

APLICACIÓN FOLIAR DE CALCIO Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD EN FRUTOS DE MANGO CV. HADEN*

CALCIUM FOLIAR SPRINKLING AND ITS RELATION WITH FRUIT QUALITY OF MANGOES CV. HADEN

Nelly Rosa Romero-Gomezcaña^{1§}, Prometeo Sánchez-García², Jorge Rodríguez-Alcázar¹ y Crescenciano Saucedo-Veloz¹

¹Programa de Fruticultura, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad y ²Programa de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Km 35.5 carretera México-Texcoco. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. §Autora para correspondencia: nrromero@colpos.mx

RESUMEN

Para determinar el efecto de aplicaciones foliares de Ca y su relación con otros minerales sobre la calidad de frutos de mango cv. Haden se realizó un estudio en 2003, en un huerto de 16 años de establecido, en San Lucas, Michoacán, México (18° 19' latitud norte, 100° 40' longitud oeste y 251 msnm). Los tratamientos consistieron en cinco aspersiones foliares y al fruto con nitrato de Ca cada 15 días en pre cosecha, en concentraciones de: 0, 5, 10, 15 y 20 g L⁻¹. Se usó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental la integraron tres árboles. Los árboles que recibieron Ca tuvieron un rendimiento mayor que el testigo ($p < 0.05$). Los frutos conservados a temperatura ambiente (20 ± 2 °C y $74 \pm 4\%$ de humedad relativa) mostraron diferencias significativas para las variables respiración, pérdida de peso, acidez y sólidos solubles totales, no para firmeza y color ni para la actividad enzimática de la pectinmetilesterasa. La firmeza del fruto mostró correlación positiva con K/Ca ($r = 0.9571^{**}$) y con la actividad enzimática de la pectinmetilesterasa ($r = 0.6844^{**}$). El análisis de regresión de K/Ca y K+Mg/Ca fue significativo ($p \leq 0.05$) con R^2 de 0.9160 y 0.8504, respectivamente, en tanto que para °Brix/Acidez y las dosis de Ca resultó significativo con $R^2 = 0.82$ ($p \leq 0.05$). Para esta misma variable (°Brix/Acidez) el análisis fue significativo ($p \leq 0.05$) para K/Ca y

K+Mg/Ca, con R^2 de 0.82 y 0.86, respectivamente, y no así para N/Ca. La firmeza tuvo una correlación positiva y significativa con respecto a K/Ca y con la actividad de la pectinmetilesterasa. Al incrementar las relaciones K/Ca y K+Mg/Ca la firmeza también aumentó.

Palabras clave: *Mangifera indica* L., etileno, firmeza del fruto, K/Ca, relación °Brix/Acidez.

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the effect of calcium foliar sprinkling and its relationship with other nutrients on fruit quality of mangoes cv. Haden. An experiment was conducted on 16-year old trees during 2003 at San Lucas, Michoacan, Mexico (18° 19' north latitude, 100° 40' west longitude and 251 masl). Treatments consisted of five concentrations of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (0, 5, 10, 15 and 20 g L⁻¹), five foliar sprays of each were made every 15 days in pre-harvest. A completely random design with four replicates was utilized; each experimental unit consisted of three trees. Ca treated trees had significantly higher fruit yield than the control. Fruits kept at 20 ± 2 °C and $74 \pm 4\%$ R.H. showed significant differences ($p \leq 0.05$) in respiration, fruit weight loss, acidity, and total soluble

* Recibido: Agosto de 2004
Aceptado: Diciembre de 2006

solids, but not for fruit firmness and color, as well as for pectin-metylesterase activity. Fruit firmness correlated positively with the K/Ca ratio ($r=0.9571^{**}$) and with pectin-metylesterase activity ($r=0.6844^{**}$). Likewise, regression analysis of fruit firmness with K/Ca and K+Mg/Ca ratios were significant ($p\leq0.05$) with R^2 of 0.9160 and 0.8504, respectively. Furthermore, regression analysis between °Brix/Acidity and Ca^{2+} rates was significant with a R^2 of 0.82 ($p\leq0.05$). Also, the analysis of °Brix/Acidity with K/Ca and K+Mg/Ca, resulted significant ($p\leq0.05$) with R^2 values of 0.82 and 0.86, respectively, and not for the N/Ca ratio. Fruit firmness had a positive relationship with K/Ca and with pectin-metylesterase activity. With the increases in the K/Ca and K+Mg/Ca ratios, fruit firmness also increased.

Key words: *Mangifera indica* L., °Brix/Acidity, ethylene production, fruit firmness, K/Ca.

INTRODUCCIÓN

Un problema importante observado en el manejo postcosecha del mango de exportación, en el que se requiere de un tratamiento hidrotérmico cuarentenario, es el rápido ablandamiento de la pulpa de los frutos durante su transporte y almacenamiento. Con el propósito de incrementar la firmeza del fruto se han realizado diversos estudios sobre aplicaciones de Ca con resultados diferentes, probablemente en función de las diferentes condiciones de aplicación, como son: fuentes, concentraciones, tiempos y métodos de aplicación, así como por los diferentes cultivares utilizados.

El interés en el uso del Ca en la agricultura ha sido constante y se debe al papel tan importante que tiene este mineral en el mantenimiento de la calidad de frutas y hortalizas (Bangerth, 1979). La pérdida de la firmeza es una característica que define la maduración de diversos frutos. Entre otros factores, la acción de diversas enzimas hidrolasas en la pared celular influyen en el ablandamiento. Existen evidencias del efecto benéfico del Ca sobre el retraso de la senescencia y el control de desórdenes fisiológicos como: tejido esponjoso (Mane *et al.*, 2002), cavidad final del tallo (Torres *et al.*, 2002), descomposición interna (Quaggio, 2002; Stassen, 2002) y semilla gelatinosa (Whangchai *et al.*, 2001).

Varios aspectos fisiológicos de la célula se afectan por cambios en la estructura de la pared celular, como la permeabilidad en las membranas y la activación enzimática, los que a su vez se ven alterados por la presencia de Ca (White y Broadley, 2003). Estudios sobre senescencia han revelado que ésta depende del nivel de Ca en el tejido y que debido al incremento de los niveles de este elemento se alteran parámetros como la respiración, contenido de proteína y fluidez de la membrana (Bangerth, 1979).

Las aplicaciones de Ca en postcosecha no son efectivas para controlar desórdenes nutrimentales que ocurren en el árbol de mango y pueden causar daños en la fruta (Shorter y Joyce, 1998; Freire y Chitarra, 1999).

Las aspersiones en precosecha se deben aplicar varias veces a través de las etapas de crecimiento aunque el riesgo de dañar hojas y frutos limita la concentración de sales que puede usarse en cada aplicación. La incorporación de un adherente o surfactante puede aumentar la velocidad inicial de absorción, pero no necesariamente el Ca total absorbido (Suntharalingam, 1996).

En mango Kent, dos aplicaciones con poliquelato de Ca en dosis de 5 y 10 mL L⁻¹, realizadas en precosecha a los 60 y 30 días antes del corte, redujeron el contenido de °Brix en 54.8% e incrementaron el peso del fruto y la firmeza del mismo en 10.6 y 43.0%, respectivamente (Guzmán, 2002). Así mismo, el Mn y el Sr pueden desplazar al Ca sin causar gran pérdida de la compartimentación celular (Bangerth, 1979; Ferguson, 1984). En cambio, el K, Mg e H tienen un efecto antagónico importante sobre el Ca, ya que su capacidad para estabilizar membranas es limitada; después de reemplazar al Ca aumenta la permeabilidad de las membranas significativamente (Bangerth, 1979; Ferguson, 1984; Paliyath *et al.*, 1984). Whangchai *et al.* (2001) mencionan que los frutos de mango provenientes de árboles que crecen en suelo con altas relaciones de Ca/N y (Ca+Mg)/K permanecen firmes, resisten ataques de microorganismos y tienen una mayor vida de anaquel.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del Ca y su relación con otros minerales en la calidad de frutos de mango cv. Haden, bajo el supuesto de que las aplicaciones de Ca aumentan el contenido de éste en los frutos de este tipo de mango, lo que permite prolongar su vida de anaquel en el mercado de exportación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se llevó a cabo en 2003 en un huerto comercial de árboles de mango cv. Haden de 16 años de establecidos, plantados en marco real (10 x 10 m) en condiciones de riego extensivo, los cuales recibieron una poda de rejuvenecimiento en el año 2000. El huerto está localizado en la comunidad de Los Bancos, municipio de San Lucas, Michoacán, México, ubicado en los 18° 19' de latitud norte y 100° 40' de longitud oeste, a una altitud de 251 msnm. El clima pertenece a los Aw(o) (García, 1981), con temperatura media anual de 27.5 °C, máxima de 43 °C y mínima de 12 °C, y precipitación media anual de 750 mm (CNA, 2005).

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos aplicados en forma foliar con diferentes concentraciones del fertilizante nitrato de Ca (CaO , 25.6%; Ca^{2+} , 0.1%; NH_4^+ , 1.1% y NO_3^- , 14.4%) fueron: 5, 10, 15 y 20 g L^{-1} , en cinco fechas, espaciadas cada 15 días, desde floración y amarre del fruto (77 días antes del corte) hasta 17 días antes de la cosecha; se adicionó un adherente surfactante comercial (Inex), aplicado en la dosis recomendada por el fabricante (1 a 2 mL L^{-1}) y se incluyó un testigo que no recibió aspersiones de Ca. Los tratamientos se distribuyeron conforme un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones y en 60 árboles seleccionados para el experimento. Las aspersiones se hicieron en tres árboles utilizados como unidad experimental, y sólo se cosecharon los frutos del árbol central para el análisis nutrimental y la evaluación postcosecha.

Determinaciones nutrimentales

A un lote de frutos se le realizó un análisis nutrimental en cáscara, pulpa y semilla, con tres repeticiones por cada tratamiento. El método de semimicro-Kjeldahl fue utilizado para la determinación de N con 0.10 g por muestra. Para la determinación de los demás elementos (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu) se obtuvieron extractos mediante digestión húmeda con una mezcla triácida (HNO_3 , HClO_4 y H_2SO_4), de la cual se tomaron alícuotas para determinar fósforo por el método de vanadato-molibdato. Los demás elementos se determinaron con un espectrofotómetro de absorción atómica (Instrumentation Laboratory aa/ae

spectrophotometer modelo 557) (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999). Con los resultados se calcularon las relaciones K/Ca, K+Mg/Ca y N/Ca en el fruto completo.

Rendimiento

Para determinar el rendimiento se colectaron, cuantificaron y pesaron todos los frutos de los árboles seleccionados de cada repetición (rendimiento por árbol) de cada tratamiento. Esta actividad se realizó cuando los frutos llegaron a madurez fisiológica, correspondiente al grado 1 de la carta de color propuesta por Báez-Sañudo y Bringas (1995).

Calidad del fruto

Los frutos cosechados se trasladaron en 24 h hasta el Laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados en donde se procedió a su selección para tener frutos homogéneos. Posteriormente se tomó una muestra de 100 frutos de cada tratamiento y se almacenó a temperatura de comercialización (20 ± 2 °C y $74 \pm 4\%$ de humedad relativa) por 10 días, período en el cual se evaluaron cada tercer día las variables que se describen a continuación:

Respiración. La medición de ésta, en términos de producción de CO_2 y etileno, se realizó diariamente por el método estático. Se colocó una muestra de tres frutos con tres repeticiones por tratamiento en un recipiente herméticamente cerrado. Una hora después con una jeringa se tomó de éste 1 mL de aire del espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard Modelo 5990 Serie II), equipado con columna capilar Poraplot Q. Las condiciones isotérmicas fueron: 80 °C en el horno, 150 °C en el inyector, 170 °C en el detector de conductividad térmica (TCD) y 170 °C en el detector de ionización de flama (FID). Cada día se inyectaron referencias para etileno (INFRA) con 10 mg L^{-1} y CO_2 (INFRA) con 500 mg L^{-1} .

Firmeza de pulpa. Con un texturómetro digital marca Wagner Modelo FDV-30, con puntal cónico de 7 mm se cuantificó la fuerza necesaria para penetrar la pulpa en la zona ecuatorial de cada lado del fruto, habiéndose eliminado previamente una porción de la cáscara; se utilizaron

tres frutos por tratamiento y los resultados se expresaron en Newtons (N).

Variables bioquímicas. La determinación de la acidez titulable (porcentaje de ácido málico) y de los sólidos solubles totales (SST) se realizó de acuerdo con las metodologías propuestas por la AOAC (1990) y los datos se expresaron en porcentaje de ácido málico y de °Brix, respectivamente. La determinación de los SST se hizo con un refractómetro digital Atago Modelo PR-100 palette y una gota del jugo de los frutos, con tres repeticiones por tratamiento. Los datos se registraron como relación °Brix/Acidez.

Actividad enzimática. La actividad de la pectinmetilesterasa (PME) se valoró por el método desarrollado por Ranganna (1979) recomendado para frutas. Los grupos carboxílicos liberados durante la metilación de la pectina y el cambio de pH se monitorearon con un potenciómetro y se cuantificaron para determinar la actividad de la enzima. Para ello se utilizaron tres frutos por tratamiento de los que se obtuvo 1.0 g de pulpa de mango liofilizada que se licuó con 40 mL de pectina cítrica a 1%. Se neutralizó la muestra hasta pH 7.5 mediante un potenciómetro (Corning Scientific Instruments) con hidróxido de sodio 0.2 N y se colocó en baño María, con agitación a 50 rpm y a 30 °C (Waterbath Precision Scientific). La mezcla se tituló con hidróxido de sodio 0.01N hasta pH 7.5, a intervalos de 10 min, a lo largo de un tiempo de reacción de media hora. Como actividad de la pectinmetilesterasa se consideró la cantidad de mg de metoxilo desdoblados por la enzima por g de muestra, y los SST en °Brix. Los mg de metoxilo se calcularon al multiplicar por un factor (1.08) los mL de NaOH 0.01N gastados para neutralizar los grupos ácidos formados por la acción de la enzima.

$$\text{Actividad de PME} = \frac{\text{mg de metoxilo}}{\frac{\text{g de muestra}(\text{°Brix})}{100}}$$

Análisis de resultados

El análisis de varianza para detectar diferencias entre tratamientos y los análisis de correlación y de regresión fueron realizados con el procedimiento “General Linear Model Procedure” (GLM) del Statistical Analysis System (SAS, Institute, 1988). Cuando se detectaron diferencias

entre tratamientos, las medias de éstos se sometieron a la prueba de Tukey ($p\leq0.05$) y, además, en algunos casos se utilizaron contrastes ortogonales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones nutrimentales

No se detectó efecto significativo de tratamientos sobre las variables nutrimentales en las distintas partes del fruto, con excepción del P en cáscara, efecto que no puede ser atribuible a los tratamientos con Ca. La demanda de nutrientes por los frutos de mango Haden encontrada en este experimento fue $K > N > Mg > Ca$, independientemente de la dosis de Ca aplicada (Cuadro 1). En el mismo cultivar, Sánchez (1998) reportó el gradiente $K > Ca > N > Mg$, y Cruzaley *et al.* (2003), en el cv. Ataulfo, encontraron el siguiente orden de extracción $Mg > Ca > N > K$. Estas diferencias probablemente se deban a la variación en el material genético y en las condiciones ambientales de producción. Según Léchaudel *et al.* (2002), los mayores niveles nutrimentales de la pulpa de mango Lirfa fueron para Mg, K y Ca.

Cuadro 1. Concentraciones nutrimentales en frutos completos de mango Haden al momento de la cosecha, tratados con Ca en precosecha. San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Tratamiento de Ca (g L ⁻¹)	Nutrimento (mg g ⁻¹)			
	N	K	Ca	Mg
Testigo (0)	8.9 a	37.5 a	1.5 1a	7.42 a
5	8.5 a	33.5 a	1.46 a	4.64 a
10	10.3 a	36.7 a	1.67 a	5.08 a
15	9.8 a	42.9 a	1.64 a	4.91 a
20	6.6 a	38.5 a	1.67 a	5.38 a

¹Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p\leq0.05$).

Cracknell *et al.* (2004) encontraron en el cv. Tommy Atkins, un incremento en el consumo de nutrientes conforme se desarrolló el fruto, en mayor proporción para N y Ca, que decreció al establecimiento de la madurez fisiológica.

Cracknell y Galán (2002) observaron una relación negativa entre Ca y el desorden fisiológico conocido como descomposición interna, ya que valores altos (94) de N/Ca, P/Ca, K/Ca y Mg/Ca en el mesocarpio de mango propiciaron la incidencia de dicho desorden, mientras que cuando la relación N/Ca fue baja (17) y la relación Ca/Mg+N se incrementó, la incidencia del desorden disminuyó. Según Cracknell y Galán (2004), las altas concentraciones de Ca y Mg y las bajas relaciones de N/Ca y K/Ca en pulpa y cáscara son eficientes para prevenir desórdenes fisiológicos en frutos de mango. En el presente trabajo los valores de las relaciones K/Ca resultaron inferiores a los reportados en la literatura y los frutos no presentaron ningún desorden fisiológico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Relaciones entre N, K, Ca y Mg en frutos de mango cv. Haden tratados con cinco dosis de Ca en precosecha. San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Tratamiento de Ca (g L ⁻¹)	K/Ca	K+Mg / Ca	N/Ca
Testigo (0)	28 a ¹	33 a	6 a
5	23 a	26 a	6 a
10	23 a	26 a	7 a
15	26 a	29 a	6 a
20	24 a	27 a	4 a

¹Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Casero *et al.* (2002) al asperjar Ca a árboles de manzano encontraron que sus frutos presentaron mayor contenido de Ca, mejor calidad y aptitud para el almacenamiento y pocos desórdenes fisiológicos; así mismo, mencionaron que aunque los contenidos nutrimentales de los otros elementos no se alteraron con las aspersiones de Ca, las relaciones nutrimentales del Ca, como N/Ca y K+Mg/Ca, tuvieron valores balanceados.

Rendimiento

De acuerdo con la prueba de contrastes ortogonales (datos no presentados), los tratamientos que recibieron Ca rindieron más ($p \leq 0.05$) que el testigo, pero sin diferencias

entre las dosis de Ca (Cuadro 3), por lo que con 5 g L⁻¹ probablemente sea suficiente. Aunque no se midió el amarre inicial y final de frutos es probable que los tratados con Ca produjeran menos etileno y esto haya reducido la abscisión de frutos, como sugiere Bangerth (1979). En mango Tommy Atkins, Cracknell *et al.* (2004) indicaron que los tratamientos bajos en Ca redujeron marcadamente el contenido de Ca en frutos y el rendimiento total, sobre todo en presencia de altas concentraciones de nitrógeno. A este respecto, Hafle *et al.* (2003) encontraron que las aplicaciones combinadas de nitrato de Ca o de K con etefón en mangos Tommy Atkins indujeron con mayor eficiencia la floración y una alta productividad de frutos, en comparación con aplicaciones únicamente de etefón. Así mismo, Ruby y Brahmachari (2004) mencionaron que aspersiones en precosecha de la combinación de nitrato de Ca a 2%, ácido giberélico a 200 ppm y cloromequat a 500 ppm, mostraron resultados promisorios en términos de rendimiento en el cv. Amrapali. Sánchez y Durand (2000) encontraron en tres cultivares de mango que el nitrato de Ca a 6% elevó significativamente el número de frutos cuando fue complementado con nitrato de Ca y boro aplicados al suelo después de floración. Ram *et al.* (2002) reportaron rendimientos máximos para el cv. Dashehari, de 67.68 kg/árbol y mínimos de 38.44 kg/árbol cuando no recibieron fertilización con NPK.

Cuadro 3. Rendimiento promedio de mango cv. Haden tratado con diferentes concentraciones de Ca. San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Tratamiento de Ca (g L ⁻¹)	Rendimiento	
	(kg/árbol)	(t ha ⁻¹)
Testigo (0)	37.79 b ¹	3.78
5	80.07 a	8.01
10	62.92 ab	6.29
15	66.83 ab	6.68
20	45.23 ab	4.50

¹Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos en la presente investigación, en una zona del estado de Michoacán en donde la enfermedad denominada “escoba de bruja” abate significativamente el rendimiento de este frutal, muestran que los valores están

dentro del rango esperado y un poco arriba que los resultados obtenidos por Joseph (2002) con el mismo cultivar, en una zona con presencia también de esta enfermedad, quien con fertilizantes foliares obtuvo en el tratamiento testigo 14.17 kg/árbol mientras que en el mejor tratamiento 72.46 kg/árbol, con una variación de 42.64, 48.55 y 62.09 kg/árbol para los demás tratamientos.

Al comparar los rendimientos del Cuadro 3 con los obtenidos en otras zonas del estado de Michoacán, en donde no hay "escoba de bruja", se pueden considerar bajos. En la Costa Grande de Guerrero se reportan rendimientos en el cv. Manila de 140 kg/árbol (Loubet, 2000). Así mismo, los rendimientos medios reportados por el SIAP (2005) en las plantaciones de mango de diferentes cultivares y edades para Michoacán son de 39 kg/árbol, mientras que para Nayarit, Guerrero, Oaxaca y Sinaloa reportan 153.3, 104.5, 92.0 y 87.6 kg/árbol, respectivamente.

Intensidad respiratoria

Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos con Ca en los frutos evaluados, donde el tratamiento con 20 g L⁻¹ presentó una velocidad de respiración 12.9% menor que el testigo (Cuadro 4). Según Bangerth (1979)

existe una correlación entre el contenido de Ca en los frutos y su tasa de respiración después de la cosecha. Esto se debe, en parte, a una alteración en la permeabilidad de la membrana, ya que el Ca puede reducir el catabolismo del sustrato endógeno y, con ello, limitar la difusión del sustrato desde la vacuola a las enzimas respiratorias en el citoplasma. Los frutos obtenidos en todos los tratamientos presentaron el típico patrón climatérico, con un valor máximo al sexto día después de cosecha (Cuadro 5). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bramlage *et al.* (1974), quienes encontraron que la respiración climatérica en manzanas ocurrió de manera simultánea, independientemente de las concentraciones de Ca probadas.

Producción de etileno

En la fase de postcosecha no se detectó etileno en los frutos de mango. Esto coincide con lo expresado por Contreras-Martínez *et al.* (2003), quienes mencionaron que el mango es un fruto climatérico que produce cantidades traza o mínimas de etileno. Báez-Sañudo *et al.* (1993) y Ariza (2000) tampoco detectaron etileno en frutos de mango de los cultivares Keitt y Tommy Atkins en las condiciones que ellos evaluaron. A este respecto, Bangerth (1979) mencionó que la producción de etileno es estimulada en un tejido deficiente en Ca.

Cuadro 4. Respiración, firmeza, °Brix/Acidez y actividad de la pectinmetilesterasa promedio por tratamiento a través de los días en evaluación en frutos de mango cv. Haden. San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Tratamiento de Ca (g L ⁻¹)	Respiración (mL de CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	Firmeza (Newton)	°Brix/Acidez	Actividad de PME (mg metoxilo/g PS)
Testigo (0)	26.2 bc ¹	70.7 a	41.3 a	80.2 a
5	30.2 ab	93.4 a	27.6 a	103.7 a
10	33.3 a	95.1 a	31.3 a	99.0 a
15	27.1 abc	90.7 a	24.5 a	110.2 a
20	22.9 c	95.1 a	18.6 a	76.6 a

¹Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); PME= Pectinmetilesterasa; PS= Peso seco.

Cuadro 5. Promedio diario de tratamientos de variables de calidad evaluadas en frutos de mango cv. Haden durante su almacenamiento a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ y $74 \pm 4\%$ de humedad relativa). San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Días después de cosecha	Respiración (mL de CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)	Firmeza (Newton)	$^\circ\text{Brix/Acidez}$	PME (mg metoxilo/g PS)
3	18.0 bc ¹	184 a	08 b	151.1 a
6	81.7 a	117 b	09 b	132.4 a
9	10.6 d	40 c	42 a	40.7 b
12	12.0 c	15 d	57 a	51.6 b

¹Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$); PME= Pectinmetilesterasa; PS= Peso seco.

Firmeza de la pulpa

El análisis no detectó diferencias significativas entre los tratamientos de Ca y el testigo en los frutos evaluados (Cuadro 4), aunque los frutos tratados con 10 y 20 g Ca L^{-1} fueron 34% (24.4 N) más firmes que el testigo. Esto explica que se haya encontrado una correlación significativa ($p \leq 0.05$) ($r = 0.53$) entre firmeza y concentración de Ca en la pulpa. Se observaron diferencias significativas entre los días de evaluación después de la cosecha, aunque el menor valor se observó al final del período de evaluación (Cuadro 5). Durante los primeros cuatro días de la maduración, la pérdida de firmeza resultó más acelerada en el testigo junto con la dosis de 20 y 5 g Ca L^{-1} (Cuadro 6). De acuerdo con Contreras-Martínez *et al.* (2003), valores de firmeza por debajo de 20 N indican pérdida de la calidad en frutos de mango Keitt; estos autores señalaron que en el cv. Tommy Atkins el valor de 20 N se alcanzó después de nueve días de almacenamiento a temperatura ambiente. En el presente experimento los frutos presentaron valores mayores que 20 N después de nueve días de exposición a las condiciones de maduración establecidas. La mayor disminución de firmeza ocurrió entre el sexto y noveno días después de la cosecha (Cuadro 6), lo que coincide con el máximo climatérico alcanzado en el sexto día después del corte.

La firmeza mostró correlación positiva con la actividad de PME ($r = 0.68^{**}$), esto indica que al reducirse la firmeza se reduce también la actividad de PME, lo cual coincide con la literatura en donde se menciona que PME está presente en frutos inmaduros, a diferencia de la poliga-

lacturonasa (Tucker y Grierson, 1982). Así mismo, la firmeza se correlacionó positivamente respecto a K/Ca ($r = 0.95^{**}$), lo cual indica que al aumentar la relación K/Ca la firmeza también aumenta o viceversa. El análisis de regresión con las relaciones K/Ca y K+Mg/Ca resultó significativo ($p \leq 0.05$) con R^2 igual a 0.94 y 0.88, respectivamente (Figuras 1a y 1b), es decir, que aumentan las relaciones K/Ca y K+Mg/Ca, la firmeza también aumenta. Estos resultados coinciden con lo reportado por Glenn y Poovaiah (1990), citados por Redgwell y Fischer (2000), quienes encontraron que los frutos de manzana más firmes tenían los niveles más bajos de Ca en la pared celular, lo que contrasta con resultados anteriores que reportan una correlación fuerte en manzanas entre firmeza y concentración de Ca en pulpa.

Cuadro 6. Valores de firmeza por día para cada uno de los tratamientos con Ca aplicados a mangos Haden. San Lucas, Michoacán, México. 2003.

Tratamiento de Ca (g L^{-1})	Días en evaluación al ambiente			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
	----- (Newtons) -----			
Testigo (0)	160.8 a ¹	62.8 b	49.0 a	9.8 a
5	202.0 a	123.6 ab	31.4 a	16.7 a
10	187.0 a	145.1 a	31.4 a	15.7 a
15	178.5 a	133.4 a	25.5 a	24.5 a
20	190.3 a	117.7 ab	60.8 a	10.8 a

¹Valores con la misma letra en cada línea son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

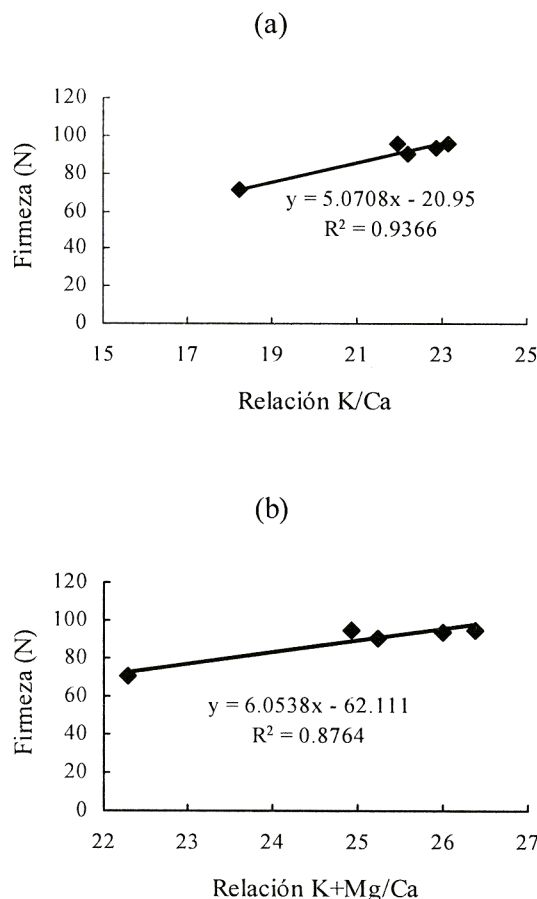


Figura 1. Relación entre la firmeza de la pulpa de mango cv. Haden y los cocientes K/Ca (a) y K+Mg/Ca (b).

Relación °Brix/Acidoz

En esta relación no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos con Ca y el testigo (Cuadro 4); sin embargo, la diferencia relativa entre el testigo y la dosis más alta de Ca (20 g L⁻¹) fue de 55% a favor del primero; tampoco resultó significativa la interacción. La mayoría de éstos valores son menores de 25, el mínimo requerido en mangos cv. Keitt (Campos-Sauceda *et al.*, 2003). Se observó que la relación °Brix/Acidoz tendió a disminuir conforme la dosis de Ca se incrementó; esto explica que en el análisis de regresión para °Brix/Acidoz y las dosis de Ca se encontrara un coeficiente $R^2 = 0.82$ ($p \leq 0.05$) (Figura 2), lo que demuestra que hubo un efecto del Ca sobre el retraso en la evolución de la maduración, al permitir que los frutos conservaran mayor acidez.

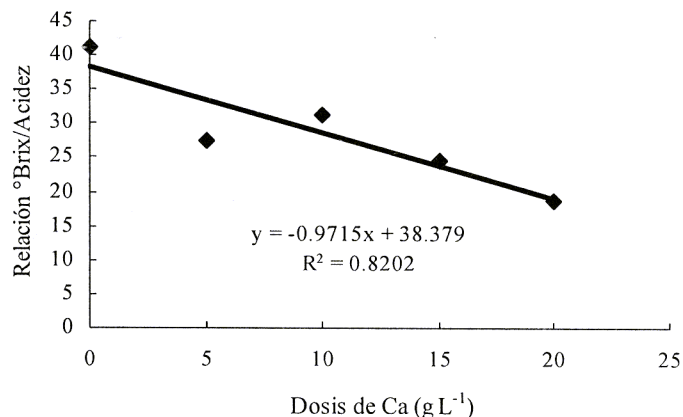


Figura 2. Relación entre °Brix/Acidoz y las dosis de Ca aplicadas vía foliar en mango cv. Haden.

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los días de evaluación después de la cosecha, donde los valores mayores correspondieron a los últimos períodos (Cuadro 5), es decir, aumentaron conforme pasó el tiempo, incremento relacionado con el metabolismo de maduración de los frutos (Vásquez-Caicedo *et al.*, 2002). Al incrementarse el índice °Brix/Acidoz en los frutos, éstos se tornan altamente palatables, ya que el balance entre azúcares solubles y ácidos orgánicos determina en gran medida el sabor del fruto (Morais y Assis, 2004). El análisis de regresión para esta relación resultó significativo para las relaciones K/Ca y K+Mg/Ca ($p \leq 0.05$) con una R^2 igual a 0.82 y 0.86, respectivamente (Figuras 3a y 3b), lo que indica retraso en la evolución de la maduración. La relación °Brix/Acidoz en frutos con síntomas de desórdenes fisiológicos es más alta que en frutos sin síntomas, debido a la sobremaduración del tejido de la pulpa (Assis *et al.*, 2002), situación que no se observó en esta investigación.

Actividad de la pectinmetilesterasa (PME)

El efecto del Ca sobre la actividad de la PME no fue estadísticamente significativo (Cuadro 4), en cambio para el factor días de evaluación se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$), ya que la actividad de la enzima disminuyó con el tiempo, lo cual está relacionado con el metabolismo de maduración de los frutos (Cuadro 5). Esto también ha sido observado en mango y otros frutales como guayaba y fresas (Roe y Bruemmer, 1981; Abu-Sarra y Abu-Gouhk, 1992; El-Zoghbi, 1994).

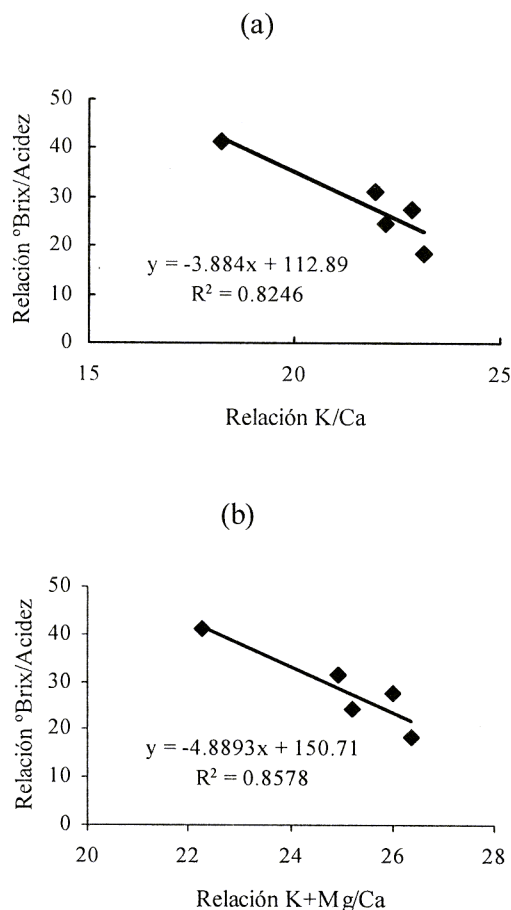


Figura 3. Relación entre °Brix/Acidez y los cocientes K/Ca (a) y K+Mg/Ca (b) en mangos cv. Haden.

Se encontró correlación altamente significativa entre la actividad de la PME y la firmeza del fruto ($r = 0.68^{**}$), lo que concuerda con lo mencionado por El-Zoghbi (1994), quien observó que el mayor incremento en la actividad exhibida por estas enzimas precede inmediatamente a la pérdida de firmeza del fruto. Los datos sobre los cambios en la actividad de las enzimas relacionadas con la degradación de la pared celular en mango son limitados (Abu-Sarra y Abu-Goukh, 1992). Así mismo, Awad y Young (1979) encontraron que durante el período preclimático de algunos frutos la enzima PME puede presentar poca actividad por estar separada del sustrato o ser inhibida por compuestos fenólicos. Además, Abu-Sarra y Abu-Goukh (1992) sugirieron que la PME tiene un papel clave en el control de la tasa de ablandamiento del fruto durante la maduración.

CONCLUSIONES

Los árboles de mango (*Mangifera indica* L.) que recibieron aplicación de Ca produjeron mayor rendimiento que los del testigo sin Ca; así mismo, la demanda de nutrientes por los frutos de mango cv. Haden fue $K > N > Mg > Ca$.

La respiración climática en mangos ocurrió de manera simultánea independientemente de las concentraciones de Ca que se probaron, con un valor máximo al sexto día después de la cosecha.

La firmeza tuvo una correlación positiva y significativa respecto a K/Ca y con la actividad de la enzima pectinmetilesterasa; al incrementar las relaciones K/Ca y K+Mg/Ca la firmeza también aumentó.

A medida que las relaciones de K/Ca y K+Mg/Ca aumentaron, la relación °Brix/Acidez disminuyó, indicando valores mayores de acidez y retraso en la evolución de la maduración.

LITERATURA CITADA

- Abu-Sarra, A. F and Abu-Goukh, A. A. 1992. Changes in pectinesterase, polygalacturonase and cellulase activity during mango fruit ripening. *J. Hortic. Sci.* 67(4):561-568.
- Alcántar-González, G. y Sandoval-Villa, M. 1999. Manual de análisis químico de tejidos vegetales. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, D.F. 156 p. (Publicación especial Núm. 10).
- Assis, J. S. de; Silva, D. J. and Morais, P. L. D. de 2002. Nutritional balance and physiological disorders in mango 'Tommy Atkins'. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 315.
- Association of Officials Analytical Chemists (AOAC). 1990. Oficial methods of analysis fruits and fruits products. *In: Williams, S. (ed.)*. 13th ed. Washington, D.C. USA. 1023 p.
- Ariza F., R. 2000. Interacción CO_2 y ETH en la maduración de los frutos de papaya, mango y aguacate. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Instituto de

- Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad de Fruticultura. Montecillo, Estado de México, México. 118 p.
- Awad, M. and Young, R. E. 1979. Postharvest variation in cellulose, polygalacturonase and pectinmethylesterase in avocado fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiol.* 64:306-308.
- Báez-Sañudo, R.; Siller-Cepeda, J.; Bringas T., E. y Báez S., M. 1993. Determinación de índices de madurez de los principales cultivares de mango producidos en México. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 37:148-154.
- Báez-Sañudo, R. y Bringas T., E. 1995. Elaboración de la Norma Mexicana de Calidad para el mango fresco y su aplicación. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 39:127-140.
- Bangerth, F. 1979. Calcium related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. Phytopathol.* 17:97-122.
- Bramlage, W. J.; Drake, M. and Baker, J. H. 1974. Relationship of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 99(4):376-378.
- Campos-Sauceda, J. P.; Muy-Rangel, M. D. y Avenabustillos, R. J. 2003. Condiciones óptimas de maduración para mango destinado a proceso. *In: Resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental.* Chapingo, Estado de México, México. p. 345.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. Sistema Meteorológico Nacional. Estación Meteorológica Automatizada (EMA). Cd. Altamirano, Guerrero, México. CD-ROM.
- Casero, T.; Benavides, A.; Recasens, I. and Rufat, J. 2002. Preharvest calcium sprays and fruit calcium absorption in Golden apples. *Acta Hort.* 594:467-473.
- Contreras-Martínez, R.; Báez-Sañudo, M. A y Siller-Cepeda, J. H. 2003. Respuesta del mango 'Tommy Atkins' a diferentes concentraciones de 1- metilciclopropeno. *In: Resúmenes X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental.* Chapingo, Estado de México, México. p. 324.
- Cracknell T., A. and Galán S., V. 2002. The study of the problem of mango (*Mangifera indica* L.) internal breakdown. *In: 7th International Mango Symposium.* Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 66.
- Cracknell T., A. and Galán S., V. 2004. The study of the problem of mango (*Mangifera indica* L.) internal breakdown. *Acta Hort.* 645:167-174.
- Cracknell T., A.; Cid B., M. C.; Socorro M., A. R.; Fernández G., D.; Rosell G., P. and Galán S., V. 2004. Effects of nitrogen and calcium supply on the incidence of internal fruit breakdown in 'Tommy Atkins' mangoes (*Mangifera indica* L.) grown in a Soilless system. *Acta Hort.* 645:387-393.
- Cruzaley S., R.; Ariza F., R.; Noriega C., D.; Solís M., M. y Alarcón C., N. 2003. Mejoramiento nutricional en hoja y fruto de mango Ataulfo para exportación en Guerrero. *In: Resúmenes X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de Horticultura Ornamental.* Chapingo, Estado de México, México. p. 336.
- El-Zoghbi, M. 1994. Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *Food Chemistry* 49:33-37.
- Ferguson, I. B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. *Plant, Cell and Environment* 7:477-489.
- Freire, M. Jr. and Chitarra, A. B. 1999. Effect of calcium chloride application on hydrothermally treated mango cv. Tommy Atkins fruits. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34:761-769.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Larios. México, D.F. México. p. 32-37.
- Guzmán E., C. 2002. Evaluation of calcium foliar sprinkling on the consistency of the cv. Kent mango fruit. *In: 7th International Mango Symposium.* Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 163.
- Hafle, O. M.; Delfino, F. I.; Mendoza, V. y Araujo N., S. E. de. 2003. Flowering and production of mango cv. Tommy Atkins using ethrel, potassium nitrate and calcium nitrate. *Revista de Ciências Agrárias* 39:145-153.
- Joseph P. L., D. 2002. Aplicación de fertilizantes foliares y silicio para incrementar el rendimiento y calidad de mango cv. Haden. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Especialidad Edafología. Montecillo, Estado de México, México. 130 p.

- Léchaudel, M.; Jannoyer, M. and Joas, M. 2002. Effects of the leaf: fruit ratio on some quality components of 'Lirfa' mango. *Acta Hort.* 645:435-439.
- Loubet O., R. 2000. Estudio de factibilidad de desarrollo del mango en la Costa Grande de Guerrero. Gobierno del estado de Guerrero. Fundación Produce Guerrero. 132 p. (Publicación Especial s/n de la Secretaría de Desarrollo Rural).
- Mane, A. V.; Burondkar, M. M. and Jadhav, B. B. 2002. Effect of preharvest sprays of plant growth regulators, Ca EDTA and KNO₃ on occurrence of spongy tissue disorder in 'Alphonso' mango. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 97.
- Morais, P. L. D. de and Assis, J. S. de 2004. Quality and conservation of mango cv. Tommy Atkins as affected by maturity stage and storage temperature. *Acta Hort.* 645:639-643.
- Paliyath, G.; Poovaiah, B. W.; Munske, G. R. and Magnuson, J. A. 1984. Membrane fluidity in senescing apples: effects of temperature and calcium. *Plant Cell Physiol.* 25:1083.
- Quaggio, J. A. 2002. Best management practices for mango nutrition in tropical conditions. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 65.
- Ram, R. A.; Rajput, M. S. and Bhriguvanshi, S. R. 2002. Studies on time fertilizer application on growth, yield and fruit quality of mango var. Dashehari. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 234.
- Ranganna, S. 1979. Manual of analysis of fruit and vegetable products. Tata McGraw-Hill Publishing, New Delhi, India.
- Redgwell, R. J. and Fischer, M. 2000. Fruit texture, cell wall metabolism and consumer perception. *In: Knee, M. (ed.). Fruit quality and its biological basis*. Sheffield Academic Press. Ohio, USA. p. 46-88.
- Roe, B. and Bruemmer, J. H. 1981. Changes in pectic substances and enzymes during ripening and storage of Keitt mangoes. *J. Food Science* 46:186-189.
- Ruby, R. and Brahmachari, V. S. 2004. Effect of growth substances and calcium compounds on fruit retention, growth and yield of Amrapali mango. *Orissa Journal of Horticulture* 32(1):15-18.
- Sánchez, P. 1998. La fertilización del mango. *In: Téliz, D. (ed.). El mango y su manejo integrado en Michoacán*. Colegio de Postgraduados. GIIM (Grupo Interdisciplinario de Investigación en Mango). Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. p. 11-12.
- Sanchez, J. and Durand, G. 2000. Evaluation of flowering promoters and plant water status during the cycle of tree mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Proceedings of the International Society for Tropical Horticulture* 42:232-235.
- Shorter, A. J. and Joyce, D. C. 1998. Effect of partial pressure infiltration of calcium into 'Kensington' mango fruit. *Aust. J. Exp. Agric.* 38:287-294.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En línea]. Disponible en: <http://sagarpa.gob.mx> (Revisado el 24 de junio de 2005).
- Stassen, P. J. C. 2002. Factors increasing the risk of physiological disorders on mangos and strategies for their alleviation. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 64.
- Statistical Analysis Systems (SAS Institute). 1988. User's Guide. Release 6.03 ed. SAS Institute. Cary, NC., USA. 1028 p.
- Suntharalingam, S. 1996. Post-harvest treatments of mangoes with calcium. *Trop. Sci.* 36:14-17.
- Torres, M. D.; Farré, J. M. and Hermoso, J. M. 2004. Influence of nitrogen or calcium fertilization on productivity and fruit quality of the mango cv. Sensation. *Acta Hort.* 645:395-401.
- Tucker, G. A. and Grierson, D. 1982. Synthesis of polygalacturonase during tomato fruit ripening. *Planta* 154:64-67.
- Vásquez-Cañedo, A. L.; Neidhart, S. and Carle, R. 2002. Postharvest ripening behaviour of nine Thai mango cultivars and their suitability for industrial applications. *In: 7th International Mango Symposium*. Recife, Pernambuco State, Brazil. p. 80.
- Whangchai, Ch.; Kanda K.; Hiroshi, G.; Jumnon, U. and Shuichi, I. 2001. Postharvest physiology and microanalysis of mineral elements of 'Nam Dok Mai' mango fruit grown under different soil composition. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 70:463-465.
- White, P. J. and Broadley, M. R. 2003. Calcium in plants. *Ann. Bot.* 92:487- 511.