

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

Determining the cause of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruit cracking in greenhouse conditions. II. Effects of calcium, boron and copper supply

Alexander Cooman¹, Claudia Torres² y Gerhard Fischer³

Resumen: Se evaluó la incidencia del rajado del fruto de uchuva, cultivada en macetas y bajo invernadero, con presencia y ausencia en la fertilización de los elementos calcio, cobre y boro, y sus interacciones. Los rendimientos en cosecha se redujeron por la ausencia de calcio y cobre pero el boro no incidió en este aspecto. El peso de los frutos individuales aumentó por la ausencia del boro en la fertilización, mientras que la ausencia del calcio produjo frutos de menor peso y el cobre no incidió en este aspecto. En el tratamiento de fertilización completa, que incluyó todos los elementos, el rajado fue más importante en las primeras semanas y menor hacia el final del periodo de cosecha. El rajado del fruto se expresó en función de la presencia de calcio y boro en la fertilización, con un incremento de 5,5 a 13% de frutos rajados cuando cualquiera de los dos era eliminado de la solución nutritiva. El cobre no tuvo efecto sobre la incidencia del rajado. El tamaño del fruto, aunque significativo, incidió poco sobre la ocurrencia del rajado.

Palabras clave adicionales: Nutrición, fertirriego, cosecha, pared celular, epidermis.

Abstract: This study evaluated the effect of the presence and absence of calcium, copper and boron and their interactions on the cracking of cape gooseberry when cultivated in pots and under greenhouse conditions. Yield at harvest became reduced when calcium or copper were eliminated from nutrient solutions, whilst boron did not affect the amount of fruit harvested. The weight of individual fruits was positively affected by the absence of boron, whilst the opposite effect was observed for calcium; copper did not alter fruit weight. When the standard nutrient solution was applied (including all elements) fruit cracking was very high during the first weeks and became lower later on during the harvesting period. Fruit cracking was a function of the presence of calcium and boron in the nutrient solution; the absence of each of these elements increased the amount of cracked fruits from 5.5% to 13%. Copper had no effect on fruit cracking. Fruit size, although significant, had a very small correlation with fruit cracking.

Additional key words: Nutrition, ferti-irrigation, harvest, cell wall, epidermis.

Introducción

SE ESTIMA QUE EN COLOMBIA entre el 10 y el 15% de la producción total en campo del cultivo de la uchuva padece de rajado del fruto (CIAA, 2003), lo cual ocasiona reducción del ingreso para el productor. Los exportadores descartan cerca del 20% de la fruta por

esta causa, pero en épocas de alta precipitación puede representar el 45% de la fruta rechazada por las comercializadoras (Fischer, 2005). El mercado exige fruta sana, especialmente cuando se destina para consumo en fresco y exportación. Los frutos rajados son rechazados o castigados en precio, debido a que el rajado favorece la aparición de hongos y bacterias

Fecha de recepción: 28 de junio de 2004

Aceptado para publicación: 27 de mayo de 2005

1 Director Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA), Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. e-mail: alexander.cooman@utadeo.edu.co

2 Investigadora, Proyecto MIPE Uchuva, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: claudiazucero79@yahoo.com

3 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: gfischer@unal.edu.co

durante el almacenamiento y el transporte, acortando la vida útil de la fruta.

El rajado o agrietamiento del fruto es un término que se aplica a ciertos desordenes fisiológicos que se expresan en una fractura de la cutícula o epidermis. Según Milad y Shackel (1992) el rajado se define como una falla física en la epidermis del fruto y se cree que es el resultado general de la acción de una fuerza, debido a un proceso normal de crecimiento de la demanda inducida (Walter, 1967). En inglés, se denomina '*cracking*' al rajado que se limita a la epidermis y '*splitting*' al rajado que penetra en la pulpa (Opara *et al.*, 1997). En el fruto de uchuva se presentan estos dos tipos de fallas, tanto el limitado a la epidermis como el que penetra la pulpa, siendo los dos igualmente perjudiciales para la producción y la cadena comercial (Torres, 2004).

El fruto de la uchuva tiene cierta predisposición al rajado por ser una baya jugosa con una epidermis muy delgada; además contiene 100 a 300 semillas que, posiblemente por influencias hormonales, atraen buenas cantidades de agua y carbohidratos (Fischer, 2005). Asimismo, por su parénquima no compacto, el fruto presentan numerosas lagunas cuyo número y tamaño aumenta a medida que madura (Valencia, 1985), efecto que lo predisponen todavía más al rajado.

Esta alteración fisiológica de los frutos se atribuye a diferentes causas que se pueden dividir en dos grupos: 1) las que inciden en la calidad de las membranas del fruto, y 2) las que generan cambios drásticos en el potencial hídrico del fruto. El factor más mencionado por los autores es el suministro de agua a la planta, el cual puede ocasionar fluctuaciones en el potencial hídrico del fruto (Kamimura *et al.*, 1972; Peet y Willits, 1995). Este aspecto fue el objeto del artículo de Torres *et al.* (2004), el cual es complementario del presente reporte. Otros investigadores sugieren que el rajado es debido a la reducida disponibilidad de calcio y boro. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la humedad del suelo también influye en la absorción de elementos por parte de la planta.

El reventado del fruto durante el almacenamiento, o en cualquier otra fase de la poscosecha, puede ocurrir en frutos sobremaduros con bajo nivel de calcio (Gordillo *et al.*, 2004). La disponibilidad de calcio se ha relacionado con el rajado del fruto, pues este elemento ha sido reportado por varios autores como importante para la prevención del rajado en diferentes frutas como tomate, cereza y manzana (Peet, 1992; Lane *et al.*, 2000; Shear, 1975). Este

elemento participa en la elongación, la división celular y en la estructura de la pared celular; al unir las pectinas mediante enlaces cruzados que forman zonas de empalme; por tanto, su ausencia puede inducir el rajado (Carpita, 1994). 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.

El Ca elemento es absorbido por la planta como ion Ca^{2+} ; con el flujo de transpiración, se transporta por el xilema, si bien se le considera un elemento poco móvil dentro de la planta. El calcio se encuentra en mayor proporción en las hojas viejas, siendo frecuente un pobre suministro de calcio a las frutas y a los órganos de almacenamiento (Salisbury y Ross, 1994). Esto se debe a un reducido número de estomas en los frutos pues, en comparación con las hojas, la llegada del calcio por la corriente xilemática al fruto se dificulta (Clover, 1991). Complementariamente, la humedad del suelo y del aire afectan el transporte del calcio a todos los órganos de la planta, pues afecta el flujo transpiratorio. El suministro de calcio debe ser continuo debido a que su deficiencia puede manifestarse en un periodo tan corto como seis horas de carencia (Estrada, 2002).

Otro elemento que se ha reportado como posible control del rajado del fruto es el cobre. Powers y Bollen (1947), concluyeron que los beneficios del tratamiento preventivo para el control del agrietamiento con caldo bordelés, el cual contiene sulfato de cobre y carbonato de calcio, parecen ser más debidos al cobre que al calcio. El cobre podría influir en el rajado del fruto al tener efecto en la formación y composición química de la pared celular, y hacer parte de la enzima que cataliza la oxidación de los fenoles precursores de la lignina. El cobre es abundante en los cloroplastos, donde forma parte de la plastocianina, un transportador de electrones en el esquema z . El cobre es un elemento transitorio y comparte similitudes con el hierro en la formación de complejos estables y de fácil transferencia de electrones. El cobre es adsorbido por la planta en forma de ion Cu^{2+} o en forma de Cu^+ (Marschner, 2002).

El boro es un tercer elemento involucrado con el rajado del fruto. Alarcón (2001) afirma que los síntomas macroscópicos que evidencian una alteración de la síntesis de las paredes celulares, ocasionada por deficiencia de boro, son tallos rajados, acorchados o huecos. A la vez, a nivel microscópico se observan

paredes celulares de mayor volumen y más cantidad de material parenquimatoso. El boro se relaciona con esta alteración por ser importante para la formación de las paredes celulares y en la lignificación, debido a que es necesario para la síntesis de pectinas (Salisbury y Ross, 1994). Por esta razón, los más altos contenidos de boro se encuentran en las paredes celulares. Dube *et al.* (1969) observaron en manzanas un efecto positivo a aplicaciones foliares de 0,3% de ácido bórico para el control del agrietamiento, mientras que en estudios recientes adelantados en uchuva por Gordillo *et al.* (2004), se encontró que una fertilización baja en boro aumenta la incidencia del rajado. La utilización del boro ha sido reportada para el control del rajado en frutas y vegetales por Kienholz (1942), Pierson *et al.* (1971), Dube *et al.* (1969) y Raese (1989).

Las plantas adsorben el boro principalmente bajo la forma de ácido bórico sin disociar, H_3BO_3 , representado con mayor exactitud como $B[OH]_3$. Dentro de la planta el boro es un elemento poco móvil (Salisbury y Ross, 1994).

En la actualidad no se conocen con certeza los efectos del calcio, el cobre y el boro sobre el rajado del fruto de la uchuva ni sobre la respuesta productiva de la planta. El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento sobre las causas del rajado del fruto de uchuva, cuantificando el efecto de la presencia o ausencia de estos elementos en la fertilización, junto con sus interacciones. Se espera que los resultados de esta investigación conduzcan a recomendaciones que disminuyan la incidencia del rajado del fruto e incrementen los ingresos del productor.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó en el Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA) de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, ubicado en el municipio de Chía (Cundinamarca). Con el fin de mantener mayor control sobre las variables que inciden en el comportamiento de las plantas y facilitar el manejo, éstas fueron sembradas en bolsas y bajo invernadero tipo Venlo, cubierto completamente con vidrio en paredes y techo. Este invernadero disponía de un sistema automático para el control de la ventilación por medio de ventanas móviles en el techo, que mantuvo durante el transcurso del ensayo una temperatura promedio en el día de 22° C y en la noche de 14° C.

El experimento inició el 28 de enero del 2003 con el transplante de plantas de uchuva ecotipo Colombia, de dos meses de edad, en bolsas plásticas de 60 L de capacidad, llenas con una mezcla de cascarilla de arroz entera sin quemar y turba rubia en una proporción 70:30 en volumen. Las plantas se ubicaron en tres camas, espaciadas a 2 m y dejando 2 m entre plantas. En la poda de formación se dejaron tres ramas principales que dieron origen a las ramas productivas. El sistema de tutorado empleado fue en 'V'. El manejo general del cultivo fue análogo al planteado por Angulo (2003), de modo que ningún factor fuera de los tratamientos impuestos limitara el desarrollo de las plantas.

Para evaluar el efecto de los tratamientos con presencia o ausencia de calcio, cobre y boro se organizó un experimento factorial 2^3 basado en una solución nutritiva estándar para la uchuva (Tabla 1). Los ocho tratamientos se iniciaron a partir del transplante y se obtuvieron de la combinación de presencia o ausencia de calcio, boro y cobre en la solución fertirriego aplicada diariamente, según la necesidad de riego de las plantas. Estas necesidades hídricas fueron determinadas por tres lisímetros instalados en las plantas con el tratamiento de fertilización completa. Los elementos restantes, como el nitrógeno, el fósforo, el potasio y demás, no variaron en las soluciones nutritivas. Con el fin de monitorear el efecto sobre las plantas se realizó un análisis foliar a todos los tratamientos en el momento del pico de cosecha, ocho meses después del transplante.

Tabla 1. Composición (ppm) de las soluciones nutritivas aplicadas diariamente a los ocho tratamientos de fertirriego para la evaluación del rajado en función de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones.

Tratamientos	F-completa	F-Ca	F-B	F-Cu	F-BCu	F-CaB	F-CaCu	F-CaCuB
N-NO ₃	143,82	122,95	143,82	143,82	143,82	122,95	122,95	122,95
N-NH ₄	4,88	26,25	4,88	4,88	4,88	26,25	26,25	26,25
P-H ₂ PO ₄	22,70	22,70	22,70	22,70	22,70	22,70	22,70	22,70
K	145,60	145,60	145,60	145,60	145,60	145,60	145,60	145,60
Ca	60,40	0,00	60,40	60,40	60,40	0,00	0,00	0,00
Mg	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73	27,73
S	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	36,40	36,40	26,00
Fe	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Mn	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Cu	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Zn	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
B	0,10	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00
Mo	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Se utilizó un diseño en bloques al azar con tres réplicas, donde cada bloque correspondió a una cama de plantas y la unidad experimental a una planta. Las variables evaluadas fueron el rendimiento de la cosecha y la calidad de los frutos, los cuales fueron cosechados con color de cáliz verde amarillo y fruto amarillo.

El rendimiento se determinó mediante el registro de las cosechas que se realizaron tres veces por semana. La calidad se evaluó tomando una muestra de diez frutos por planta por semana, registrando el peso con cáliz (g) y cuantificando el rajado en una escala de 0 a 3, donde 0 correspondió a fruto sin rajado; 1 a rajado únicamente en el contorno de la inserción del pedúnculo; 2 a rajado leve meridional; y, 3 a rajado severo. El interés en evaluar el peso del fruto consistió en establecer una correlación entre peso del fruto y rajado. Las variables se comenzaron a medir a los 157 días después del transplante hasta el día 323.

Para el análisis estadístico del rendimiento se utilizó SAS® (1999) para realizar pruebas de comparación múltiple (Duncan) y análisis de varianza. Por su parte, el análisis estadístico de las variables de calidad de los frutos se realizó con 'General Lineal Models' el cual combinó análisis de varianza con análisis de regresión para tratar los datos incompletos (SAS®, 1999). En todos los casos se utilizó un modelo con calcio, cobre, boro y todas sus interacciones como variable independiente y el tiempo como covariable. Los datos de rajado se analizaron con una transformación de la variable discreta (números 0, 1, 2, y 3) a una variable continua, calculando para cada fecha y planta la proporción de frutos en cada categoría (0, 1, 2 y 3).

Resultados y discusión

Nivel nutricional de las hojas

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los análisis foliares realizados cuando las plantas estaban en cosecha. De acuerdo con lo esperado, los elementos calcio y boro presentaron niveles bajos en los tratamientos donde estos elementos fueron eliminados de la solución nutritiva, mientras el cobre no presentó esta tendencia. Los niveles óptimos reportados por Mills y Jones (1996) para el tomate, cultivo similar de la misma familia (Solanáceas) para el cual existe amplia información técnica, son los siguientes: Ca de 1,6 a 3,2%; B de 45 a 76 ppm y Cu de 6 a 25 ppm. Se puede concluir que el calcio se encontró dentro del rango óptimo para los tratamientos

con este elemento y en un nivel deficiente (<0,8 ppm) en los tratamientos donde el calcio fue eliminado de la solución nutritiva. El boro igualmente se encontró en un rango óptimo para los tratamientos con presencia de este elemento, aunque cercano al margen inferior. Los tratamientos sin boro mostraron niveles deficientes (<28 ppm) de este elemento. El cobre se encuentra normalmente en concentraciones muy bajas y en este experimento todos los tratamientos mostraron niveles de Cu cercano al límite inferior del rango óptimo o en un rango de nivel bajo, más no deficiente (<2,5 ppm). El cobre es un elemento que causa dificultades analíticas por su baja concentración. Además, es probable que el cobre presente en el sustrato de semillero, como rastro en la turba o como contaminación por otra fuente, hayan ocasionado pocas diferencias en los análisis foliares.

Tabla 2. Resultados de los análisis foliares, expresados con base en la masa seca, de los ocho tratamientos de fertirriego para la evaluación del rajado en función de ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones.

Trata- mientos	Elementos mayores (%)						Elementos menores (ppm)						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
F- completa	3,65	0,24	5,0	2,30	1,20	0,58	0,001	265	240	4,0	45,4	33,4	
F-Ca	4,24	0,31	6,0	1,10	0,91	0,63	0,002	247	298	3,6	66,2	42,9	
F-Cu	3,94	0,28	5,6	1,70	1,10	0,60	0,001	334	115	3,3	44,8	44,9	
F-B	3,75	0,24	5,5	1,60	1,10	0,53	0,002	339	107	5,6	48,2	18,5	
F-BCu	3,4	0,26	6,3	1,60	1,20	0,54	0,001	402	173	3,3	53,4	17,9	
F-CaB	3,95	0,28	5,6	0,58	0,94	0,68	0,003	366	90,8	3,3	79,2	16,6	
F-CaCu	4,76	0,38	5,9	0,44	0,73	0,67	0,002	298	88,4	7,7	60,8	46,6	
F-CaBCu	4,76	0,37	6,1	0,53	0,85	0,70	0,002	407	94,4	2,7	62,8	10,6	

Rendimiento en la cosecha

En el análisis de varianza del rendimiento total en la cosecha por planta, el calcio incidió significativamente ($Pr > F < 0,0001$), pues se observó que los tratamientos con menor producción fueron aquellos que no tenían calcio en la fertilización (Figura 1). En los tratamientos sin Ca se obtuvo un rendimiento promedio de aproximadamente 7,5 kg por planta, comparado con casi 12 kg por planta en promedio para los tratamientos con Ca. La ausencia de calcio redujo los rendimientos en la cosecha, lo que pudo deberse a un desbalance nutricional en la planta ya que el calcio es esencial y se requiere en mayores concentraciones que los micronutrientes B y Cu. El Ca es necesario para el desarrollo vegetal en la asimilación de iones como NO_3^- , en el metabolismo del

nitrógeno, en la translocación de carbohidratos y en la neutralización de ácidos orgánicos dentro de la planta, entre otras funciones (Marschner, 2002). Durante el experimento, la deficiencia de calcio también se manifestó en algunos frutos con necrosis en el ápice y algunos cálices deformes que no cubrían la totalidad de la fruta.

El cobre también tuvo un efecto significativo en el rendimiento total de la cosecha por planta ($\text{Pr} > \text{F} < 0,0001$), aunque esto no es tan evidente en la Figura 1. Para mostrar el efecto de cobre, y teniendo en cuenta que no existió un efecto significativo del boro ($\text{Pr} > \text{F} = 0,8943$), se calcularon los rendimientos promedios de las cosechas totales de los tratamientos Ca y Cu, promediando para cada caso los resultados de los tratamientos con y sin boro. El resultado de esta operación muestra la interacción entre Ca y Cu ($\text{Pr} > \text{F} = 0,0017$) (Figura 2). Además, se puede deducir un efecto promedio del Ca sobre la producción de 4.369 g por planta, mientras para el Cu el efecto promedio es de 2.617 g por planta. El efecto del microelemento cobre es menor que el del calcio, lo que se podría relacionar en la planta con el papel que cumple en el transporte de electrones en

el fotosistema I (Salisbury y Ross, 1994), lo cual puede haber ocasionado una baja eficiencia en el proceso fotosintético. Sin embargo, según los resultados de los análisis foliares, no se encontró una deficiencia de cobre en los tejidos en todos los tratamientos sin cobre (Tabla 2).

El boro no tuvo un efecto significativo en los rendimientos de cosecha ($\text{Pr} > \text{F} = 0,8943$) y por esta razón se puede considerar que en este ensayo el boro no constituyó un elemento limitante para los rendimientos, a pesar de los niveles deficientes del boro en los tejidos foliares (Tabla 2).

Peso de los frutos

El peso de los frutos individuales fue afectado por el boro y el calcio significativamente ($\text{Pr} > \text{F} < 0,0034$ para boro; $\text{Pr} > \text{F} < 0,0001$ para calcio). La ausencia de boro favoreció el peso de los frutos comparado con el tratamiento fertilización completa, mientras que la ausencia de calcio en la fertilización produjo frutos de menor peso (Figura 3). Aunque estas diferencias en peso son significativas, son muy pequeñas.

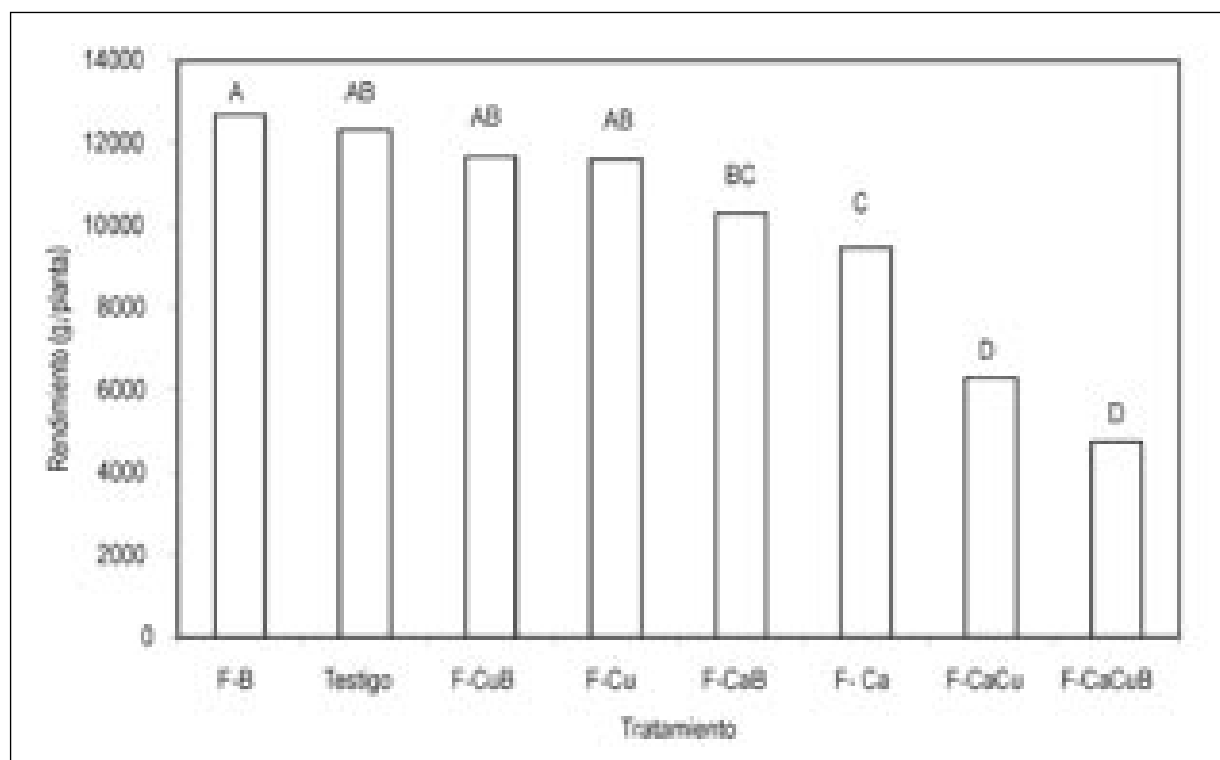


Figura 1. Efecto de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones sobre el rendimiento promedio de cosecha total por tratamiento y por planta. Los promedios con la misma letra no tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$, $n = 14$). Testigo = tratamiento con fertilización completa.

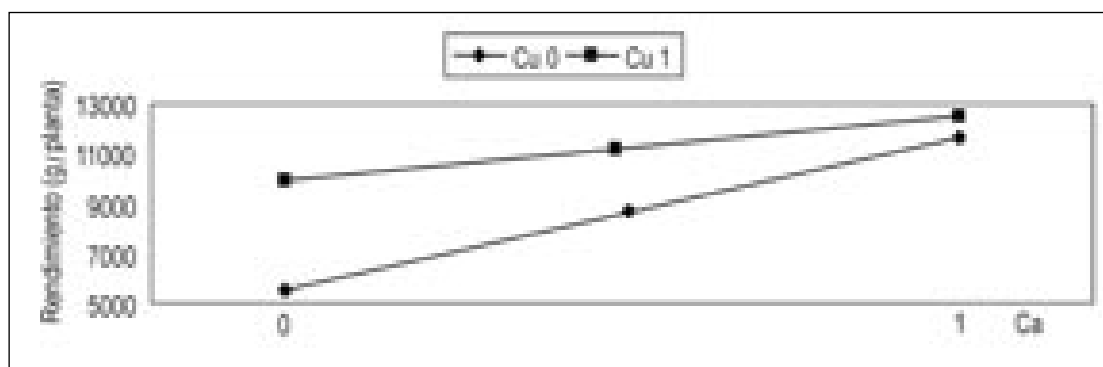


Figura 2. Rendimiento por planta como respuesta a la presencia (1) o ausencia (0) de los elementos calcio y cobre. En la abscisa se encuentra la ausencia y presencia de calcio.

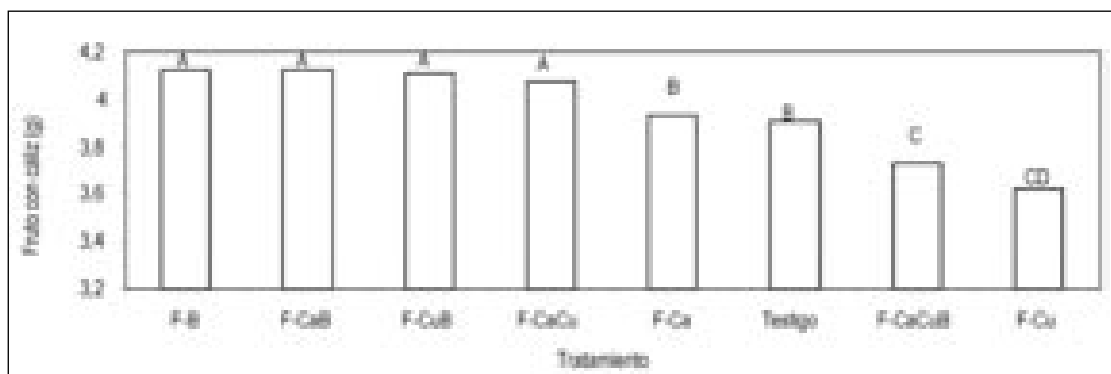


Figura 3. Efecto de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones sobre el peso de los frutos. Los promedios con la misma letra no tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$, $n = 14$). Testigo = tratamiento con fertilización completa.

El cobre no tuvo un efecto significativo en el peso del fruto ($Pr > F = 0,1424$). En los tratamientos F-Cu y F-CaCuB se obtuvo el menor peso de frutos individuales, seguido por el tratamiento con solución nutritiva completa. Queda claro que la deficiencia de los tres elementos en estudio limita de forma significativa el crecimiento y desarrollo de la planta. El bajo peso de frutos individuales del tratamiento fertilización completa (testigo) se puede interpretar como causado por el alto número de frutos en este tratamiento, lo cual pudo causar mayor competencia entre frutos individuales por los fotoasimilados. El peso promedio de los frutos durante los cinco meses de cosecha para el testigo fue de 4 g, que bajo las condiciones de invernadero se asemeja a la localidad de Subia (Cundinamarca) a 1.900 m.s.n.m., donde los frutos pesaron en promedio 4,5 g (Mazorra *et al.*, 2003).

Rajado del fruto

El porcentaje de frutos rajados del tratamiento con fertilización completa (testigo) fue alto en el primer mes

comparado con los siguientes (Tabla 3). Esto concuerda con el comportamiento en campo, donde los frutos rajados son frecuentes en las primeras cosechas (Fischer, 2000; Gordillo *et al.*, 2004; Torres, 2004). En el primer mes de cosecha hay una mayor proporción de área foliar con respecto a la de los frutos, lo cual puede originar una presión por los asimilados, y hacer que los frutos se rajen con mayor frecuencia (Torres, 2004). Una práctica recomendable en el cultivo de la uchuva que minimiza el porcentaje de rajado que se presenta en el primer mes de cosecha es eliminar las primeras inflorescencias.

En el análisis de varianza del porcentaje de frutos rajados, el efecto del cobre no fue significativo ($Pr > F = 0,3445$), mientras los efectos de calcio y boro fueron significativos en la incidencia de rajado ($Pr > F = 0,0613$ para Ca y $Pr > F = 0,0611$ para boro). La menor incidencia en frutos rajados se observó en los tratamientos fertilización completa, F-Cu y F-CaCu (Figura 4). Cabe anotar que en el tratamiento F-CaCu la incidencia de

rajado, a pesar de ser baja, fue constante en el tiempo, lo cual contrasta con el tratamiento de fertilización completa (Tabla 3).

Para mostrar claramente el efecto de calcio y boro, y teniendo en cuenta que no existió un efecto significativo

Tabla 3. Cantidad de frutos rajados (%) por tratamiento y por mes, desde el primer mes de cosecha hasta el final del experimento, en los ocho tratamientos de fertirriego para la evaluación del rajado en función de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones.

Mes	F-completa	F-Ca	F-B	F-Cu	F-BCu	F-CaB	F-CaCu	F-CaCuB
1	13	47	6	9	23	17	3	20
2	10	36	6	16	20	12	8	20
3	2	11	4	7	4	6	3	14
4	2	15	3	12	14	6	5	26
5	6	10	0	8	16	14	6	24
6	0	15	13	18	12	24	7	16
7	7	10	7	20	13	30	6	3

del cobre, se calcularon las incidencias promedio de rajado para los tratamientos Ca y B, promediando para cada caso los resultados de los tratamientos con y sin cobre. El resultado de esta operación, que se muestra en la Figura 5, hace evidente la interacción entre Ca y B ($Pr > F = 0,0190$). Al eliminar el Ca o el B de la solución nutritiva, el rajado aumentó de 5,5 a 13 %, lo cual equivale a un incremento de 236%. A su vez, el efecto promedio del calcio fue de 6,5% (incremento de 172%) mientras que el efecto promedio de boro fue de 6,3% (incremento de 169%). En la Figura 5 queda clara la interacción entre Ca y B. Las respuestas concuerdan con los datos de la revisión bibliográfica donde calcio y boro se reportan como importantes para reducir el rajado en diferentes frutas (Dube *et al.*, 1969; Peet, 1992; Lane *et al.*, 2000).

Severidad del rajado

En la Figura 6 se puede observar la clasificación de los frutos rajados según la severidad. Las observaciones

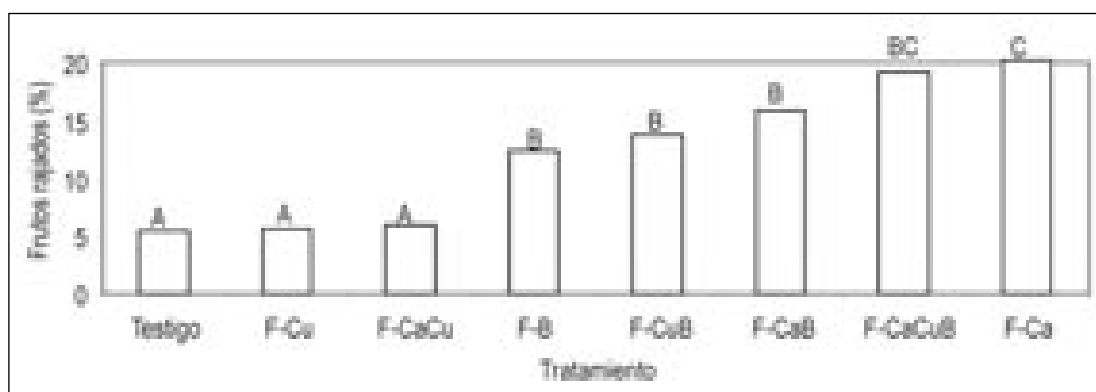


Figura 4. Efecto de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones sobre el porcentaje de frutos rajados. Los promedios con la misma letra no tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0,05$, $n = 14$). Testigo = tratamiento con fertilización completa.

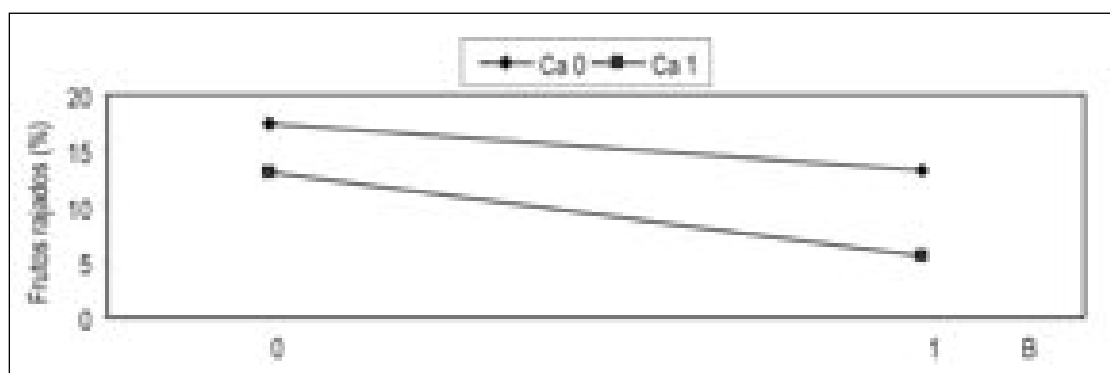


Figura 5. Porcentaje de frutos rajados como respuesta a la presencia (1) o ausencia (0) de los elementos boro y calcio. En la abscisa se encuentra la ausencia y presencia de boro representada con 0 y 1 respectivamente.

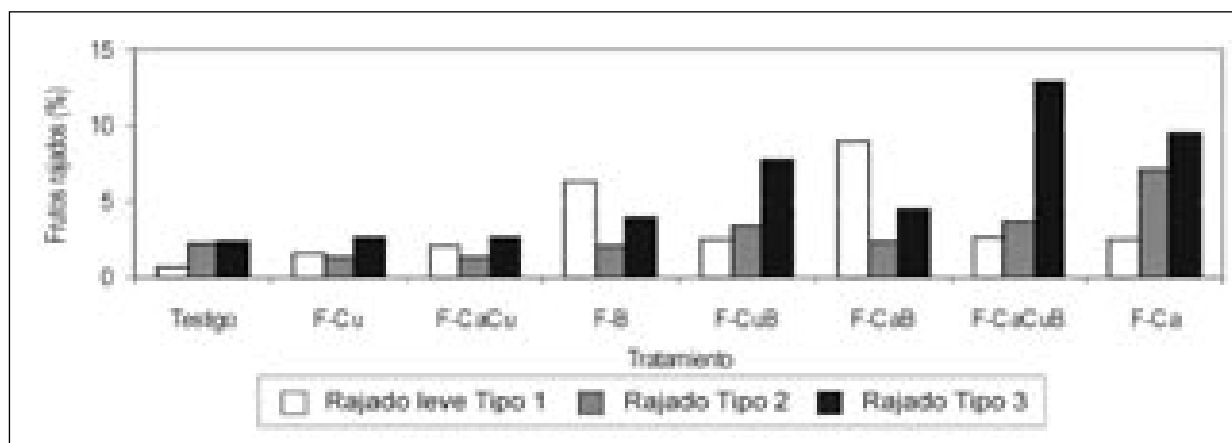


Figura 6. Efecto de la ausencia de calcio (F-Ca), cobre (F-Cu) y boro (F-B) en la fertilización y sus interacciones sobre el porcentaje de rajado, de acuerdo a una escala de 1 (menos severo) a 3 (rajado muy severo).

muestran una mayor proporción de frutos con rajado severo a medida que aumenta la incidencia de rajado total. La proporción más alta de frutos con rajado severo se observó en el tratamiento donde se excluyeron Ca, B y Cu a la vez de la solución nutritiva. De esto se puede deducir que la ausencia de los tres elementos induce una baja resistencia de la epidermis y el rajado puede ser más severo.

Efecto del tamaño del fruto sobre el rajado

Según Fischer (2000) y Gordillo *et al.* (2004), los frutos de mayor peso tienen una mayor predisposición al rajado y, según Fischer (2000), éstos también pueden rajarse con mayor facilidad en la poscosecha. En el caso de este experimento, el peso de los frutos y el porcentaje de rajado mostraron una correlación positiva altamente significativa, con una probabilidad para la hipótesis que no hay correlación menor de 0,0001. A la vez, el coeficiente de correlación fue muy bajo ($R^2 = 0,11698$), por lo cual se concluye que el tamaño de los frutos incide poco en la ocurrencia de rajado. Al comparar la información de tamaño y rajado de frutos (Figuras 3 y 4), se llega a la misma conclusión. En este aspecto, los resultados de esta investigación difirieron claramente con observaciones de otros reportes de investigación (Fischer, 2000; Gordillo *et al.*, 2004).

Conclusiones

- El rajado fue más importante en las primeras semanas y menor hacia el final del periodo de cosecha.



Figura 7. Deformaciones del caliz en los tratamientos sin calcio.

- La ausencia de boro no incidió en las reducciones de la cosecha de la uchuva, más bien, aumentó el peso individual de los frutos.
- El rajado de frutos fue función de la presencia de calcio y boro en la fertilización, con un incremento de 5,5 a 13% de frutos rajados cuando cualquiera de los dos era eliminado de la solución nutritiva.
- El cobre no tuvo efecto sobre la incidencia del rajado.
- El rajado en los frutos de uchuva no sólo se puede atribuir a factores nutricionales e hídricos; también podría deberse a un factor genético como ocurre en tomate, especie en la que se midió la heredabilidad de la susceptibilidad al rajado para luego seleccionar variedades resistentes.
- El rajado del fruto de uchuva requiere de mayores investigaciones que permitan establecer la etapa más susceptible del fruto al rajado, dependiendo del estado nutricional de la planta, para hacer una recomendación detallada que minimice el rajado en campo.
- Posiblemente la deficiencia de calcio causa malformaciones en el caliz (Figura 7).

Literatura citada

- Alarcón, A. 2001. El boro como nutriente esencial. *Horticultura* 155, 36-46.
- Angulo, R. 2003. Frutales exóticos de clima frío. Bayer CropScience, Bogotá. pp. 28-48.
- Carpita, N.C. 1994. Importancia especial de la pared celular en el desarrollo de las plantas. En: Salisbury, F.B. y C.W. Ross (eds.), *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México. pp. 368-370.
- CIAA. 2003. Evaluación y desarrollo de un modelo de producción de lulo y uchuva bajo condiciones de invernadero. 4º Informe Técnico a Colciencias. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 65 p.
- Clover, A. 1991. A new theory on calcium transport. *Grower*, 8-10.
- Dube, S.; J. Tewari y C. Ram. 1969. Boron deficiency in Rymer apple. *Progressive Horticulture* 1, 33-36.
- Estrada, E. 2002. Interpretación de los análisis de suelos y de material vegetal para calcio, magnesio y azufre. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fischer, G. 2000. Crecimiento y desarrollo de la uchuva. En: Flórez, V.J.; G. Fischer y A. Sora (eds.), pp. 9-26. *Producción, poscosecha y exportación de uchuva (Physalis peruviana L.)*, Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175 p.
- Fischer, G. 2005. El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. En: Fischer, G.; D. Miranda; W. Piedrahita y J. Romero (eds.), *Avances en el cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)*. Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (en imprenta).
- 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 Silvana (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana* 22(1), 53-62.
- Kamimura, S.; H. Yoshikawa y K. Ito. 1972. Studies on fruit cracking in tomatoes. *Horticultural Research*. Station of the Ministry of Agriculture and Forestry, Morioka. Series C. No. 7.
- Kienholz, J. 1942. Boron deficiency in pear trees. *Phytopathology* 32, 1.082-1.086.
- Lane, W.; M. Meheriuk y D. McKenzie. 2000. Fruit cracking of a susceptible, an intermediate, and a resistant sweet cherry cultivar. *HortScience* 31(2), 239-242.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, Londres. 889 p.
- Mazorra, M.F.; A.P. Quintana; D. Miranda; G. Fischer y B. Chaves. 2003. Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana* 21(3), 175-189.
- Milad, R.E. y K.A. Shackel. 1992. Water relations of fruit end cracking in French prune (*Prunus domestica L.* cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117, 824-828.
- Mills, H.A. y J.B. Jones. 1996. Plant analysis handbook. Micro Macro Publishing, Athens, Georgia.
- Opara, L.; C. Studman y N. Banks. 1997. Fruit skin splitting and cracking. *Horticultural Reviews* 19, 217-261.
- Peet, M. 1992. Radial fruit cracking in tomato. *HortTechnology* 2, 216-223.
- Peet, M. y D. Willits. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. *HortScience* 30(1), 65-68.
- Pierson, S.E.; M.J. Ceponis y L.P. McColloch. 1971. Market diseases of apples, pears and quinces. *USDA-ARS Handbook* 376. 112 p.
- Powers, W.L. y W.B. Bollen. 1947. Control of cracking of fruit by rain. *Science* 105, 334-335.
- Raese, J. 1989. Physiological disorders and maladies of pear fruit. *Horticultural Reviews* 11, 359-407.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 759 p.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Version 8, Vol. 2. SAS Institute. Cary.
- Shear, C. 1975. Calcium-related disorders of fruit and vegetables. *HortScience* 10, 316-365.
- Torres, C. 2004. Determinación del efecto de la variación en el balance hídrico y el estado nutricional sobre el rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana L.*). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- 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 en el balance hídrico. *Agronomía Colombiana* 22(2), 140-146.
- Valencia, M. 1985. Anatomía del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Acta Biológica Colombiana* 1(2), 63-89.
- Walter, T.E. 1967. Russetting and cracking in apples: a review of world literature. Report of the East Malling Research Station for 1966. Kent, Inglaterra. pp. 83-95.