

## EFFECTO DEL 1-METIL-CICLOPROPENO (1-MCP) EN LA MADURACIÓN DE BANANO

*Kattia Chang-Yuen\**; *Marco Vinicio Sáenz<sup>1/\*</sup>*

**Palabras clave:** Banano, 1-MCP, calidad, maduración.

**Keywords:** Banana, 1-MCP, quality, ripening.

Recibido: 05/09/05

Aceptado: 09/03/06

### RESUMEN

Se evaluó la eficacia del 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) en la maduración del banano (*Musa* sp) Cavendish, aplicado después del empaque en fruta para el mercado de EE.UU. y Europa. Se utilizó fruta de 3 diferentes compañías bananeras; la fruta fue expuesta a 0, 20 y 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP, por 24 h. Posteriormente, fue sometida a simulación de transporte, según el mercado de destino (7 días EE.UU. y 15 días Europa). Finalizada la simulación se indujo el proceso de maduración con etileno. Las evaluaciones se realizaron cada 2 días, e incluyeron análisis de calidad externa (enfermedades poscosecha y desarrollo de color externo de la cáscara) y de calidad interna (°Brix, firmeza, porcentaje de acidez titulable y tasa de producción de CO<sub>2</sub>). Una aplicación de 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP, generó una ganancia de más de 4 días de vida de anaquel por encima de la fruta control. La apariencia externa y la calidad interna de la fruta no se vio afectada de forma negativa por la exposición al 1-MCP, aunque se recomienda realizar pruebas sensoriales con consumidores en los mercados de destino.

### ABSTRACT

**Effect of 1-methyl-cyclopropene (1-MCP) in ripening of bananas.** The effectiveness of 1-methyl-cyclopropene (1-MCP) in ripening of banana (*Musa* sp.) Cavendish, was evaluated on fruit harvested for the USA and European markets. Fruit from 3 different companies was included in the experiments. 1-MCP at 0, 20, and 30 nl l<sup>-1</sup> was used and the exposure time was of 24 h for all of them. After treatment, fruit was placed in a cold room to simulate transport to final markets (7 days to USA and 15 days to Europe); once transport simulation was over, fruit was induced to ripen using ethylene for 24 h. Evaluations were carried out every 2 days, including external quality assessment (decay, peel color, mechanical damage, etc.) and evaluation of the internal quality (soluble solids, pulp firmness, titratable acidity, pulp color), and respiratory activity. In general, exposure to 30 nl l<sup>-1</sup> of 1-MCP extended the yellow life of the banana in 4 days as compared to the control. External and internal quality was not affected by the 1-MCP treatments; however, a consumer evaluation study is strongly suggested.

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: mvsáenz@cariari.ucr.ac.cr

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

## INTRODUCCIÓN

La maduración de la fruta es el resultado de un complejo de cambios, muchos de los cuales probablemente ocurren independientemente unos de otros (Brady 1987 citado por Dadzie y Orchard 1997). Durante la maduración algunos híbridos pueden experimentar cambios en la coloración externa de la cáscara, en la firmeza de la pulpa, en los valores del contenido de sólidos solubles, en el porcentaje de acidez titulable y en la tasa de producción de CO<sub>2</sub>. Así, los cambios mencionados se asocian con el avance de la maduración en algunos híbridos de la siguiente forma:

- **Cambios en el color de la cáscara.** La desaparición o pérdida del color verde en la cáscara y la intensificación del color amarillo durante la maduración, son manifestaciones obvias del avance de la maduración en banano.
- **Cambios en el contenido de sólidos solubles totales.** Durante la maduración de los bananos, el contenido de sólidos solubles totales aumenta. En algunos híbridos, el contenido aumenta hasta un pico y luego disminuye (la caída puede deberse a la conversión del azúcar de la pulpa en alcohol), mientras que en otros, los sólidos solubles continúan su aumento con la maduración.
- **Cambios en la firmeza de la pulpa.** La fruta crujiente, dura, y verde se convierte en una fruta amarilla, con pulpa tierna y suave en la etapa óptima de madurez, y se torna blanda a medida que avanza hacia la senescencia. La firmeza de la pulpa a menudo está relacionada con la maduración, implicando que al progresar la maduración, la firmeza de la pulpa disminuye. La pérdida de firmeza de la pulpa se asocia a 3 procesos: 1. Degradación del almidón para formar azúcar; 2. Degradación de las paredes celulares o reducción en la cohesión de la lamella media debido a la solubilización de las sustancias pécticas (Dadzie y Orchard 1997); 3. El movimiento del agua desde la cáscara hacia la pulpa debido al proceso de ósmosis.
- **Cambios en el pH y en la acidez titulable total de la pulpa.** En la mayoría de los híbridos y cultivares existe una rápida disminución del pH de la pulpa, en respuesta a un aumento en la madurez (la magnitud de la disminución depende del cultivar). La acidez titulable de los tejidos de la pulpa, de la mayoría de los cultivares e híbridos de banano, muestra grandes aumentos durante la maduración.
- **Cambios en la tasa de producción de CO<sub>2</sub>.** Durante la maduración de los bananos existe un gran aumento en la cantidad del etileno producido, usualmente acompañado por un aumento en la tasa de respiración de la fruta (climaterio).

El control del proceso de maduración de frutos climatéricos es uno de los aspectos clave para la comercialización internacional de este tipo de fruta; esto se debe a que el proceso está íntimamente relacionado con la capacidad de esa fruta para soportar períodos de transporte y almacenamiento prolongados hasta alcanzar los mercados de destino.

El 1-MCP, denominado comercialmente SmartFresh™ es una marca comercial de Rohm and Haas Co. Es un plaguicida no tóxico, utilizado como una herramienta nueva para regular el desarrollo de la madurez de algunos productos frescos, entre ellos: flores; follajes; manzanas; bananos; piñas; y melones, extendiendo su vida y calidad (Sisler y Serek 1999, Selvarajah y Bauchot 2001).

En general, se admite que el modo de acción del 1-MCP, es el bloqueo de los receptores del etileno, ubicados a nivel de membranas celulares (Blankenship y Dole 2003), donde la afinidad del receptor por el 1-MCP es mayor que la afinidad de este por el etileno (Mitcham 2001). Sin embargo, no hay claridad sobre si la unión del 1-MCP con el receptor del etileno es permanente

o si esa unión podría liberarse en presencia de suficiente etileno (Watkins y Miller 2004).

Se ha demostrado que el 1-MCP, en el caso específico de banano (*Musa* sp) Cavendish, es efectivo en el retardo de la maduración de la fruta; aun así, esta respuesta depende de la concentración, el tiempo de aplicación y la temperatura (Pelayo *et al.* 2002).

No existe suficiente información sobre la eficacia del producto en frutas tropicales, los trabajos de Pelayo *et al.* (2002) y de Bagnato *et al.* (2003) se realizaron bajo condiciones experimentales, que distan mucho de la práctica comercial en banano y sus resultados sugieren dificultades para la adopción de esta tecnología a nivel comercial. Se supone que el desempeño del producto en la regulación de la maduración de banano, y por extensión de cualquier otra fruta, variaría entre una situación estrictamente de laboratorio y su evaluación bajo condiciones más cercanas a la práctica comercial.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la eficacia del 1-metil-ciclopropeno (1-MCP) sobre la extensión de vida amarilla de banano (*Musa* sp) Cavendish, aplicado después del empaque bajo condiciones de manejo comercial de la fruta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Se trabajó con fruta de calidad de exportación, para el mercado de EE.UU. y Europa, traídas de la zona del Caribe de Costa Rica. Toda la fruta fue cosechada en madurez fisiológica, grado de exportación para mercado de EE.UU. (12-13 semanas) y Europa Occidental (11-12 semanas), y transportadas a LTP el mismo día. Los ensayos se realizaron durante la última semana de mayo y el mes de junio del 2004. La fruta empacada, de manera comercial, fue sometida a 3 dosis de 1-metil-ciclopropeno (1-MCP), 0, 20 y 30 nl l<sup>-1</sup>. Dado que el 1-MCP es un gas a temperatura y

presión ambiente, la aplicación se realizó colocando la fruta en cámaras herméticas con circulación de aire por un período de 24 h. La fruta tratada fue luego almacenada en una cámara fría a 14°C, de acuerdo al mercado de destino: EE.UU, 7 días y Europa, 15 días. Una vez cumplido el periodo de simulación de transporte, se le aplicó etileno en gas (125-150 ul l<sup>-1</sup>) en un ciclo de maduración de 24 h, a 20°C y 95% de humedad relativa.

Las evaluaciones iniciaron el día que la fruta completó la simulación de transporte, y se ejecutaron hasta que la fruta del tratamiento testigo alcanzó grado 5 de madurez, en ese instante el ensayo se dio por terminado.

Las variables evaluadas fueron:

**Enfermedades:** moho, pudrición de corona, pudrición de cuellos, antracnosis, “sugar spot” o pecas, en todos los casos incidencia y severidad.

**Variables de calidad interna:** sólidos solubles totales expresados como grados Brix (°Bx), porcentaje de acidez titulable (porcentaje de ácido málico), firmeza de la pulpa con un penetrómetro con cabeza convexa de 8 mm de diámetro (kg f).

**Color de la fruta:** con la tabla comercial de coloración de banano y también con un medidor de color electrónico Minolta Chromameter CR-300, para determinar los parámetros L\* a\* b\*. Donde a: es la variable asociada al desarrollo del color verde (a<sup>+</sup> rojo, a<sup>-</sup> verde); b: es la variable asociada al desarrollo del color amarillo (b<sup>+</sup> amarillo, b<sup>-</sup> azul); y L: es una variable asociada a la luminosidad o intensidad del color (L<sup>+</sup> blanco, L<sup>-</sup> negro).

Para cada una de las curvas generadas en los tratamientos aplicados, las ecuaciones fueron aproximadas con polinomios de segundo grado (Cuadro 1), de la forma  $y = x^2 + x + a$ , donde:

Y: valor de color comercial externo en la cáscara de la fruta

X: valor en días que demora en alcanzar ese grado

a: valor de la constante

**Tasa de respiración:** con un sistema estático para recolección de CO<sub>2</sub> y un detector infrarrojo Horiba VIA-510 (mg kg h<sup>-1</sup>).

Se empleó un diseño irrestricto al azar con 3 tratamientos de 1-MCP, 2 edades de fruta, 3 procedencias de fruta (compañías), y 6 repeticiones de una caja comercial de 18,3 kg cada una. Los datos se analizaron empleando el programa estadístico Infostat.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Enfermedades poscosecha

La fruta que fue expuesta a 1-MCP por 24 h y que tenía como destino EE.UU, presentó mayor severidad de moho (p<0,05), pudrición

Cuadro 1. Valores de las variables del color externo en fruta de banano tratada con 1-MCP.

Tratamiento	x <sup>2</sup>	x	a	r <sup>2</sup>
Control	0,1321	-0,3636	2,4286	0,9705
20 nl l <sup>-1</sup>	0,1108	-0,4006	2,3715	0,9882
30 nl l <sup>-1</sup>	0,0501	-0,2542	2,2571	0,9785

de corona y cuello, que la fruta con destino a Europa. Esto debido parcialmente a que esta fruta fue cosechada en un estado más avanzado de madurez. Sin embargo, en la fruta cosechada para el mercado europeo, y por tanto más joven, los problemas de antracnosis y “sugar spot”, fueron mayores (p<0,05) (Cuadro 2). Posiblemente, porque esta fruta presenta una maduración más rápida una vez tratada con etileno, evidenciada por una tasa de respiración mayor, así como valores de coloración externa asociados al avance de la madurez comercial (mayor valor promedio en escala comercial grado tabla, y en las variables del colorímetro MINOLTA: valores de a, b y L, Cuadro 3).

La fruta tratada con 1-MCP presentó mayor severidad de enfermedades poscosecha (Cuadro 2), lo cual coincide con lo señalado por Bagnato *et al.* (2003), quienes afirman que fruta tratada con 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP resultó ser, interna y externamente, inaceptable a nivel comercial, pues las coronas desarrollaron síntomas de pudrición antes de llegar a la maduración.

En este experimento, la calidad interna de la fruta no se vio afectada negativamente por la aplicación del 1-MCP (Cuadro 4), aunque sí hubo diferencias significativas (p<0,05) en la

Cuadro 2. Severidad de enfermedades poscosecha en fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.

VARIABLES	Mo	PC	C	A	SS
EE.UU.	1,31 B	0,23 B	0,22 B	0,08 A	1,03 A
Europa	0,86 A	0,06 A	0,02 A	0,12 B	1,53 B
Control	0,78 A	0,04 A	0,01 A	0,07 A	1,23 A
20 nl l <sup>-1</sup>	1,22 B	0,21 B	0,19 B	0,12 B	1,30 A
30 nl l <sup>-1</sup>	1,24 B	0,20 B	0,16 B	0,11 B	1,30 A
Compañía 1	1,19 B	0,17 B	0,13 B	0,11 B	1,04 A
Compañía 2	0,76 B	0,06 A	0,06 A	0,06 A	1,15 B
Compañía 3	1,30 C	0,22 C	0,17 B	0,13 B	1,64 C

Mo: moho; PC: pudre de corona; C: cuello; A: antracnosis; SS: sugar spot.

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas.

severidad del deterioro de la corona. Frutas tratadas con 30 nl l<sup>-1</sup> demoran más tiempo en llegar al desarrollo del color comercial, esto favorece el desarrollo de la enfermedad, debido a que un mayor tiempo en alcanzar la maduración implica una mayor deshidratación de los tejidos de la corona.

Por otro lado, aunque la fruta con destino a EE.UU presentó valores de severidad mayores en el deterioro de la corona (moho), estos fueron alcanzados en períodos de tiempo mayores que para el caso de la fruta con destino a Europa, posiblemente atribuido a las diferencias en la edad de la fruta (Figura 1).

Cuadro 3. Coloración externa de fruta de banano tratada con 1-MCP, según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.

Variables	CT	a	b	L
EE.UU.	2,85 A	-14,48 A	38,90 A	56,98 A
Europa	3,78 B	-11,72 B	40,78 B	60,60 B
Control	3,62 B	-12,36 B	42,08 C	59,80 B
20 nl l <sup>-1</sup>	3,64 B	-11,63 C	40,42 B	60,39 B
30 nl l <sup>-1</sup>	2,69 A	-15,31 A	37,02 A	56,18 A
Compañía 1	3,79 C	-11,47 C	41,74 C	61,03 B
Compañía 2	2,65 A	-15,37 A	37,84 A	57,40 A
Compañía 3	3,51 B	-12,46 B	-12,46 B	57,93 A

CT: color tabla; a: variable asociada al desarrollo del color verde (a<sup>+</sup> rojo, a<sup>-</sup> verde); b: variable asociada al desarrollo del color amarillo (b<sup>+</sup> amarillo, b<sup>-</sup> azul); L: variable asociada a la luminosidad o intensidad del color (L<sup>+</sup> blanco, L<sup>-</sup> negro).

Cuadro 4. Condiciones de calidad interna en fruta de banano tratada con 1-MCP según mercado de destino, dosis de aplicación y compañía proveedora de la fruta.

Variables	F	°Bx	%Ac	CO <sub>2</sub>
EE.UU.	3,50 B	8,80 A	0,28 A	141,73 A
Europa	1,95 A	13,03 B	0,28 A	174,95 B
Control	2,63 A	11,67 A	0,31 A	198,70 C
20 nl l <sup>-1</sup>	2,47 A	11,27 A	0,31 A	164,29 B
30 nl l <sup>-1</sup>	3,08 B	9,82 A	0,27 A	112,03 A
Compañía 1*	2,46	10,54	0,30	192,20 C
Compañía 2	NA	NA	NA	117,93 A
Compañía 3	NA	NA	NA	164,20 B

F: firmeza de la pulpa, kg f; °Bx: porcentaje de sólidos solubles; %Ac: porcentaje de acidez titulable; CO<sub>2</sub>: tasa de producción de CO<sub>2</sub>, mg kg h<sup>-1</sup>. NA: no aplica porque estas variables fueron analizadas sólo para una compañía que se escogió al azar. \* Valores de las medias de las variables de firmeza, °Bx y %Ac para la compañía 1.

Letras iguales indican que no hay diferencias significativas.

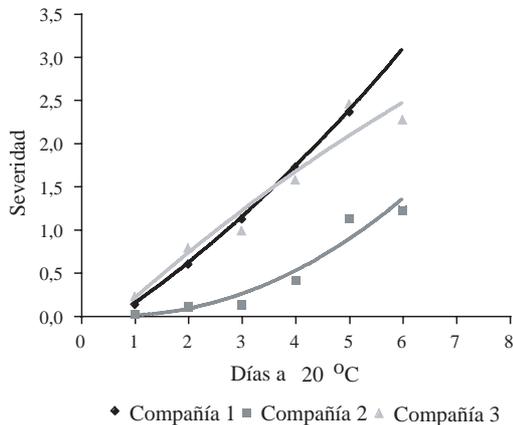


Fig. 1. Severidad de moho en fruta de banano tratada con 1-MCP con destino a Europa.

Al analizar estadísticamente el desarrollo de enfermedades poscosecha, en la fruta según su procedencia, la compañía 3 presentó problemas de calidad externa mayores, seguida por la compañía 1. La fruta con mejores condiciones de calidad externa fue la proporcionada por la compañía 2. Si bien existe similitud entre las zonas de donde se extrajo fruta para los ensayos, si existen ligeras diferencias en el manejo poscosecha de la mismas entre compañías; en parte relacionado con los sistemas de aplicación de fungicidas en la planta empacadora (Cuadro 2).

### Coloración externa

La fruta con destino a Europa presentó una mayor velocidad de maduración en comparación con la fruta con destino a EE.UU. ( $p < 0,05$ ), la evaluación del color externo se llevó a cabo con la escala comercial de coloración de banano en la tabla. Lo que concuerda con los datos de la medición de color con el colorímetro, donde esta fruta presentó valores menores en la variable  $a^-$  y valores mayores de la variable  $b^+$ . Además, fue fruta con colores más intensos que la fruta para el mercado de EE.UU. (valores de L altos) (Cuadro 3).

Las diferencias de coloración se acentúan en la dosis de  $30 \text{ nl l}^{-1}$  de 1-MCP, ya que resulta

ser la fruta con el tiempo de avance de desarrollo de coloración -de verde a amarillo- más lento. Sin embargo, entre el control y  $20 \text{ nl l}^{-1}$  no hubo diferencias ( $p < 0,05$ ) en los valores de coloración externa, medidos con la tabla comercial, lo que podría indicar, en este caso, que para que la aplicación del 1-MCP sea efectiva en fruta después de empacada se necesita una dosis  $> 20 \text{ nl l}^{-1}$ .

Las diferencias significativas entre los valores de las variables L, a, b, obtenidos con el colorímetro, para esta misma variable (Cuadro 3), hace suponer que el ojo del evaluador, no es capaz de detectar pequeñas variaciones en el avance de la coloración, de verde hacia amarillo.

En el análisis por compañía, estas resultaron ser significativamente diferentes. La fruta de la compañía 1 presentó grados de madurez mayores, según la tabla de color. Por otro lado, la fruta de la compañía 2, tiene valores menores, esto coincide con el comportamiento de la tasa de respiración de la fruta -mayor en la compañía 1 y menor en la compañía 2 (Cuadro 4).

Al hacer el análisis de vida útil en anaquel, en general la fruta tratada con  $30 \text{ nl l}^{-1}$  de 1-MCP, llega al grado comercial (color 5) en un tiempo mayor que la fruta del control. La diferencia entre el control y  $20 \text{ nl l}^{-1}$  es menor que entre  $20$  y  $30 \text{ nl l}^{-1}$  (Figura 2).

Cuando se proyectó las ecuaciones matemáticamente (Cuadro 1) para el color comercial 5, el control alcanza esta condición a los 6 días después de la aplicación del etileno, mientras que la fruta tratada con  $20$  y  $30 \text{ nl l}^{-1}$  lo hace en 7 y 10

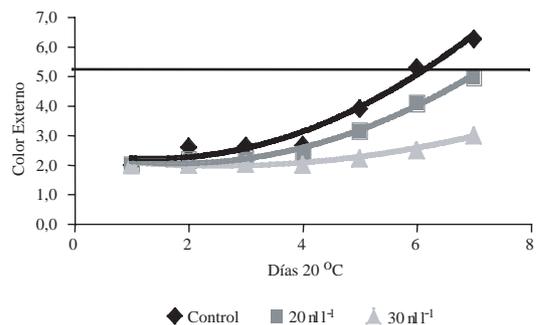


Fig. 2. Desarrollo del color externo (según tabla comercial) de fruta de banano tratada con 1-MCP.

días, respectivamente. En la figura 3 puede apreciarse el efecto de los tratamientos en el momento en que el testigo ya había alcanzado el grado de maduración o color externo 5.

En el año 2002 los autores condujeron ensayos de aplicación de 100, 150 y 250  $\text{nl l}^{-1}$  de 1-MCP en fruta en proceso de maduración (color 3), con el objeto de extender la vida amarilla de banano Cavendish. En el caso de fruta con destino a EE.UU., se logró una extensión de vida útil de anaquel de 2 días con la dosis de 250  $\text{nl l}^{-1}$  (Datos no mostrados). Esto permitió concluir que resultaría más efectivo aplicar una dosis pequeña de 1-MCP a fruta, inmediatamente después de empacada, (grado 1), antes o durante el transporte, que aplicar una dosis alta en fruta de grado comercial 2 y 3, después del transporte, más la aplicación del etileno para inducir maduración.

### Análisis de calidad interna

Para las variables firmeza, y porcentaje de sólidos solubles y de acidez titulable, el análisis se hizo solo para una de las compañías proveedoras de fruta, la escogencia de esta fue al azar, resultando seleccionada la compañía 1. La variable tasa de producción de  $\text{CO}_2$  fue estudiada para todas las compañías.

Desde el punto de vista del mercado de destino, la fruta tratada y no tratada con 1-MCP, resultó ser significativamente diferente ( $p < 0,05$ )

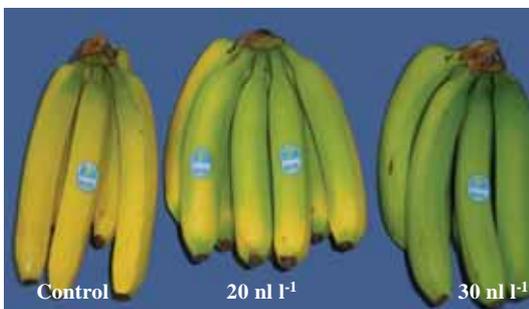


Fig. 3. Efecto de los tratamientos de 1-MCP sobre el desarrollo de color externo de fruta de banano Cavendish evaluada 6 días después de la inducción de la maduración.

en firmeza,  $^{\circ}\text{Bx}$  y tasa de producción de  $\text{CO}_2$ . Para el porcentaje de acidez no hubo diferencias.

Al iniciar las evaluaciones para la fruta con destino a EE.UU., esta presentó valores de desarrollo de madurez menores que la fruta con destino a Europa (mayor firmeza, menos  $^{\circ}\text{Bx}$  y una tasa de producción de  $\text{CO}_2$  menor), es decir que los bananos estaban menos maduros (Cuadro 4).

Cuando se analiza el comportamiento por dosis del 1-MCP, aplicado en toda la fruta del ensayo, se observó diferencias ( $p < 0,05$ ) en la firmeza y la tasa de respiración, no así en  $^{\circ}\text{Bx}$  y el porcentaje de acidez titulable (Cuadro 4). Aunque no se puede concluir acerca de estas 2 últimas variables, sí se observa que las frutas tratadas con 30  $\text{nl l}^{-1}$  están menos maduras (firmeza y tasa de producción de  $\text{CO}_2$ ) que las expuestas a 0 y 20  $\text{nl l}^{-1}$ .

En la figura 4, se observa que la fruta aumenta su contenido de sólidos solubles totales y disminuye los valores de firmeza de la pulpa, conforme avanza la maduración.

Dado que la fruta analizada para calidad interna fue escogida totalmente al azar, la variabilidad en algunos de los resultados obtenidos se puede atribuir a este hecho, ya que la fruta evaluada un día, no necesariamente correspondía a la evaluada el día siguiente, pues los análisis son de tipo destructivo.

En la figura 5, se observa con más detalle el comportamiento del porcentaje total de sólidos solubles, tanto en fruta expuesta a 1-MCP como en aquella que no lo fue. La tendencia de las curvas es

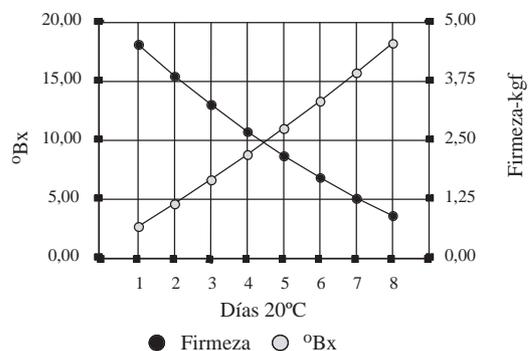


Fig. 4. Contenido de sólidos solubles totales y firmeza de la pulpa en fruta de banano tratada con 1-MCP.

creciente conforme avanza el tiempo, valores más altos de °Bx en la fruta normalmente se asocian con grados de madurez mayores. Se observa que las curvas del control y 20 nl l<sup>-1</sup> están más cercanas una de la otra que las curvas de 20 y 30 nl l<sup>-1</sup>.

Después de observar el comportamiento del porcentaje total de sólidos solubles presentes en la fruta analizada (Figura 5), era de esperar que la variable firmeza presentara una tendencia decreciente a través del tiempo (Figura 6). La fruta tratada con 1-MCP, mostró valores más altos de firmeza que la fruta control. Lo anterior, asociado a la variable °Bx, hace suponer que, evaluados en el mismo momento, los bananos expuestos a 1-MCP han avanzado menos en el proceso de maduración que la fruta no expuesta. Nuevamente, se observa un acercamiento entre las curvas de 20 nl l<sup>-1</sup> y el control, y una mayor separación entre las curvas de 20 y 30 nl l<sup>-1</sup>.

En las figuras 7 y 8 se puede observar que el comportamiento de la acidez titulable, y la tasa de respiración fueron coincidentes con los cambios en sólidos solubles (°Bx) y la firmeza. La acidez aumentó hasta cierto punto y luego disminuyó, ese comportamiento fue retrasado por los tratamientos de 20 y 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP. Los datos de respiración (Figura 8) muestran la llegada al máximo climatérico, de nuevo la fruta tratada con 1-MCP demoró al menos 2 días en alcanzar ese máximo, en comparación con el tratamiento testigo.

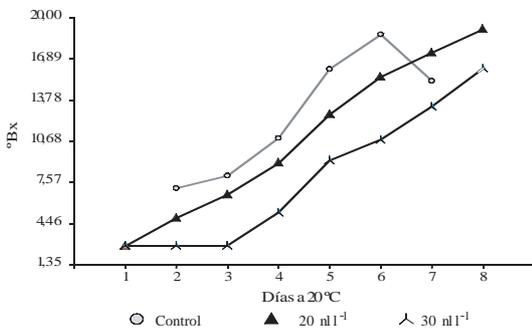


Fig. 5. Comportamiento de los sólidos solubles totales según las dosis de 1-MCP aplicadas a fruta de banano.

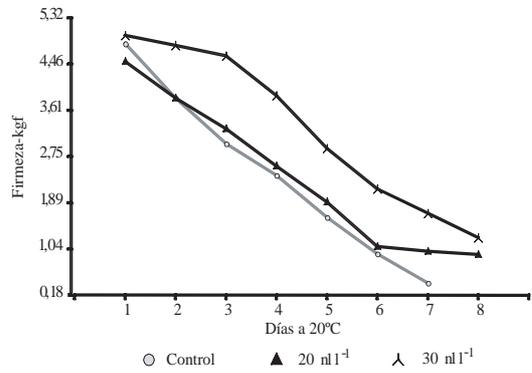


Fig. 6. Firmeza en fruta de banano expuesta a diferentes dosis de 1-MCP.

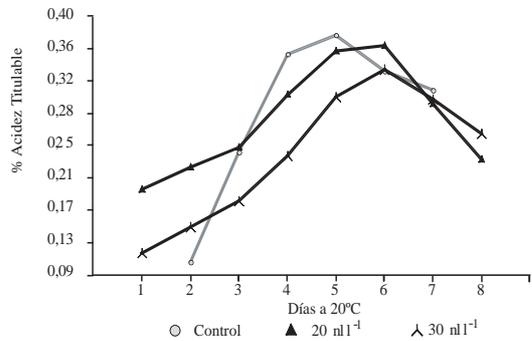


Fig. 7. Porcentaje de acidez titulable en fruta de banano expuesta a diferentes dosis de 1-MCP. Evaluada después del inicio del proceso de maduración.

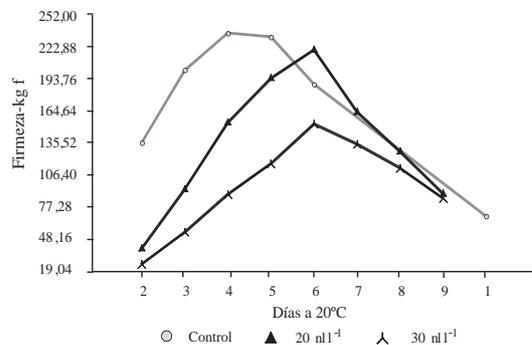


Fig. 8. Comportamiento general de la tasa de producción de CO<sub>2</sub> en fruta de banano expuesta a diferentes dosis de 1-MCP.

## Análisis de calidad interna vs. grado comercial G5

Al cuestionar qué sucede con la calidad interna de la fruta expuesta al 1-MCP con respecto a la testigo, especialmente cuando todas alcanzan la misma condición de grado comercial (G5). Se encontró que después de la inducción de la maduración con etileno, fueron necesarios 5,5 días para que la fruta del control alcanzara el G5 y desarrollara 16,46° Bx. Esta fruta resistió 1,24 kg f de penetración, presentó una tasa de producción de CO<sub>2</sub> de 261,36 mg kg-h<sup>-1</sup> y 0,386% de acidez titulable.

Bajo las mismas condiciones, la fruta tratada con 1-MCP alcanzó el G5 a los 6 y 7 días, aproximadamente, cuando se les aplicó 20 y 30 nl l<sup>-1</sup>, respectivamente. Y desarrolló valores menores de sólidos solubles totales, fue más resistente a la penetración y presentó tasas de producción de CO<sub>2</sub> y porcentajes de acidez titulable menores.

Respecto al desarrollo del porcentaje de sólidos solubles totales, si se toma en consideración que el paladar del ser humano (en este caso particular, el consumidor final) es capaz de detectar diferencias en sabores dulces a partir de 2 °Bx, entonces sería posible apreciar un sabor ligeramente menos dulce en la fruta expuesta a 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP que en la fruta del control.

Sin embargo, la sensibilidad del paladar del consumidor final a las propiedades organolépticas del banano Cavendish, dependen del tipo de mercado al que se este dirigiendo la fruta. Por ejemplo, los costarricenses prefieren sabores más dulces en la fruta de banano y tienden a consumir más banano de variedades criollas y en color 6 (totalmente amarillo) y 7 (amarillo con pecas); caso opuesto sucede con el mercado estadounidense, en donde el consumidor prefiere fruta con menos desarrollo de azúcares. Es probable que para el consumidor estadounidense, la diferencia entre 1,0 y 2,5 °Bx no sea detectable, como sí lo sería para un consumidor costarricense; sin embargo, este aspecto debe evaluarse.

## CONCLUSIONES

La aplicación del 1-MCP en banano con grado de corta y después del empaque, retarda la degradación de la clorofila y por lo tanto la coloración amarilla.

La severidad de las enfermedades poscosecha se incrementó en la fruta tratada con 1-MCP, posiblemente debido al retraso en maduración, lo que extiende el periodo en que los hongos pueden desarrollarse en la fruta, y no por un efecto directo del uso del 1-MCP.

La apariencia externa de la fruta no fue afectada negativamente por la aplicación del 1-MCP más allá del desarrollo de enfermedades.

La aplicación de 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP en banano Cavendish grado de corta para mercado de EE.UU. (12-13 semanas) y Europa (11-12 semanas), puede extender la vida de anaquel de la fruta en más de 4 días, cuando esta es almacenada a 20°C.

Al no encontrarse diferencias significativas entre la dosis de 20 nl l<sup>-1</sup> y el control, se infiere que esta dosis no fue suficiente para alcanzar el objetivo de extender la vida de anaquel del producto almacenado a 20°C.

Las diferencias observadas entre los distintos orígenes de la fruta incluida en los ensayos, hacen suponer que las diferencias de manejo de plantaciones, precisión para establecer el grado de corta, y tratamiento de la fruta en la planta empacadora, afectaron el desempeño del producto.

En general, la fruta expuesta a 30 nl l<sup>-1</sup> de 1-MCP por 24 h, con respecto al control presenta:

- Tasas de producción de CO<sub>2</sub> menores
- Valores de firmeza mayores
- Valores de °Bx menores
- Valores del porcentaje acidez titulable menores

Por lo tanto, estaban en un grado de maduración menor que el de la fruta no tratada con 1-MCP.

**LITERATURA CITADA**

- BAGNATO N., BARRETT R., SEDGLEY M., KLIEBER A. 2003. The effects on the quality of Cavendish bananas, which have been treated with ethylene, of exposure to 1-methylcyclopropene. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 745-750.
- BLANKENSHIPS., DOLEJ. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1-25.
- DADZIE B.K., ORCHARD J.E. 1997. Guías técnicas INIBAP: Evaluación rutinaria poscosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. INIBAP, Francia. 63 p.
- MITCHAM B. 2001. 1-MCP, the next revolution in postharvest technology? *University of California Perishable Handling Quarterly*, Issue No. 108, 34 p.
- PELAYO C., VILAS-BOAS V DE B., BENICHO M., KADER A. 2002. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 28: 75-85.
- SISLER E., SEREK M. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40: 1-7.
- SELVARAJAH S., BAUCHOT P.J. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 23: 167-170.
- WATKINS C., MILLER W. 2004. A summary of physiological processes or disorders in fruits, vegetables and ornamental products that are delayed or decreased, increased or unaffected by application of 1-methylcyclopropene (1-MCP). Department of Horticulture. Cornell University. Ithaca, New York. USA. 28 p.