. Wang y Y.H. Chen. 2003. Effects on sucrose metabolism, dry matter distribution and fruit quality of tomato under water deficit. Agr. Sci. China 2, 1253-1258.

Qiu, Y., M. Nishina y R. Paull. 1995. Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 120, 246-253.

Ramachandra-Reddy, A., Chaitanya, K. y Vivekanandan, M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161, 1189–1202.

Rattanapanone, N. y A.E. Watada. 2000. Respiration rate and respiration quocient of fresh-cut mango (*Mangifera indica* L.) in low oxygen atmosphere. Acta Hort. 509, 471-478.

Repo, R. y C. Encina. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev. Soc. Quím. Perú. 74(2), 108-124.

Restrepo, J. y I. Aristizabal. 2010. Conservación de fresa (*Fragaria* x *ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnaúba. Vitae 17(3), 252-263.

Rivera-López, J., F.A. Vázquez-Ortiz, F. Ayala-Zavala, M. R. Sotelo y G.A. González-Aguilar. 2005. Cutting shape and storage temperature affect overall quality of fresh-cut papaya cv. “Maradol”. J. Food Sci. 70, 482-489.

Ritenour, M., W. WardowsKi y D. Tucker. 2002. Postharvest effects of water and nutrients. En: Boman, B. (ed.). Water and Florida Citrus: Use, regulation, irrigation, Systems and management. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. Gainesville. Pág. 117–120.

Rodrigo, M.J., J.F. Marcos, F. Alferez, M.D. Mallent y L. Zacarías. 2003. Characterization of pinalate, a novel citrus sinensis mutant with a fruit specific alteration that results in yellow pigmentation and decreased ABA content. J. Exp. Botany 54, 727-738.

Rodríguez-Castro, J.P., C.E. Narváez-Cuenca y L.P. Restrepo-Sánchez. 2006. Estudio de la actividad enzimática de poligalacturonasa en la corteza de pitaya amarilla (*Acanthocereus pitajaya*). Acta Biol. Colomb. 11(1), 65-74.

Rufat, J., Arbonés, A., P. Villar, X. Domingo, M. Pascual, J.M. Villar. 2010. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on growth, yield and fruit quality parameters of peaches for processing. Acta Hort. (ISHS) 868:87-94.

Sánchez-Rodríguez, E., M. Rubio-Wilhelmi, B. Blasco, R. Leyva, L. Romero y J.M. Ruiz. 2012. Antioxidant response resides in the shoot in reciprocl grafts of drought-tolerant and drought-sensitive cultivars in tomato under water strees. Plant Sci. 188-189, 89-96.

Sarzi de Souza, B., T.J. O'hare, J.F Durigan y P. Sergio de Souza. 2006. Impact of atmosphere, organic acids, and calcium on quality of fresh-cut 'Kensington' mango. Postharvest Biol. Tec. 42, 161-167.

Sato, T., O. Abdalla, T. Oweis y T. Sakuratani. 2006. The validity of predawn leaf water potential as an irrigation-timing indicator for field-grown wheat in northern Syria. Agr. Water Manage. 82, 223-236.

Satta, D., M.G. Mameli, M. Tedde, M. Satta y L. De Pau. 2011. Effects of different irrigation regimes on yield and berry composition of field grown *myrtus communis* l. in north-western sardinia. Acta Hort. (ISHS) 889, 423-430

Saure, M.C. 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. Sci. Hortic. 105, 65-89.

Savic, S., R. Stikic, V. Zaric, B. Vucelic-Radovic, Z. Jovanovic, S. Djordjevic y D. Petkovic. 2011. Deficit irrigation technique for reducing water use of tomato under polytunel conditions. Journal of Central European Agriculture 12(4), 597-607.

Schelbert, S., S. Aubry, B. Burla, B. Agne, F. Kessler, K. Krupinska y S. Hortensteiner. 2009. Pheophytin pheophorbide hydrolase (pheophytinase) is involved in chlorophyll breakdown during leaf senescence in arabidopsis. Plant Cell 21, 767-785.

Seling, S., A.H. Wissemeier, P. Cambier y P. van Cutsem. 2000. Calcium deficiency in potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) leaves and its effects on the pectic composition of apoplastic fluid. Physiol. Plant 109, 44-50.

Sezen, S.M., A. Yazar y S. Eker. 2006. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. Agr. Water Manage. 81, 115-131.

Sharma, R., H. Krishna, V.B. Patel, A. Dahuja y R. Singh. 2006. Fruit calcium content and lipoxynegase activity in relation to albinism disorder in strawberry. Sci. Hortic. 107, 150-154.

Sharma, M., C. Sitbon, J. Subramanian y G. Paliyath. 2008. Changes in nutritional quality of fruits and vegetables during storage. pp. 443-466. En: Paliyath, G., Murr, D., Handa, A., Lurie, S. (eds.). Postharvest biology and tecnology of fruits, vegetables and flowers. Wiley-Blackwell Publishing. Iowa, USA. 482p.

Shear, C.B. y M. Faust. 1970. Calcium transport in apple trees. Plant Physiol. 45, 670-674.

Shear, C. 1975. Calcium-related disorders of fruit and vegetables. HortScience 10, 361-365.

Shirzadeh, E., V. Rabiei y Y. Sharafi. 2011. Effect of calcium ($CaCl_2$) on postharvest quality of apple fruits. Afr. J. Agric. Res. 6(22), 5139-5143.

Silber, A., G. Xu, I. Levkovitch, S. Soriano, A. Bilu y R. Wallach. 2003. High fertigation frequency: the effects on uptake of nutrients, water, and plant growth. Plant and soil 253(2), 467-477.

Silber, A., I. Levkovitch, I. Dinkin. 2005. High irrigation frequency and temporal NH_4 concentration: The efffects on soilless-grown bell pepper. J. Hortic. Sci. Biotech 80, 233-239.

Silber, A. y A. Bar-Tal. 2008. Nutrition of Substrates-Grown Plants. En*:* Raviv, M. y Lieth, J.H. (eds.). Soilless Culture: Theory and Practice. p. 291-339. Elsevier.

Silva, D.J., M.M. Choudhury, A.M. Mendes y B.F. Dantas. 2008. Efeito da aplicação pré-colheita de cálcio na qualidade e no teor de nutrientes de manga 'Tommy Atkins'. Rev. Bras. Frutic. 30(1), 74-78.

Silva, G.C., G. Arreas, M.S. Moreira, R. Wilame, H. Almeida y A. Rodrigues. 2003. Efeito de diferentes concentrações de cloreto de cálcio na qualidade do abacaxi "Pérola" minimamente processado. Rev. Bras. Frutic. 25(2), 216-219.

Singh, U., I. Pandey y R. Prasad. 1977. Effect of N, P and K on growth, yield and quality of cape-gooseberry. Punjab Horticulturae Journal. 17(3-4), 148-151.

Singh, T. 2004. Influence of various fertilizers on vegetative and fruiting characters of cape gooseberry (*Physalis peruviana*). Hort Science 39(4), 853.

Singh, B. y G. Singh. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. Environ Exp. Botany 55, 209-219.

Singh, D., J. Beloy, J. McInerney, L. Day. 2012. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). Food Chem. 132, 1161-1170.

Somogyi, M. 1951. Notes on sugar determination. J. Biol. Chem. 195, 19-23.

Sousa T., M. Oliveira y M. Pereira M. 2006. Physiological indicators of plant water status of irrigated and non-irrigated grapevines grown in a low rainfall area of Portugal. Plant Soil 282, 127-134.

Spreer, W., M. Nagle, S. Neidhart, R. Carle, S. Ongprasert y J. Muller. 2007. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (Mangifera indica L. cv. ‘Chok Anan’). Agr. Water Manage. 88, 173-180.

Stoll, K, 1997. Inhaltstoffe, Fruchtaufbau, Qualitätserkennung. Enrico Negri AG, Buch- und Offsetdruckerei, Thurgauerstrasse 72, CH-8050 Zürich.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant physiology. Cuarta Edición, Editorial Sinauer, New York. 690p.

Talamini, C.V., D.V. Chaves y P.R. Ernani. 2006. Composiçáo mineral e severidad de "bitter pit" em maças 'catarina'. Rev. Bras. Frutic. 28(1), 51-54.

Tieman, D. y A. Handa. 1989. Inmunocytolocalization of polygalacturonase in ripening tomato fruit. Plant Physiol. 90, 17-20.

Treeby, M., R. Henriod, K. Bevington, D. Milne, y R. Storey. 2007. Irrigation management and rootstock effects on navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) quality. Agr. Water Manage. 91, 24-32.

Trinchero, G., G. Sois, A. Cerri, F. Vilella y A. Fraschina. 1999. Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.), a solanaceous species. Postharvest Biol. Tec. 16, 139-145.

Torres, C., A. Cooman y G. Fischer. 2004. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (Physalis peruviana L.) bajo cubierta. I. Efecto de la variación del balance hídrico. Agr. Colomb. 22(2), 140-146.

Tucker, G. 1993. Introducción. pp. 1-51. En: Seymour, G.B., Taylor, J.E. y Tucker, G.A. (eds.). Biochemistry of fruit ripening. Chapman and Hall, NY. 454p.

Urban, L. y I. Langelez. 2003. Effect of high-pressure mist on leaf water potential, leaf diffusive conductance, CO_2 fixation and production of cultivar ‘Sonia’ rose plants grown on rockwool. Sci. Hortic. 50, 229-244.

Valencia, F.E., M. Cortés y M.O. Román. Cinética del color durante el almacenamiento de caramelos de uchuva adicionados de calcio y sin sacarosa. Revista Lasallista de Investigación 9(2), 11-25.

Vasconcellos M.A., E.T. Savazaki, H.G. Filho, R.N.B. Busquet y J.L. Mosca. 2001. Caracterizaçao física e quantidade de nutrientes em frutos de maracujá doce. Rev. Bras. Frutic. 23(3), 690-694.

Veit-Köhler, U., Krumbein, A. y Kosegarten, H. 1999. Effect of different water supply on plant growth and fruit quality of *Lycopersicon esculentum*. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162(6), 583-588.

Vélez, J.E. y J.G Álvarez. 2012. Riego en frutales. p. 186-204. En: Fischer G. (ed.), Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá. 1024p.

Vélez, J.E., D.S. Intrigliolo y J.R. Castel. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. Agr. Water Manage. 90, 197-204.

Villamizar, F., A. Ramírez y M. Menes. 1993. Estudio de la caracterización física, morfológica y fisiológica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Agro-Desarrollo 4(1-2), 305-320.

Wang, F.X., Y. Kang y S.P. Liu. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agr. Water Manage. **79**(3), 248-264.

Wang, F., S. Kang, T. Du, F. Li y R. Qiu. 2011. Dtermination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. Agr. Water Manage. 98, 1228-1238.

Watt, J. 1948. The growing of cape gooseberries. New Zeland Journal of Agriculture 77, 377-382.

White, P. y M. Broadley. 2003. Calcium in plants. Annals of Botany 92, 487-511.

Willats, W.G.T., C. Orfila, G. Limberg, H.C. Buchholt, G.-J.W.M. van Alebeek, A.G.J Voragen, S.E. Marcus, T.M.I.E. Christensen, J.D. Mikkelsen, B.S. Murray y J.P. Knox. 2001. Modulation of the degree and pattern of methyl esterification of pectic

homogalacturonan in plant cell walls: implications for pectin methyl esterase action, matrix properties and cell adhesion. J. Biol. Chem. 276, 19404-19413.

Wills, R.B.H. y V.V.V Ku. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. Postharvest Biol. Tec. 26, 85-90.

Woodbridge, C.G. 1971. Calcium level of pear tissues affected with cork and black end. HortScience 6, 451-453.

Wu, S., L. Ng, Y. Huang, D. Lin, S. Wang, S. Huang y C. Lin. 2005. Antioxidant of *Physalis peruviana*. Biol. Pharm. Bull. 28, 963-966.

Zapata, J.L., A. Saldarriaga, M. Londoño y C. Díaz. 2002. Manejo del cultivo de la uchuva. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Regional 4, Centro de Investigación «La Selva», Apartado Aéreo 100, Rionegro, Antioquia, Colombia. Boletín Técnico. 42 páginas.

Zapata, L., L. Gerard, C. Davies, L. Oliva y M. Schvab. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Cienc. Docencia tecnol. 34, 207-226.

Zarra, I. y G. Revilla. 1996. Pared celular. Estructura y función. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón. Fisiología y bioquímica vegetal, pp. 1-24. McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid. 555p.

Zegbe-Domiguze, J.A., Behboudian, M.H. y Clothier, B.E. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. Agr. Water Manage. 68, 195-206.

Zegbe, J. y A. Serna-Pérez. 2011. Partial rootzone drying maintains fruit quality of 'Golden Delicious' apples at harvest and postharvest. Sci. Hortic. 127, 455-459.

Zhang, H., D. Chi, Q. Wang, J. Fang y X. Fang. 2011. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse. Agricultural Sciences in China 10(6), 921-930.

Zhu, Li-Hua., A. van de Peppel, X.Y. Li y M. Welander. Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. Sci. Hortic. 99, 133-141.

Zotarelli, L., J. Scholberg, M. Dukes, R. Muñoz-Carpena y J. Icerman. 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. Agr. Water Manage. 96, 23-34.

Zushi, K. y N. Matsuzoe. 1998. Effect of soil water deficit on vitamin C, sugar, organic acid, amino acid and carotene contents of large-fruited tomatoes (*Lycopersicum esculentum*). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 67(6), 927-933.