

SUPRESIÓN DE LA MADURACIÓN EN AGUACATES CON UN NUEVO DEPURADOR DE ETILENO PROVOCADO POR PALADIO

L. Terry^{1*}, M. Meyer¹, N. Reay² T. Ilkenhans³, S. Poulston³, L. Rowsell³ y A. W. Smith³

¹Plant Science Laboratory, Cranfield University, Bedfordshire, MK45 4DT, UK.

²H L Hall & Sons Ltd., Mataffin Farm, Nelspruit Mpumalanga South Africa

³Johnson Matthey Technology Centre, Blount's Court, Sonning Common, Reading, Berkshire, RG4 9NH, UK. E-mail: l.a.terry@cranfield.ac.uk (L.A. Terry).

El control de etileno en ambientes de almacenamiento juega un papel principal en la prolongación de la vida de muchos productos frescos. Sin embargo, durante los últimos años la investigación de materiales nuevos y más eficaces para la depuración de etileno ha sido escasa. En este estudio, se identificó un compuesto en polvo provocado por paladio (Pd), el cual presenta una significativa capacidad de adsorción de etileno ($4162 \mu\text{l g}^{-1}$ de material) a 20°C y aproximadamente 100% HR que demostró ser muy superior a KMnO_4 cuando se utiliza en pequeñas cantidades y bajo condiciones de humedad relativa (HR) alta. Se realizaron estudios preliminares en un reactor de flujo de pistón con $200 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno y 10% (v/v) de O_2 compensado con He, a aproximadamente 100% HR. Investigaciones posteriores demostraron que el compuesto de Pd, a concentraciones de $0,03 \text{ g l}^{-1}$, adsorbe en forma eficaz tanto etileno exógenamente suministrado ($100 \mu\text{l l}^{-1}$), como etileno endógenamente producido por el mismo aguacate, hasta concentraciones de sub- $\mu\text{l l}^{-1}$ dentro de un período de 24 horas. La capacidad de adsorción óptima fue calculada aproximadamente como $10000 \mu\text{l g}^{-1}$. Por consiguiente, se observó inhibición de la maduración inducida por etileno. Cuando se removió el material con Pd, no provocó alteraciones en la consecuente maduración del fruto. Los resultados de este estudio demuestran que dicho material con Pd tiene un potencial comercial.

SUPPRESSION OF AVOCADO RIPENING WITH NEW PALLADIUM-PROMOTED ETHYLENE SCAVENGER

L. Terry^{1*}, M. Meyer¹, N. Reay² T. Ilkenhans³, S. Poulston³, L. Rowsell³, and A. W. Smith³

¹Plant Science Laboratory, Cranfield University, Bedfordshire, MK45 4DT, UK.

²H L Hall & Sons Ltd., Mataffin Farm, Nelspruit Mpumalanga South Africa

³Johnson Matthey Technology Centre, Blount's Court, Sonning Common, Reading, Berkshire, RG4 9NH, UK. E-mail: l.a.terry@cranfield.ac.uk (L.A. Terry).

The control of ethylene in stored environments plays a key role in prolonging the life of many fresh produce types. However, there has been a paucity of research in recent years on developing novel and more effective ethylene scavenging materials. In this study a palladium (Pd)-promoted powdered material that has significant ethylene adsorption capacity ($4162 \mu\text{l g}^{-1}$ material) at 20°C and approx. 100% RH was identified and was shown to be far superior to KMnO_4 when used in low amounts and in conditions of high relative humidity (RH).

Initial screening was carried out in a plug flow reactor with $200 \mu\text{l l}^{-1}$ ethylene, 10% (v/v) O_2 balanced with He at approx. 100% RH. Further work demonstrated that the Pd-promoted material at 0.03 g l^{-1} effectively scavenged both exogenously administered ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) and/or endogenously produced ethylene by avocado, respectively, to sub- $\mu\text{l l}^{-1}$ concentrations within a 24h period. Optimum ethylene adsorption capacity was calculated as approx. $10000 \mu\text{l g}^{-1}$. Accordingly, corresponding inhibition of ethylene-induced ripening was observed. When removed, Pd-material did not disrupt subsequent ripening. The results from this study demonstrate that Pd-promoted material has commercial potential.

Keywords: ethylene adsorption capacity

1. Introducción

La eliminación de etileno y/o inhibición del efecto de este en ambientes de almacenamiento es fundamental para mantener la calidad de post-cosecha en productos climatéricos (Saltveit, 1999). Sin embargo, durante los últimos años es escasa la investigación de materiales nuevos y más innovadores para la eliminación de este compuesto. Por otro lado, si que ha habido un incremento exponencial en la investigación del inhibidor de etileno 1-metilciclopropeno. (1-MCP; Watkins, 2006). Por consiguiente, la investigación no se ha concentrado en la eliminación de etileno, sino en la inhibición de su acción usando 1-MCP.

A pesar de la disponibilidad de varias tecnologías para absorber etileno (ej. degradación catalítica a altas temperaturas, carbón activado etc.) la mayoría de los sistemas comerciales para el control de este compuesto se basan en sistemas de ventilación adecuados (a menudo periódicamente) y oxidación de etileno mediante permanganato de potasio (KMnO_4). Sin embargo, los sistemas de ventilación no son siempre apropiados en ambientes sellados o herméticos (ej. atmósferas controladas o determinados formatos de empaquetamiento) ó donde el control específico de etileno es preciso. KMnO_4 sostenido en esferas activadas de alúmina puede tener una eficacia limitada a largo plazo en ambientes con alta humedad relativa (ej. almacenes de refrigeración). Este estudio detalla la eficacia de un nuevo compuesto de *palladium* para remover etileno y por lo tanto para controlar la maduración inducida por etileno en aguacates (Terry *et al.*, 2007).

2. Materiales y métodos

2.1. Experimentos preeliminares

Estudios iniciales llevados a cabo en compuestos candidatos fueron realizados para determinar la capacidad de adsorción de productos compuestos de *palladium* recientemente descubiertos. El producto elegido consistió en zeolita impregnada con *palladium* que proporciona finas partículas de Pd dispersadas. La carga de metal fue 2.5% Pd (m/m). Las mediciones fueron llevadas a cabo usando una mezcla gaseosa sintética a temperatura ambiente (21°C) en un reactor de flujo pistón, utilizando 0.1 g del material activado en una composición

gaseosa de $200 \mu\text{l l}^{-1}$ etileno y 10% (v/v) O_2 compensado con He, a aproximadamente 100% humedad relativa y a un flujo de 50 ml min^{-1} . La humedad fue proporcionada haciendo pasar el gas reactante (sin etileno) a través de un saturador de agua a 21°C . El material fue evaluado respecto otros adsorbentes de etileno citados en la bibliografía incluyendo KMnO_4 sostenido en alúmina de gran superficie (5% m/m; $\text{KMnO}_4/\text{Al}_2\text{O}_3$). Las concentraciones a la salida del reactor fueron analizadas usando un Thermo Onix ProLab espectrómetro de masas (Thermo Onix, TX) usando ratios de masa/carga de 26 y 44 para etileno y CO_2 , respectivamente. La capacidad de absorción de etileno fue estimada midiendo la concentración de etileno a la salida del reactor conteniendo el compuesto de *palladium*. La integridad de etileno eliminado fue determinada después de que la concentración de etileno a la salida del reactor hubiera alcanzado la concentración de etileno a la entrada del mismo, mostrando que el *scavenger* se encontraba en condiciones de saturación. Experimentos posteriores fueron llevados a cabo a temperatura ambiente en un reactor *batch* no agitado (0.86 l) con 0.1 g de material activo y una composición gaseosa inicial de $550 \mu\text{l l}^{-1}$ etileno, 40% (v/v) aire equilibrado con Ar. Las concentraciones gaseosas escogidas fueron medidas en intervalos de una hora con un Varian CP-4900 Micro GC (Varian Inc., CA). Las muestras gaseosas (40 ms de duración) fueron tomadas vía un sistema de muestreo de recirculación automática. Las temperaturas de la columna y el inyector fueron fijadas en 60 y 70°C , respectivamente. La columna de 0.15 mm de diametro y 10 m de longitud fue rellena con PoraPLOT Q. Etileno y CO_2 fueron calibrados respecto $10 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno equilibrado con aire y 5% (v/v) CO_2 equilibrado con Ar (Air Products Europe, Surrey, UK). Un detector de conductividad térmica fue usado con He como gas portador a 276 kPa de presión de entrada. La integración de los picos se realizó con Varian STAR software.

2.2. Material vegetal y diseño de los experimentos

Tres experimentos se realizaron. En el primero, aguacates pre-climatéricos de principio de temporada (*Persea americana* Mill.) cv. Hass ($n = 72$), originarios de Navobani Boerdery y importados a través de Westfalia Marketing (Tzaneen, LP, South Africa), fueron suministrados por un proveedor de frutas tropicales (Minor, Weir and Willis Ltd., Birmingham, UK) y almacenados durante la noche a 12°C . Los frutos fueron empaquetados el 4 de mayo y recibidos en el Reino Unido el 31 de mayo de 2006. A la llegada al laboratorio, los frutos tenían 32 días, lo cual no es inusual en aguacates importados en el Reino Unido. Los frutos no fueron pre-tratados con 1-MCP. Los frutos ($n = 2$) fueron almacenados en la oscuridad a 12°C dentro de contenedores de 3 l ($n = 36$) durante 3 días, los cuales fueron inicialmente tratados con o sin etileno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$), y conteniendo 0, 100 o 1000 mg del compuesto de *palladium* (2.5% Pd (m/m)) o Ethysorb[®] (KMnO_4 sostenido en esferas de alúmina activada), respectivamente. Un tratamiento adicional fue utilizado, dónde los frutos fueron tratados con o sin etileno como anteriormente, y dónde 1000 mg del compuesto de *palladium* fueron introducidos en los contenedores después del primer día. Los frutos fueron removidos después de 3 días para evitar envenenamiento con CO_2 y almacenados durante los 7 días posteriores en bandejas descubiertas a 12°C . El efecto de los tratamientos ($n = 12$) en la concentración de etileno y CO_2

fue medido durante 3 días. El cambio objetivo del color de los frutos y la firmeza de éstos fueron medidos en intervalos regulares.

En un segundo experimento, aguacates pre-climatéricos cv. Hass ($n = 72$), originarios de España, fueron suministrados por un importador de frutos (Mack Multiples, Kent, UK) y almacenados durante la noche a 12°C. A la llegada al laboratorio, los frutos tenían 4 días. Los frutos ($n = 2$) fueron, tal y como antes, depositados en contenedores herméticos individuales de 3 l y tratados con o sin el compuesto de *palladium* durante 24 h a 12°C añadiendo 1000 mg del compuesto de *palladium* (1% Pd (m/m)) en cada contenedor. Los frutos fueron tratados con 100 $\mu\text{l l}^{-1}$ o 0 $\mu\text{l l}^{-1}$ de etileno el día siguiente. Los frutos fueron removidos después de 2 días para evitar envenenamiento con CO₂ y almacenados durante los 7 días posteriores en bandejas descubiertas a 12°C. El efecto de los tratamientos ($n = 12$) en la concentración de etileno y CO₂ fue medido durante 2 días. Adicionalmente etano, un subproducto de la reacción de etileno con el compuesto de *palladium* (Terry *et al.*, 2007), fue monitorizado. El cambio objetivo del color de los frutos y la firmeza de éstos fueron medidos en intervalos regulares.

Un tercer experimento fue motivado para estudiar la aplicación del compuesto en condiciones comerciales y determinar de esta forma el potencial del compuesto de *palladium* para incrementar la vida útil de los frutos cuando es aplicado en intervalos crecientes después de la cosecha. Aguacates cv. Fuerte ($n = 960$) fueron obtenidos en una plantación comercial de aguacates en la Soutpansberg Mountain región de Levubu, en la provincia de Limpopo, Sud-África. Los frutos fueron transportados a Mataffin Farm en las 6h posteriores a la cosecha y almacenados a 6°C hasta tratamiento. Los frutos ($n = 2$) fueron tratados a 0, 12, 24, 36, y 48 horas después de la llegada, sellándolos en Versapack bandejas de espuma de poliestireno expandido (Crown National, Sud-África) conteniendo 0, 100 o 500 mg del compuesto de *palladium*. La vida útil de los frutos y la firmeza fueron determinadas.

2.3. Cuantificación de etileno y CO₂

Muestras de gases de los contenedores de 3 l fueron removidos con succiones repetitivas usando una jeringa de plástico de 20 ml. (Terry *et al.*, 2007). La concentración de etileno fue cuantificada usando un GC8340 cromatógrafo de gases (Carlo Erba Instruments, Herts., UK) equipado con un EL 980 detector de ionización de llama (FID) y DP800 integrador (Thermoquest, Herts., UK). La temperatura del horno y detector fueron fijadas a 100°C. La columna de 2 m de longitud de acero inoxidable fue rellena con Porapak P, malla rango 80-100 (Jones Chromatography, Mid Glamorgan, UK). Etileno fue calibrado con 10.6 $\mu\text{l l}^{-1}$ de etileno equilibrado en N₂ (British Oxygen Company (BOC) Gases, Surrey, UK). Para el experimento 2, las temperaturas del horno y detector fueron fijadas a 100 °C y 250 °C respectivamente. Etileno y etano fueron calibrados con 1.05 $\mu\text{l l}^{-1}$ de etileno y 50.3 $\mu\text{l l}^{-1}$ de etano equilibrados en N₂ (BOC). CO₂ fue cuantificado usando el mismo sistema de gas cromatografía con un detector de conductividad térmica. Dicho detector fue operado a 120 °C y el horno a 80 °C. El GC fue calibrado con 10.06% (v/v) CO₂ en N₂ (BOC). Gases no fueron cuantificados en el experimento 3.

2.4. Medida del color

El color objetivo de cada fruta fue medido en intervalos regulares durante el almacenamiento de los frutos usando un Minolta DP-400 cromómetro (Minolta Co. Ltd., Japan) con una apertura de lente de 8 mm. El instrumento fue calibrado con una teja blanca Minolta estándar CR-400 ($Y = 93.5$, $x = 0.3114$, $y = 0.3190$) para el primer experimento. Para el Segundo experimento, el color objetivo fue determinado usando el mismo Minolta DP-400 cromómetro pero esta vez usando una fuente de luz D65 (Ashton *et al.*, 2006). La media de tres lecturas en tres puntos equidistantes ($n = 9$) alrededor del eje ecuatorial del aguacate fueron registrados y la luminosidad (L^*), croma (saturación del color; C^*) y ángulo hue (H°) automáticamente calculados. El color no fue medido en el experimento 3.

2.5. Firmeza y evaluación de la vida útil

Para la experimenta 1 y 2, la firmeza de los aguacates fue medida en lados opuestos del fruto previamente pelado usando un Instron Universal Testing Machine (Model 1122, Bucks., UK) equipado con una sonda de cabeza plana de 8 mm operando con una velocidad de 20 mm min^{-1} . La firmeza fue expresada como la fuerza máxima (N) requerida para la disrupción del tejido del fruto. En el experimento 3, los frutos fueron presión-testados usando un Sinclair IQ medidor de presión no-destruccion (Sinclair International Ltd., Norfolk, UK) y la media de tres mediciones por fruto fue registrada. La vida útil de cada fruto fue determinada como el número de días necesarios para alcanzar una calidad comestible aceptable tal y como definió por H. L. Hall & Sons Ltd.

2.6. Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo usando Genstat para Windows Versión 7.1.0.198 (VSN International Ltd., Herts., UK). Los valores de la mínima diferencia significativa (LSD; $P = 0.05$) fueron calculados por la separación de las medias utilizando valores críticos para t test de dos colas (*two-tailed tests*).

3. Resultados

3.1. Experimentos preeliminares con etileno gas sintético

Después del triaje llevado a cabo con un rango amplio de materiales en un reactor de flujo pistón, un compuesto de *palladium* fue identificado por su considerable capacidad de absorción de etileno a temperatura ambiente. El compuesto de *palladium* eliminó constantemente todo el etileno medible hasta el momento de saturación (Figura 1). Los experimentos en el reactor de flujo piston demostraron que el compuesto de *palladium* superó KMnO_4 teniendo aproximadamente una capacidad de adsorción seis veces superior; tradicionalmente $4162 \text{ } \mu\text{l g}^{-1}$ bajo condiciones aprox. de 100% de humedad relativa. Este rendimiento fue incrementado hasta $45600 \text{ } \mu\text{l g}^{-1}$ bajo condiciones secas (baja humedad relativa), y por lo tanto, representando una actividad sesenta veces superior que el KMnO_4 . Toda la adsorción de etileno fue perdida cuando KMnO_4 fue pre-tratado con 100% HR por 72 h a 21°C antes del análisis

(datos no mostrados). La pérdida en rendimiento del material basado en KMnO_4 pareció ser debida a la conversión de KMnO_4 a óxido de manganeso, tal y como fue juzgado por el cambio de color del material de púrpura a marrón.

Una pequeña porción del compuesto de *palladium* (0.1 g) fue suficiente para eliminar totalmente $550 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno en la mezcla de aire en 2h. (Figura 2). La producción de etano ($65 \mu\text{l l}^{-1}$) y un pequeño incremento en la producción de CO_2 fueron también observados (Figura 2), indicando que parte del etileno reaccionó sobre el compuesto de *palladium*. Sin embargo, estos productos representan solamente aprox. 16% del total del balance de carbono presente en el contenedor usado, sugiriendo que la mayoría de etileno fue adsorbido por el compuesto de *palladium*.

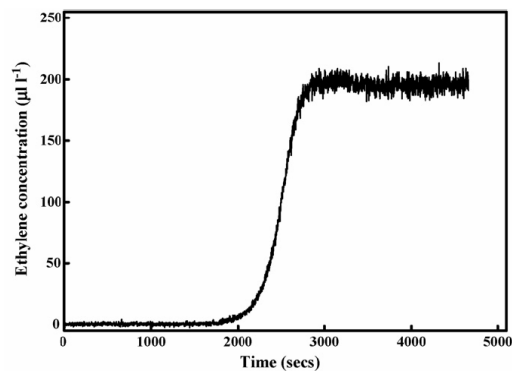


Figura 1. Evolución de la concentración de etileno en presencia del compuesto de *palladium* bajo condiciones húmedas.

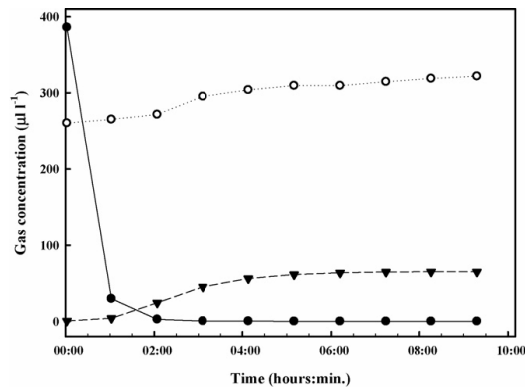


Figura 2. Efecto del compuesto de *palladium* en la composición gaseosa (dióxido de carbono, (○); etileno, (●); etano, (▲)) dentro de contenedores herméticos y con una concentración inicial de etileno en aire de $550 \mu\text{l l}^{-1}$

3.2. Concentraciones de etileno y CO_2

Para el experimento 1 y 2, la concentración de etileno exógeno y endógeno fue reducida significativamente ($P < 0.001$) con el incremento de la cantidad del compuesto de *palladium* (Tabla 1). El compuesto de *palladium* (100 mg) fue aprox. 50 veces mas efectivo para reducir el etileno exógeno comparado

con Ethisorb (100 mg) (Terry *et al.*, 2007). En la presencia del compuesto de *palladium* el etileno fue reducido a niveles activos sub-fisiológicos, tal y como demuestra el mantenimiento de la firmeza ($P = 0.004$) después de 7 días. La firmeza de los frutos previamente tratados con etileno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) y almacenados en presencia de 100 o 1000 mg del compuesto de *palladium* fue 114.4 y 106.7 N vs. 13.0 y 12.0 N para los frutos control y tratados con Ethisorb (100 mg), respectivamente (datos no mostrados). Sin embargo, no hubo efecto significativo ($P > 0.05$) causado por la presencia del compuesto de *palladium* sobre la concentración de CO_2 con respecto al tiempo (datos no mostrados). Consecuentemente, la reducción del etileno causada por el compuesto de *palladium* no tuvo efecto sobre la respiración de los frutos durante los tres primeros días. La concentración de CO_2 incremento de 5.10 a 13.23 % entre los días 1 y 3, respectivamente (datos no mostrados). La coloración interna de los frutos no fue afectada por la presencia/ausencia de etileno (datos no mostrados).

Cuando los frutos fueron tratados con etileno y sucesivamente mantenidos con el compuesto de *palladium* (1000 mg) después del día 1, el etileno fue reducido a nivel sub-fisiológico (Tabla 1). A pesar de haber iniciado el estado climatérico de los frutos, la total eliminación de etileno resultó en un mantenimiento más eficaz de la firmeza comparado con los frutos control (datos no mostrados). Consecuentemente, la normal y esperada interrupción del incremento en la respiración climatérica fue también observada. Por lo tanto, queda mostrado que un *scavenger* de etileno ha sido capaz de extender la vida útil de aguacates incluso cuando el ascenso de la respiración climatérica ha sido iniciada (Terry *et al.*, 2007).

Tabla 1. Concentración de etileno ($\mu\text{l l}^{-1}$) en contenedores herméticos de 3 l de capacidad conteniendo aguacates preclimatéricos cv. Hass ($n = 2$) almacenados en presencia del compuesto de *palladium* (0, 100 y 1000 mg, 2.5% Pd (m/m)) o Ethisorb® (100 y 1000 mg). Los contenedores fueron inicialmente tratados con o (sin) $100 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno *El compuesto de *palladium* (1000 mg) fue depositado en los contenedores un día después del tratamiento del fruto con o sin $100 \mu\text{l l}^{-1}$ etileno. LSD ($P = 0.05$) = 4.918

Material (mg)	Etileno concentración ($\mu\text{l l}^{-1}$)			
	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3
Control	98.44 (0.00)	82.06 (0.69)	80.35 (1.57)	78.41 (3.74)
100 Pd-promoted	93.87 (0.00)	0.00 (0.07)	0.00 (0.06)	0.00 (0.04)
1000 Pd-promoted	88.56 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)
1000*Pd-promoted	98.34 (0.00)	83.11 (0.24)	0.00 (0.14)	0.00 (0.12)
100 Ethisorb®	97.07 (0.00)	47.38 (0.18)	47.53 (0.21)	43.72 (0.10)
1000 Ethisorb®	94.19 (0.00)	0.07 (0.54)	0.21 (0.24)	0.02 (0.10)

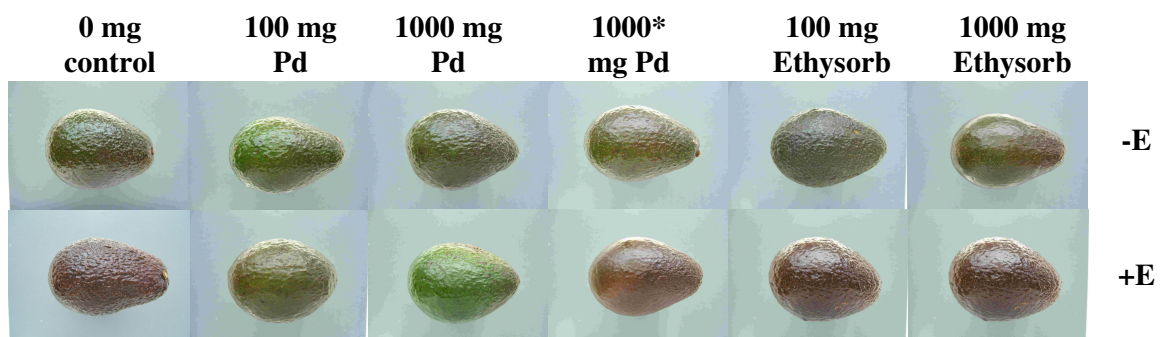
Para el experimento 2, ambos etileno exógeno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) y/o etileno producido endógenamente fueron reducidos significativamente ($P = 0.05$) con 1000 mg del compuesto de *palladium*. En la presencia del compuesto de *palladium*, aprox. 10% del etileno exógeno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) fue adsorbido en tan solo segundos. La concentración del etileno fue reducida a concentraciones de sub- $\mu\text{l l}^{-1}$ en 24 h. En día 1, las concentraciones de etileno en los contenedores

que contenían el compuesto de *palladium* y que fueron tratados con o sin $100 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno fueron $0.00 \mu\text{l l}^{-1}$ y $0.92 \mu\text{l l}^{-1}$, respectivamente, comparadas con $109.39 \mu\text{l l}^{-1}$ y $23.32 \mu\text{l l}^{-1}$ para los contenedores control tratados con o sin $100 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno, respectivamente. Tal y como se observó en el Experimento 1, no hubo un efecto significativo ($P > 0.05$) causado por la presencia del compuesto de *palladium* en la concentración de CO_2 con respecto al tiempo (datos no mostrados).

3.3. Cambio de color

El cambio global en el color de los aguacates cv. Hass fue también afectado por el etileno y por lo tanto por la presencia/ausencia del compuesto de *palladium*. En el primer experimento, los frutos almacenados en presencia de 100 o 1000 mg del compuesto de *palladium* durante 3 días fueron generalmente más verdes, y por consiguiente menos maduros que los frutos control después de 7-10 días (Fotografía 1). El color de aguacates de 10 días previamente tratados con etileno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) y almacenados en presencia de 100 mg del compuesto de *palladium* fue 90.8 H° comparado con 53.1 y 60.2 H° para los frutos control y tratados con Ethisorb (100 mg), respectivamente. En el experimento 2, el valor del ángulo hue (H°) de aguacates de 9 días previamente tratados sin etileno y almacenados en presencia de 1000 mg del compuesto de *palladium* fue 74.37 H° comparado con 48.85 y 48.11 H° para control ($100 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno) y control ($0 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno), respectivamente (Figura 3).

Fotografía 1. Color de los aguacates de 7 días cv. Hass ($n = 2$) previamente almacenados por 3 días a 12°C en contenedores de 3 l de capacidad ($n = 36$), en presencia del compuesto de *palladium* (0, 100, 1000 mg) o Ethisorb® (100, 1000 mg) y inicialmente tratados con (+E) o sin (-E) $100 \mu\text{l l}^{-1}$ de etileno durante el estado preclimático (verde) correspondiente al día 0. *El compuesto de *palladium* (1000mg) fue depositado en los contenedores un día después del tratamiento del fruto con o sin $100 \mu\text{l l}^{-1}$ etileno.



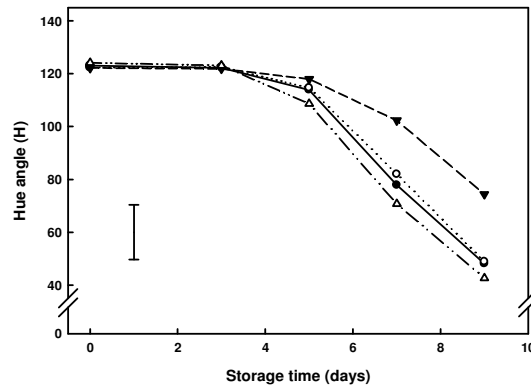


Figura 3. Efecto del compuesto de *palladium* en el ángulo hue (H°) de aguacates cv. Hass almacenados en contenedores de 3 l a 12°C durante 3 días y conteniendo el compuesto de *palladium* (1000 mg). Los contenedores fueron inicialmente tratados con 0 o 100 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno durante el estado preclimático (verde) de los frutos a día 0 (control - 0 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno, ●; control - 100 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno, ○; Pd - 0 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno, ▼; Pd - 100 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno, Δ). LSD ($P = 0.05$) = 20.80. NB: Valores elevados de H° representan frutos mas verdes.

3.4. Extensión de la vida útil y control de calidad

En el experimento 3, se observó un incremento de aprox. 10 días en la vida útil de los aguacates cv. Fuerte almacenados en presencia del compuesto de *palladium* comparado con tratamientos control. La eficacia del compuesto de *palladium* (500 mg) para extender la vida útil incrementó al mismo tiempo que el intervalo de horas entre tratamiento y momento de cosecha fue reducido (datos no mostrados).

La firmeza de los frutos tratados con bien 100 o 500 mg del compuesto de *palladium* 6 h después del momento de cosecha fue significativamente mayor comparado con los frutos control. El gusto y la incidencia de alteraciones fisiológicas no se vieron afectada por ninguno de los tratamientos.

4. Discusión

Para un efectivo transporte a larga distancia y sucesivo almacenamiento, muchos frutos climatéricos requieren ser almacenados en ambientes con bajas concentraciones (sub 1.0 - 0.01 $\mu\text{l l}^{-1}$) de etileno. El control de los efectos del etileno en ambientes de almacenamiento ha tenido tendencia, durante los últimos años, a centrarse en el bloqueo de la acción de este compuesto usando 1-MCP, en lugar de centrarse en la eliminación del etileno directamente. Las razones para esta tendencia son diversas, pero probablemente sea el resultado por el hecho que 1-MCP no es solo altamente eficaz bloqueando la captación del etileno, sino que también existe una carencia en *scavengers* comerciales de etileno que sean capaces de remover, de forma suficiente y eficaz, el etileno por periodos extensos y en condiciones de alta humedad relativa (ej. cámaras de almacenamiento, empaquetado, etc.). El compuesto de *palladium*, así como

sucede con 1-MCP, puede ser usado para controlar la maduración de los frutos. No obstante, el mecanismo por el cual esto es logrado es fundamentalmente diferente. En lugar de bloquear la captación del etileno, el compuesto de *palladium* lo elimina del ambiente de forma eficaz y rápida, y por lo tanto, hay menor riesgo de que sucedan efectos indeseados relacionados con el etileno. Sin embargo, para que los *scavengers* de etileno funcionen eficazmente tienen el requisito de estar en presencia de los frutos.

Para aguacates cv. Hass, la eliminación completa del etileno usando el compuesto de *palladium* fue generalmente mas eficaz comparada con control y Ethysorb en términos de ralentizar la maduración. La presencia del compuesto de *palladium* retrasó la perdida de firmeza inducida por etileno en ambos cvs. Hass y Fuerte y, desde una perspectiva comercial, el uso de dicho compuesto incrementó de forma significativa la vida útil de los frutos cv. Fuerte. La capacidad de retraso de la maduración usando el compuesto de *palladium* (1000 mg) después del tratamiento con etileno ($100 \mu\text{l l}^{-1}$) fue también demostrada en este estudio.

5. Conclusión

El presente estudio ha demostrado que la presencia de un compuesto de *palladium* fue efectivo reduciendo el etileno a niveles activos sub-fisiológicos (capacidad de adsorción del etileno aprox. $10000 \mu\text{l g}^{-1}$) cuando éste es usado por tan solo 3 días en aguacates verdes cv. Hass en estado pre-climatérico.

La eficacia del compuesto de *palladium* fue altamente superior a KMnO_4 cuando éste es usado en bajas concentraciones y elevada HR%.

Los resultados de este estudio revelan que el material compuesto de *palladium* tiene un gran potencial para ser usado comercialmente. Investigaciones futuras aclararan las concentraciones óptimas, los tiempos de aplicación y el formato requerido para extender la vida de post-cosecha de los aguacates y otros tipos de frutos frescos climatéricos. Una vez optimizado, aún cabe la posibilidad de usar el compuesto de *palladium* para extender la vida útil de los frutos climatéricos incluso cuando la respiración climatérica haya sido recientemente iniciada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Sr. A. J. Hilton, Sra. B. Cook y Sr. J. Giné Bordonaba por asistencia técnica, Minor Weir y Willis Ltd. y Mack Multiples Ltd. por el suministro de aguacates y Anglo Platinum por soporte financiero.

Referencias

- Ashton O. B. O., Wong M., McGhie T. K., Vather R., Wang Y., Requejo-Jackman C., Ramankutty P., Woolf A. B., 2006. Pigments in avocado tissue and oil. J. Agric. Food Chem., 54, 10151-10158.
- Saltveit M E., 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biol. Technol., 15, 279-292.

- Terry L. A., Ilkenhans T., Poulston S., Rowsell L., Smith A. W. J., 2007. Development of a new *palladium*-promoted ethylene scavenger. *Postharvest Biol. Technol.*, 45, 214-220.
- Watkins C.B., 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.*, 24, 389-409.