

EFFECTO DEL CALCIO EN APLICACIONES PRECOSECHA Y POSCOSECHA SOBRE LA SEVERIDAD DE ANTRACNOSIS (*Colletotrichum gloeosporioides*) Y LA CALIDAD DE FRUTOS DE PAPAYA (*Carica papaya*)^{1/*}

Daniel Saborío^{2/**}, Vinicio Sáenz^{***}, Luis Felipe Arauz^{****}, Floria Bertsch^{*****}

Palabras clave: *Colletotrichum gloeosporioides*, calcio, precosecha, poscosecha, papaya.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de aplicaciones pre-cosecha y poscosecha de calcio en papaya variedad "criolla" sobre la severidad de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y variables de calidad del fruto. Los tratamientos pre-cosecha fueron 4: aspersión de CaCl_2 al 1% y 4% (2 aplicaciones: <40 días posanteses (dpa) y entre 100-140 dpa) con el penetrante alquilaril-polímero (NP-7 Bayer) (0.4 ml/L), CaCO_3 al suelo (1 ton/ha, 70 dpa) y testigo (0% Ca). El diseño experimental fue un BCA (4 repeticiones de 20 frutos). Los tratamientos poscosecha fueron 3: inmersiones por 5 min con 0%, 1% y 4% de CaCl_2 , con el mismo penetrante. El diseño experimental fue un BCA (3 repeticiones de 15 frutas). Se evaluó severidad, % calcio en cáscara, brix, pH, % acidez, firmeza (cáscara y pulpa) y % de madurez. En la aplicación de calcio pre-cosecha la severidad fue: 1% CaCl_2 con 6%, testigo 7%, CaCO_3 9% y 4% CaCl_2 con 11%, no se encontró que el Ca tuviera un efec-

ABSTRACT

The effect of pre and postharvest of calcium applications on antracnoses (*Colletotrichum gloeosporioides*) severity, and quality of papaya (*Carica papaya*) fruit. The effect of pre and postharvest of calcium applications on antracnoses (*Colletotrichum gloeosporioides*) severity, and quality of papaya (*Carica papaya*) fruit was evaluated in 2 separate experiments. Four preharvest treatments: spraying of CaCl_2 at 1% or 4% in 2 applications: 40 days after anthesis (dpa) and between 100-140 dpa; soil application of CaCO_3 (1 ton/ha, 70 dpa) and control (0% Ca) in a randomized blocks design (4 repetitions of 20 fruits); and three postharvest treatments: immersions for 5 min in water with 0% calcium, 1% and 4% of CaCl_2 , all with a penetrating agent, in a completely randomized design (3 repetitions of 15 fruits) were used. Severity, % calcium content of peel, brix, pH, % titratable acidity, firmness (peel and pulp) and % of ripeness were evaluated for both experiments. For the preharvest calcium application the severity was:

1/ Recibido para publicación el 2 de setiembre de 1999.
2/ Autor para correspondencia.

* Parte de la tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales presentada por el primer autor ante el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica.

* Laboratorio de Tecnología Poscosecha. Centro de Investigaciones Agronómicas. Convenio Ministerio de Agricultura y Ganadería. E-mail: dsaborio@cariari.ucr.ac.cr.

** Laboratorio de Tecnología Poscosecha. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

*** Laboratorio de Fitopatología. Escuela de Fitotecnía, Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

**** Laboratorio de Suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

to en disminuir la severidad. Los mayores valores de firmeza de cáscara y pulpa se presentaron con el tratamiento de 1% CaCl_2 (31.97 N y 19.63 N, respectivamente). La acidez y el pH parecen indicar que el 4% CaCl_2 tendió a acelerar la maduración de las frutas ya que la acidez disminuyó y el pH aumentó (levemente), en comparación con el 1% CaCl_2 . Con las aplicaciones de Ca poscosecha se disminuyó la severidad de 23% a 12% y 11%, con el 0%, 1% y 4% CaCl_2 , respectivamente. También hubo una tendencia a que a mayor dosis de Ca aplicado, aumentó la concentración de Ca de las cáscaras en las frutas. En cuanto a pH el tratamiento de 4% CaCl_2 presentó reducciones con respecto a los demás tratamientos y para % brix solamente se presentaron diferencias de disminución con respecto al 1% CaCl_2 , por lo que el aumento de concentraciones de calcio de 1% a 4% de CaCl_2 pudo haber tenido un efecto de retraso en la maduración interna de las frutas.

INTRODUCCION

En Costa Rica, las pérdidas poscosecha de papaya son de considerable importancia (Costa Rica 1991). Se informa de pérdidas poscosecha totales de aproximadamente un 30%, distribuido de la siguiente manera: en finca 16%, en transporte 5% y en comercialización 12%. También se encontró que la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz. Sacc.) es la principal enfermedad que causa pérdidas poscosecha (Arauz y Mora 1983, Durán 1985, Durán y Mora 1986).

El desarrollo de esta enfermedad se ve favorecido por el mal manejo que se le da a la fruta antes, durante y después de la cosecha. Aunque la infección por este hongo se produce en los estados inmaduros de la fruta, permanece latente y se desarrolla hasta que la fruta madura (Arauz y Mora 1983).

Para el control de esta enfermedad se han utilizado fungicidas en campo y poscosecha; sin embargo, los resultados no han sido satisfactorios. La razón que contribuye a que su utilización

6% for the 1% CaCl_2 treatment, 7% for the control, 9% for the solid CaCO_3 treatment and 11% for the 4% CaCl_2 treatment, it was found that the calcium had no effect in diminishing the severity. The highest values of shell and pulp firmness were found with 1% CaCl_2 treatment (31.97 N and 19.63 N, respectively). For acidity and pH it seems that the 4% CaCl_2 treatment accelerated the ripening of the fruits since the acidity diminished and the pH increased, in comparison with 1% CaCl_2 . The postharvest applications of calcium reduced the severity from 23% for the control treatment to 12% and 11%, for 1% and 4% CaCl_2 treatments, respectively. There was also a tendency that the highest the doses, the highest the concentration of calcium in the peel of the fruits. As for pH the 4% CaCl_2 treatment showed a lower value as compared to the other treatments and brix was lower than the observed for the 1% CaCl_2 treatment, it is possible that to increase the doses from 1% to 4% may have had an effect in delaying the ripening of the fruit.

se limite, es la resistencia que el hongo ha desarrollado a los principales productos fungicidas utilizados en campo y poscosecha, además de los problemas derivados de los residuos químicos, tanto en la fruta como en el ambiente. Dada la situación anterior, existe la necesidad de generar otras opciones para controlar la antracnosis en esta fruta.

Existen estudios en otros cultivos sobre la influencia que tiene la nutrición, especialmente con ciertos elementos minerales, en la expresión de enfermedades, en la función de los tejidos para acelerar o disminuir la velocidad de la patogénesis y en la influencia sobre la modificación de la virulencia y habilidad de los patógenos para sobrevivir (Huber 1980, McGuire y Kelman 1986, McGuire y Kelman 1984, Ferguson y Drobak 1988).

Uno de los elementos que más influye sobre el control de la expresión de enfermedades es el Ca. El Ca está considerado como el principal responsable de la formación de la lámina media, estructura y permeabilidad de la pared celular, así como también de la elongación y división celular

(Tisdale citado por Alas y Bustamante 1993). Además, es el elemento mineral que más influencia tiene sobre el retraso de la senescencia, control de desórdenes fisiológicos y sobre diferentes tipos de patógenos, en frutas y vegetales (Huber 1980, McGuire y Kelman 1986, Poovaiah 1986, Ferguson y Drobak 1988).

En el cultivo de manzana, aplicaciones de Ca en forma de CaCl_2 a la fruta en poscosecha, por medio de inmersiones en soluciones con diferentes concentraciones, han disminuido la incidencia de hongos que atacan esta fruta (Edney 1976, Conway 1982, Poovaiah 1986, Hanson 1993, Conway 1994).

En el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), aumentando concentraciones de Ca en los tejidos de las plantas y los tubérculos, se encontraron, luego de la inoculación, reducciones en el desarrollo de la bacteria *Erwinia carotovora* pv. atroseptica, principalmente en aquellos tratamientos en los que la concentración de Ca fue más alta (McGuire y Kelman 1986). Edney (1976), informa que frutos de manzana con bajos contenidos de Ca mostraron mayor susceptibilidad a desarrollar pudriciones causadas por *Gloeosporium* sp. Según lo anterior, mejorar o incrementar el nivel de Ca en la planta o la fruta se podría constituir en una opción para el combate de la antracnosis en papaya. Sin embargo, no se encontraron estudios que analicen el efecto que sobre esta fruta podría tener este elemento y más específicamente sobre el desarrollo del hongo.

Por lo anterior, se realizó la siguiente investigación, cuyo objetivo fue evaluar el efecto del Ca en aplicaciones precosecha y poscosecha sobre la severidad de antracnosis (*C. gloeosporioides*) y sobre la calidad de frutos de papaya (*Carica papaya*).

MATERIALES Y METODOS

Las evaluaciones de aplicaciones de Ca en precosecha y poscosecha fueron realizadas de manera independiente, por lo que las condiciones de producción de las frutas fueron diferentes.

Localización de las investigaciones y materiales utilizados

En ambas evaluaciones se utilizó la variedad de papaya conocida como criolla; esta fruta tiene un peso promedio de 2.5 kg y presenta tamaños y formas muy variadas, desde alargadas hasta globosas; el color de la pulpa también varía desde anaranjado hasta amarillo, reflejo de su gran variabilidad genética. Las labores agronómicas del cultivo fueron las que comúnmente realiza el productor de la zona.

Precosecha

Para la evaluación de aplicaciones en precosecha el ensayo se estableció en una finca dedicada a la producción comercial de papaya, en una parcela donde no se había sembrado papaya anteriormente, ubicada en el cantón de Guácimo, provincia de Limón. La siembra en el campo de las plantas provenientes del almácigo (45 días de edad) se realizó la segunda semana del mes de mayo de 1996. En la Figura 1 se presentan los datos de las condiciones ambientales, que predominaron en el período del ensayo (Costa Rica 1999).

Se efectuaron análisis químicos y físicos del suelo donde se llevó a cabo la investigación antes de aplicar los tratamientos. Los análisis se efectuaron siguiendo la metodología empleada por el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Se determinó el contenido de Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn y Zn; además de pH y acidez.

La fuente de Ca foliar que se utilizó fue cloruro de calcio (CaCl_2) con una concentración de 40% p/v de Ca y el producto alquilarilpolímero (NP-7 de Bayer) fue utilizado por su acción penetrante y adherente, a razón de 0.4 ml/L. Se utilizó la fuente de CaCO_3 (40% p/p de Ca) para la aplicación de Ca al suelo. Dicha fuente contenía 85-95% de CaCO_3 y un 40% de Ca. El ensayo fue conducido bajo un diseño de bloques completos al azar, los tratamientos se aplicaron sobre áreas grandes de 150 m² con aproximadamente 20 plantas y de ellas se extrajeron posteriormente las

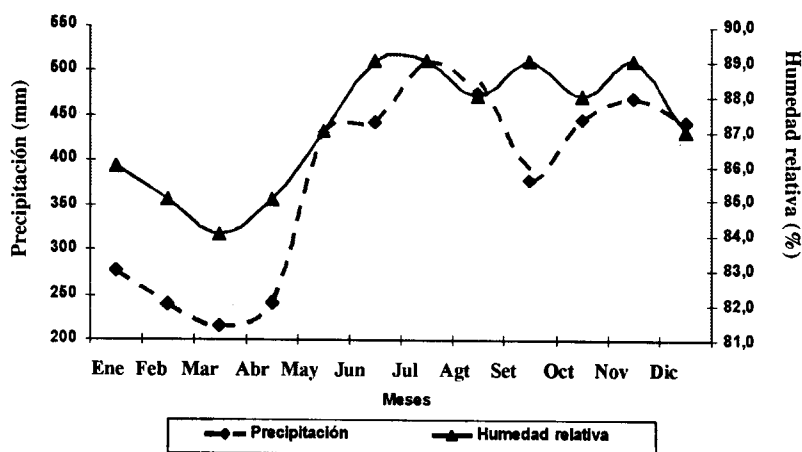


Fig. 1. Condiciones de precipitación (mm) y humedad relativa (%) de la zona donde se realizó la evaluación. Instituto Meteorológico Nacional. Estación Diamantes, Guápiles. Limón.

repeticiones de frutas llevadas a poscosecha, con 4 tratamientos y 4 repeticiones, y un número de 20 frutas para evaluar por repetición.

Los tratamientos consistieron en:

1) Aspersión de CaCl_2 al 1%. 2) Aspersión de CaCl_2 al 4% (las aspersiones de los tratamientos 1 y 2 se realizaron en 2 aplicaciones: a) < 40 días posantesis y b) entre 100-140 días posantesis en los meses de octubre 1996 y enero 1997, respectivamente. 3) Aplicación al suelo de CaCO_3 (1 ton/ha) 45 días preantesis, el 12 julio de 1996. 4) Testigo (CaCl_2 al 0%).

Las frutas fueron cosechadas el día 3 febrero de 1997 de acuerdo con el índice de cosecha nacional de 3 franjas, que consiste en el leve cambio de color de verde a amarillo de la cáscara, en 3 partes cercanas al ápice de la fruta. Luego fueron trasladadas al Laboratorio de Tecnología Poscosecha del CIA en la Universidad de Costa Rica, donde fueron mantenidas bajo condiciones ambientales y evaluadas al final del período de poscosecha, cuando la fruta desarrolló la madurez comercial, expresado como cambio del color externo de la cáscara de verde a amarillo-anaranjado. El período transcurrido después de cosecha hasta la madurez comercial fue de aproximadamente 12 días.

Poscosecha

Para la evaluación de aplicaciones de Ca en poscosecha el experimento se realizó en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), de la Universidad de Costa Rica. Se evaluó también la variedad de papaya "criolla", producida en la zona de Guácimo, Limón.

Las frutas, procedentes del campo, fueron cosechadas el 2 de julio de 1996 de acuerdo también con el índice de cosecha de 3 franjas. Las labores agronómicas del cultivo fueron las que comúnmente realiza el productor de la zona.

El ensayo fue conducido bajo un diseño irrestricto al azar, con 3 tratamientos y 3 repeticiones, con 15 frutas cada uno. Los tratamientos se realizaron por inmersión de las frutas por 5 min en una solución de CaCl_2 a 3 concentraciones (0%, 1% y 4%). Se utilizó la misma fuente de Ca (CaCl_2 40% p/v de Ca) y el mismo coadyuvante (NP-7, 0.4 ml/L). Se simuló el período de maduración poscosecha (12 días aproximadamente) bajo condiciones ambientales y luego se evaluaron las frutas.

Variables analizadas

Severidad de antracnosis. Se realizó por medio de una cuantificación porcentual del área

afectada por la enfermedad, en cada una de las frutas por repetición.

Firmeza de la pulpa. Se realizó por medio de un penetrómetro John Chatillon Dpp-100 N 100n x 1 N con cabeza cónica sobre oposición de los lados de la pared de las frutas, sin cáscara, para medir la resistencia de la pulpa de las frutas. Esta medición se realizó en la parte ecuatorial de cada fruta y cada resultado fue el promedio de 3 mediciones realizadas a cada una de las frutas de cada repetición.

Firmeza de la cáscara. Esta característica se analizó solamente para la fruta del experimento de aplicaciones de Ca en precosecha y se realizó con el mismo penetrómetro. Esta medición también se realizó sobre la parte ecuatorial de cada fruta y cada resultado fue el promedio de 3 mediciones realizadas a cada una de las frutas de cada repetición.

Brix (sólidos solubles totales). Se determinó los grados brix de cada fruta, mediante el análisis de una muestra compuesta por el jugo de 3 porciones de pulpa, que se sacaron al azar a cada una de las frutas, por repetición. Se utilizó un refractómetro manual marca Atago ATC- 1.

pH. Por medio de un potenciómetro digital, se analizó la solución de jugo de cada una de las frutas por repetición. La solución estuvo compuesta por la pulpa de papaya obtenida de 3 porciones al azar de cada fruta.

Acidez titulable. Se determinó la acidez titulable de cada una de las frutas de cada repetición, por medio de la titulación del jugo, con una solución de NaOH 0.1 N a un pH de 8.2. La muestra consistió en el jugo de 3 porciones de 4 g de extracto al azar de cada fruta.

Concentración de Ca en la cáscara. Se evaluaron las cáscaras (3-5 mm de grosor) de cada una de las frutas por repetición de cada tratamiento, determinándose la concentración de Ca, por digestión y determinación con espectrometría de absorción atómica. La muestra nitroperclórica

consistió en toda la cáscara de cada fruta, la cual fue separada con un pelador metálico, con la precaución de que no tuviera pulpa adherida.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó la prueba ANDEVA para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y prueba de rango múltiple de Duncan al 0.05% para la comparación y separación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aplicaciones de Ca en precosecha.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos realizados para las variables de severidad de la enfermedad, porcentaje de Ca en las cáscaras de las frutas, firmeza de pulpa, firmeza de cáscara, pH y porcentaje de acidez.

Severidad de antracnosis y porcentaje de Ca en las cáscaras. La severidad de la enfermedad para el tratamiento de 1% de CaCl_2 fue de 6%, seguido por el testigo con 7%, CaCO_3 con 9% y 4% de CaCl_2 con 11%. Se presentaron diferencias significativas solamente entre el tratamiento de 4% de CaCl_2 con respecto al testigo (0% Ca) y al de 1% de CaCl_2 . Este tratamiento (CaCl_2 al 4%) incrementó de manera significativa el grado de severidad de la enfermedad en la fruta en 53% y 59% con respecto a los tratamientos de 1% CaCl_2 y testigo (0% Ca), respectivamente (Figura 2).

Las condiciones ambientales que se presentaron durante el desarrollo de la investigación (precipitación y humedad relativa altas), fueron las óptimas para favorecer las etapas infectivas del hongo y desarrollo del estado latente (Figura 1). Reflejo de esto es que aunque no se presentaron diferencias en cuanto a la incidencia de la enfermedad, este valor fue mayor de 90%, para todos los tratamientos.

En cuanto al contenido de Ca en las cáscaras de las frutas el tratamiento de 1% CaCl_2 obtuvo un 0.52% de Ca, el CaCO_3 un 0.58%, el testigo

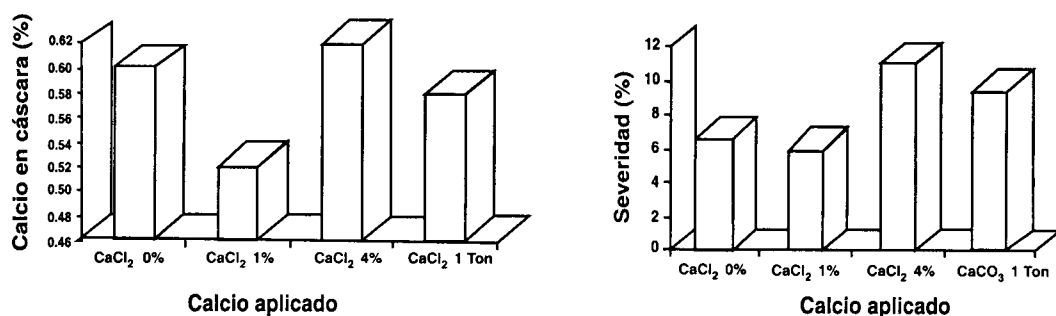


Fig. 2. Severidad (%) de antracnosis en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) y porcentaje de calcio en cáscara, según calcio aplicado en precosecha. Guácimo, Limón.

presentó 0.60% y el de 4% CaCl₂ 0.62%. Las diferencias significativas se presentaron solamente entre el tratamiento de 4% de CaCl₂ con respecto al de 1% CaCl₂ (Figura 2).

Los resultados obtenidos indican que el Ca suministrado en los tratamientos no favorece el control de la antracnosis en papaya, por el contrario, por alguna razón el tratamiento de 4% CaCl₂ propició la severidad de la enfermedad al presentar incrementos significativos con respecto al testigo y al 1% CaCl₂.

En fresa (*Fragaria* sp.) Chéour (1990), con aplicaciones de CaCl₂ en precosecha, encontró que los contenidos de Ca suministrados no afectaron las concentraciones de Ca en los tejidos y por el contrario se favoreció el desarrollo del moho gris (*Botrytis cinerea*) en la fruta.

La presencia de depósitos de Ca en las frutas es determinante como factor en la resistencia física contra las enfermedades causadas por hongos, sin embargo, la concentración óptima debe ser definida, ya que dosis altas pueden causar daños que favorecen el desarrollo de las enfermedades (Stanghellini y Aragaki 1966).

Lo anterior evidencia que aunque se ha probado que el Ca preserva la integridad estructural de la pared celular, aumentando la resistencia física contra hongos o inhibiendo algún desarrollo de

su ciclo, este efecto se logra solamente hasta cierta concentración de Ca ya que por encima de ésta, se pueden presentar resultados no deseables.

El mecanismo que podría estar favoreciendo el aumento de la severidad de la antracnosis, ante la cantidad de Ca suministrada por el 4% CaCl₂, es aquel que aumenta la reacción de inducción y producción de la enzima "Pectato Liasa" (PL), por efecto de incrementos en las concentraciones de Ca en las paredes celulares. Esta enzima degrada los componentes de la pared celular y susceptibiliza los tejidos, los que favorece las pudriciones poscosecha en frutas y vegetales. Al respecto, se ha encontrado que al aumentarse las concentraciones de Ca (Ca²⁺) con soluciones de CaCl₂, ocurren incrementos en los procesos de inducción y producción de la enzima (Liao et al. 1993).

Los resultados de la aplicación de CaCO₃ al suelo en cuanto a la severidad de la enfermedad y al aumento del Ca en la cáscara, no fueron significativos en comparación con ningún tratamiento. Estos resultados son similares a los obtenidos por Qiu et al. (1995), los cuales concluyeron que aplicaciones de CaCO₃ al suelo en el cultivo de papaya no incrementan significativamente los niveles de Ca en la fruta. La cantidad de 1 t/ha de CaCO₃ (40% Ca) que se aplicó, fue calculada con base en el contenido de Ca, la suma de

bases en el suelo, los valores de pH y acidez (aluminio intercambiable), además del indicador de Porcentaje de Saturación de Acidez y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (CICE) (Bertsch 1995 y Molina 1993). Para el suelo donde se realizó el ensayo no fue necesario el suplemento de CaCO_3 con el fin de neutralizar la acidez, por lo que la cantidad aplicada fue estrictamente para suplemento nutricional exógeno de Ca, sin embargo, su efecto no fue significativo.

Firmeza de cáscara y pulpa. Para firmeza de cáscara, el tratamiento de 4% CaCl_2 presentó un valor de 27.80 N, el testigo de 28.16 N, el CaCO_3 de 29.63 N y el 1% CaCl_2 de 31.97 N. Se encontraron diferencias significativas entre la dosis de 1% CaCl_2 (que obtuvo el valor más alto) con respecto a todos los demás tratamientos. Para la firmeza de pulpa, también se encontró el mismo comportamiento, las diferencias significativas se presentaron entre la aplicación de 1% CaCl_2 (19.63 N, que fue el valor mayor) y los demás tratamientos: CaCO_3 con 16.65 N, testigo 15.89 N y 4% CaCl_2 con 14.28 N (Figura 3).

En ambas variables, de firmeza de cáscara y pulpa, se mantuvo la tendencia de que los tratamientos de 1% CaCl_2 fueron los que obtuvieron los valores mayores y los de 4% CaCl_2 presentaron los más bajos (aunque significativamente similares al testigo), condición que podría apoyar la idea de que el 1% CaCl_2 fue la concentración que al parecer favorece significativamente la caracte-

rística de firmeza tanto interna como externa de la papaya (Figura 3). La concentración de 4% Ca pudo causar algún efecto fitotóxico que provocara daños físicos a nivel de las células del exocarpo y endocarpo de las frutas o bien facilitó alguna diferencia a nivel fisiológico, que se reflejó en la disminución del grado de ambas firmezas.

El efecto del Ca para el retardo y/o control de las infecciones, es el resultado de la firmeza que este elemento produce en los enlaces de la pared celular, que al estar formada por cadenas de pectinas, permite la inserción de cationes y preferiblemente los de Ca^{+2} , sin embargo, existen solo un determinado número de sitios disponibles en la poligalacturosa para esta incorporación (Demarty et al. citados por Conway y Gross 1987) por lo que el Ca con la concentración de 4% CaCl_2 que no pudo ser absorbido, podría haber causado un efecto tóxico. Se ha documentado que este método de suministro exógeno de Ca por aspersión, puede incrementar significativamente este elemento en las frutas, pero se pueden presentar ciertos cambios negativos en las frutas tratadas (Lee y Dewey 1981). Al darse un cambio fisiológico puede producirse un aumento de la maduración o senescencia de los tejidos, lo que provoca un cambio de las condiciones físicas y químicas de los tejidos que favorecen el desarrollo de las etapas infectivas del hongo, la pérdida del mantenimiento de la calidad y el aumento de las pudriciones (Tingwa y Young 1974, Eaks 1985, Willis y Mahendra 1989 mencionado por Yuen et al. 1994).

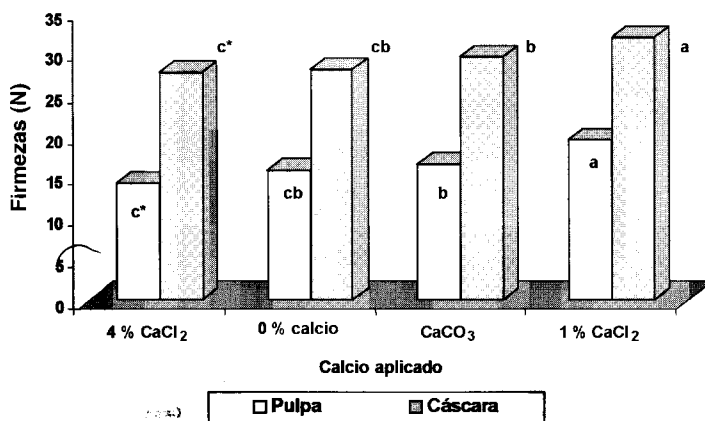


Fig. 3. Firmezas (N)** de pulpa y cáscara de frutos de papaya (*Carica papaya* L.), según calcio aplicado en precosecha.

* Columnas con letras iguales no son significativamente diferentes, según Prueba de Duncan al 0,05%. ** Newtons.

Porcentaje de acidez y pH. Para el porcentaje de acidez, el 4% CaCl_2 obtuvo un 0.040%, el CaCO_3 un 0.042%, el testigo un 0.046% y el 1% CaCl_2 un 0.047%. Para la variable de pH el 1% CaCl_2 presentó un valor de 5.50, el CaCO_3 5.52, el testigo 5.55 y 4% CaCl_2 5.57 (Figura 4). Estas diferencias son demasiado pequeñas y podrían indicar que se presentó una aceleración del metabolismo de maduración interna de las frutas tratadas con el 4% CaCl_2 ya que se incrementó la degradación de ácidos, y se aumentó el valor de pH.

Este efecto fue similar al encontrado por Conway y Sams (1985), en manzana donde informan un avance de la maduración de las frutas tratadas con soluciones de Ca; es importante mencionar que se realizaron los muestreos para firmeza de cáscara y pulpa en áreas de las frutas de papaya de manera aleatoria y no necesariamente en zonas afectadas por la enfermedad.

Aplicaciones de Ca en poscosecha

Para esta evaluación se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos realizados para las variables de severidad de la enfermedad, porcentaje de Ca en las cáscaras de las frutas, brix y pH.

Severidad de antracnosis y porcentaje de Ca en las cáscaras. La severidad de antracnosis en el tratamiento testigo (0% Ca) fue de 23% mientras que en los tratamientos de aplicación de

Ca con 1% y 4% de CaCl_2 fue de 12% y 11%, respectivamente. Las disminuciones de la severidad fueron de un 48% para el 1% de CaCl_2 y de 55% para el 4% de CaCl_2 (Figura 5).

Las 2 concentraciones de CaCl_2 (1% y 4%), tuvieron diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo, para la severidad de la enfermedad, sin embargo, no fueron estadísticamente diferentes entre sí.

En cuanto a los resultados obtenidos de porcentaje de Ca encontrado en las cáscaras de las frutas, el tratamiento de 4% CaCl_2 obtuvo un valor de 0.63%; el 1% de 0.61% y el testigo de 0.52%. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre ambas dosis aplicadas de CaCl_2 , para el porcentaje de Ca en cáscara.

El incremento de Ca en la fruta no fue proporcional al aumento de las concentraciones suministradas. La dosis de 1% de CaCl_2 incrementó la concentración del Ca en la cáscara de la fruta en 0.09%, mientras que el incremento del tratamiento de 4% de CaCl_2 fue apenas de 0.02% más de Ca.

Al respecto se menciona, que el número de espacios o sitios disponibles para que el Ca sea adherido a las paredes celulares de las frutas es finito, por lo que resultados de infiltraciones poscosecha de Ca llegan a un punto en que el aumento de concentración en el tejido no es proporcional al porcentaje de Ca suministrado (Demarty et al. citado por Conway y Gross 1987).

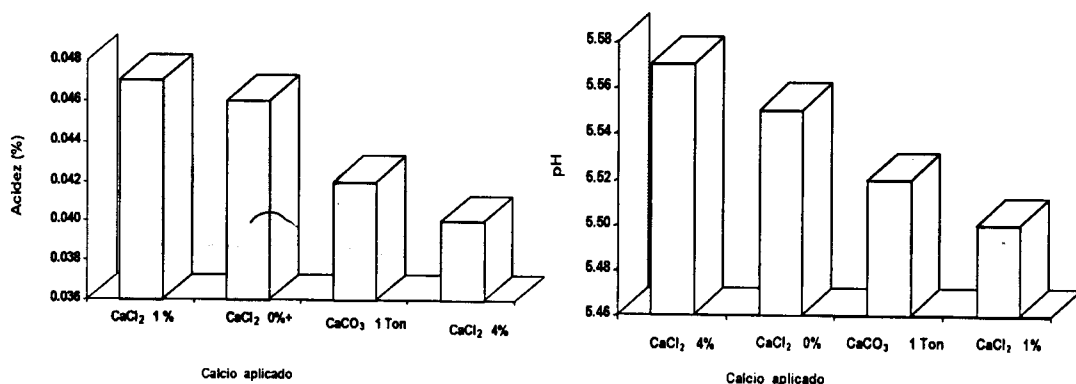


Fig. 4. Porcentaje de acidez y pH en frutos de papaya (*Carica papaya* L.), según calcio aplicado en precosecha. Guácimo, Limón.

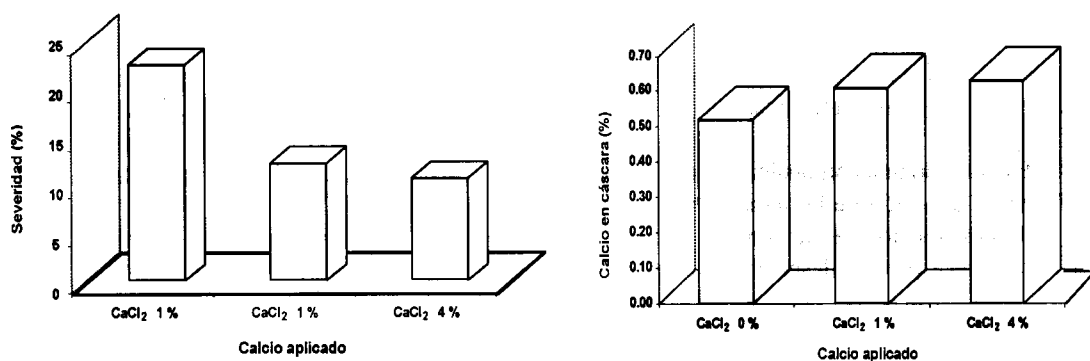


Fig. 5. Severidad (%) de antracnosis en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) y porcentaje de calcio en cáscaras, según calcio aplicado en poscosecha. Guácimo, Limón. 1996.

La disminución de severidad de la enfermedad pudo deberse a la acción de los aumentos de concentraciones de Ca suministrado en poscosecha, los cuales ocasionaron un mayor grado de resistencia mecánica en las paredes de las células de los tejidos cuticulares tratados, que luego favoreció la inhibición del desarrollo de la hifa subcuticular o tubo germinativo del hongo *C. Gloeosporioides*. Esto también ayudó a que la producción de los niveles de poligalacturonasa fueran menores, y favoreció el control de la etapa infectiva del hongo y el desarrollo del estado latente.

Al respecto, se menciona que al incrementarse los contenidos de Ca en las paredes celulares de manzanas, se incrementa la resistencia y se produce una disminución de la maceración causada por las enzimas pectolíticas producidas por el hongo *Penicillium expansum*, enzimas que también son producida por *C. gloeosporioides* (Conway 1988).

Esta resistencia estructural, favorecida por el aumento del Ca en los tejidos, podría haber fortalecido la pared celular, volviéndola más resistente a la acción de las enzimas pectolíticas que el hongo produce (Arauz 1998). La enzima cutinolítica que *C. gloeosporioides* sintetiza es la cutinasa, la cual en forma de endopoligalacturonasa debilita enzimáticamente la cutícula de la fruta (Karni et al. 1989).

Resultados similares presentaron Volpin y Elad (1991) en una investigación con rosa, don-

de obtuvieron una disminución de la acción de la poligalacturonasa producida por el patógeno *Botrytis cinerea*, al crecer el hongo en un medio que contenía pectato de Ca.

Otro mecanismo de resistencia a infecciones que pudo favorecerse por acción de los suministros de Ca aplicados, es el explicado por Arauz (1998) y Stelzig (1984), citado por Ceciliano (1998) el cual explica, que los tejidos de la cutícula de los frutos tienen también otra respuesta para protección ante la presencia de patógenos, que consiste en la síntesis de unas sustancias llamadas fitoalexinas (que pueden ser fenoles, aceites esenciales, taninos, etc.) con efecto fungitóxico, que inhiben la germinación de algunas esporas de hongos. Esta activación y producción de fitoalexinas, puede producir una disminución de los efectos generados por las estructuras del hongo (producción de las cutinasas), que favorecen la infección y el desarrollo de la enfermedad.

Al respecto, los aumentos de las concentraciones de Ca en papaya podrían haber actuado activando los mecanismos de resistencia a infecciones latentes del hongo, por síntesis de fitoalexinas, las cuales afectaron el desarrollo de la hifa cuticular manteniéndola en estado de quiescencia, como ocurre en mango y aguacate. Sin embargo, se sugiere que para otras frutas el mecanismo puede tener variantes ya que depende de la combinación de factores específicos hospedero-patógeno (Pruskey y Plumble 1992).

En resumen, se podría sugerir que los aumentos de las concentraciones de Ca en papaya favorecieron la defensa contra *C. gloeosporioides* mediante los siguientes mecanismos:

- Facilitando una composición y mayor fuerza de cohesión de la pared celular a nivel de cáscara, lo que aumentó la resistencia mecánica para el desarrollo y penetración de las estructuras infectivas del hongo.
- Incrementando los mecanismos de síntesis de fitoalexinas, las cuales inhibieron el desarrollo de las estructuras de infección del patógeno.

Firmeza de pulpa. Los tratamientos que suministraron Ca (1% y 4% CaCl_2), no favorecieron los atributos de textura, resistencia y/o firmeza de los tejidos a nivel de la pulpa de las frutas ya que no se encontró resultados significativos que pudieran ser atribuibles a las concentraciones de Ca aplicadas y que favoreciera la firmeza, composición, estructura, fuerza de cohesión y calidad textural de los tejidos del endocarpo, lo que parece indicar que el Ca suministrado por las diferentes soluciones, se localizó solamente a nivel de los tejidos de la cáscara en la fruta. La firmeza de cáscara no se realizó en estas evaluaciones.

Brix y pH. En cuanto a las variables de grados brix y pH, se obtuvieron resultados con

diferencias significativas. Para los grados brix el testigo (0% Ca) obtuvo un valor de 9.07%, el 1% de CaCl_2 un 9.32% y el 4% de CaCl_2 un 8.78%. La concentración de 4% CaCl_2 produjo una disminución de los grados brix, que se diferenció significativamente solo del nivel de 1% CaCl_2 (Figura 6).

En cuanto al pH, el tratamiento testigo (0% Ca) obtuvo un valor de 5.30, el 1% de CaCl_2 de 5.28 y el 4% CaCl_2 de 5. La concentración de 4% CaCl_2 causó en el pH una reducción significativa promedio de 6% con respecto a los otros 2 tratamientos. Como se observa en la Figura 6, se podría mencionar que el tratamiento de 4% CaCl_2 causó un retraso de la madurez interna de las frutas, ya que se presentó una tendencia de disminución del brix (aunque no significativo con respecto al testigo), sin embargo, para el pH sí presenta una disminución significativa con respecto a los otros 2 tratamientos. Al respecto, similares resultados obtuvo en fresa (*Fragaria* sp.) Chéour (1990), donde el efecto de suministros de concentraciones crecientes de Ca (CaCl_2) incrementó el retraso de la maduración de las frutas.

En conclusión, en este experimento en precosecha no se encontró que las aplicaciones de Ca tuvieran un efecto positivo en favorecer algún mecanismo de defensa contra el hongo, y más bien la aplicación foliar de 4% CaCl_2 tendió a incrementar la severidad de la antracnosis.

En poscosecha, los tratamientos con CaCl_2 , sí mostraron un efecto consistente sobre

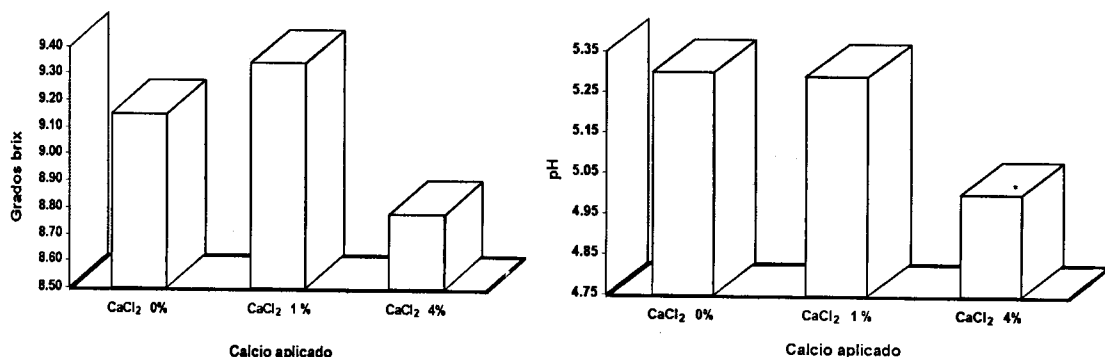


Fig. 6. Grados brix y pH en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) según aplicaciones de calcio en precosecha. Guácimo. Limón. 1996.

la disminución de la severidad de la antracnosis aunque no necesariamente la mayor dosis produjo los mejores efectos.

AGRADECIMIENTO

A los señores Vinicio y Marcos Vega productores de papaya de Guácimo, Limón, por el gran aporte y apoyo para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- ALAS, G.J.; BUSTAMANTE, E. 1993. Efecto del fósforo y del Ca en la severidad del tizón temprano (*Alternaria solani*) en tomate, a nivel de invernadero. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 29:1-5.
- ARAUZ, L.F.; MORA, D. 1983. Evaluación preliminar de los problemas poscosecha en 6 frutas tropicales de Costa Rica. Agronomía Costarricense 7(1/2):43-53.
- ARAUZ, L.F. 1998. Fitopatología: un enfoque agroecológico. 1. ed. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 467 p.
- BERTSCH, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- CECILIANO, S.R. 1998. Determinación de sustancias fenólicas en la cáscara de Mango (*Mangifera indica*) y su efecto fungitóxico sobre la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*). Tesis Ing. Agr. San Pedro, Universidad de Costa Rica. 110 p.
- CHEOUR, F. 1990. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115(5):789-792.
- CONWAY, W.S. 1988. Inhibition of *Penicillium expansum* polygalacturonase activity by increased apple cell wall calcium. Phytopathology 78:1052-1055.
- CONWAY, W.S. 1994. Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples. HortScience 119(1):49-53.
- CONWAY, W.S.; GROSS, K. 1987. Relationship of bound calcium and inoculum concentration to the effect of postharvest calcium treatment on decay of apples by *Penicillium expansum*. Plant Disease 71(1):78-80.
- CONWAY, W.S.; SAMS, C.E. 1985. Influence of fruit maturity on the effect of postharvest calcium treatment on decay of Golden Delicious apples. Plant Disease 69:42-43.
- COSTA RICA. 1991. Programa Integral de Mercadeo Agropecuario. Diagnóstico sobre el manejo poscosecha y determinación de pérdidas en naranja y papaya, destinadas al mercado nacional de Costa Rica. 50 p.
- COSTA RICA. 1999. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de información y comercialización. Promedios mensuales de datos climáticos: Estación Los Diamantes, Guápiles, Limón. 1 p.
- DURAN, A. 1985. Diagnóstico y aspectos preliminares de la epidemiología de las enfermedades fungosas del fruto de la papaya (*Carica papaya* L.) en Costa Rica. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 116 p.
- DURAN, A.; MORA, D. 1986. Enfermedades del fruto de la papaya. San José, Costa Rica, Oficina de publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 21 p.
- EDNEY, K.L. 1976. An investigation of persistent infection of stored apples by *Gloeosporium* spp. Annals of Applied Biology 82:355-360.
- FERGUSON, I.B.; DROBAK, B.K. 1988. Calcium and the regulation of plant growth and senescence. HortScience 23(2):262-266.
- HANSON, E.J. 1993. Applying calcium chloride postharvest to improve highbush blueberry firmness. Hort Science 28(10):1033-1034.
- HUBER, D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. Plant Disease 5:381-406.
- KARNI, L. et al. 1989. Involvement of epicatechin in the regulation of lipoxygenase activity during activation of quiescent *Colletotrichum gloeosporioides* infections of ripening avocado fruits. Physiological and Molecular Plant Pathology 35:367-374.
- LEE, J.J.L.; DEWEY, D.H. 1981. Infiltration of calcium solutions into "Jonathan" apples using temperature differentials and surfactants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(4): 488-490.
- LIAO, C.H. et al. 1993. Calcium dependent pectate lyase production in soft rotting bacterium *Pseudomonas fluorescens*. Phytopathology. 83(8):813-818.

- McGUIRE, R.G.; KELMAN, A. 1984. Reduced severity of *Erwinia* soft rot in potato tubers with increased calcium content. *Phytopathology* 76(4):401-406.
- McGUIRE, R.G.; KELMAN, A. 1986. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*. *Phytopathology* 76(4):401-406.
- MOLINA, E.A. 1993. Evaluación técnica de materiales de encalado. Conferencia presentada en el Seminario de Capacitación del colegio de Ingenieros Agrónomos. San José, Costa Rica. 22 p.
- POOVAIAH, B.W. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology*. p. 86-89.
- PRUSKY, D.; PLUMBLEY, R.A. 1992. Quiescent infections of *Colletotrichum* intropical and subtropical fruits. *In: Colletotrichum: biology, pathology and control*. Ed. by British Society for Plant Pathology. CCB International. p. 289-307.
- QIU, Y.X.; NISHINA, M.S.; PAULL, R.E. 1995. Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 120(2):246-253
- STANGHELLINI, M.; ARAGAKI, M. 1966. Relation of periderm formation and callose deposition to anthracnose resistance in papaya fruit. *Phytopathology* 56(4):444-450.
- VOLPIN, H.; ELAD, Y. 1991. Influence of calcium nutrition on susceptibility of Rose Flowers to Botrytis blight. *Phytopathology*. 81(11):1390-1394.
- YUEN, C.; CAFFIN, N.Y.; BOONYAKIAT, D. 1994. Effect of calcium infiltration on ripening of avocados of different maturities. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34:123-126.