

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DEL 1-MCP (1-METILCICLOPROPENO), COMO INHIBIDOR DE ETILENO EN LA MADURACIÓN DE FRUTOS DE KIWI

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Mención: Fruticultura

OSCAR RODRIGO BECERRA BENAVIDES

PROFESOR GUÍA CALIFICACIONES Sr. Julio Retamales A., Ingeniero Agrónomo,

Dr. sc. agr. 7.0

Santiago, Chile - 2005

PROFESORES CONSEJEROS Sr. Tomás Cooper C. Ingeniero Agrónomo, Dr. sc. agr. 6.3 Sr. Bruno Razeto M., Ingeniero Agrónomo, M.S. 6.3

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN . | 1 |
| ABSTRACT . | 3 |
| AGRADECIMIENTOS . | 5 |
| INTRODUCCION . | 7 |
| REVISION BIBLIOGRAFICA . . | 9 |
| Antecedentes Generales . | 9 |
| Etileno y su efecto en la maduración de frutos . | 9 |
| Biosíntesis de etileno . | 10 |
| Inhibidores de la biosíntesis de etileno . . | 10 |
| Inhibidores de la acción del etileno . . | 10 |
| MATERIALES Y MÉTODO . | 13 |
| Evaluación de llegada . . | 14 |
| Tasa de producción de etileno: . | 14 |
| Tasa respiratoria: . . | 14 |
| Firmeza de la pulpa: . | 14 |
| Sólidos solubles totales: . | 14 |
| Acidez total titulable: . . | 15 |
| Evaluaciones de postcosecha . . | 15 |
| Desórdenes fisiológicos: . | 15 |
| Diseño experimental y análisis estadístico . | 15 |
| RESULTADOS Y DISCUSION . | 17 |
| Tasa de producción de etileno . | 17 |
| Tasa respiratoria . . | 18 |
| Firmeza del fruto . . | 19 |
| Sólidos solubles totales . . | 20 |
| Acidez total titulable . . | 20 |
| Ablandamiento de la columela . | 21 |

CONCLUSIONES . .

23

BIBLIOGRAFÍA .

25

RESUMEN

Para este ensayo se utilizó frutos de kiwi variedad Hayward provenientes de Unifrufti Linderos, cosechados con 8,5° Brix. Luego de cosecha, fueron sometidos a diferentes concentraciones de 1-metilciclopropeno y en algunos tratamientos se aplicó una dosis de etileno determinada. La fruta fue almacenada a 0°C por 15, 30, 45, 60 y 90 días, en una atmósfera libre de etileno, para esto se utilizó permanganato de potasio. Después del período de almacenamiento refrigerado la fruta se mantuvo por un período de tiempo a 18-20°C, necesario para que la fruta del tratamiento testigo alcanzara la condición de madurez de consumo. Al finalizar cada período se evaluaron parámetros de calidad como también las tasas de producción de etileno y respiratoria de la fruta.

Las tasas de producción de etileno y tasa respiratoria presentaron diferencias entre tratamientos sólo en el período de comercialización simulada después de 15 días de almacenamiento refrigerado. En los otros momentos de evaluación, almacenamiento refrigerado y período de comercialización simulada, no se definió respuesta a la aplicación de 1-MCP ni a la aplicación etileno.

La evolución del ablandamiento de la fruta aplicada y no aplicada con 1-metilciclopropeno presentó un comportamiento normal, sin embargo, la tasa de ablandamiento de la fruta de todos los tratamientos con aplicaciones de 1-MCP fue menor que la del tratamiento testigo y mantuvo diferencias estadísticas significativas hasta el final del almacenamiento refrigerado (90 días), siendo independiente de la dosis de aplicación.

Durante el período de comercialización simulada la fruta tratada con 1-MCP mantuvo mayor firmeza con respecto a la fruta no aplicada sólo hasta 6 semanas de almacenamiento refrigerado.

El comportamiento de otros parámetros como sólidos solubles totales, porcentaje de acidez, ablandamiento de columela no presentó respuesta a la aplicación de 1-MCP, evolucionando normalmente hasta el final del período de almacenamiento refrigerado (0° C) y de comercialización simulada.

Palabras claves: - Kiwi - Actinidia deliciosa - 1-metilciclopropeno – Etileno - Postcosecha

ABSTRACT

For this experiment, Hayward kiwifruit from Unifruitti Linderos packaging facility were used, harvested with 8.5 °Brix. After harvest, they were subjected to different 1-methylcyclopropene concentrations and ethylene at a given dosage was also applied for some treatments. Fruit was stored at 0°C for 15, 30, 45, 60 and 90 days, in ethylene-free atmosphere by using potassium permanganate. After cold storage, fruit was kept for a period at 18-20°C as required for the fruit of the control treatment to attain ripe stage. After each period, quality parameters and ethylene production and respiration rates were evaluated.

Ethylene production and respiration rates showed differences between treatments only during shelf life following 15 days of cold storage. In further evaluations, no response was determined for 1-MCP and ethylene applications.

Softening evolution of applied and non-applied fruit showed normal behavior, however, softening rate of fruit from all the treatments applied with 1-MCP was less than the one of control treatment, with statistical differences up to end of cold storage (90 days), being independent of applied dosage.

During shelf life, 1-MCP-treated fruit kept firmer than non-treated control fruit up to only 6 weeks of cold storage.

The behavior of further parameters, like total soluble solids, acidity, columella softening, did not show response to 1-MCP application, evolving normally up to the end of the cold storage and shelf life periods.

Key words: Kiwifruit - *Actinidia deliciosa* - 1-methylcyclopropene – Ethylene – Postharvest

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos y profundo respeto al Señor Julio Retamales, mi profesor guía, por su inagotable disposición para contestar dudas, aconsejar y guiar durante el desarrollo de ésta y otras memorias. No puedo dejar de destacar su inmensa calidad humana, la que deja un sello en cada una de las personas que hemos tenido la fortuna de trabajar junto a él.

A mis compañeros de trabajo en el Laboratorio de Postcosecha de Frutas y Hortalizas de INIA La Platina, Ricardo, Mauricio, Marisol, Bruno y Reinaldo, quienes a su manera me acompañaron hasta el final de este período.

A los señores Bruno Razeto y Tomás Cooper por los consejos y las valiosas sugerencias en la revisión de esta memoria.

A mis padres, Oscar y Verónica, mis hermanas, Verónica y Natalia, por el amor y consejos que siempre han sido y serán un gran apoyo en mi vida.

A Mauricio y Manuel, grandes amigos, por esas largas noches de estudio y las otras que no lo fueron tanto y que se transformaron en extensas conversaciones que alimentan el alma.

Y especialmente a ti...

...Diana, porque tu mirada, tu sonrisa, tus palabras, tu esencia, serán siempre lo más importante para ir alcanzando nuestras metas y disfrutar juntos de ellas...

INTRODUCCION

La pérdida de firmeza es uno de los principales problemas que presenta el kiwi (*Actinidia deliciosa* (Chev.) Liang et Ferguson) var. Hayward en postcosecha, lo que limita el almacenamiento y tiene por consecuencia pérdidas económicas significativas.

El fruto del kiwi se ablanda rápidamente en presencia de niveles muy bajos de etileno exógeno, esta sensibilidad se acentúa a medida que avanza la madurez de la fruta (Mac Rae et al., 1989).

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) ha mostrado ser eficaz como inhibidor de la síntesis de etileno en la mayoría de los frutos climatéricos en que se ha estudiado. La excepción a esto es el kiwi, en el cual el efecto parece ser marginal. Esto avala la idea de probar este producto en kiwi a dosis superiores a las empleadas en otros frutos, para determinar el grado de afinidad que presenta con los receptores de etileno, como una posible explicación fisiológica a este menor efecto.

Por lo expuesto anteriormente, los objetivos de este ensayo fueron:

Determinar el efecto de 1-MCP a elevadas dosis como inhibidor de efectos de etileno en maduración de kiwi var. Hayward.

Definir componentes de maduración en kiwi desde el punto de vista de su dependencia de etileno.

REVISION BIBLIOGRAFICA

Antecedentes Generales

Uno de los principales problemas que limitan la vida de postcosecha del kiwi, es el ablandamiento que sufre la pulpa. Por otra parte, la producción de etileno endógeno se cree íntimamente relacionada al proceso de ablandamiento (Retamales et al., 1997).

Etileno y su efecto en la maduración de frutos

El etileno es una fitohormona gaseosa que regula y coordina numerosos procesos de crecimiento y senescencia de las plantas (Zacarías, 1993). Faust (1989) menciona que la caída de frutos también está influenciada de alguna manera por el etileno.

A diferencia de otras hormonas vegetales, la extrema simplicidad de su estructura química (es el hidrocarburo insaturado más sencillo) y su naturaleza gaseosa, le confieren características especiales y únicas entre los distintos reguladores del desarrollo. Su actividad biológica se produce a muy bajas concentraciones (0.01ul/l) y afecta un amplio espectro de procesos fisiológicos (Zacarías, 1993).

El etileno por ser gas, no precisa de un sistema de conducción específico por el vegetal. Esta fitohormona puede actuar en un mismo lugar de síntesis, configurando un

caso peculiar dentro de las fitohormonas endógenas (Retamales y Cooper, 1988).

El etileno juega un rol muy importante en muchos de los cambios que ocurren en la fruta en el proceso de maduración. Es un conocido inductor de ablandamiento, ya que el kiwi se ablanda rápidamente en respuesta al etileno exógeno y esto aumenta a medida que avanza la madurez de éste (Retamales et al., 1994).

Biosíntesis de etileno

El primer paso en la formación de etileno lo constituye el aminoácido metionina del cual los carbonos 3 y 4 sirven como substratos para la formación de esta fitohormona. Así la primera etapa de la ruta consiste en la formación de la forma activada de la metionina SAM (S-adenosil-metionina), reacción dependiente de ATP (Zacarías, 1993).

La segunda etapa de la ruta es la formación de ACC (1-aminociclopropano-1-carboxílico), que es el precursor inmediato del etileno, reacción catalizada por la enzima ACC sintasa, actividad dependiente de fosfato piridoxal (Reid, 1992).

El ACC se convierte en etileno por la acción de la enzima ACC oxidasa, liberando al mismo tiempo CO₂ y HCN, reacción dependiente de oxígeno (Zacarías, 1993).

Mc Murchie et al. (1972), postulan dos mecanismos de control de la síntesis de etileno, uno donde se induce un nivel basal de etileno común en todos los frutos que se activa por lesiones mecánicas o por heridas en los tejidos, y otro para fruta climatérica e incluye la producción autocatalítica de etileno, que desciende cuando finaliza la maduración.

Inhibidores de la biosíntesis de etileno

El uso de inhibidores de la síntesis de etileno se plantea como alternativa para retrasar los procesos de maduración y senescencia de los frutos en postcosecha. Los inhibidores más conocidos son la aminoetoxivinilglicina (AVG) y el ácido aminooxiacético (AOA), que actúan como inhibidores competitivos de la actividad ACC-sintetasa, bloqueando el paso de SAM a ACC (Zacarías, 1993).

En cuanto al AVG, Bangerth (1978) realizó aspersiones foliares antes de cosecha de manzanos, con lo que disminuyó la concentración de etileno interno en almacenamiento refrigerado y también se disminuyó la maduración de los frutos. Bramlage et al. (1980) realizaron aplicaciones de AVG en precosecha, inhibiendo drásticamente las concentraciones internas de etileno y lograron retrasar la maduración en manzana.

Inhibidores de la acción del etileno

Según Burg y Burg (1967), el dióxido de carbono a altas concentraciones (5-10 por 100), actúa como un inhibidor competitivo de la acción del etileno en numerosos procesos biológicos. El ion Ag⁺, es uno de los inhibidores más efectivos de la acción del etileno,

probablemente su acción se debe a que bloquea la unión del etileno con su receptor (Sisler y Serek, 1997). También la olefina cíclica 2,5-norbornadieno (NBD), diazociclopentadieno (DACP) y metilciclopropeno (1-MCP) inhiben competitivamente la acción del etileno (Sisler y Serek, 1997).

El desarrollo reciente de un inhibidor de la acción del etileno el 1- metilciclopropeno (1-MCP) (Sisler y Serek, 1997), permite actuar en forma eficiente inhibiendo la maduración de manzanas, bananas y tomates (Golding et al., 1998; Serek et al., 1995). Cuando fue aplicado en frutos de kiwi a cosecha, el 1-MCP redujo la tasa de respiración, retardó el alza de producción de etileno y disminuyó el ablandamiento a 20°C y 0°C con concentraciones de 1 y 100 nl, y en condiciones de presencia de etileno (10 nl). Estos efectos se perdieron dentro de un mes a 0°C, lo que sugiere que los receptores de etileno se incrementan a través del tiempo de almacenamiento, probablemente a través de la síntesis de ellos por la fruta (Kim et al, 2001).

Ensayos preliminares en kiwi con 1-MCP en Chile (Retamales¹) aplicados al inicio de almacenamiento refrigerado han presentado cierto efecto limitado en ablandamiento de fruta.

¹ Retamales J. 2002, comunicación personal, Profesor, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

MATERIALES Y MÉTODO

El ensayo se realizó en el Laboratorio de Postcosecha del Centro Regional de Investigación La Platina del INIA. Se utilizaron frutos de kiwi (*Actinidia deliciosa*), variedad Hayward, cosechados con una concentración de sólidos solubles mínima de 8,5° Brix. La fruta cosechada fue almacenada en condiciones de almacenamiento refrigerado en atmósfera normal, a una temperatura de 0°C y humedad relativa 85- 90% con control de etileno.

Se aplicaron tres concentraciones de 1-MCP (producto comercial Agrofresh, con 0,14% de i.a.), una de etileno y una mezcla de ambas, a fruta recientemente cosechada y enfriada por un período de 24 horas. La aplicación se realizó en contenedores de 140 litros cerrados herméticamente, de manera que los tratamientos planteados para el ensayo se explican en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Tratamientos

| Tratamientos | Concentración de la aplicación de 1-MCP y etileno C ₂ H ₄ |
|--------------|---|
| T1 | Testigo sin aplicación |
| T2 | 1 ppm 1- MCP |
| T3 | 10 ppm 1-MCP |
| T4 | 100 ppm 1-MCP |
| T5 | 1 ppm C ₂ H ₄ |
| T6 | 100 ppm 1-MCP+ 1 ppm C ₂ H ₄ |

Evaluación de Llegada

Para definir la condición inicial de la fruta, se utilizó un total de 20 frutos sacados completamente al azar, previo a la aplicación de los tratamientos.

La metodología de evaluación, tanto de llegada como de postcosecha, fue la siguiente: se utilizaron 20 frutos por cada tratamiento y en cada oportunidad de evaluación, de los cuales cuatro se destinaron para las evaluaciones no destructivas que son, tasa de producción de etileno y tasa respiratoria. A los 16 restantes en forma individual, se les aplicó las evaluaciones destructivas, es decir, firmeza de la pulpa, sólidos solubles y desordenes fisiológicos. Para acidez total titulable se utilizó una mezcla compuesta de 16 frutos. Estas evaluaciones tanto destructivas como no destructivas, se realizaron a salida de frío y después de un período de comercialización simulada que estuvo determinado por el ablandamiento del testigo. Los parámetros mencionados se explican a continuación.

Tasa de producción de etileno:

De los 20 frutos de cada tratamiento se tomaron 4, los que se colocaron en frascos herméticamente sellados, de volumen conocido (500 ml) durante un período de 24 horas. Durante este período los frascos con los frutos se mantuvieron en una cámara con una temperatura constante de aproximadamente 20°C. Utilizando una jeringa de 1 ml, se tomó una muestra de aire, cuyo contenido de etileno se determinó utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-8A, con columna de alúmina y detector de ionización de llama (FID).

Tasa respiratoria:

Se extrajo una muestra de aire de 20 ml de los mismos frascos utilizados para medir producción de etileno. Esta muestra se evaluó en un analizador de O₂/CO₂ MAPTEST 3000.

Firmeza de la pulpa:

Se utilizó un Penetrómetro manual Effegi con embolo 7,9 mm. La medición se realizó en las dos caras opuestas de la zona media de cada fruto habiendo removido previamente la epidermis.

Sólidos solubles totales:

Las mediciones fueron realizadas con un refractómetro Atago termocompensado, con

escala 0-30. Los resultados se expresaron en grados Brix.

Acidez total titulable:

Se extrajo una muestra representativa de jugo de los 16 frutos de cada repetición. Se colocó 10 ml en un vaso precipitado y se procedió a titular con NaOH al 0,1 N, usándose como indicador un potenciómetro. La titulación terminó cuando se logró la neutralización de los ácidos orgánicos, esto sucede a pH 8,2.

Evaluaciones de postcosecha

Se realizaron evaluaciones a los 15, 30, 45, 60 y 90 días de almacenamiento refrigerado a 0°C (salida de frío) y a 18-20°C por un período de comercialización simulada determinado por el ablandamiento del testigo, cuando este alcanzó 0,5 - 1,0 kgf (madurez de consumo). Cada tratamiento consta de dieciséis repeticiones de un fruto cada una.

Se evaluaron los siguientes parámetros, tanto a salida de frío como después del período subsiguiente de almacenamiento a 20°C.

Desórdenes fisiológicos:

Para ablandamiento de columela (placenta) se utilizó la escala descrita en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Grado de ablandamiento de la columela frente a una presión ejercida

| Grado de dureza | Descripción (resistencia a la presión) |
|-----------------|--|
| 1 | No presenta |
| 2 | Levemente duro |
| 3 | Medianamente duro |
| 4 | Extremadamente duro |

Se utilizó un total de 20 frutos por tratamiento en cada oportunidad de evaluación, a 16 de ellos se les evaluó firmeza y sólidos solubles. Acidez total titulable se determinó en una muestra compuesta de los 16 frutos. Por su parte, a cuatro frutos por tratamiento se les evaluó tasa de producción de etileno y tasa respiratoria. La metodología de evaluación de estos parámetros es similar a la que se utilizó en la evaluación de llegada de la fruta.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 6 tratamientos, donde cada

EVALUACIÓN DEL 1-MCP (1-METILCICLOPROPENO), COMO INHIBIDOR DE ETILENO EN LA MADURACIÓN DE FRUTOS DE KIWI

fruto fue una repetición. La unidad experimental fue el fruto. Los tratamientos se compararon mediante análisis de varianza, y en caso de resultar diferencias significativas se utilizó la prueba de comparación múltiple LSD ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Tasa de producción de etileno

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

Sólo a los 15 días de almacenamiento refrigerado la fruta del T2 tratada con la dosis menor de 1-MCP mostró diferencias estadísticas significativas con respecto a aquella del tratamiento testigo, aunque no así en todos los otros momentos de evaluación, por lo que no se define un comportamiento consistente de inhibición de la producción de etileno en los tratamientos con 1-MCP en la fruta a salidas de frío (Figura 1 y Cuadro 3). Ello se verifica en que aun cuando la fruta del tratamiento testigo (T1) presentó una aparente alza de la tasa de producción de etileno al día 60, no mostró diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos, lo que se repitió para la fruta del T5 a los noventa días. De esta manera el comportamiento de la fruta aplicada con 1-MCP en el caso de kiwi difiere de otras frutas climatéricas como pera (De Wild et al., 1999) y tomate (Nakatsuka et al., 1998), en cuyo caso se ve inhibida la producción de etileno debido al bloqueo del efecto autocatalítico, lo que no sucede marcadamente en el presente ensayo.

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas

para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

A diferencia de lo ocurrido directamente a salidas de frío, en el período de comercialización simulada se apreció diferencias estadísticas significativas en algunas de las evaluaciones en forma consistente entre los tratamientos con 1-MCP y los no tratados, aunque sin evidenciar efectos de dosis entre los tratamientos con 1-MCP (Figura 2 y Cuadro 4).

Esto estaría indicando un bloqueo efectivo por parte de 1-MCP del efecto autocatalítico de etileno sobre su propia síntesis (Lelièvre et al., 1997), como se manifestó en el alza de la producción de etileno en la fruta del tratamiento testigo. Un comportamiento análogo encontraron Boquete et al. (2004), cuando aplicaron 1-MCP en kiwi con posterioridad al almacenamiento refrigerado. Contrariamente a lo esperado, sin embargo, el tratamiento con aplicación de etileno (T5) no presentó un alza de la producción de etileno en relación a la fruta testigo, lo que puede derivarse de una dosificación y/o tiempo de exposición insuficiente. Resultados previos indican que una exposición permanente a etileno de estos frutos, aun a bajas concentraciones como 50 ppb, determinaron una maduración anticipada de la fruta, lo que se tradujo en mayor ablandamiento y aumento en la tasa de producción de etileno. Exposiciones a 50 ppb permanente y 500 ppb por 7 días determinaron una clara pérdida de firmeza inicial de la pulpa (Cickovic, 1996).

Tasa respiratoria

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

En la Figura 3 se aprecian diferencias en tasa respiratoria sólo a los 15 días de almacenamiento refrigerado entre los tratamientos con 1 – MCP (T2, T3, T4) y el T5, con la fruta del T2 presentando la menor tasa y siendo diferente a los demás tratamientos. Por otra parte, no existen diferencias en los otros momentos de evaluación y todos los tratamientos siguen una evolución normal en su tasa respiratoria durante el período de almacenamiento refrigerado, lo que concuerda con Arpaia et al. (1987), quienes indican la alta variabilidad de la tasa respiratoria, debido a que estos incrementos metabólicos pueden ocurrir después de la pérdida de firmeza y cuando la fruta se encuentra en la condición de madurez de consumo. Por lo tanto, los tratamientos ensayados no están determinando claras diferencias en el comportamiento respiratorio de la fruta a salidas de frío, lo que se relaciona con la falta de diferencias en las determinaciones de tasa de producción de etileno en iguales oportunidades (Figura 3 y Cuadro 5).

Cuadro 6. Tasa respiratoria en el período de comercialización simulada ($\text{mLCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

En las evaluaciones de los 15 días de almacenamiento refrigerado más comercialización simulada se aprecia que la fruta tratada con 1 – MCP presentó una menor tasa respiratoria que aquella del T5 y T6 y la de éstos, a su vez, una menor tasa que el testigo. Con posterioridad, en general, es posible definir un comportamiento de inhibición de respiración en fruta de los tratamientos con 1-MCP con relación al testigo, aunque no en todas las oportunidades de evaluación. Este comportamiento es análogo al observado en relación a la tasa de producción de etileno en la fruta durante el respectivo período de comercialización simulada (Figura 4 y Cuadro 6). Por otra parte, la fruta aplicada con etileno (T5) no presenta diferencias en tasa respiratoria en relación a aquella del tratamiento testigo, lo que difiere de los resultados de Crisosto y Garner (2001), quienes aplicaron constantemente etileno (1 ppm) durante el almacenamiento refrigerado. Esto estaría avalando que la aplicación de etileno en el caso de este ensayo no fue suficientemente prolongada como para inducir a cambios marcados en el comportamiento de postcosecha de la fruta.

Firmeza del fruto

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

En la Figura 5 se aprecia fruta con firmeza de pulpa a la llegada de 6,9 kg-f, determinándose con el avance de almacenamiento (exceptuando la evaluación inicial a los 15 días) una mayor retención de firmeza de la fruta de los tratamientos con 1-MCP en relación a la fruta del tratamiento testigo, sin influencia de la dosis aplicada de 1-MCP. En todo caso, estas diferencias se hicieron menos marcadas con la prolongación del almacenamiento, aunque siguen persistiendo diferencias significativas. Esto concuerda con estudios realizados por Crisosto y Garner (2001), que sugieren que la efectividad del producto 1-MCP en el caso de kiwi se pierde en el tiempo. Así mismo, Boquete et al. (2004) indican que la aplicación de 1-MCP retrasa el ablandamiento en kiwi, pero que no se mantiene hasta el final del período de guarda con diferencias significativas. En general ambos tratamientos con aplicación de etileno (T5 y T6) no determinaron diferencias de comportamiento respecto del tratamiento testigo. En consecuencia, fue posible definir un patrón de comportamiento de mayor retención de firmeza para la fruta aplicada con 1-MCP en correspondencia con la inhibición de la acción y síntesis de etileno.

Este comportamiento concuerda con estudios anteriores (Crisosto y Garner, 2001), que indican que entre la 2ª y 4ª semana de almacenamiento refrigerado la fruta tratada con 1-MCP es significativamente más firme que la fruta testigo, mientras que la acción del 1-MCP pierde eficacia después de la 4ª semana de almacenamiento refrigerado no presentando diferencias entre la fruta tratada y no tratada.

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

Las mediciones de firmeza de pulpa se realizaron cuando los frutos del tratamiento testigo alcanzaron madurez de consumo (entre 0,5 – 1,0 Kg-f). La fruta tratada con 1-MCP mostró un menor ablandamiento, arrojando en general diferencias significativas. Hacia el fin del período de evaluación, esto es, a los 60 y 90 días más período de comercialización simulada, manteniéndose hasta el día 90 pero disminuyendo en magnitud con la evolución de la postcosecha y no apreciándose un efecto de dosis, debido a que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados con 1-MCP (Figura 6 y Cuadro 8).

Sólidos solubles totales

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

Los sólidos solubles totales iniciales medidos a la llegada, fueron 8,5° Brix, alcanzando a los 90 días de almacenamiento refrigerado los 12° Brix y tanto la fruta tratada con 1-MCP como la no tratada presentó una evolución normal de incremento de los niveles de sólidos solubles. Se puede apreciar que el alza se mantiene hasta los 45 primeros días de almacenamiento a 0° C y que luego los niveles de sólidos solubles se mantuvieron estables. Esto concuerda con lo observado por Mitchell (1994), quien indica que la conversión de almidón a azúcar es más significativa en las primeras cuatro semanas; no existiendo efecto de la aplicación de 1-MCP sobre la evolución de los sólidos solubles totales, análogamente a lo observado por Crisosto y Garner (2001), a excepción de algunas diferencias que no permiten establecer un patrón de comportamiento, como por ejemplo para T5 a los 30 días y T6 a los 45 días, los que muestran mayores niveles de sólidos solubles que la fruta del resto de los tratamientos.

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

Se puede observar que la fruta de todos los tratamientos alcanzó un valor cercano a los 13° Brix al final de los respectivos periodos de comercialización simulada a 20° C para cada momento de evaluación (Figura 8 y Cuadro 10). Independiente de la existencia de diferencias significativas en algunas evaluaciones, con menores valores de sólidos solubles totales para la fruta de los tratamientos aplicados con 1-MCP, tales diferencias son de escasa magnitud y no permiten definir un patrón claro de comportamiento. En general, la fruta a la salida del almacenamiento refrigerado presentó el nivel promedio de 13° Brix desde el día 45 en adelante y al simular el tiempo de exposición en vitrina la fruta no alcanzó un mayor contenido de sólidos solubles totales.

Acidez total titulable

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

El porcentaje de acidez titulable inicial es de 1,5 – 1,6 basado en ácido cítrico, esta disminuyó a lo largo de la postcosecha y se mantuvo estable en cada momento de evaluación para el almacenamiento refrigerado. No se apreció un efecto claro de la aplicación de 1-MCP sobre este parámetro, ya que, aunque hay diferencias estadísticas significativas a los 60 y 90 días, éstas no presentan un patrón de comportamiento definido, lo que concuerda con Crisosto y Garner (2001), que definieron que la aplicación de 1-MCP no produce efecto en la degradación de acidez en kiwi.

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

En las mediciones correspondientes al período de almacenamiento que simula el tiempo de exposición en vitrina, el porcentaje de acidez presentó un comportamiento análogo al caso anterior, con una tendencia a disminuir con la prolongación del período de almacenamiento total. Similarmente, no se presentaron diferencias claras en acidez determinadas por los diferentes tratamientos.

Ablandamiento de la columela

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

Los valores de apreciación de ablandamiento de la columela a salidas de frío (Figura 11 y Cuadro 13) indican que la fruta se encuentra aún firme, en correspondencia con la determinaciones de firmeza de pulpa en los mismos momentos de evaluación (Figura 5 y Cuadro 7), incluyendo valores de hasta 2 kg-f a salidas de frío en las determinaciones a partir de los 60 días. Por otra parte, a salidas del almacenamiento refrigerado (0° C) no se apreciaron diferencias estadísticas significativas que permitan establecer un patrón diferencial de comportamiento dado por tratamientos en particular para el parámetro de firmeza de columela.

Los valores que presentan la misma letra no representan diferencias significativas para $p \leq 0,05$ de acuerdo a la prueba de rango múltiple LSD.

A diferencia de lo que ocurre en almacenamiento refrigerado, después del período de comercialización simulada, la fruta tratada con 1-MCP presentó columela más firme que los no aplicados, en forma consistente y con diferencias estadísticas significativas para todos los momentos de evaluación. Esto se puede explicar por un retraso del ablandamiento de los frutos aplicados con 1-MCP (Figura 6 y Cuadro 8), ya que además se aprecia que existe una evolución más lenta del ablandamiento de los tratamientos con aplicación de 1-MCP.

CONCLUSIONES

La aplicación de 1-Metilciclopropeno en postcosecha, reduce sólo inicialmente la tasa de producción de etileno y la tasa respiratoria de kiwi var. Hayward, aunque en niveles menos marcados que en otras frutas climatéricas. En todo caso, este efecto cesa con el avance de la postcosecha.

El uso de 1-Metilciclopropeno reduce la pérdida de firmeza de kiwi en almacenamiento refrigerado y tiene un efecto parcial en el período de comercialización simulada, independiente de la concentración aplicada. En todo caso, este efecto se aminora en períodos prolongados de almacenamiento.

Aplicaciones de 1-Metilciclopropeno no afectan parámetros como la concentración de sólidos solubles totales y porcentaje de acidez.

BIBLIOGRAFÍA

- Arpaia, M.L., Lavavitch, J.M., Greve, C. and Kader, A., 1987. Changes in cell wall componets of kiwifruit during storage in air or controlled atmosphere. *J. Amer. Hort. Sci.* 112:474-481
- Bangerth, F. 1978. The effect of a substituted aminoacid on ethylene biosynthesis, respiration, ripening and preharvest drop of apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 401 – 404.
- Bramlage, W.J., D.W. Greene, W.R. Autio, and J.M. McLaughin, 1980. Effect of aminoethoxivynilglycine on internal ethylene concentrations and storage of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 : 847 – 851.
- Boquete, E.J., G.D. Trincherro, A.A. Fraschina, F. Vilella, and G.A. Sozzi, 2004. Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 32: 57 – 65.
- Burg, S.P. and E.A. Burg, 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiology* 42: 144 – 152.
- Cickovic, M.A. 1996. Efecto de diferentes condiciones de contaminación por etileno durante el almacenamiento refrigerado en kiwi. 47 p.
- Crisosto, C.H. and D. Garner. 2001. 1-MCP Inhibits kiwifruit softening during storage. *Perishables Handling Quarterly* 108: 19 – 20.
- De Wild, H.P.J., E.J. Woltering and H.W. Peppelenbos, 1999. Carbon dioxide and

- 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. *Journal of Experimental Botany* 50: 837 – 844.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zones trees*. John Wiley & Sons, New York, United States of America. 338 p.
- Golding, J.B., D. Shearer, S.G. Wyllie and W.B. McGlasson. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest. Biology and Technology*. 14: 87 – 98.
- Kim, H.O., E.W. Hewett and N. Lallu. 2001. Softening and ethylene production of kiwifruit reduced with 1-methylcyclopropene. *Acta Horticulturae* 553: 167 – 170.
- Lelièvre, J.M., L. Tichit, P. Dao, L. Fillion, Y-W Nam, J-C Pech, and A. Latché. 1997. Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Mol. Biol.* 33:847-55.
- MacRae, E.A, N. Lallu, A.N. Searle and J.H. Bowen. 1989. Changes in the softening and composition of kiwifruit affected by maturity at harvest and potted plants. *Acta Hort.*, 394: 337 – 345.
- McMurchie, E.J., W.B. McGlasson and I.L. Eaks. 1972. Treatment of fruit with propylene gas gives information about the biogenesis of ethylene. *Nature* 237: 235 – 236.
- Mitchell, F.G. et al. 1994. Chapters on postharvest physiology and handling of kiwifruit. In: J.K.Hasey et al. (eds.). *Kiwifruit growing and handling*. Publ. No. 3344. Univ. Calif. DANR Publ., Oakland, CA.
- Nakatsuka A., Murachi S., Okunishi H., Shiomi S., Nakano R., Kubo Y., Inaba A. 1998. Differential expression and internal feedback regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening. *Plant Physiol.*, 118:1295–1305.
- ODEPA-CIREN, Chile. 2003. *Catastro Frutícola VI Región*.
<http://pomaceas.otalca.cl>
- Razeto, B. 1999. *Para entender la fruticultura*. Tercera edición. Vivarium, Santiago, Chile. 373 p.
- Reid, M. 1992. Ethylene in Postharvest Technology. 97-108. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Second edition. University of California Division of Agriculture and Natural Resources. 296pp.
- Retamales, J. and R. Campos. 1997. Extremely low ethylene levels in ambient air are still critical for kiwi fruit storage. *Acta Horticulturae* 444: 573 – 576.
- Retamales, J. y T. Cooper. 1988. Nivel de etileno: debe controlarse. *Revista del Campo* 613: 82 – 83.
- Retamales, J., A. Pérez-Villarreal and R. Callejas. 1994. Ethylene biosynthesis inhibitor improves firmness of kiwifruit. *Acta Horticulturae* 394 : 159 –164.
- Serek, M., E.C. Sisler and M.S. Reid. 1995. 1-methylcyclopropene, a novel inhibitor of ethylene action improves the life of fruit, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae* 394: 337 – 345.
- Sisler, E.C. and M. Serek. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the

receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum* 100: 577 – 582.

Zacarías, L. 1993. Etileno. 343-356. In: Azcón-Bieto, J. y M. Talón. (Ed.) *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Interamericana McGraw-Hill, Madrid, España. 581 pp.