

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



**Efecto del estado de madurez sobre la eficacia de
tratamientos con 1-metilciclopropeno (1-MCP) en
pera (*Pyrus comunis* cv Williams)**

Molina Pérez Guillermo Lucas

Director: Ing. Agr. MS Sci. Calvo, Gabriela

Co-director: Dr. Ing. Agr. Vicente, Ariel

Lugar de Trabajo:



Año 2012

**Trabajo final de grado de la Carrera de Ingeniería Agronómica de
la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad
Nacional de La Plata, realizado en el Laboratorio de Investigación
en Productos Agroindustriales (LIPA) Facultad de Cs Agrarias y
Forestales UNLP y en la EEA Alto Valle INTA.**

Agradecimientos

A mis padres Irma y Víctor, mis guías de la vida, mi orgullo y mis héroes, me indicaron el camino de la vida con educación, sacrificio, valores, respeto y amor, dándome fuerzas en los buenos momentos y en los malos, gracias por darme la posibilidad de elegir qué hacer en la vida.

A Melisa, compañera de vida, por tu lealtad y amor incondicional.

A toda mi familia, abuelas, tíos, tías, primos y primas.

A mis amigos y amigas, los que están lejos, los que están cerca, gracias por ser mis hermanos de la vida

A Ariel Vicente y Gabriela Calvo, por su predisposición en todo momento, por su humildad y generosidad, más allá de ser excelentes profesionales con una gran vocación son personas increíbles, mis guías profesionales.

A todo el área de postcosecha de la EEA Alto Valle y a la cátedra de Agroindustrias que me abrieron sus puertas con la mejor onda, haciendo de este trabajo final un placer.

A todo el cuerpo docente y no docente de la Universidad de La Plata, con mención especial a Marita Romero.

A la ciudad de La Plata que me albergó durante estos años con sus adoquines y diagonales para que la estadía haya sido muy amena.

A todos aquellos que escribieron en mí durante mi vida y carrera universitaria, no tengo más que agradecimientos porque hoy soy una persona feliz y me reconocen día tras día.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. ORIGEN E HISTORIA DE LA PERA WILLIAMS	12
1.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA PERA EUROPEA (<i>Pyrus communis</i>)	12
1.3. PRODUCCIÓN DE PERA	13
1.4. PRODUCCIÓN DE PERAS EN LA ARGENTINA	14
1.5. ASPECTOS GENERALES DE CONSERVACIÓN DE PERA WILLIAMS	15
1.6. EL ETILENO EN LA POSTCOSECHA DE FRUTOS	16
1.6.1. Biosíntesis del etileno	16
1.6.2. Propiedad físicas, químicas y toxicológicas del etileno	17
1.6.3. Efectos del etileno	17
1.6.4. Usos del etileno	17
1.6.5. Condiciones para realizar tratamientos de maduración de frutos	18
1.6.6. Efectos indeseables del etileno	18
1.6.7. El etileno en frutos de pera	18
1.7. CONTROL DEL ETILENO	19
1.7.1. Estrategias de evasión	19
1.7.2. Estrategias de remoción	19
1.7.3. Control de la biosíntesis o acción del etileno	19
1.8. 1-METILCICLOPROPENO	20
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. MATERIAL VEGETAL Y ALMACENAMIENTO	24
3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	25
3.2.1. Degradación de almidón	25

3.2.2. Diferencia de absorbancia (DA)	25
3.2.3. Producción de etileno	26
3.2.4. Firmeza de pulpa	27
3.2.5. Color superficial	28
3.2.6. Sólidos solubles	28
3.2.7. Acidez titulable	29
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Producción de etileno en el almacenamiento refrigerado	32
4.2. Color superficial en el almacenamiento refrigerado	34
4.3. Producción de etileno durante la vida de estante	36
4.4. Firmeza durante la vida de estante	38
4.5. Color superficial durante la vida de estante	39
4.6. Acidez durante la vida de estante	42
4.7. Sólidos solubles durante la vida de estante	42
4.8. Degradación de almidón	43
5. CONCLUSIONES	44
6. REFERENCIAS	46

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

I. TABLAS

Tabla 1: Principales productores, exportadores e importadores de pera a nivel mundial para el año 2010 (www.faostat.org).

II. FIGURAS

Figura 1: Variedades de pera a) Williams, b) PackamsTriumph c) Beurré D'Anjou d) Red Bartlett, e) Abate Fetel.

Figura 2: A. Contenedor hermético para realización de tratamientos con 1-MCP. B: Cajas con frutos control y tratados con 1-MCP previos al almacenamiento refrigerado.

Figura 3: A: Lámpara halógena de tungsteno. B. Fibra óptica. C. Espectrofotómetro de campo. D. Curva típica de absorbancia de la clorofila.

Figura 4: Cromatógrafo de gases para determinación de etileno. B. Frutos en incubación para determinación de etileno.

Figura 5: A. Bandejas de peras PackamsTriumph para determinar índices de madurez. B. Refractómetro autocompensado para la determinación de sólidos solubles. C: Presiómetro de laboratorio para determinación de firmeza.

Figura 6: Producción de etileno en frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$. DDPF: días después de plena floración.

Figura 7: Producción de etileno en frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 8: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DAPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 9: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DAPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 10: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 11: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 12: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DDPF, almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20°C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 13: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF, almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20°C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 14: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DDPF, almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20°C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 15: Firmeza de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 o 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C (90+5). Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 16: Color superficial (hue) de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 17: Apariencia de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112, 119 ó 126 DDPF luego de 90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C de almacenamiento.

Figura 18: Acidez de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Figura 19: Sólidos solubles (SS) de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias significativas del correspondiente control con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Resumen

El manejo postcosecha ajustado en frutos de pera es muy importante. El 1-metilciclopropano (1-MCP) es un inhibidor de la acción del etileno que reduce la maduración de frutos climatéricos y mantiene su calidad. En algunas especies se ha demostrado que la eficacia de este producto se ve marcadamente afectada por el estado de madurez al momento del tratamiento. El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia del estado de madurez sobre la eficacia de los tratamientos con 1-MCP en pera 'Williams'. Se cosecharon frutos en tres estados de madurez 112, 119 y 126 días después de plena floración (DDPF) y se dividieron para cada cosecha en dos grupos: Control o tratado con 1-MCP (300 ppb, 24 h, 0°C). Los frutos de ambos tratamientos se almacenaron a 0 °C por 90 d y posteriormente se transfirieron a 20 °C por 5 d. Durante el período de almacenamiento refrigerado se monitoreó la producción de etileno y la degradación de clorofila en forma no destructiva. Luego de ser transferidos a 20 °C se analizó la producción de etileno, la firmeza, el tono de color superficial (hue), el contenido de sólidos solubles (SS) y la acidez titulable (AT) de los frutos. Durante el almacenamiento, el nivel de clorofila de la piel disminuyó en las tres cosechas, no hallándose diferencias entre peras control y tratadas. Sin embargo el tratamiento redujo significativamente la producción de etileno. No se observaron diferencias entre tratamientos en los parámetros de madurez evaluados de las tres cosechas inmediatamente después del almacenamiento refrigerado. Por el contrario, luego de 5 días a 20°C, las peras control se ablandaron rápidamente y mostraron una disminución del color verde y de la acidez mientras que el 1-MCP redujo estos cambios significativamente. El tratamiento con 1-MCP resultó eficaz en los tres estados de madurez y las diferencias entre frutos tratados se debieron a distintos niveles de madurez inicial. Los resultados muestran que el 1-MCP resulta de utilidad para complementar a la refrigeración en pera 'Williams' y que los tratamientos son eficaces en los tres estados de cosecha evaluados. Resultaría importante conocer el tiempo que estos frutos demoran en llegar a la madurez de consumo una vez removidos de la refrigeración para cada condición de tratamiento y madurez de cosecha.

Palabras clave: peras Williams, calidad, postcosecha, frutos, almacenamiento, etileno.

Abstract

A tightly adjusted postharvest handling of pear fruits is very important to prevent extensive losses. 1-methylcyclopropene (1-MCP) is an ethylene action inhibitor that has been shown to delay ripening and prevent deterioration of climacteric fruits. In some species it has been shown that its effectiveness is markedly affected by the maturity stage. The aim of this study was to determine the influence of the ripening stage on the efficacy of 1-MCP treatment in 'Williams' pears. Fruits were harvested at three maturity stages (112, 119 and 126 days after full bloom, DAFB) and divided into two groups: control and treated with 1-MCP (300 ppb, 24 h, 0 °C). Control and treated fruits were stored at 0 °C for 90 d and subsequently transferred to 20 °C for 5 d. During the storage period ethylene production and chlorophyll degradation were assessed. Upon transfer to 20 °C, ethylene production, firmness, surface color (hue), soluble solids content (SS) and titratable acidity (TA) were analyzed. Fruit chlorophyll level decreased for the three harvest moments during storage at 0 °C and no differences between control and treated fruit were observed. However, 1-MCP treatment significantly reduced ethylene production. No differences were observed between treatments after 90 d at 0 °C but after 5 d at 20 °C control fruits were softer and presented lower hue and acidity than 1-MCP treated pears. 1-MCP treatments were effective at all the maturity stages. In summary 1-MCP is useful to complement cold storage of 'Williams' pears and the treatments are effective in fruits harvested between 112 and 126 DAFB. It would be important to determine the time required for treated fruit reach organoleptic maturity once removed from cold storage depending on the initial ripening stage and treatment conditions.

Keywords: Williams pears, quality, postharvest, fruit, storage, ethylene

1. INTRODUCCIÓN



1.1. ORIGEN E HISTORIA DE LA PERA WILLIAMS

El cultivo del peral se inicia en China hace unos tres mil años, aunque algunos documentos sugieren una posible procedencia europea (INTA, 2010). La primera especie domesticada fue *Pyrus pyrifolia*. La pera Williams fue descubierta originalmente en 1765 en Inglaterra por el señor Stair y fue llamada "Stair's pear". Posteriormente, un viverista llamado Williams la adquirió y diseminó por toda Inglaterra, y a partir de allí la variedad tomó su nombre. En la Argentina se cree que la variedad fue introducida por el comerciante inglés James Brittain hacia el año 1817, quien la cultivó a orillas de la desembocadura del Riachuelo en Buenos Aires. En el Alto Valle de Río Negro el cultivo y propagación de esta variedad de peral tendría sus orígenes gracias al inmigrante suizo Wilhem Kopprio, quien instaló un vivero en la zona de Allen. Hacia 1910 trajo de Francia un pie de membrillero de Angers sobre el cual injertó la mayoría de sus perales. En su primer catálogo de plantas (1926) Kopprio definía a los frutos de la variedad Williams como "grandes, mantecosos y excelentes para el comercio". En la década de 1920 en las estaciones experimentales de Río Negro, aunque las variedades de peral sumaban 24, la principal ya era la Williams.

1.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA PERA EUROPEA (*Pyrus communis*)

La pera europea *Pyrus communis* pertenece a la subdivisión Angiosperma; Clase Dicotiledónea; subclase Rosidae, orden Rosales, familia Rosáceas, subfamilia Pomoideas. El peral es un árbol piramidal que puede alcanzar los 20 metros de altura. Tiene una vida media de 65 años (INTA, 2010). La planta posee raíz profunda con el eje central muy desarrollado, la que le permite tener buen anclaje y buen comportamiento en condiciones de baja disponibilidad hídrica. Su tronco es alto, grueso, de corteza agrietada y gris. Las ramas se insertan formando un ángulo de 45 grados con el tronco; inicialmente son de corteza verde y luego gris-violácea con numerosas lenticelas. Las hojas del peral son caducas, de forma ovalada, de textura coriácea, con peciolo casi tan largo como la lámina. Las flores tienen ovario ínfero, cáliz con cinco sépalos, pétalos blanco o blanco-rosado y se agrupan en corimbos umbeliformes. El fruto es un pomo, estrechado en un extremo. En el interior está dividido en cinco lóculos, cada uno con 1 a 2 semillas de cubierta exterior lisa o algo mucilaginoso. La piel del fruto es más o menos lisa, de color verde y toma color pardo o amarillento al madurar. Su pulpa es dura, en un inicio, ácida y a la madurez se torna blanda y dulce.

1.3. PRODUCCIÓN DE PERA

China lidera dentro de los países productores de pera a nivel mundial con más de 15 millones de toneladas (**Tabla 1**). De todos modos, la mayor parte de su producción corresponde a pera asiática (*Pyrus pyrifolia*). Dentro de los productores importantes de pera europea a nivel mundial se destacan Estados Unidos, Argentina e Italia con niveles similares y cercanos a 700.000 T (www.faostat.org). Con respecto a los exportadores se destaca China en la exportación de pera asiática en términos de volumen, aunque el 9 % de su producción se destina a satisfacer su extenso mercado interno. Argentina es el primer exportador mundial de pera europea con un volumen de 400.000 T, lo que representa el 60% de su producción. Otros exportadores relevantes son los Países Bajos, Bélgica y Estados Unidos. Finalmente, los principales compradores en el comercio internacional de pera son la Federación Rusa, Alemania y Brasil.

Tabla 1: Principales productores, exportadores e importadores de pera a nivel mundial para el año 2010 (www.faostat.org).

	País	Volumen (T)
PRODUCCIÓN	China	15.231.858
	Estados Unidos	738.085
	Italia	736.646
	Argentina	704.200
	España	473.400
EXPORTACIÓN	China	462.844
	Argentina	454.041
	Países Bajos	314.529
	Bélgica	210.289
	Estados Unidos	166.237
IMPORTACIÓN	Federación Rusa	311.583
	Alemania	162.735
	Brasil	161.875
	Francia	144.816
	Italia	128.630

1.4. PRODUCCIÓN DE PERA EN LA ARGENTINA

La zona productora de pera por excelencia es el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. En menor medida, se produce en los Valles Medio e Inferior de Río Negro y Neuquén y en Mendoza, en el Valle de Uco. La cosecha se realiza entre Diciembre y Marzo. La región del Alto Valle de Río Negro y Neuquén posee en la actualidad unas 20.500 Ha de pera en producción (www.funbapa.org.ar). En ellas, el cultivo de pera Williams, ocupa 9.600 ha. Sólo el 14% tiene más de 40 años, la mayor proporción de la superficie de la variedad se encuentra en edad productiva. En la temporada 2007-2008 se obtuvieron 344.000 T de pera Williams, equivalentes al 45,5% de la producción regional. El 30% de la producción corresponde a la variedad PackhamsTriumph y le siguen la Beurré D'Anjou con el 10%, Red Bartlett con 6% y Abate Fetel con el 2%. El resto corresponde a otras variedades. A continuación se describen algunas características de las principales variedades de pera:

- **Williams:** posee piel fina y suave y color amarillento (**Figura 1**). La pulpa es de color blanco-crema, de textura fina, jugosa y típicamente aromática, lo que la hace excelente para su consumo fresco y enlatado (Raffo et al., 2011).
- **Packhams Triumph:** grandes, de color verde-amarillento. La pulpa es color blanco-crema, consistente y de sabor dulce a ligeramente ácido.
- **Beurré D'Anjou:** de color verde y tamaño mediano, con forma cónica y con muchas lenticelas de color oscuro. La pulpa es de textura mantecosa y ligeramente granulada, aromática, jugosa y de sabor dulce a ligeramente ácido.
- **Red Bartlett:** la epidermis es lisa, de color rojo oscuro en madurez, más intenso en la cara expuesta al sol. Tiene las características organolépticas de las Williams amarillas.
- **Abate Fetel:** fruto elongado, de cuello largo y forma irregular. La epidermis es fina y lisa, aunque con algo de *russet* en las zonas cercanas al cáliz y al pedúnculo. De color verde claro a amarillento, a veces con un rosado tenue en la cara que está expuesta al sol. La pulpa es blanca, consistente, de textura fina, jugosa y de sabor neutro.

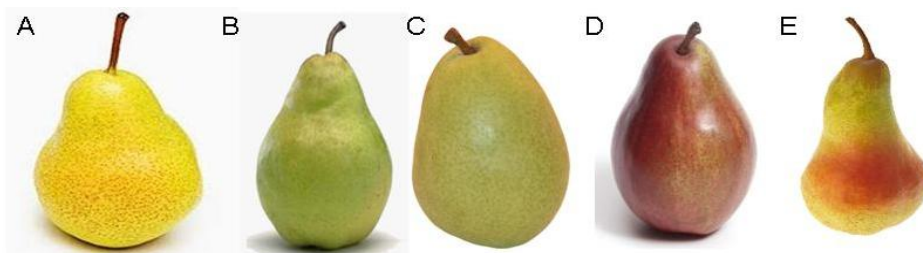


Figura 1: Variedades de pera a) Williams, b) PackamsTriumph c) Beurré D'Anjou d) Red Bartlett, e) Abate Fetel.

Como se mencionó anteriormente, el principal destino de la producción es la exportación. El 61% de la producción ingresa a los mercados del mundo, el 17% se comercializa en el mercado doméstico y el 22% se industrializa para la producción de jugo concentrado (INTA, 2010).

1.5. ASPECTOS GENERALES DE CONSERVACIÓN DE PERA WILLIAMS

El manejo de la temperatura luego de la cosecha es importante para mantener la calidad, por su corto potencial de conservación. El almacenamiento refrigerado procura disminuir la velocidad de respiración de los frutos así como otras reacciones metabólicas e incrementar la capacidad de almacenamiento (Kader, 2002). La temperatura y humedad relativa recomendadas son de -0,5 °C y 90-95% respectivamente. En estas condiciones la pera Williams mantiene su calidad por 3 a 4 meses, según el estado de madurez al momento de la cosecha (Benítez, 2001; Chen y Mellenthin, 1981). Un retraso en el enfriamiento disminuye el potencial de conservación e incrementa la incidencia de decaimiento interno, entre otras fisiopatías. Entre estos múltiples efectos favorables que produce el almacenamiento a las temperaturas adecuadas podemos mencionar: reducción de la actividad metabólica (retraso de la maduración y senescencia), disminución de la producción y sensibilidad al etileno, disminución del desarrollo de microorganismos y el control de la deshidratación. Además la pera europea, en algunos casos, presenta dificultades para madurar en forma apropiada si no pasa por un período de almacenamiento a baja temperatura.

Las atmósferas controladas (AC) resultan de utilidad en pera como complemento al almacenamiento refrigerado ya que reducen la respiración, la producción de etileno, el

cambio de color del verde al amarillo, el ablandamiento, el desarrollo de escaldadura superficial y la incidencia de podredumbres (Mitcham et al., 2012).

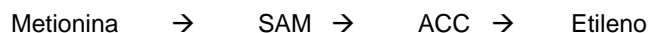
Los niveles de gases empleados en AC dependen de la madurez de los frutos. Un contenido de 1-3% de O₂ con 0-3% de CO₂ ha brindado buenos resultados (INTA, 2010). En estas condiciones el período de almacenamiento puede extenderse excepcionalmente hasta 5-6 meses. Sin embargo, pueden aparecer ciertos desórdenes inherentes a la acumulación excesiva de CO₂ o a la reducción muy drástica de O₂ que ocasiona problemas de maduración cuando los frutos se remueven de las condiciones de AC, así como pardeamiento de la pulpa, cavidades y fermentación y la acumulación de acetaldehído, etanol y acetato de etilo con el desarrollo de sabores desagradables (Kader, 2002).

1.6. EL ETILENO EN LA POSTCOSECHA DE FRUTOS

Los efectos del etileno en las plantas se conocen desde la antigüedad. A inicios del siglo XX comenzó a estudiarse el rol de este compuesto con más detenimiento al observarse que las plantas que se encontraban cercanas a fuentes de iluminación a gas (cuya combustión puede producir algo de etileno) mostraban anormalidades (Kader, 2002). En la actualidad se conoce que muchas facetas del crecimiento y desarrollo de las plantas están afectados por el etileno.

1.6.1. Biosíntesis del etileno

Inicialmente se demostró que el aminoácido metionina era el precursor para la producción de etileno en manzanas. Investigadores de la Universidad de California en Davis, identificaron al SAM (S-adenosil-metionina) como otro componente clave en la vía, y entonces, casi simultáneamente, Lürsen, en Alemania Oriental, y Adams y Yang en UC Davis, descubrieron que el SAM era convertido a un aminoácido cíclico poco común, el ACC (ácido 1- aminociclopropano-1-carboxílico) (Adams y Yang, 1979). La ruta de síntesis de etileno en plantas podría resumirse según el siguiente esquema:



Una característica notable de los efectos del etileno en las plantas es la concentración tan baja a la que actúa. La maduración de frutos, por ejemplo, ocurre generalmente a una velocidad máxima en niveles de una parte por millón. Para que exista una respuesta fisiológica es necesario que la hormona sea detectada por un receptor. En

la última década se han identificado los receptores del etileno en plantas y se han desarrollado estrategias para bloquearlos (Kader, 2002).

1.6.2. Propiedades físicas, químicas y toxicológicas del etileno

El etileno es el primer miembro de la serie de hidrocarburos insaturados u olefinas. Es un gas anestésico y asfixiante. Las mezclas del gas etileno y aire son potencialmente explosivas cuando la concentración del etileno se incrementa por arriba de 3,1% v/v. Puede provocar quemaduras en la piel y en los ojos por contacto. El uso de etileno para promover la maduración de frutos y hortalizas, está permitido.

1.6.3. Efectos del etileno

El etileno posee numerosos efectos en plantas (Abeles, 1992).

- ✓ Estimula la germinación de algunas semillas latentes.
- ✓ Cambia la dirección del crecimiento de las plántulas para superar obstáculos en el suelo.
- ✓ Estimula el crecimiento de raíces especialmente aireadas y favorece la formación de aerénquimas en plantas anegadas.
- ✓ Causa la abscisión.
- ✓ Puede estimular la floración en algunas especies.
- ✓ Puede favorecer la diferenciación de flores femeninas en algunas especies.
- ✓ A menudo dispara la maduración y abscisión de frutos.
- ✓ Estimula algunas respuestas contra el estrés biótico y abiótico.
- ✓ Promueve la epinastia foliar.

1.6.4. Usos del etileno

El etileno puede utilizarse con diferentes objetivos tanto en el cultivo como en el manejo postcosecha de frutas, hortalizas y flores:

- ✓ Sincronizar la floración de ananá.
- ✓ Acelerar la abscisión y la cosecha de frutos secos.
- ✓ Inducir la floración de algunas plantas bulbosas.
- ✓ Desverdizar cítricos.
- ✓ Inducir la maduración de frutos climatéricos.
- ✓ Eliminar la astringencia de caqui.
- ✓ Inhibir la ruptura de dormición en papa.

1.6.5. Condiciones para realizar tratamientos de maduración de frutos

La efectividad del etileno para promover una maduración rápida y uniforme depende del tipo de fruto que está siendo tratado, de su madurez, de la temperatura y humedad (HR), de la concentración de etileno y de la duración del tratamiento (Saltveit, 1999). En general, las condiciones de maduración óptimas son:

- ✓ Temperatura: 18 a 25°C.
- ✓ HR: 90 A 95 %.
- ✓ Concentración de etileno: 100 a 200 ppm.
- ✓ Duración del tratamiento: 24 a 72 horas, dependiendo del tipo de fruto y del estado de madurez.
- ✓ Circulación del aire: suficiente para mantener temperaturas uniformes dentro del cuarto de maduración.
- ✓ Ventilación: se requieren intercambios de aire adecuados para prevenir la acumulación de CO₂, el cual reduce la acción del etileno.

1.6.6. Efectos indeseables del etileno

El etileno puede ocasionar algunos efectos indeseables (Kitinoja, 1996):

- ✓ Acelerar la senescencia.
- ✓ Promover la abscisión.
- ✓ Inducir la formación de compuestos amargos en zanahoria.
- ✓ Favorecer la lignificación de espárragos.
- ✓ Promover algunos desórdenes fisiológicos y el daño por frío en algunas especies.

1.6.7. El etileno en frutos de pera

Dado que la pera es un fruto climatérico, el etileno juega un rol central en su proceso de maduración. Entre las consecuencias de la aplicación de etileno en peras, se observa un incremento en los niveles de azúcares simples y pectinas solubles (Hansen, 1939), una reducción en el contenido de clorofila, almidón y en la firmeza (Villalobos-Acuña y Mitcham, 2008). El etileno en pera puede favorecer algunas respuestas indeseables como el desarrollo de diversos desórdenes fisiológicos de postcosecha, entre ellos, la escaldadura superficial y el pardeamiento interno (Kader, 1985; Bower et al., 2003). Estas respuestas pueden desencadenarse aún a concentraciones tan bajas como 1 ppm (Bower et al., 2003).

1.7. CONTROL DEL ETILENO

En ciertos casos resulta de interés controlar al etileno para minimizar o evitar sus efectos. La reducción de la acción del etileno puede ser de utilidad para extender la capacidad de almacenamiento y reducir la escaldadura superficial (Salunkhe y Desai, 1984). Las estrategias para controlar al etileno se basan en:

- a) evadirlo
- b) removerlo
- c) inhibirlo

1.7.1. Estrategias de evasión

Se basan en evitar fuentes de etileno innecesarias. Los productos sensibles al etileno deben ser manejados usando montacargas eléctricos y los vehículos impulsados por motores de combustión interna deberían estar aislados de las áreas de manipulación y almacenamiento. Deben eliminarse los restos de frutos en descomposición y no debe fumarse en áreas con frutos.

1.7.2. Estrategias de remoción

Los altos niveles de etileno en los almacenes y en las áreas de manejo de productos perecederos pueden reducirse por diferentes métodos. La ventilación puede conseguirse instalando un extractor y es una forma sencilla de reducir la concentración del etileno. El etileno puede ser removido también utilizando oxidantes como el permanganato de potasio adsorbido a materiales porosos como la vermiculita. Las lámparas ultravioleta producen ozono capaz de oxidar al etileno. En la actualidad se han desarrollado algunos oxidantes basados en catalizadores metálicos como el paladio o platino.

1.7.3 Control de la biosíntesis o acción del etileno

La biosíntesis del etileno, por ser un proceso enzimático, puede reducirse refrigerando los frutos. Las atmósferas modificadas también permiten disminuir la producción de etileno. Se han identificado inhibidores de la biosíntesis del etileno como la amino-etoxi-vinil-glicina (AVG) y el ácido-amino-oxiacético (AOA) que se han utilizado en flores. Otra forma de minimizar los efectos del etileno es reduciendo su acción, lo que implica encontrar algún método que deprima el metabolismo general o bien que afecte a los receptores de la hormona y/o a otros miembros de su cadena de transducción de señales en forma directa. Una ventaja de los inhibidores de la acción es que protegen tanto

del etileno endógeno como exógeno. Existen varias técnicas disponibles para inhibir los efectos del etileno. La baja concentración de oxígeno y la alta concentración de CO₂ pueden inhibir la acción del etileno. El tiosulfato de plata es un compuesto capaz de inhibir la acción del etileno. Dada la toxicidad de los iones plata, se lo utiliza comercialmente en flores. Más recientemente se han descubierto moléculas orgánicas que bloquean los receptores de etileno como el 1-metilciclopropeno (Blankenship y Dole, 2003).

1.8. 1-METILCICLOPROPENO

El 1-MCP para cultivos comestibles fue lanzado al mercado por Rohm & Haas, bajo el nombre comercial SmartFresh®. El producto formulado consiste en una matriz de ciclodextrina en la que el 1-MCP gaseoso es retenido. Las aplicaciones se realizan colocando al producto en un lugar hermético con los frutos. La adición de agua permite disolver a la ciclodextrina y liberar el principio activo. A temperatura y presión normales el 1-MCP es liberado. Este proceso demora 20-30 minutos aunque puede extenderse a baja temperatura. El producto es efectivo en dosis extremadamente bajas (partes por billón) (Ku et al., 1999; Fan et al., 1999a; Sisler y Serek, 1999). El empleo de 1-MCP en nuestro país se encuentra autorizado para pera, manzana, tomate y ciruela (www.casafe.org). El 1-MCP tiene un enorme potencial de uso comercial para extender la vida en postcosecha de productos vegetales, como así también en programas de investigación, para lograr un conocimiento más preciso de las respuestas del etileno (Blankenship y Dole, 2003; Watkins, 2006; Sozzi y Beaudry, 2007). Las peras europeas se encuentran dentro de las especies que presentan una buena respuesta al 1-MCP (Calvo y Sozzi, 2004; Sozzi y Beaudry, 2007; Defilippi et al., 2011). Se ha demostrado que los tratamientos con el inhibidor de la acción del etileno reducen la pérdida de firmeza de pulpa y la incidencia de desórdenes relacionados con la senescencia (Calvo, 2008; Trincherro et al., 2004). De todos modos, la eficacia de los tratamientos depende de diversos factores dentro de los que se destacan la variedad y las condiciones de precosecha (Calvo y Sozzi, 2004; Sozzi y Beaudry, 2007; Defilippi et al., 2011; Raffo et al., 2008). En varios frutos se ha descrito que el grado de madurez al momento de realizar los tratamientos con 1-MCP puede tener efectos importantes sobre su efectividad (Watkins, 2006). *En el presente trabajo se evaluó el efecto del estado de madurez sobre la eficacia de tratamientos con 1-MCP en pera 'Williams'.*

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS



OBJETIVO GENERAL

-Evaluar la eficacia de tratamientos postcosecha que permitan complementar a la refrigeración en el manejo de peras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Analizar la influencia de los tratamientos con 1-MCP sobre la producción de etileno en pera 'Williams'.

-Determinar la influencia del estado de madurez sobre la eficacia de los tratamientos con 1-MCP en pera 'Williams'.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

-Los tratamientos con 1-MCP disminuyen la producción de etileno, siendo este efecto más marcado en los frutos cosechados tempranamente.

-Los tratamientos con 1-MCP pierden eficacia cuando se retrasa la cosecha de 112 a 126 días después de plena floración (DDPF).

3. MATERIALES Y MÉTODOS



3.1. MATERIAL VEGETAL Y ALMACENAMIENTO

Los frutos se cosecharon en tres fechas de una chacra comercial del Alto Valle, ubicada en la localidad de Guerrico, Río Negro, Argentina. Los mismos se extrajeron de 2 filas previamente marcadas de un cuadro conducido en espaldera sobre pie franco en un marco de plantación de 4 x 4 metros. Luego de 112, 119 ó 126 días de plena floración (DDPF) se cosecharon 1350 frutos (450 por fecha). Dado que la definición de estado de desarrollo a partir de DDPF puede resultar poco precisa en grupos heterogéneos por ser la floración un estado no fenológico que abarca un período de tiempo no puntual, los lotes se homogeneizaron según su color superficial a partir de determinaciones de la diferencia de absorbancia (DA) según se describe en la sección 3.2.b eliminando así los frutos muy maduros o inmaduros. Se seleccionaron así 300 frutos para cada fecha de cosecha. Los límites de DA para cada una fueron:

- 112 DDPF (16/01): DA > 1,2 (16/01)
- 119 DDPF(23/01): DA 1,2-1 (23/01)
- 126 DDPF (30/01): DA < 1 (30/01)

De los 300 frutos seleccionados para cada cosecha, 60 se utilizaron (3 repeticiones de 20) para realizar las evaluaciones de calidad al momento de cosecha y los 240 frutos restantes se dividieron en dos lotes de 120 frutos cada uno. Uno de los lotes se utilizó como control y el segundo fue sometido a un tratamiento con 1-MCP. Los tratamientos se realizaron pesando la cantidad necesaria de producto comercial con 0,14% de ingrediente activo SmartFresh® (Rohm & Haas, USA) para lograr una concentración de 300 ppb en un contenedor de 0,86 m³ de acero inoxidable (**Figura 2**). Los frascos con las cantidades medidas de SmartFresh® se colocaron dentro del contenedor en el que se ubicó los frutos a tratar. Posteriormente se agregó agua (45 °C) para liberar el principio activo, se cerró el contenedor herméticamente y se encendieron ventiladores para asegurar una adecuada distribución del producto. Luego de 24 h a 0 °C se abrieron los contenedores y se retiraron los frutos. Las peras control o tratadas se embalaron en cajas de cartón (**Figura 2**) con una bolsa de polietileno en su interior y se almacenaron a -0,5 °C durante 90 días. Finalizado dicho período se transfirieron los frutos a 20 °C por 5 d. Luego de 15, 30, 45, 60, 75 y 90 d de almacenamiento refrigerado se evaluó la producción de etileno y la DA. La evaluación de índices de calidad (color superficial, firmeza, sólidos solubles y acidez titulable) y la

producción de etileno también se evaluaron al momento de cosecha y luego de 90 d a -0,5 °C y 5 d a 20 °C.



Figura 2: A. Contenedor hermético para realización de tratamientos con 1-MCP. B: Cajas con frutos control y tratados con 1-MCP previos al almacenamiento refrigerado

3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.2.1. Degradación de almidón

Se sumergieron los frutos en una solución de lugol. Se determinó el porcentaje de degradación de almidón por el grado de tinción comparado con tablas varietales. A medida que avanza la madurez, el almidón acumulado como sustancia de reserva, comienza su degradación, transformándose lentamente en azúcares solubles, virando la coloración del lugol. La hidrólisis del almidón comienza en la zona de los haces vasculares y luego se extiende hacia la periferia. Las muestras se evaluaron al momento de cosecha.

3.2.2. Diferencia de absorbancia (DA)

En los últimos años se avanzado notablemente en el desarrollo de tecnologías basadas en espectroscopía en el rango de VIS-NIR (visible-infrarrojo cercano) que realizan mediciones a longitudes de onda específicas de interés. Estos equipos son no destructivos y son menos costosos que aquellos que permiten medir todo el espectro (Ziosi et. al, 2008). La evaluación de la diferencia de absorbancia es una determinación no destructiva de la absorción de la luz de una superficie. En frutos se utiliza para estimar los niveles de clorofila y por ende su color superficial. La determinación se realizó en un espectrofotómetro (HR 2000 OceanOptics, USA), provisto con una sonda de lectura y una

lámpara halógena de tungsteno como fuente de iluminación (**Figura 3**). La sonda se apoyó sobre la superficie de los frutos. A partir de la radiación reflejada a dos longitudes de onda diferentes el equipo estima la absorbancia de radiación en estas longitudes de onda. La absorbancia se determina a 677 nm y a 722 nm. La primera coincide con una zona de absorción de la clorofila mientras que la segunda es una zona de baja absorción del mencionado pigmento (Gomila, 2010). La DA se calcula como $DA = Abs_{677} - Abs_{722}$. A mayor valor de DA mayor contenido de clorofila de los frutos. Las lecturas se adquirieron al software Spectra Suite, OceanOptics, USA), donde se procesaron los datos. Las muestras se evaluaron al momento de cosecha cada 15 d durante el período de almacenamiento refrigerado (90 d).

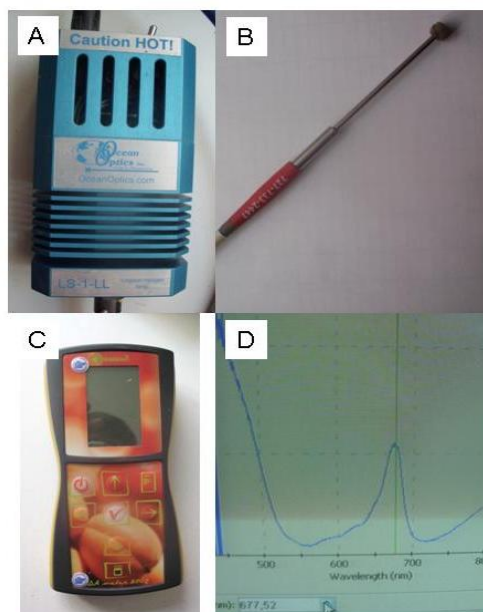


Figura 3: A: Lámpara halógena de tungsteno. B. Fibra óptica. C. Espectrofotómetro de campo. D. Curva típica de absorbancia de la clorofila.

3.2.3. Producción de etileno

La determinación de etileno en frutos se realiza por cromatografía gaseosa. La cromatografía es un método de separación de los componentes de una muestra mientras se desplazan en una fase móvil a través de una fase estacionaria. Para obtener las muestras se incubaron frutos individuales en envases herméticos (1,5 L) por 30 min y se tomó una

muestra 1 mL del espacio de cabeza con una jeringa. La muestra se analizó con un cromatógrafo Modelo GC-14A (Shimadzu, Japón) (**Figura 4**). La fase estacionaria en este caso fue una columna de alúmina (40 °C), mientras que se utilizó helio como gas portador. La detección se realizó con un detector de ionización de llama (210 °C). El mismo funciona por combustión de la muestra, generando iones que producen una señal para cada compuesto que eluye de la columna. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento y tiempo de almacenamiento y los resultados se expresaron en $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Se realizaron determinaciones cada 15 d durante el período de almacenamiento (90 d) y durante la vida en estante al finalizar el mismo.

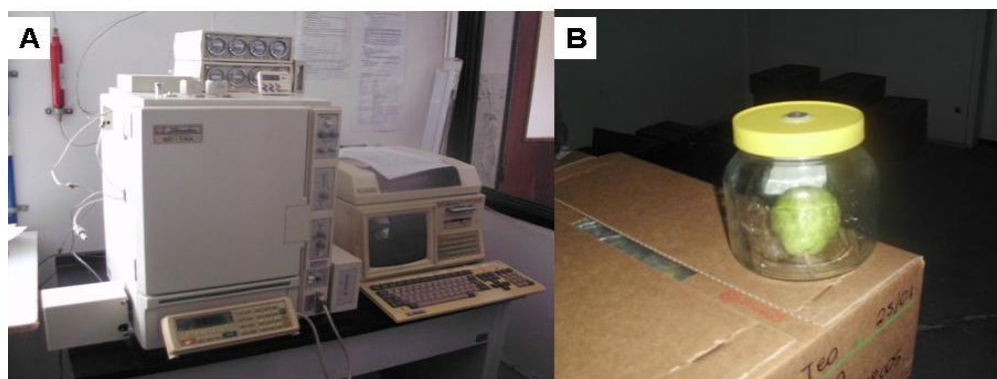


Figura 4: Cromatógrafo de gases para determinación de etileno. B. Frutos en incubación para determinación de etileno.

3.2.4. Firmeza de pulpa

Se determinó midiendo la fuerza requerida para penetrar cada fruto mediante un presiómetro (FTA-GS14, Güss, Sudáfrica), dotado de un émbolo de 7,9 mm (**Figura 5**). Se quitó la piel en dos puntos opuestos del plano ecuatorial, haciendo un corte tangencial poco profundo. Se tomó el promedio de esas dos mediciones por fruto y se analizaron 30 frutos para cada tiempo y tratamiento. Las muestras se evaluaron al momento de cosecha y al final del período de almacenamiento (90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C). Los resultados se expresaron en libras (Lb).

3.2.5. Color superficial

El color se determinó en una muestra de 10 frutos con un colorímetro (Minolta CR300, Japón). Para la medición el equipo envía un destello de luz sobre la superficie del fruto y luego analiza la luz reflejada en la misma. Al arrojar valores numéricos elimina la percepción del observador y con ella la subjetividad que existe en otros casos como por ejemplo con el uso de las cartas de color. Se realizaron 2 determinaciones por fruto en dos caras opuestas obteniéndose las coordenadas espaciales del color CIELAB (L^* , a^* , b^*):

L^* : Mide la luminosidad de la muestra, en una escala de 1 a 100.

a^* : Mide los valores del verde al rojo, en escala -60 a +60.

b^* : Mide los valores del azul al amarillo, en escala -60 a +60.

Posteriormente se calculó el ángulo hue [$180 - \text{tg}^{-1}(b^*/a^*)$] que corresponde al tono del color. Las muestras se evaluaron al momento de cosecha y al final del período de almacenamiento 90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C.

3.2.6. Sólidos solubles

La medición se realizó por refractometría. Este método se basa en que la desviación de la dirección de la luz al atravesar un medio depende de la composición y de los niveles de sustancias disueltas en el mismo. Se extrajo el jugo de los frutos y se colocó la muestra en un refractómetro autocompensado (PAL-1, Atago, Japón) (**Figura 5**). Los resultados se expresaron en % p/p. Las muestras se evaluaron al momento de cosecha y al final del período de almacenamiento (90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C).



Figura 5: A. Bandejas de peras PackamsTriumph para realizar índices de madurez. B. Refractómetro autocompensado para la determinación de sólidos solubles. C: Presiómetro de laboratorio para determinación de firmeza.

3.2.7. Acidez titulable

La acidez se determina por un método volumétrico. Se basa en la reacción de neutralización de los ácidos presentes en los frutos con NaOH de normalidad conocida. A partir de la cantidad de equivalentes de base necesarios en la reacción se determina la acidez de los frutos. Se tomó una muestra de 10 mL de jugo y se tituló con NaOH 0,1 N hasta pH 8,2. El punto final se determinó en forma potenciométrica. La acidez se calculó según:

$$\text{Acidez málica (g/L)} = V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times 0,067 \times 1000/V$$

Donde:

V_{NaOH} = Volumen de NaOH gastado en la titulación (mL)

N_{NaOH} = Normalidad del NaOH gastado en la titulación (eg/L)

0,067 = Peso de 1 miliequivalente de ácido málico.

V= Volumen de jugo analizado (mL)

Las muestras se evaluaron al momento de cosecha y al final del período de almacenamiento (90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C).

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un diseño factorial con los siguientes factores: tratamiento (control o 1-MCP), tiempo de almacenamiento y estado de madurez. Los datos se analizaron por un análisis de varianza (ANOVA). Las medias se compararon por el test de Fisher con un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. PRODUCCIÓN DE ETILENO EN EL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

Los frutos de la primera cosecha comenzaron a incrementar la emisión de etileno a partir del día 60 de almacenamiento (**Figura 6**), mientras que en las peras separadas de la planta a los 119 ó 126 DDPF el aumento de producción ocurrió anticipadamente, coincidiendo con su estado de madurez más avanzado (**Figuras 7 y 8**). Para las tres épocas de cosecha, los tratamientos con 1-MCP redujeron en forma significativa la producción de etileno. Solamente en las peras cosechadas a los 126 DDPF el climaterio se manifestó en forma completa tanto en frutos control como tratados pero con menores niveles máximos de producción de la hormona. En las cosechas anteriores al finalizar las evaluaciones luego de 90 días aun no se había evidenciado el pico climatérico. Los resultados muestran claramente que el 1-MCP más allá de afectar la acción del etileno, su función directa establecida, reduce en forma significativa su producción. Los genes que codifican las dos enzimas claves de la ruta biosintética del etileno, la oxidasa y sintasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico, se han estudiado en varias especies frutales observándose una menor expresión como consecuencia de la exposición al 1-MCP (Lelievre et al, 1997; DeWild et al, 1999; Defilippi et al., 2005).

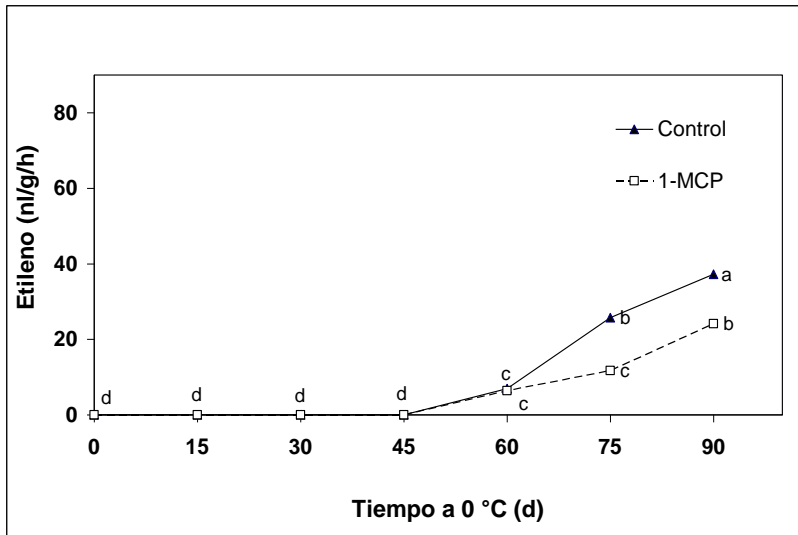


Figura 6: Producción de etileno en frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

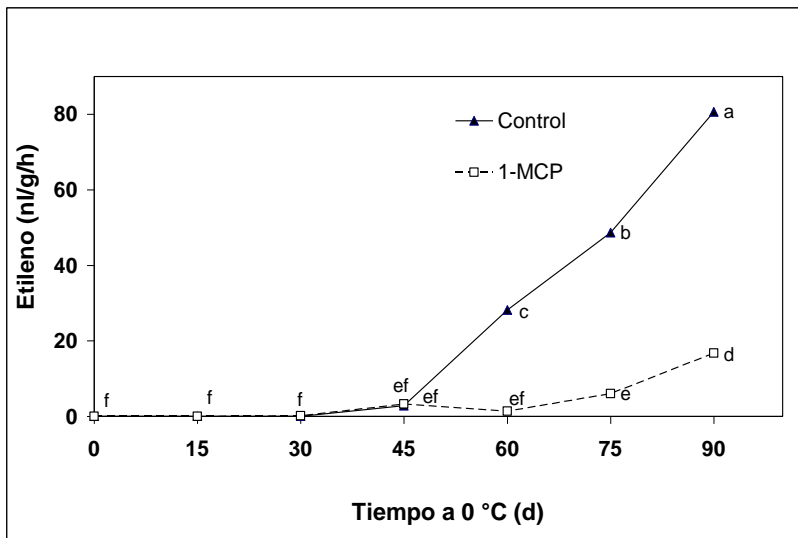


Figura 7: Producción de etileno en frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

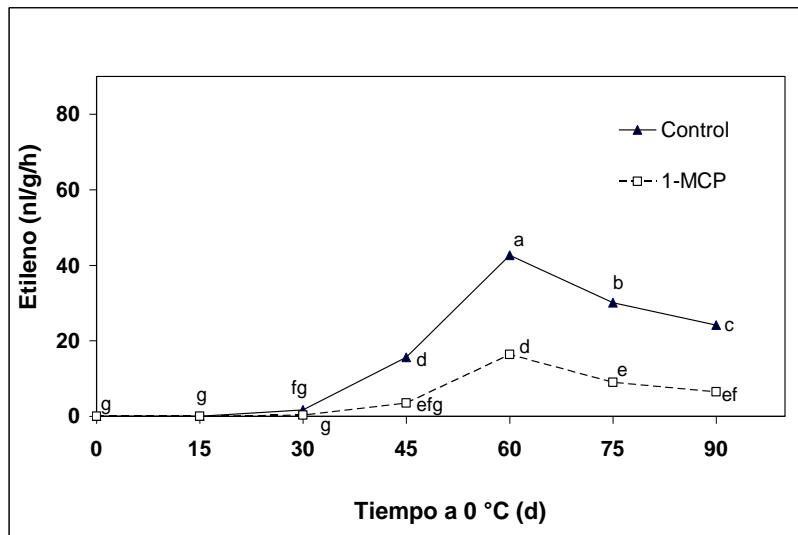


Figura 8: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DAPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

4.2. COLOR SUPERFICIAL EN EL ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

Los frutos van sufriendo una serie de cambios a lo largo de la maduración (Kader, 2002). En pera la clorofila se degrada permitiendo que se pongan de manifiesto los carotenoides que le dan el tono amarillo característico (INTA, 2010).

La DA de los frutos durante el almacenamiento refrigerado disminuyó en las tres cosechas estudiadas, evidenciando el avance de la madurez. En este parámetro no se encontraron diferencias entre frutos control y tratados con 1-MCP (**Figuras 9, 10 y 11**). La caída inicial de DA y con ello la pérdida de clorofila, ocurrió para las tres cosechas ensayadas, en forma previa a un incremento significativo en la producción de etileno. Esto implica, o bien que la degradación del pigmento es al menos en parte independiente del etileno o que niveles de esta hormona muy bajos son suficientes para desencadenar el proceso. Es importante destacar que si bien no se encontraron diferencias en la evolución de DA entre peras control y tratadas en los 90 d de refrigeración, ambos grupos de frutos no habían llegado aún a la madurez de consumo (**Figura 12**).

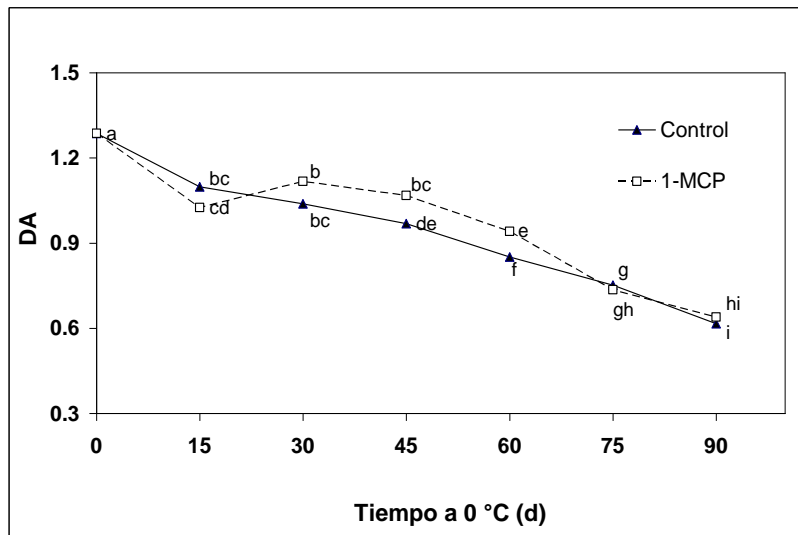


Figura 9: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DAPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

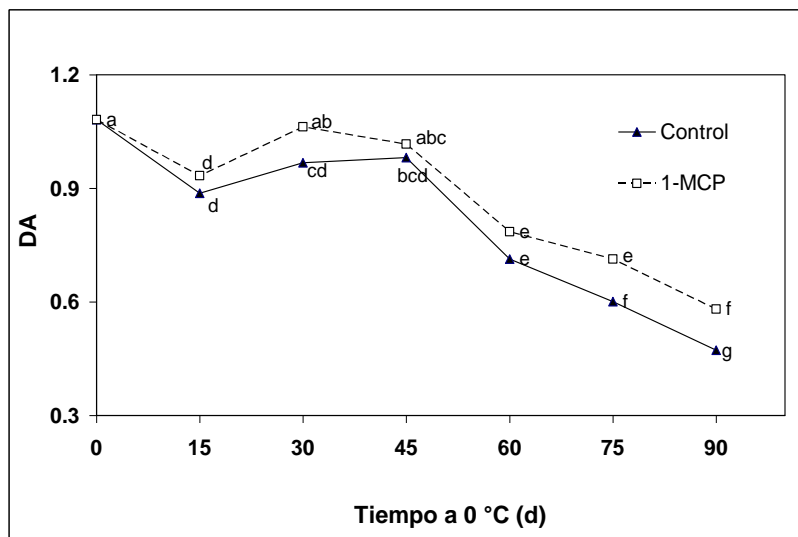


Figura 10: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

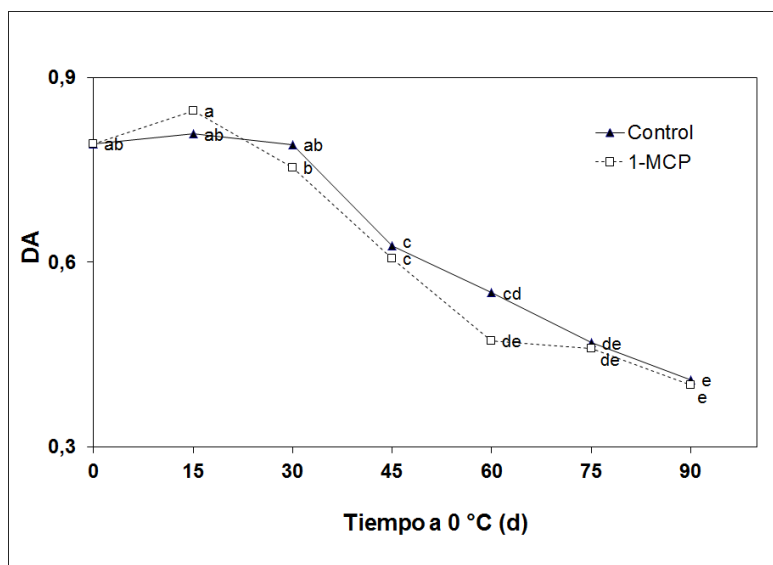


Figura 11: Diferencia de absorbancia (DA) de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

4.3. PRODUCCIÓN DE ETILENO DURANTE LA VIDA EN ESTANTE

Tanto los frutos control de 112 DDPF como los de 119 DDPF mostraron sus picos climatéricos característicos luego de la transferencia a 20 °C. En los frutos más inmaduros (112 DDPF) el pico se produjo luego de 4 d a 20°C con una magnitud de 189 nl/g/h, mientras que en los frutos control de 119 d, el máximo se observó luego de 1 d y su magnitud fue de 125 nl/g/h. La producción de etileno en los frutos tratados con 1-MCP fue significativamente menor (**Figura 12 y 13**). En las peras cosechadas a los 126 DDPF si bien su pico climatérico ya se había presentado durante el almacenamiento a 0 °C la producción de etileno continuó siendo inferior en los frutos tratados con 1-MCP (**Figura 14**). En síntesis, los resultados muestran que los tratamientos con 1-MCP inhiben la biosíntesis de etileno.

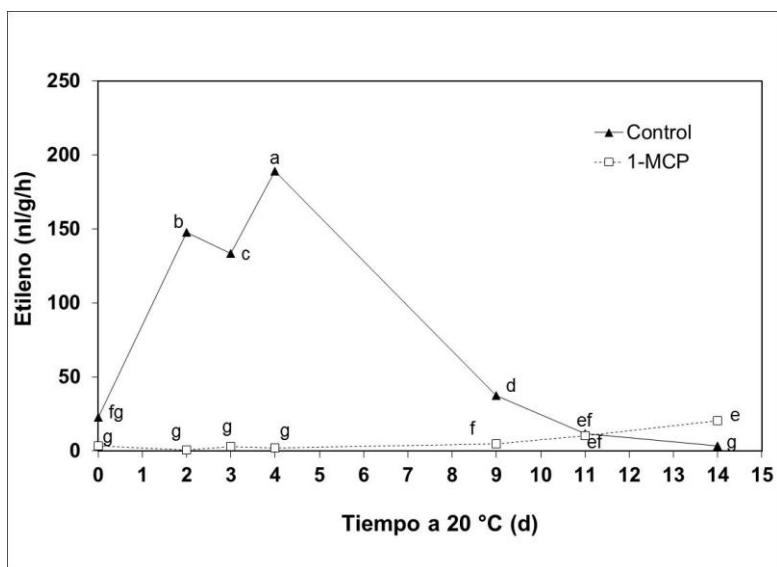


Figura 12: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20 °C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

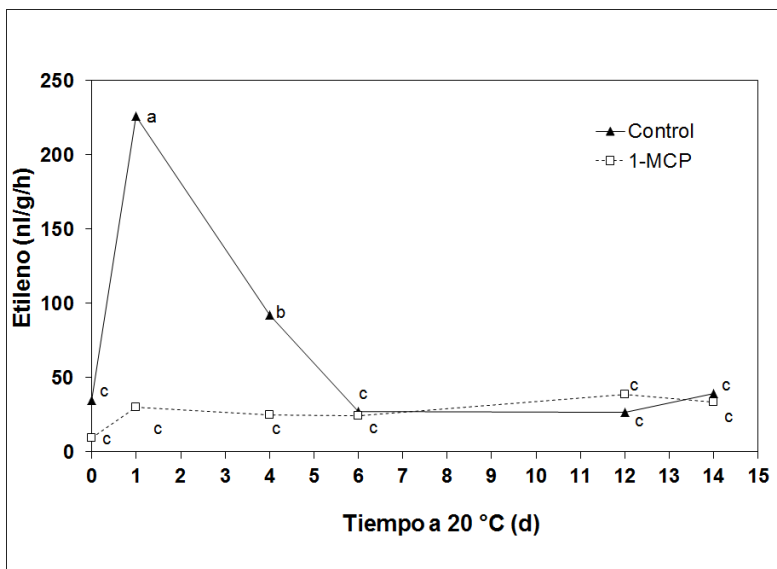


Figura 13: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 119 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20 °C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

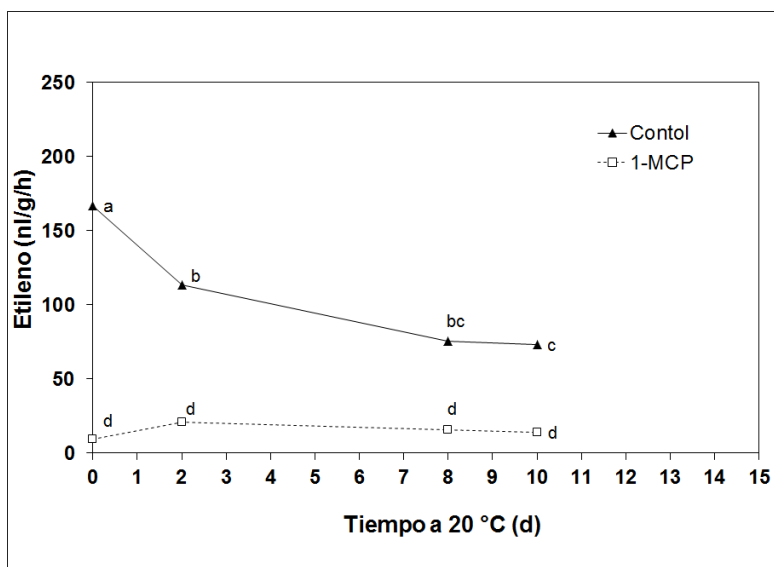


Figura 14: Producción de etileno de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 126 DDPF y almacenados a 0 °C por 90 d y transferidos a 20°C por 14 d. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

4.4. FIRMEZA DURANTE LA VIDA EN ESTANTE

La firmeza es, luego de la edad del fruto, el índice que mejor representa el estado de maduración en pera y por lo tanto es el que se utiliza comúnmente para definir el momento de cosecha a nivel comercial. La firmeza se asocia con la turgencia de los tejidos y con la estructura de las paredes celulares. En frutos inmaduros la textura puede verse afectada por polisacáridos de reserva como el almidón. Los tratamientos con 1-MCP resultaron eficaces en el retraso del ablandamiento en los tres estados de madurez, manteniendo una firmeza marcadamente superior que las peras control (**Figura 15**). La firmeza en los frutos tratados al final del período de almacenamiento disminuyó conforme avanzó la madurez de cosecha. De todos modos esta reducción no se atribuyó a una menor eficacia de los tratamientos con 1-MCP (medida como porcentaje de reducción del ablandamiento respecto al valor al momento de cosecha) sino que resultó de menores valores ya al momento de realizar los tratamientos. Las diferencias entre frutos tratados se debieron a distintos niveles de madurez iniciales más que a una diferente eficacia del producto. Los efectos del 1-MCP en el retraso del ablandamiento podrían deberse a una reducción en el desensamblaje de pared que se conoce que es responsable de la pérdida de firmeza durante la maduración (Brummell, 2006). Varios trabajos han mostrado que el 1-

MCP disminuye la actividad de glicosidasas de pared. La disminución de ablandamiento en bananas tratadas con 1-MCP es asociada con una menor expresión de expansinas (Trivedi y Nath, 2004), pectinmetilesterasa (PME) y poligalacturonasa (PG), endo- β -1,4-glucanasa (EGase) y pectatoliasa (Lohani et al., 2004). En pera, el 1-MCP disminuye la expresión de enzimas responsables del clivaje de pectinas como β -galactosidasa y poligalacturonasa (Trincherio et al., 2004, Hiwasa et al., 2003). El presente trabajo muestra que el producto es eficaz aun en frutos cosechados tardíamente. Esto difiere de lo descrito en otros frutos. Así por ejemplo en tomate se ha reportado que en frutos rojos maduros el retraso del ablandamiento por acción del 1-MCP es muy pequeño (Watkins, 2006).

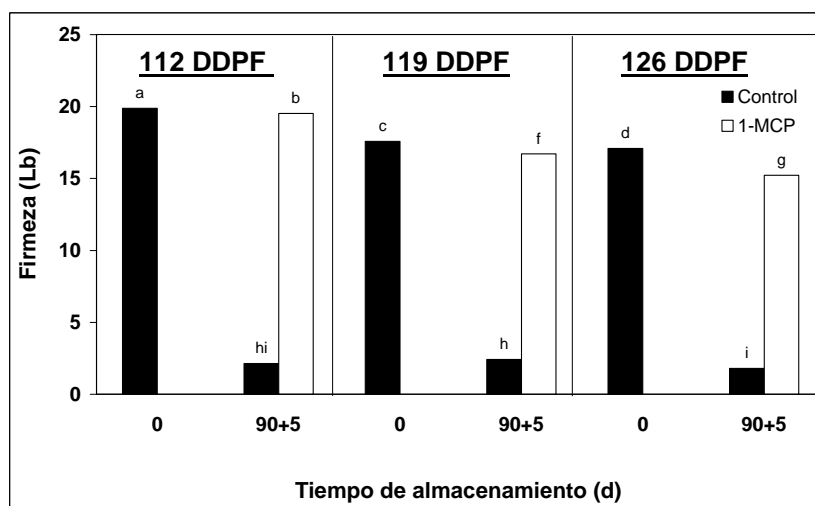


Figura 15: Firmeza de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 o 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C (90+5). Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

Comentario [u1]: Falta la letra "e" en las barras?

4.5. COLOR SUPERFICIAL DURANTE LA VIDA EN ESTANTE

El color superficial cuando los niveles de clorofila son bajos puede seguirse con un colorímetro. El 1-MCP fue eficaz en los 3 estados de madurez permitiendo mantener un tono menos amarillo (mayor hue) (Figuras 16 y 17). Los frutos tratados y cosechados tardíamente mostraron un color más amarillo que los de las cosechas previas pero esto no se debió a una menor eficacia del producto si no a que ya al inicio mostraron un menor hue. A pesar de la eficacia del 1-MCP para reducir el avance del color en los frutos de las tres cosechas, el efecto pareciera ser menos marcado que el que se observó en la pérdida de

firmeza. Algunos trabajos mostraron que diferentes procesos de maduración pueden tener distinta dependencia del etileno (Ekman et al., 2004; Massolo et al., 2012).

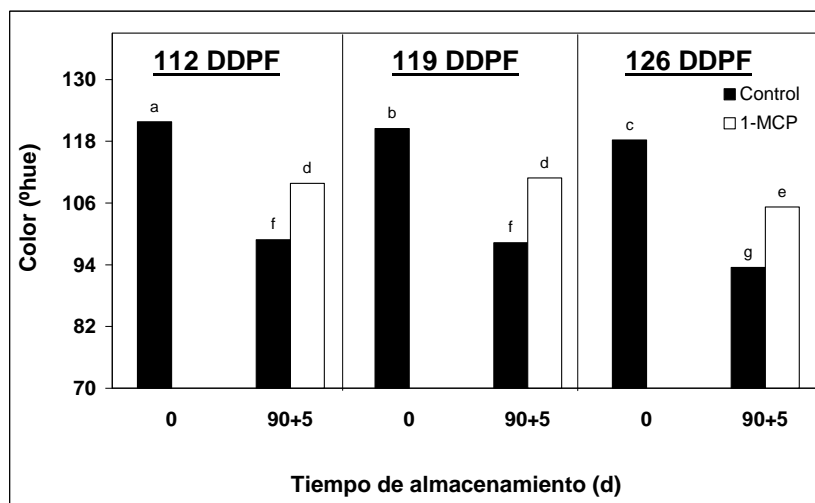


Figura 16: Color superficial (hue) de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.



Figura 17: Apariencia de frutos control y tratados con 1-MCP cosechados a los 112, 119 o 126 DDPF luego de 90 d a 0 °C y 5 d a 20 °C.

4.6. ACIDEZ DURANTE LA VIDA EN ESTANTE

Se observó una menor pérdida de de acidez con respecto a las peras control en las tratadas con 1-MCP (**Figura 18**), lo que podría deberse a una reducción en el climaterio de los frutos y consecuentemente de la tasa respiratoria. Si bien los sustratos respirables de los frutos por excelencia son los azúcares, se conoce que los ácidos pueden ser incorporados al Ciclo de Krebs y consumirse para la generación de ATP (Kader, 2002). Los frutos de las 3 cosechas disminuyeron la acidez y sus diferencias tienen correspondencia con los valores iniciales del día 0. El efecto del 1-MCP sobre los cambios en la acidez fue menor que el observado en los atributos de maduración anteriormente medidos (color y firmeza).

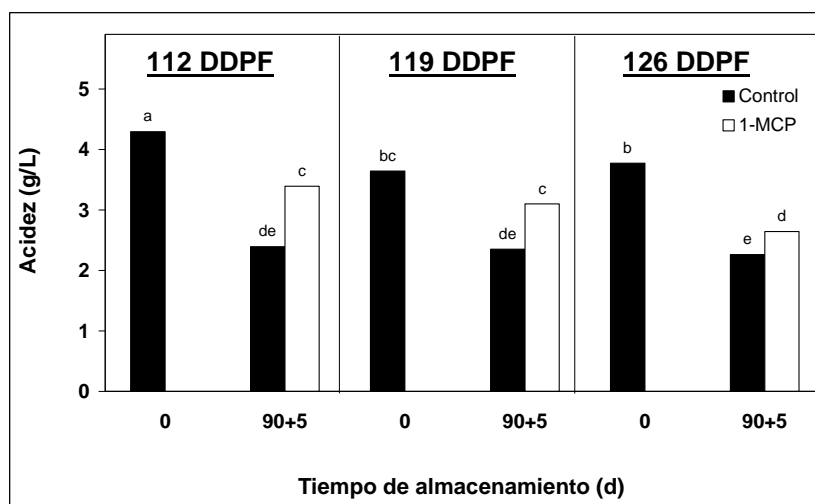


Figura 18: Acidez de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

4.7. SÓLIDOS SOLUBLES (SS) DURANTE LA VIDA EN ESTANTE

Entre la primera y última cosecha no hubo diferencias marcadas en los niveles iniciales de sólidos solubles. Durante el almacenamiento se observó un aumento de los SS (**Figura 19**). A medida que avanza la maduración y senescencia de los frutos, el almidón se hidroliza y se generan sustancias aromáticas y volátiles; se incrementa la concentración de azúcares. En los 3 estados de madurez estudiados los SS aumentaron en el almacenamiento. Tanto las peras sometidas al tratamiento como los frutos control,

presentaron niveles de sólidos solubles similares para todas las cosechas. Esto sugiere que el 1-MCP posee menor efecto sobre la degradación de almidón que sobre los otros atributos de madurez..

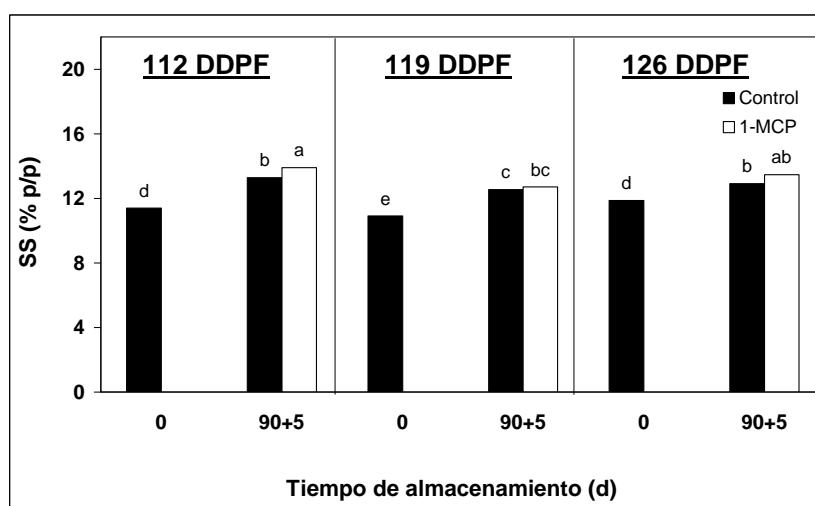


Figura 19: Sólidos solubles (SS) de frutos control y tratados con 1-MCP en tres estados de madurez de cosecha (112, 119 y 126 DDPF) y almacenados a 0 °C por 90 d y 5 d a 20 °C. Las letras distintas indican diferencias significativas del correspondiente control con un nivel de significancia de $P < 0,05$.

4.8. Degradación de almidón

Al momento de la cosecha, el almidón acumulado no había comenzado su degradación en forma creciente, por lo que los resultados respectivos no fueron tomados en cuenta; la degradación promediaba el 15% aproximadamente. No es un índice que sea usado comercialmente en pera, pero sí en manzana.

5. CONCLUSIONES



Los resultados muestran que el 1-MCP es de utilidad para complementar a la refrigeración en pera 'Williams'. Los tratamientos con 1-MCP más allá de bloquear la acción de la hormona también inhiben su biosíntesis. El efecto de la inhibición de la acción del etileno difiere para los distintos atributos o cambios que ocurren durante la maduración. El ablandamiento es el proceso más afectado seguido del cambio en el color superficial y la disminución de la acidez, no siendo afectados significativamente los sólidos solubles. Los tratamientos son eficaces en los tres estados de cosecha evaluados. De todos modos, es importante conocer el tiempo que estos frutos demoran en llegar a la madurez de consumo para cada condición de tratamiento y madurez inicial de cosecha.

6. REFERENCIAS



- **Abeles F.B., Morgan P.W., Saltveit M.E., 1992.** Ethylene in plant biology, 2 edición. Academic Press, San Diego, California, USA. 414 pp.
- **Adams D.O., Yang, S.F. 1979.** Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 76, 170-174.
- **Benítez, C.E. 2001.** Cosecha y postcosecha de peras y manzanas en los Valles Irrigados de la Patagonia. General Roca, Río Negro. EEA Alto Valle. 126 pp.
- **Blankenship S.M., Dole J. M. 2003.** 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biol. Technol. 28, 1-25.
- **Bower J.H., Biasi W.V., Mitcham E.J. 2003.** Effect of ethylene in the storage environment on quality of 'Bartlett' pears. Postharvest Biol. Technol. 28, 371-379.
- **Brummell, D. 2006.** Cellwall disassembly in ripening fruit. Funct. Plant Biol. 33,103–119.
- **Calvo, G. 2004.** Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear maturity and quality. Acta Hort. 628, 203-211.
- **Chen P.M., Mellenthin W.M., 1981.** Effects of harvest date on ripening capacity and Clapp's' pears by treatment with 1-methylcyclopropene at low temperature. J. Hort. Sci. & Biotechnol. 79, 930–934.
- **De Wild HPJ, Woltering EJ, Peppelenbos HW. 1999.** Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. J. Exp. Bot. 50, 837±844.
- **Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA. 2005a.** Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and flesh tissues. J Agric Food Chem 53:3133–3141.
- **Defilippi B.G., Manríquez D., Robledo P. 2011.** Use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) as a strategy to improve post-harvest life of 'Abate Fetel' pears. Acta Hort. 909, 212-215.

- **Ekman J.H., Clayton M., Biasi W.V, Mitcham E.J. 2004.** Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 127-136.
- **Fan X., Mattheis J.P. 1999.** Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47, 2847-2853.
- **Gomila T., Calvo G; Candan A.P, 2010a.** Nondestructive index to characterize the maturity of 'Williams' pears grown in Argentina. *ISHS XI International Pear Symposium, Acta Hort.* En prensa.
- **Hansen, E. 1939.** Effect of ethylene on certain chemical changes associated with the ripening of pears. *Plant Physiol.* 14, 145-161.
- **Hiwasa K., Kinugasa Y., Amano S., Hashimoto A., Nakano R., Inaba A., Kubo Y., 2003.** Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *J. Exp. Bot.* 54, 771-779.
- **INTA. 2010.** Pera Williams Manual para el productor y el empacador. 170 pp.
- **Kader, A.A. (Ed.). 2002.** *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Third Edition. Publication 3311. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, USA.
- **Kader, A.A. 1985.** Ethylene-induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *HortSci.* 20, 54-57.
- **Kitinoja L., Kader A.A., 1996,** Manual de prácticas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala, *Boletín de Extensión Univ California Davis, USA*, pp. 7-9.
- **Ku V.V.V., Wills R.B.H., Ben-Yehoshua S. 1999.** 1-Methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *HortSci.* 34, 119-120.

- **Lelièvre J.M., Tichit L., Dao P., Fillion L., Nam Y.W., Pech J.C. & Latché A. 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.
- **Lohani S., Trivedi P.K., Nath P. 2004.** Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biol. Technol.* 31, 119-126.
- **Massolo F., Chaves A., Concellón A., Vicente A., 2012.** Uso tratamientos con citoquininas como complemento a la refrigeración en zapallito de tronco. VII Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- **Mitcham E.J., Crisosto C., Kader A.A. 2012.** Pear: Bartlett. *Postharvest Technology* postharvest life of 'd'Anjou' pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106, 38–42.
- **Raffo M.D., Ponce N.M., Sozzi G.O., Vicente A.R., Stortz C.A. 2011.** Compositional changes in 'Bartlett' pear (*Pyrus communis* L.) cell wall polysaccharides as affected by sunlight conditions. *J. Agric. Food Chem.* 59, 12155-12162.
- **Raffo M.D., Sánchez E.E., Sozzi G.O. 2008.** Exposure to direct sunlight during the growing season delays postharvest softening of 'Williams' pears and improves their response to 1-methylcyclopropene. *Acta Hort.* 800, 1035-1040.
- **Saltveit, M.E. 1999.** Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15, 279-292.
- **Salunkhe D.K., Desai B.B., 1984.** *Postharvest biotechnology of fruits.* Vol. 2. CRC Press, Boca Raton FL.
- **Sisler E.C., Serek M. 1999.** Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40, 1-7.

- **Sozzi G.O., Beaudry R.M. 2007.** Current perspectives on the use of 1-methylcyclopropene in tree fruit crops: an international survey. *Stewart Postharvest Reviews* 3, 1-16.
- **Trincherro G.D., Sozzi G.O., Covatta F., Fraschina A.A. 2004.** Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of “Bartlett” pears. *Postharvest Biol. Technol.* 32, 193-204.
- **Trivedi P. K., Nath P., 2004.** MaExp1, an ethylene-induced expansin from ripening banana fruit. *Plant Sci.* 167, 1351–1358.
- **Villalobos-Acuña M., Mitcham E.J., 2008.** Ripening of European pears: the chilling dilemma. *Postharvest Biol. Technol.* 49, 187–200.
- **Watkins, C.B.2006.** The uses of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24, 389–409.
- **Ziozi V, Noferini M., Fiori G., Tadiello A., Trainotti G., Casadoro G., Costa G. 2008.** A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 49, 319-329.

PAGINAS DE INTENET

- **FAOSTAT.** En: <http://http://faostat.fao.org/> Visitada 2012.
- **FUNBAPA, 2012.** En: <http://www.funbapa.org.ar/> Visitado 2012.
- **CASAFE 2011.** En: <http://http://www.casafe.org/> Visitado 2012.