

REDUCCIÓN DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN HINOJOS ENTEROS Y MÍNIMAMENTE PROCESADOS EN MITADES

V.H. Escalona, E. Aguayo y F. Artés

Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Cartagena. Pº Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena, Murcia, España. Teléfono: 34-968-325510. Fax: 34-968-325433. Email: fr.artes@upct.es

RESUMEN

Con el propósito de frenar el pardeamiento enzimático sobre las superficies de corte en bulbos de hinojo enteros y cortados en mitades, se aplicaron diferentes soluciones antipardeantes preparadas a partir de ácido ascórbico, ácido cítrico y EDTA. Para determinar el pardeamiento se evaluó el color a lo largo de la conservación en aire humidificado a 15°C durante 8 días para los bulbos enteros y 4 días para las mitades. Periódicamente se determinaron la actividad respiratoria y la emisión de etileno y al inicio y término de la conservación los atributos químicos, sensoriales y el pardeamiento. Los bulbos de hinojo mostraron un comportamiento respiratorio no climatérico (unos 45 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), que se estimuló (desde 40 hasta unos 80 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) cuando se cortaron en mitades. Las disoluciones de ácido ascórbico (50 g L⁻¹) y de ácido cítrico (50 g L⁻¹) estimularon en bulbos enteros la actividad respiratoria (hasta 220 y 130 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente) y la emisión de etileno (hasta 8,3 y 17,5 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente), y no controlaron el pardeamiento. Sin embargo, en mitades de bulbo el ácido cítrico, que inicialmente ocasionó una estimulación, frenó el metabolismo de manera similar al EDTA, aunque provocando un daño químico. Por su parte, el lavado con 5 g L⁻¹ de EDTA afectó mucho menos al metabolismo de los bulbos enteros y cortados en mitades y fue parcialmente eficaz para controlar el pardeamiento.

Palabras clave: Hinojo, actividad respiratoria, emisión de etileno, pardeamiento, color, calidad, EDTA, ácidos orgánicos, procesado mínimo en fresco.

SUMMARY

In order to inhibit browning on intact and half cut fennel bulbs washing with different anti-browning solutions was applied. These solutions were prepared with different levels of ascorbic acid, citric acid and EDTA. The storage under humidified air at 15°C was prolonged 8 days for the intact bulbs and 4 days for the half cut bulbs. The respiratory activity and ethylene emission were periodically monitored. Throughout storage of the intact and half cut bulbs, the surface colour was determined. At the beginning and after storage, chemical and sensory attributes, and browning were evaluated. The metabolic activity was slightly higher in half cut bulbs than in intact bulbs. Fennel bulbs have showed a non-climacteric respiratory behaviour. Ascorbic (50 g L⁻¹) and citric (50 g L⁻¹) solutions increased the respiratory activity of fennel bulbs (220 and 130 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectively) and the ethylene emission (8,3 and 17,5 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ respectively) and were not able to control efficiently browning. However in half bulbs the citric acid, that initially stimulated the metabolism, finally was similar than the EDTA, although inducing a chemical damage. On the other hand, 5 g L⁻¹ EDTA was partially useful to control the enzymatic browning on the cut zone in intact as well as in minimally fresh processed bulbs.

Key words: Fennel, respiratory activity, browning, colour, quality, EDTA, organic acids, minimal fresh processing.

INTRODUCCIÓN

La polifenoloxidasas (PPO) es una de las más importantes enzimas en el procesado mínimo en fresco de frutas y hortalizas al participar directamente en las reacciones de pardeamiento enzimático (Artés *et al.*, 1998, 2002c). Bajo este término se agrupa la acción de varias enzimas (tirosinasa, o-difenoloxidasas, catecoloxidasas, etc.), que en presencia de O₂ hidrolizan compuestos monofenólicos a o-difenoles, los cuales se oxidan más tarde a o-quinonas incoloras. Éstas rápidamente reaccionan no enzimáticamente con otros compuestos fenólicos, aminoácidos, etc., polimerizando, para producir pigmentos rojizos, pardos o negros como melaninas, de elevado peso molecular y estructura bastante desconocida. Durante las operaciones de corte tan frecuentes en el procesado mínimo en fresco de los órganos vegetales, la membrana celular se rompe y los sustratos fenólicos, habitualmente localizados en la vacuo-

la, entran en contacto con las enzimas oxidativas alojadas en el protoplasma (Sapers, 1993; Castañer *et al.*, 1996; Artés *et al.*, 1998; Artés, 2000). Los factores más importantes que determinan la velocidad de pardeamiento son la concentración de enzima PPO y de compuestos fenólicos, el pH, la temperatura y la disponibilidad de O₂ por el tejido vegetal. En la mayoría de los casos el pH óptimo para que actúe la PPO se encuentra entre 4 y 7 (Heimdal *et al.*, 1994; Laurila *et al.*, 1998). La actividad de la PPO se frena mediante la inactivación de la enzima por calor, por la eliminación de uno o de ambos sustratos (O₂ y fenoles), disminuyendo el pH hasta 2, o por debajo del óptimo, y aplicando compuestos que inhiban a la PPO o frenen la formación de melaninas (Castañer *et al.*, 1996; Laurila *et al.*, 1998; Artés *et al.*, 1998).

La aplicación de sulfitos ha sido ampliamente utilizada como método químico que retrasa el desarrollo de este desorden. Los sulfitos son agentes multifuncionales que previenen el pardeamiento

enzimático y no enzimático, controlan el crecimiento de microorganismos, actúan como agentes blanqueadores o como reductores y antioxidantes. Sin embargo, el empleo de sulfitos tiene varias desventajas: producen corrosión de la maquinaria, ablandamiento, malos sabores de los tejidos y destruyen algunos nutrientes. Además, la combinación de tratamientos con sulfitos y vacío puede favorecer la anaerobiosis y el crecimiento de microorganismos patógenos. También estos compuestos afectan negativamente a la salud si se ingieren, en especial cuando se aplican a alimentos frescos. Por todos estos inconvenientes se buscan métodos alternativos a los sulfitos (Lozano-González *et al.*, 1993; Sapers, 1993; Laurila *et al.*, 1998).

La mayoría de los tratamientos anti-pardeamiento utilizados en hortalizas, como lechugas o patatas, incluyen quelantes de cobre, aplicaciones de agentes antioxidantes como el ácido cítrico o el ácido ascórbico (1 – 3 g L⁻¹) respectivamente y el uso de atmósfe-

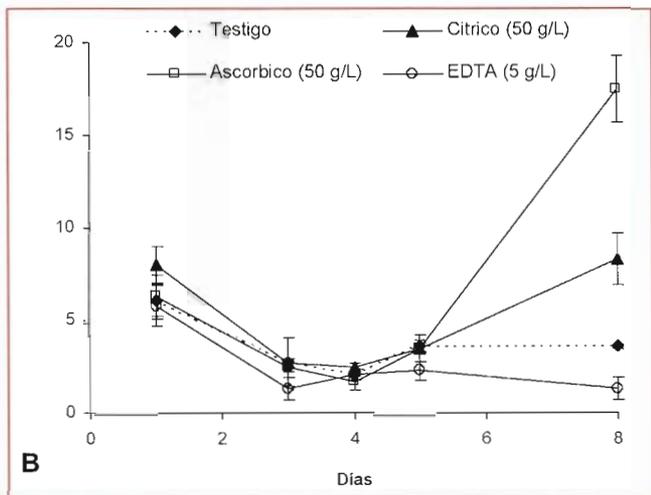
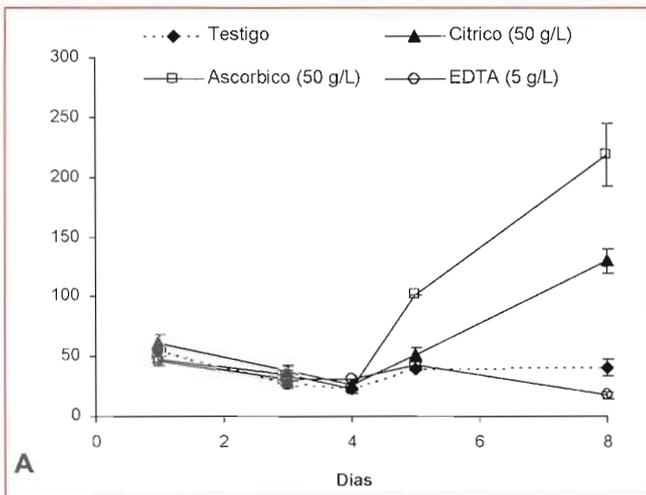


Fig. 1.1. Actividad respiratoria (A) y emisión de etileno (B) en bulbos enteros de hinojo "Orion" durante 8 días a 15°C en aire. Se utilizaron 4 repeticiones por tratamiento. Las barras representan el error estándar.

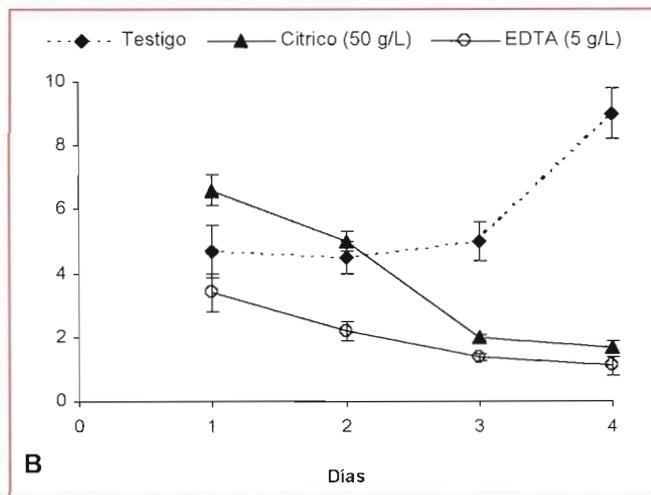
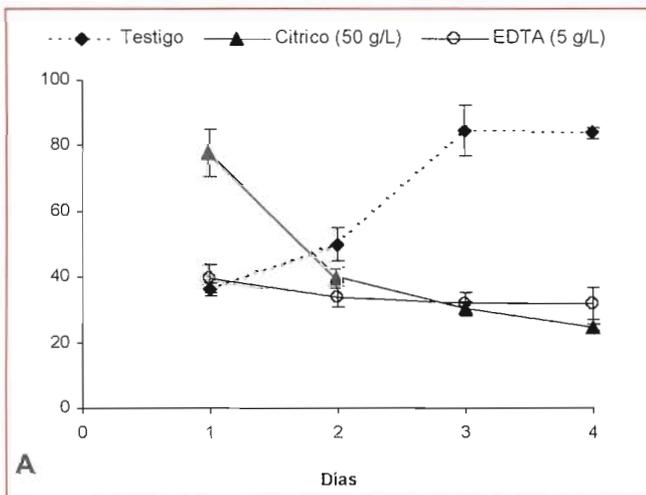


Fig. 2.1. Actividad respiratoria (A) y emisión de etileno (B) en hinojo "Orion" mínimamente procesado en mitades durante 4 días a 15°C en aire. Se utilizaron 4 repeticiones por tratamiento. Las barras representan el error estándar.

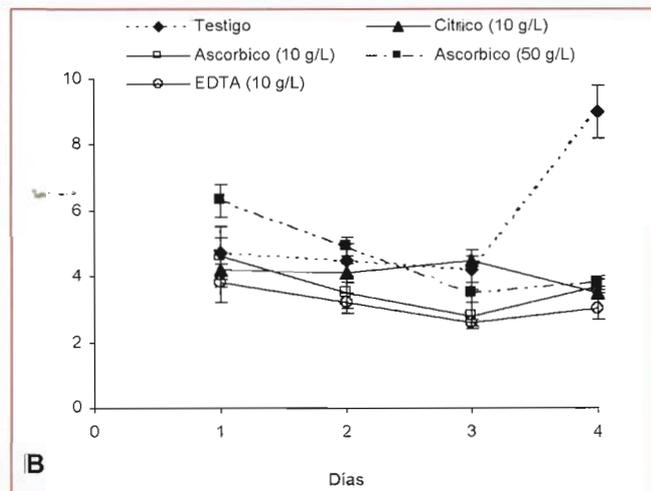
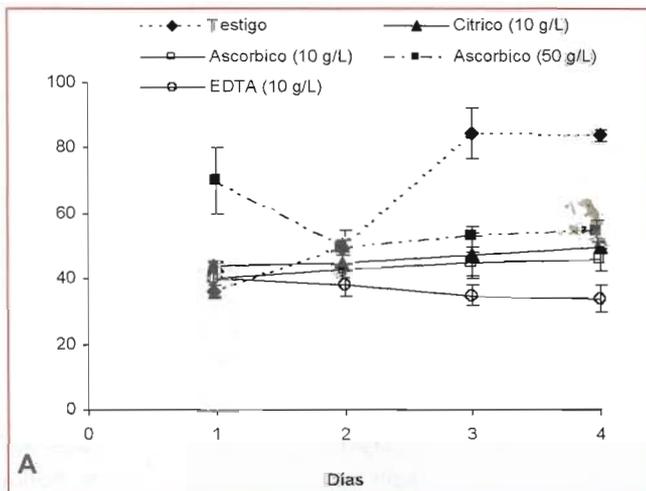


Fig. 3.1. Actividad respiratoria (A) y emisión de etileno (B) en hinojo "Orion" mínimamente procesado en mitades durante 4 días a 15°C en aire. Se utilizaron 4 repeticiones por tratamiento. Las barras representan el error estándar.

ras con reducidas presiones parciales de O₂ (Dziezak, 1986; Sapers y Miller, 1992; Sapers, 1993; Castañer *et al.*, 1996). También la combinación de ácido ascórbico y otros agentes como el ácido cítrico, el cloruro de calcio o de sodio y fosfatos o dextrosas se emplean comercialmente (Iyengar y McEvily, 1992).

Probablemente, la alternativa más estudiada ha sido el ácido ascórbico. Este compuesto es muy eficaz como inhibidor del pardeamiento enzimático gracias a su capacidad de reducir las quinonas a fenoles antes de la formación de pigmentos pardos (Castañer *et al.*, 1996). Desafortunadamente, una vez que el ácido ascórbico ha sido completamente oxidado a ácido dehidroascórbico, las quinonas pueden acumularse y dar origen al pardeamiento. Sin embargo, el ácido ascórbico es menos eficiente que el SO₂ puesto que es menos estable y posee una menor penetración en el tiempo (Sapers, 1993). Otro ácido orgánico habitualmente utilizado es el cítrico, que actúa como agente quelante y acidulante, funciones que inhiben a la PPO. El ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), es también un quelante (Lindsay, 1993) y se ha empleado en patatas y en lechuga Iceberg en combinación con otros inhibidores del pardeamiento (Sapers, 1993; Laurila *et al.*, 1998).

El ácido cítrico (100 g L⁻¹), EDTA (5 g L⁻¹) y ácido acético (50 - 100 g L⁻¹) retrasaron el pardeamiento enzimático en discos de tallos de lechuga Iceberg, siendo el ácido acético el más eficiente por su mayor penetración en los tejidos (Castañer *et al.*, 1996). Trabajos posteriores determinaron que este efecto antipardeante del ácido cítrico se debe a la inhibición de la actividad fenilalanina amoniliasa (PAL). Esta enzima actúa al inicio de la ruta biosintética de los compuestos fenólicos y su inhibición impide la formación de metabolitos fenólicos inducidos por el corte (Tomás-Barberán *et al.*, 1997). En patatas mínimamente procesadas en fresco, Gunes y Lee (1997) controlaron el pardeamiento, medido por la reducción de L*, mediante baños de L-cisteína (5 g L⁻¹), ácido cítrico (20 g L⁻¹) y ácido ascórbico (50 g L⁻¹) durante 3 min, combinados con envasado en atmósfera modificada (EAM) que generó 3 kPa O₂ y 9 kPa CO₂.

En hinojos enteros y mínimamente procesados en fresco el pardeamiento enzimático afectó seriamente su cali-

dad organoléptica (Albenzio *et al.*, 1998). En posteriores experiencias se han aplicado las atmósferas controladas y el EAM como alternativas para evitar este desorden (Artés *et al.*, 2002 a,b; Escalona *et al.*, 2004; Escalona *et al.*, 2005 a,b). En el presente trabajo, con el propósito de inhibir el pardeamiento sobre el corte de los bulbos enteros y procesados en fresco en mitades, se estudia el efecto de diferentes soluciones antipardeantes en el curso de la supervivencia comercial en aire humidificado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Los hinojos (*Foeniculum vulgare* var. *dulce*) del cultivar "Orion" se cosecharon a mano el 21 de marzo en una explotación comercial de la empresa exportadora FRUVEG S.L. en Torre Pacheco (Murcia). En la recolección se utilizaron cuchillos afilados para cortar los tallos de los hinojos. Se realizó una primera selección en el campo eliminando las plantas con alteraciones o muy sucias. Las plantas seleccionadas se transportaron unos 30 km en cajas limpias de campo hasta el laboratorio, donde se almacenaron en una cámara frigorífica convencional a 0/1°C y 70% HR hasta la mañana siguiente.

Preparación de los bulbos

Los hinojos fueron cuidadosamente seleccionados en el interior de una cámara limpia a 10°C y 60-70% HR, eligiendo los bulbos sin defectos y con una apariencia similar, dejándoles 4 a 5 pecíolos de 10 cm de largo. El peso individual (media ± error estándar) de los bulbos fue 250 ± 14 g, con un diámetro ecuatorial y polar de 7,0 ± 0,3 y 6,9 ± 0,3 cm, respectivamente.

Procesado mínimo en fresco

Para la desinfección, los bulbos enteros se lavaron durante 1 min en una solución de 100 mg L⁻¹ de NaOCl a 5°C y pH 7,5. A continuación, a una parte de los bulbos se les eliminaron los pecíolos y se cortaron en mitades longitudinales

(a lo largo del eje de crecimiento), para seguidamente lavarlos en agua a 5°C con 100 mg L⁻¹ de NaOCl a pH 7,5 durante 1 min. Por último, los bulbos enteros y procesados en mitades se dejaron escurrir durante 2 min al aire para eliminar el exceso de agua de lavado-desinfección.

Soluciones antipardeamiento

Los bulbos enteros lavados se trataron con disoluciones de ácido ascórbico (50 g L⁻¹ a pH 7,0), cítrico (50 g L⁻¹ a pH 1,8) y EDTA (5 g L⁻¹ a pH 2,8) a 5°C durante 1 min.

En el caso de las mitades se realizaron dos experiencias. En la primera, las mitades se sumergieron en disoluciones de ácido ascórbico (50 g L⁻¹ a pH 6,9), ácido cítrico (10 y 50 g L⁻¹ a pH 2,8 y 1,9) y EDTA (5 g L⁻¹ a pH 2,9) a 5°C durante 1 min. La segunda experiencia se realizó bajo las mismas condiciones, empleándose disoluciones de ácido ascórbico (10 y 50 g L⁻¹ a pH 7,3 y 6,9), ácido cítrico (10 g L⁻¹ a pH 2,9) y EDTA (10 g L⁻¹ a pH 2,2) a 5°C durante 1 min. Algunas mitades no se lavaron en ninguna solución antipardeante, excepto el lavado previo en agua clorada (Sección "Procesado mínimo en fresco") para dejarlas como testigos. Los bulbos enteros y las mitades se dejaron escurrir algunos minutos sobre un papel de filtro de laboratorio.

Para preparar las diferentes disoluciones se emplearon los siguientes reactivos:

- Ácido ascórbico: L (+) sal sódica ácido ascórbico con > 99,9% de pureza (Fluka, Biochemica, Buchs, Alemania).
- Ácido cítrico: ácido cítrico anhidro con > 99,5% de pureza (Panreac, Barcelona, España).
- EDTA: ácido etilen diamino tetracético con > 99,4% de pureza (Baker B.V. Deventer, Holanda).

Montaje experimental

Los bulbos enteros y los procesados en fresco en mitades se colocaron en el interior de frascos de vidrio de 2,6 L de capacidad, provistos de cierre hermético, dentro de los cuales se hizo circular una corriente de 2 L h⁻¹ de aire con un 95-100% de HR. Se utilizaron 4 repeti-

Tiempo (h)	Solución antipardeante	L*	a*	b*	Croma	Tono (hue)
0		82,6	-5,8	14,3	15,5	111,9
3,5	Testigo	82,2	-6,7	16,3	17,7	112,3
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	81,6	-5,7	14,4	15,5	111,5
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	80,0	-7,4	17,1	18,6	113,4
	EDTA (5 g L ⁻¹)	81,2	-6,8	16,6	18,0	112,2
14,5	Testigo	83,7	-5,7	14,2	15,3	111,9
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	81,9	-5,2	13,8	14,7	110,8
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	81,4	-6,8	16,1	17,5	113,0
	EDTA (5 g L ⁻¹)	81,7	-6,1	15,3	16,5	111,8
70,5	Testigo	82,8	-5,6	15,2	16,2	110,3
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	83,1	-5,1	14,7	15,5	109,2
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	80,8	-6,3	17,9	18,9	109,5
	EDTA (5 g L ⁻¹)	81,9	-5,9	16,0	17,0	110,2
88,5	Testigo	83,5	-5,0	14,8	15,6	109,0
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	83,4	-4,7	13,8	14,6	108,7
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	82,0	-6,4	17,2	18,3	110,4
	EDTA (5 g L ⁻¹)	82,7	-5,8	15,7	16,7	110,4
109,5	Testigo	83,9	-5,5	15,2	16,2	109,8
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	83,7	-4,7	14,1	14,9	108,4
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	81,9	-6,5	17,9	19,0	109,8
	EDTA (5 g L ⁻¹)	82,3	-5,8	15,6	16,6	110,5
192	Testigo	84,2	-6,1	18,7	19,7	108,0
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	83,3	-4,9	17,3	18,0	106,1
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	81,0	-5,8	20,0	20,8	106,3
	EDTA (5 g L ⁻¹)	83,4	-6,1	18,3	19,3	108,3
	Tiempo	ns	(0,77) ^c	(1,85) ^c	(1,98) ^c	(1,07) ^c
	Antioxidante	(1,29) ^b	(0,58) ^c	(1,40) ^c	(1,50) ^c	(0,81) ^c
	Tiempo x Antioxidante	ns	ns	ns	ns	(1,26) ^a

Tabla. 1.1- Evolución del color de las hojas externas en bulbos de hinojo "Orion" durante 8 días a 15°C. Los valores según LSD se encuentran entre paréntesis. Probabilidad: ns, no significativo, ^{a,b,c} significativo a P ≤ 0,05, 0,01, 0,001.

ciones por tratamiento con 3 a 4 bulbos o 6 a 8 mitades por frasco. Los bulbos y las mitades se conservaron durante 8 y 4 días a 15°C, respectivamente.

Determinación de la actividad respiratoria y de la emisión de etileno

Para determinar la actividad respiratoria ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y la emisión de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), los frascos se cerraron herméticamente durante 1 hora. Tras finalizar este periodo para determinar el CO_2 se tomaron muestras de 1 mL del espacio de cabeza, que se analizaron en un cromatógrafo de gases (CG) (Shimadzu GC-14, Tokio, Japón) provisto con un detector de conductividad térmica a 200°C. Las temperaturas del horno y del inyector fueron 50 y 100°C, respectivamente. Se utilizó He como gas portador (flujo: 30 mL min^{-1}) y una columna Chromosorb 102 (2 m x 1/8"SS Supelco, Inc., Bellefonte, Penn, EEUU). Para conocer el etileno acumulado se tomaron muestras de 1 mL que se analizaron en un CG (Hewlett Packard 5730A, EEUU) con un detector de ionización de llama a 200°C. La llama se obtuvo de la combinación de H_2 (90 mL min^{-1}) y aire (270 mL min^{-1}). La temperatura del horno fue unos 35°C. El gas portador fue He (30 mL min^{-1}) y la columna una Porapack Q 4 ft, 80/100.

Tras cada análisis se procedió al barrido continuo de los frascos con aire (conteniendo menos de 0,3 kPa CO_2) para eliminar el CO_2 y C_2H_4 acumulados (Watada *et al.*, 1996). Las determinaciones fueron periódicas y se prolongaron a lo largo de la conservación.

Determinación del color

En el transcurso del almacenamiento de los bulbos enteros se evaluó el color en 6 puntos equidistantes alrededor de la zona ecuatorial sobre las hojas del bulbo, y en 3 puntos equidistantes del corte basal de los bulbos. En los bulbos de hinojo procesados en mitades, el color se evaluó sobre el corte longitudinal, cerca de la base del tallo. Las medidas de color se realizaron con un fotocolorímetro Minolta CR-300 (Ramsey, NJ, EEUU) con un diámetro de apertura de ventana de 8

mm empleando un plato de calibración blanco ($Y = 94,3$; $x = 0,3142$; $y = 0,3211$, fuente de iluminación C y 2° observador). Los valores se expresaron en los parámetros de color del sistema CIELab en donde L^* indica la luminosidad o claridad del color (0 = negro, 100 = blanco), a^* (-a = verde, a = rojo) y b^* (-b = azul, b = amarillo). Además se determinaron el ángulo hue o tono de color ($H^\circ = \tan^{-1} b^*/a^*$) y el parámetro croma o saturación del color [$(a^{*2} + b^{*2})^{-1/2}$] (McGuire, 1992).

Evaluaciones químicas y sensoriales

Al inicio y al término de la conservación, los bulbos enteros y procesados en mitades se sometieron a los siguientes análisis: atributos químicos, pardeamiento u otros desórdenes fisiológicos, podredumbres y atributos sensoriales.

Atributos químicos

Los bulbos de cada repetición se trituraron con una licuadora (Moulinex, Barcelona, España) y sobre el zumo obtenido se realizaron los análisis de sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT). Los SST se determinaron con un refractómetro de mano (Atago N1, Tokio, Japón) a 20°C y se expresaron en °Brix. El pH se determinó con un pH-metro (Crison 501, Barcelona, España). La AT se expresó como g de ácido oxálico por 100 mL, y se obtuvo por titulación de 10 mL de zumo con una solución 0,1 N de NaOH hasta pH 8,1 (AOAC, 1984).

Desórdenes fisiológicos y podredumbres

Mediante un examen visual se evaluó el pardeamiento sobre el corte y las hojas externas y el desarrollo de podredumbres, empleando una escala de intensidad y superficie de 5 puntos (1, sano o menos del 5% de la superficie afectada; 2, leve o con el 5 a < 10% de la superficie afectada; 3, moderado o con el 10 a < 25%; 4, severo con el 25 a 50% y 5, extremo o con $\geq 50\%$). Los bulbos con calificaciones iguales o superiores a 3 se consideraron no aptos para su comercialización (Escalona *et al.*, 2004).

Atributos sensoriales

Mediante un panel formado por al menos 5 personas (25 a 60 años de edad), conocedoras de las características sensoriales de esta hortaliza, se evaluó la apariencia visual, el aroma, la textura, el sabor y la aceptabilidad. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos en donde 1 correspondió a muy mal o muy blanda en el caso de textura, 3 me disgusta o textura blanda, 5 ni me gusta ni me disgusta o moderada textura, 7 me gusta o buena textura y 9 me gusta de manera insuperable o excelente textura. Los valores inferiores a 5 se consideraron no aptos para comercializar el producto. Esta escala reflejó, en el aroma y sabor, la intensidad del atributo siendo el valor 1: ausencia del atributo, 3 baja intensidad, 5 moderada, 7 alta y 9 intensa (adaptadas de Kader *et al.*, 1973).

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial para evaluar los cambios de color. Los factores fueron el tiempo (inicio y fin de conservación) y el tratamiento anti-pardeamiento. Los resultados se sometieron a un ANDEVA ($P \leq 0,05$, 0,01, 0,001). Los atributos químicos y sensoriales se analizaron mediante un ANDEVA simple ($P \leq 0,05$). Cuando los tratamientos presentaron diferencias significativas, éstas se compararon con la prueba LSD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bulbos enteros de hinojo

Actividad respiratoria y emisión de etileno

Hasta el cuarto día, la actividad respiratoria de los bulbos enteros fue de 45 a 60 $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ independientemente del tratamiento empleado (Fig. 1.A). Sin embargo, al finalizar la conservación, los bulbos tratados con ácido ascórbico (50 g L^{-1}) y ácido cítrico (50 g L^{-1}) presentaron un incremento de hasta 220 y 130 $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. En cambio, los bulbos testigos y los tratados con EDTA (5 g L^{-1}) mantuvieron una respiración análoga o ligeramente

inferior a la del inicio de la experiencia. En la emisión de etileno se obtuvo un comportamiento similar al descrito para la actividad respiratoria. Esta emisión se redujo paulatinamente en todos los tratamientos, desde valores iniciales en torno a $6 - 8 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ hasta $1,7 - 2,5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ hasta el cuarto día (Fig. 1.B). A partir de ese momento, la producción de etileno aumentó en los bulbos tratados con ácido cítrico y, en forma más notoria, en los lavados con ácido ascórbico (hasta $8,3$ y $17,5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente). En bulbos enteros conservados en aire a 0°C la emisión de etileno descendió desde $2,4$ a $0,5 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ durante los primeros 6 días (Escalona *et al.*, 2004). Este incremento en el metabolismo de los hinojos tratados con ácido ascórbico y cítrico estuvo relacionado con el desarrollo de manchas pardas hacia el término de la conservación. De acuerdo con Saltveit (1999), la síntesis y sensibilidad al C_2H_4 se incrementa en ciertos estados de desarrollo de la planta o por un estrés ante un agente biótico o abiótico. Los hinojos tuvieron un comportamiento no climatérico durante 8 días a 15°C . Este resultado concuerda con lo observado en anteriores experiencias a temperaturas de 0 y 5°C (Artés *et al.*, 2002a; Escalona *et al.*, 2004 y 2005a).

Bulbos enteros de hinojo

Color

Hojas externas

Al inicio de la conservación, el color de las hojas externas expresado como L^* , a , b , croma y tono fue de $82,6$; $-5,8$; $14,3$; $15,5$ y $111,9$ respectivamente (Tabla 1.1). La luminosidad no registró variaciones a lo largo de la conservación. Sin embargo, los bulbos testigo y los tratados con EDTA obtuvieron valores más altos tras 8 días a 15°C . Al estudiar los demás parámetros de color se aprecia que tanto el testigo como los bulbos tratados con EDTA mostraron cambios de color color mínimos respecto al inicial. Sin embargo, en los tratados con ácidos cítrico y ascórbico se observaron ligeros cambios hacia tonalidades pardas.

El análisis del color sobre las hojas externas no permitió estudiar el pardeamiento enzimático con claridad. Por tanto, las hojas externas mantienen su color nor-

mal, salvo que sean afectadas por daños mecánicos o químicos severos. Estos resultados coinciden con nuestros trabajos previos en bulbos de hinojo conservados a 0 y 5°C (Artés *et al.*, 2000, Artés *et al.*, 2002 a,b; Escalona *et al.*, 2004).

Corte basal

Como se ha demostrado en patata, lechuga, endibia o manzanas cortadas (Sapers y Miller, 1992; Castañer *et al.*, 1996, 1997, 1999, McHugh y Senesi, 2000), el pardeamiento enzimático del corte basal puede evaluarse mediante los cambios en los parámetros L^* , a^* y b^* . La evolución del color sobre el corte basal de bulbos de hinojo estuvo influenciada significativamente por la interacción de los factores tiempo y solución anti-pardeamiento (Tabla 1.2). De esta forma, los bulbos testigos y los tratados con EDTA registraron menores variaciones que los tratados con ácidos cítrico y ascórbico respecto al color inicial (L^* : $79,8$; a^* : $-4,4$; b^* : $13,2$; croma $13,9$ y tono; $108,3$). Sin embargo, los bulbos tratados con ácido cítrico (50 g L^{-1}) sufrieron un daño químico manifestado por tonalidades pardas en la base de los bulbos. Ningún tratamiento estudiado mejoró el color en relación con el testigo, frenando la pérdida de luminosidad y el incremento de tonalidades pardas. Estos resultados confirman los obtenidos en una experiencia previa con hinojos "Clio", donde exclusivamente el EAM retardó en parte el pardeamiento, sin que los baños en ácido ascórbico (1%) o cítrico (5%) tuvieran efecto (Artés *et al.*, 2002b).

Atributos químicos

Debido a la corta duración de la conservación, no se observaron cambios significativos en el contenido de SST, pH y AT (Tabla 1.3). Por tanto, la temperatura de 15°C permite mantener la calidad química de los hinojos durante una comercialización de 8 días. Confirmando los resultados obtenidos en otras experiencias, el hinojo mostró una baja actividad metabólica con valores de SST, pH y AT relativamente constantes durante dos semanas a 0 y 5°C , seguido de una comercialización de 3 a 4 días a 15°C (Artés *et al.*, 2002 a,b; Escalona, 2003, Escalona *et al.*, 2004).

Daños fisiológicos

Al finalizar la conservación, los bulbos tratados con ácido cítrico presentaron manchas pardas deprimidas sobre la superficie de las hojas, que disminuyeron en número e intensidad hacia el interior del bulbo. Estas manchas, que en ocasiones alcanzaron hasta 1 cm de diámetro, afectaron la calidad sensorial de los hinojos. En este mismo periodo, las hojas tratadas con ácido ascórbico también manifestaron manchas pardas, aunque de un diámetro menor a $0,3 \text{ cm}$ y cubrieron una superficie total inferior a las producidas por el ácido cítrico. Esta misma concentración de ácido cítrico fue aplicada anteriormente en hinojos "Clio" sin provocar manchas (Artés *et al.*, 2002b), debido probablemente a la baja temperatura de conservación (0°C) que frenó el metabolismo general y/o a una diferencia intervarietal. Los bulbos con manchas presentaron un sabor desagradable, que fue algo más intenso en el tratamiento con ácido cítrico.

Por otra parte, el pardeamiento sobre el corte basal fue menor cuando los bulbos se trataron con EDTA, tanto en extensión como en intensidad. Los bulbos testigos y los tratados con ácido ascórbico obtuvieron resultados semejantes entre ellos y significativamente más alterados que los bañados en EDTA (Tabla 1.4).

Atributos sensoriales

La apariencia empeoró tras la conservación en todos los tratamientos, aunque esta reducción fue menor en los bulbos bañados con EDTA. Los testigos y los tratados con ácido ascórbico mostraron una apariencia similar y superior a 5, puntuación considerada como límite mínimo de calidad (Tabla 1.4). Sin embargo, los hinojos bañados en ácido cítrico no superaron este mínimo. El aroma no presentó cambios significativos. La textura y el sabor empeoraron significativamente tras la conservación, sin registrarse diferencias entre tratamientos. Los bulbos testigo y los tratados con EDTA obtuvieron una aceptabilidad suficiente para ser comercializados, si bien los bañados en EDTA presentaron una mayor calidad sensorial, debido a la inhibición parcial del pardeamiento enzimático sobre su corte basal.

Tiempo (h)	Solución antipardeante	L*	a*	b*	Croma	Tono (hue)
0		79,8	-4,4	13,2	13,9	108,3
3,5	Testigo	79,3	-4,2	15,1	15,7	105,6
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	77,9	-4,0	13,0	13,6	107,3
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	76,9	-4,6	15,3	16,0	106,7
	EDTA (5 g L ⁻¹)	77,2	-4,6	16,7	17,4	105,2
14,5	Testigo	75,7	-3,2	18,6	18,9	100,1
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	65,4	-2,8	16,7	16,9	100,4
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	74,6	-3,5	18,1	18,5	101,3
	EDTA (5 g L ⁻¹)	74,5	-3,7	19,5	19,9	101,0
70,5	Testigo	74,9	-2,1	18,1	18,3	96,7
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	62,5	0,7	23,7	23,8	88,6
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	73,9	-2,0	17,6	17,7	97,0
	EDTA (5 g L ⁻¹)	74,0	-2,3	18,3	18,6	97,6
88,5	Testigo	75,6	-2,0	17,3	17,4	96,7
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	63,1	0,5	23,9	24,0	89,0
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	74,0	-2,1	17,1	17,3	97,3
	EDTA (5 g L ⁻¹)	73,6	-2,2	17,9	18,1	97,7
109,5	Testigo	75,3	-1,8	18,4	18,5	95,9
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	63,2	0,9	24,5	24,5	88,0
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	74,1	-2,1	18,3	18,4	96,8
	EDTA (5 g L ⁻¹)	74,0	-2,2	18,7	18,9	97,5
192	Testigo	74,9	-1,5	21,6	21,6	94,2
	Cítrico (50 g L ⁻¹)	64,0	2,1	25,4	25,5	85,3
	Ascórbico (50 g L ⁻¹)	71,2	-1,5	22,9	23,0	94,0
	EDTA (5 g L ⁻¹)	72,7	-2,0	22,6	22,8	95,4
	Tiempo	(3,03) ^c	(0,96) ^c	(2,04) ^c	(2,01) ^c	(3,02) ^c
	Antioxidante	(2,29) ^c	(0,73) ^c	(1,54) ^c	(1,52) ^c	(2,29) ^c
	Tiempo x Antioxidante	(6,05) ^c	(1,93) ^c	(4,07) ^c	(4,02) ^c	(6,05) ^c

Tabla. 1.2- Evolución del color sobre el corte basal en bulbos de hinojo "Orion" durante 8 días a 15°C. Los valores según LSD se encuentran entre paréntesis. Probabilidad: ns, no significativo, ^{a,b,c} significativo a P ≤ 0,05, 0,01, 0,001.

Tratamiento	SST (°Brix)	pH	AT (g ác. oxálico /100 mL)
Inicial	4,1 ± 0,3	6,2 ± 0,0	0,04 ± 0,00 b ^z
Tras 8 días a 15°C			
Testigo	3,8 ± 0,3	6,2 ± 0,0	0,05 ± 0,00 ab
Cítrico (50 g L ⁻¹)	3,7 ± 0,3	6,1 ± 0,0	0,06 ± 0,00 a
Ascórbico (50 g L ⁻¹)	4,2 ± 0,3	6,1 ± 0,0	0,06 ± 0,00 a
EDTA (5 g L ⁻¹)	4,3 ± 0,3 ns	6,1 ± 0,0 ns	0,06 ± 0,00 a

Tabla. 1.3- Evolución de los sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT) en bulbos de hinojo "Orion" al inicio y tras 8 días a 15°C en aire. Valores promedios ± error estándar.

^z Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada, según la prueba de rango múltiple de LSD (P ≤ 0,05). ns: no significativo.