



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DEL USO DE AGENTES ANTIPARDEANTES Y ATMÓSFERA
MODIFICADA SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN CASCOS DE
MANZANA 'ROYAL GALA'**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo
y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias,
Mención Producción Frutícola

IGNACIO GÜBELI GARCÍA

Directores de Tesis
VÍCTOR ESCALONA CONTRERAS
LUIS LUCHSINGER LAGOS

Profesores Consejeros
KAREN SAGREDO URRRA
LORETO PRAT DEL RÍO

SANTIAGO DE CHILE
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTO DEL USO DE AGENTES ANTIPARDEANTES Y ATMÓSFERA
MODIFICADA SOBRE EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN CASCOS DE
MANZANA 'ROYAL GALA'.**

Tesis presentada para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola.

IGNACIO GÜBELI GARCÍA

	Calificaciones* (Memoria de Título)	Calificaciones** (Tesis de Grado)
Directores de Tesis		
Víctor Escalona Contreras Ingeniero Agrónomo, Dr.	<u>7,0</u>	<u>Aprobada</u>
Luis Luchsinger Lagos Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	<u>7,0</u>	<u>Aprobada</u>
Profesores Consejeros		
Karen Sagredo Urra Ingeniero Agrónomo, Dr.	<u>6,0</u>	<u>Aprobada</u>
Loreto Prat Del Río Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	<u>6,7</u>	<u>Aprobada</u>

*: Escala de 1 a 7; válido para alumnos de educación continua.

** : Aprobado o reprobado.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al grupo de trabajo del Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, por recibirme y por estar dispuestos siempre a ayudarme en todo lo necesario en la realización de mi tesis, en especial a los profesores Víctor Escalona y Luis Luchsinger de los cuales aprendí mucho durante este período.

Agradezco también a FONDEF por financiar mi tesis por medio del proyecto D0711026 “Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. Bases tecnológicas”.

Agradezco a mis compañeros y amigos, que estuvieron siempre animándome y ayudándome, todos aportaron en el éxito de esta tesis, especialmente los que compartieron las largas jornadas de trabajo, gracias por su amistad y dedicación, el desarrollo de esta tesis hubiera sido muy difícil sin su ayuda constante.

Finalmente agradezco a mi familia, a mis hermanos por compartir sus ideas y amistad conmigo sacudiéndome muchas veces el estrés sin saberlo, y en especial a mis padres por que fueron siempre un apoyo donde poder descansar, aclarar mis ideas y tomar las decisiones correctas para seguir adelante, animándome a cumplir mis metas durante toda mi vida, esta tesis se las dedico a ustedes.

“Juzga tu éxito según lo que has sacrificado para conseguirlo”.

“Vive una buena y honorable vida, así cuando seas mayor y mires atrás podrás disfrutarla por segunda vez”.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. Revisión bibliográfica

1.1-	Productos mínimamente procesados en fresco (MPF)	2
1.2-	Metabolismo de los productos MPF	3
1.3-	Parámetros de calidad de los productos MPF y problemas relacionados	4
	1.3.1- Apariencia y pardeamiento enzimático	4
	1.3.2- Firmeza, sabor y aroma	5
	1.3.3- Inocuidad y crecimiento microbiano	6
1.4-	Conservación de la calidad de la fruta MPF y tecnología asociada	7
	1.4.1- Técnicas de atmósfera controlada (AC) y modificada (AM)	7
	1.4.2- Inmersión en químicos antipardeantes	9

CAPÍTULO II. Efecto de la inmersión en agentes químicos antipardeantes sobre el pardeamiento enzimático en cascotes de manzana ‘Royal Gala’.	12
---	-----------

RESUMEN	13
----------------	-----------

ABSTRACT	14
-----------------	-----------

INTRODUCCIÓN	15
---------------------	-----------

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	17
------------------------------	-----------

MATERIALES Y MÉTODO	18
----------------------------	-----------

2.1- Materiales	18
-----------------	----

2.2- Método	19
-------------	----

2.2.1- Caracterización de fruta entera	19
2.2.1.1- Parámetros físicos	19
2.2.1.2- Parámetros químicos	20
2.2.2- Manipulación y procesamiento	20
2.2.3- Determinación de los parámetros de calidad	23
2.2.3.1- Parámetros físicos	23
2.2.3.2- Parámetros químicos	23
2.2.3.3- Tasa respiratoria	23
2.2.3.4- Evaluación de la calidad sensorial	24
2.2.3.5- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)	24
2.3- Diseño de experimentos y análisis estadístico	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
2.4.1- Caracterización de fruta entera	26
2.4.2- Tasa respiratoria	26
2.4.3- Parámetros de color	28
2.4.4- Firmeza	33
2.4.5- Parámetros químicos	34
2.4.6- Evaluación de la calidad sensorial	35
2.4.7- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)	37
CONCLUSIONES	39
CAPÍTULO III. Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada a 5 °C sobre el pardeamiento enzimático en cascotes de manzana ‘Royal Gala’.	40
RESUMEN	41

ABSTRACT	42
INTRODUCCIÓN	43
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	45
MATERIALES Y MÉTODO	46
3.1- Materiales	46
3.2- Método	46
3.2.1- Caracterización de fruta entera	46
3.2.2- Manipulación y procesamiento	47
3.2.3- Determinación de los parámetros de calidad	48
3.2.3.1- Parámetros físicos y químicos	48
3.2.3.2- Determinación de la actividad metabólica	48
3.2.3.3- Concentración de O ₂ y CO ₂ en recipientes de AC	49
3.2.3.4- Evaluación de la calidad sensorial	50
3.2.3.5- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)	50
3.3- Diseño experimental y análisis estadístico	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.4.1- Caracterización de fruta entera	51
3.4.2- Concentración de gases en recipientes de AC	51
3.4.3- Determinación de la actividad metabólica	52
3.4.4- Parámetros de color	53
3.4.5- Firmeza	57
3.4.6- Parámetros químicos	58
3.4.7- Evaluación de la calidad sensorial	60

3.4.8- Actividad de la polifenoloxidasa (PPO)	62
CONCLUSIONES	64
CAPÍTULO IV. Efecto combinado de la aplicación de agentes antipardeantes y almacenamiento en atmósfera controlada a 5 °C sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana ‘Royal Gala’.	65
RESUMEN	66
ABSTRACT	67
INTRODUCCIÓN	68
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	70
MATERIALES Y MÉTODO	71
4.1- Materiales	71
4.2- Método	71
4.2.1- Caracterización de fruta entera	71
4.2.2- Manipulación y procesamiento	71
4.2.3- Determinación de los parámetros de calidad	72
4.3- Diseño experimental y análisis estadístico	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
4.4.1- Caracterización de fruta entera	74
4.4.2- Concentración de O ₂ y CO ₂ en recipientes de AC	74
4.4.3- Determinación de la actividad metabólica	75

4.4.4- Parámetros de color	76
4.4.5- Firmeza	80
4.4.6- Parámetros químicos	82
4.4.7- Evaluación de la calidad sensorial	83
4.4.8- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)	87
CONCLUSIONES	89
CAPÍTULO V. Efecto del envasado en atmósfera modificada (EAM) activa con películas plásticas de permeabilidad selectiva y aplicación de agentes antipardeantes sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana ‘Royal Gala’.	90
RESUMEN	91
ABSTRACT	92
INTRODUCCIÓN	93
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	95
MATERIALES Y MÉTODO	96
5.1- Materiales	96
5.2- Método	96
5.2.1- Caracterización de fruta entera	96
5.2.2- Manipulación y procesamiento	97
5.2.3- Determinación de los parámetros de calidad	99
5.2.3.1- Parámetros físicos y químicos	99
5.2.3.2- Determinación de la actividad metabólica	99

5.2.3.3-	Composición gaseosa al interior del envase	99
5.2.3.4-	Evaluación de la calidad sensorial	99
5.2.3.5-	Determinación de los compuestos bioactivos	99
5.2.3.6-	Recuentos Microbiológicos	101
5.3-	Diseño experimental y análisis estadístico	102
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		103
5.4.1-	Caracterización de fruta entera	103
5.4.2-	Determinación de la actividad metabólica	103
5.4.3-	Composición gaseosa al interior de los envases	105
5.4.4-	Parámetros de color	107
5.4.5-	Firmeza	111
5.4.6-	Parámetros químicos	113
5.4.7-	Evaluación de la calidad sensorial	115
5.4.8-	Determinación de los compuestos bioactivos	118
5.4.9-	Recuentos microbiológicos	121
CONCLUSIONES		124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		125
ANEXO 1		138
APÉNDICE		139

CAPITULO I. Revisión bibliográfica

1.1- Productos mínimamente procesados en fresco (MPF)

En la actualidad, el consumo de frutas frescas es fundamental en la dieta humana, debido a sus características organolépticas y funcionales, siendo estas últimas las principales responsables de un aumento sostenido en su consumo, lo cual se debe a un cambio de conciencia de los consumidores que cada vez son más exigentes en cuanto a su alimentación, inclinándose por productos saludables, bajos en calorías, ricos en nutrientes e inocuos, además de que éstos sean fáciles y rápidos de consumir. La actual campaña mundial para un estilo de vida saludable ha llevado a una creciente demanda de alimentos frescos, libres de aditivos, con un alto valor nutricional, incluidas las propiedades antioxidantes, para consumirse tanto en el hogar como en servicios de alimentación (Artés *et al.*, 2009). Martín-Diana *et al.* (2007) señalan que existe una asociación entre el consumo de frutas y hortalizas frescas y la disminución del riesgo de sufrir enfermedades crónicas no transmisibles. Estas tendencias, más el acelerado ritmo de vida actual y la falta de tiempo para la elaboración de los alimentos han incrementado el interés por parte de los consumidores por frutas y hortalizas mínimamente procesadas, principalmente porque son productos frescos y por su fácil consumo (Piga *et al.*, 2003; Devlieghere *et al.*, 2004; Martín-Diana *et al.*, 2007; Xiao *et al.*, 2010). Es así como nacen los productos mínimamente procesados en fresco (MPF), los cuales pueden ser definidos como aquellas frutas y hortalizas frescos, sin sus partes no comestibles, perfectamente lavados, pelados y en ciertos casos, trozados, rebanados o rayados, posteriormente envasados y conservados a temperaturas de refrigeración, garantizando una duración mínima de siete días para su consumo inmediato (López y Moreno, 1994; Ahvenainen, 1996), siendo estos conocidos como productos de cuarta gama, productos frescos cortados, e internacionalmente como ready to eat o fresh cut, denominaciones ampliamente conocidas. El procesado mínimo comprende distintas operaciones unitarias que, de forma general, se pueden resumir en las siguientes: selección de la especie y variedad por procesar, cosecha y procesado en su grado de madurez óptimo, clasificación, acondicionamiento, lavado del producto entero, deshojado, pelado, deshuesado, cortado, lavado y desinfectado. Una vez que los productos se procesan, se envasan en bolsas selladas o en bandejas cubiertas con

plásticos, con o sin atmósfera modificada para, posteriormente, ser almacenados y transportados bajo refrigeración (Wiley, 1997).

Estos productos son una gran ventana al futuro del sector agroindustrial, lo cual se debe a sus numerosas ventajas entre las que destacan la reducción del tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante, facilidad de acceso a productos saludables e ino cuos, amplia variedad de preparaciones en frutas y hortalizas, y también, una reducción de los desechos en su preparación, ventajas a las cuales se les puede sumar su facilidad de almacenamiento y transporte. Según Son *et al.* (2001) la conveniencia y calidad de los productos mínimamente procesados son factores claves en el aumento de su consumo, asimismo Rojas (2008) señala que la introducción en los mercados de los productos MPF es una forma de incrementar el consumo de frutas y hortalizas dentro de la población, debido a su atractiva presentación, su buena apariencia, sabor agradable y su conveniencia. Sin embargo, el mayor problema de los productos MPF es su corta vida útil, lo anterior debido a que, tras las diferentes operaciones del procesamiento, se induce la biosíntesis de enzimas lo que asociado a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y otras reacciones bioquímicas dan como resultados cambios en el color, aroma, textura y valor nutritivo lo que finalmente redundo en un aumento en la velocidad de deterioro del producto (Pérez, 2003; Vargas *et al.*, 2007).

1.2- Metabolismo de los productos MPF

Si bien, la mayoría de las técnicas del procesamiento de alimentos estabilizan a los productos y prolongan su almacenamiento y vida útil, la comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas se ve limitada por una vida útil corta y un rápido deterioro de sus componentes, debido a daños en los tejidos como resultado de la transformación, por ejemplo, lavado o corte, y el crecimiento microbiano (Martin-Diana *et al.*, 2007). Estos efectos que sufre la fruta cortada se debe principalmente a que, al tratarse de un tejido vivo, este continúa respirando y con mayor intensidad, lo que

genera un gran número de reacciones bioquímicas que provocan un aceleramiento de la senescencia. Según Ahvenainen (1996) la tasa respiratoria de los productos MPF es mucho más alta que la de los productos enteros, dependiendo lo anterior de factores como el tipo de producto, la temperatura de almacenamiento y la intensidad de corte. Es importante mencionar el rol fundamental de un buen manejo de la temperatura, según Barreiro y Sandoval (2006) la tasa de respiración es directamente proporcional a la temperatura. La reducción de la temperatura mediante la refrigeración disminuye las tasas de respiración, de aquí la ventaja de las bajas temperaturas para conservar alimentos vegetales.

Otro aspecto de la fisiología de los productos MPF es la producción de etileno la cual se vé estimulada cuando los tejidos sufren estrés, tales como el corte (Watada y Qi, 1999), lo cual promueve el ablandamiento, cambios en el color de la pulpa del fruto, desarrollo de sabor y aromas del mismo (Hiwasa *et al.*, 2003; Moggia *et al.*, 2005; Razeto, 2006) y finalmente la senescencia del producto siendo esto determinante en su vida útil. Hu *et al.* (2007) en su investigación en manzana 'Fuji' MPF señalan que almacenando la fruta en contenedores plásticos a 20 °C la producción de etileno se incrementó rápidamente de 100 a 250 $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el transcurso de un día de almacenamiento para luego ir en descenso. A 5 °C el incremento en la producción fue lento, para ir de 100 a 150 $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}\text{h}^{-1}$ pasados 2 días. Lo anterior no solo refleja el aumento de la producción de etileno sino que también la importancia de la temperatura en la regulación de este fenómeno.

1.3- Parámetros de calidad de los productos MPF y problemas relacionados

1.3.1- Apariencia y pardeamiento enzimático

Toivonen y Brummell (2007) señalan que la apariencia de las frutas MPF es el atributo más inmediatamente perceptible por el consumidor, y afecta fuertemente su decisión de compra. En relación con la apariencia, una característica fundamental en la fruta MPF es el color, puesto que éste tiende a relacionarse directamente con el estado de

madurez y frescura del producto. Los cambios en la coloración de frutos trozados son medidos por los valores de las coordenadas L, a*, b*, Saturación (C*) y Tono (H_{ab}). El pardeamiento enzimático es el principal problema en cuanto a la apariencia en manzanas, este es causado por la enzima polifenol oxidasa la cual, en presencia de oxígeno, convierte los compuestos fenólicos en pigmentos de color oscuro (Zawistowski *et al.*, 1991 citado por Rojas-Graü *et al.*, 2008). En concordancia con lo anterior, Valderrama y Clemente (2004) señalan que el control de la actividad de la PPO es importante en el procesamiento y en la conservación de los alimentos, puesto que podría promover el oscurecimiento en frutas y sus productos comercializados. La PPO cataliza dos reacciones: (1) la hidroxilación de los monofenoles a difenoles y (2) la oxidación de los difenoles en quinonas. La reacción de hidroxilación es relativamente lenta y resulta en productos sin color, mientras que la reacción de oxidación es relativamente rápida y cuyo resultado son las quinonas las que sí son coloreadas. Subsecuentes reacciones de las quinonas conducen a una acumulación de melanina, la cual es el pigmento marrón o negro asociado con el pardeamiento en los tejidos vegetales (Toivonen y Brummell, 2007), llegando a nivel de producción de melanina la reacción de pardeamiento enzimático es irreversible.

1.3.2- Firmeza, sabor y aroma

Un aspecto fundamental en la calidad de los productos MPF es la firmeza de la fruta, la cual se ve muy afectada por el fenómeno de ablandamiento. Según Kader (2007) la degradación de las pectinas y otros polisacáridos da por resultado el ablandamiento de las frutas y el consecuente incremento en la susceptibilidad al daño mecánico. Dada esta información se han buscado varias formas de reducir esta pérdida de textura, así es como numerosos autores han escrito sobre el efecto del calcio y derivados de éste. El calcio probablemente actúa de dos formas. En primer lugar, los iones calcio forman enlaces iónicos con las moléculas de pectinas desmetilesterificadas para producir redes de polímeros en la lamela media. Esto mejora la adhesión célula – célula y, por lo tanto, mayor resistencia mecánica y retrasa la degradación normal de las conexiones intercelulares en la maduración del fruto. En segundo lugar, el calcio actúa para

retardar los cambios de la senescencia (Toivonen y Brummell, 2007). Según Martín-Diana *et al.* (2007), las formas de calcio más utilizadas en la industria alimentaria son el cloruro de calcio, lactato de calcio, propionato de calcio y gluconato de calcio, los tres últimos han mostrado algunos de los beneficios de la utilización de cloruro de calcio, tales como la mejora del producto en firmeza, y evitar algunas de sus desventajas, como la amargura, sabores y aromas residuales (Yang y Lawsless, 2003). En relación a los cambios en sabor, aroma y compuestos volátiles, Bett *et al.* (2001) hicieron un seguimiento de estos en manzanas 'Gala' recién cortadas, mediante métodos descriptivos y cromatográficos. La calidad de sabor y aroma de los trozos a los 14 días de almacenado se consideró aceptable y, a pesar de los cambios de sabor y aroma, no se vió reflejado en sabores y aromas desagradables durante el almacenamiento, pero la mayoría de los compuestos aromáticos analizados disminuyeron lo que sugiere que este parámetro podría ser crítico en la aceptación de las manzanas recién cortadas.

1.3.3- Inocuidad y crecimiento microbiano

Otro aspecto de interés en la fruta MPF es la inocuidad, principalmente desde el punto de vista microbiológico ya que el corte deja el tejido expuesto a patógenos los que, al encontrarse con este medio rico en nutrientes celulares ven favorecido su crecimiento, pudiéndose tornar en un gran problema para la conservación del producto. Sumado a lo anterior numerosos son los autores que señalan en sus estudios la importancia de mantener la higiene durante el procesamiento de la fruta, debido a los múltiples focos de infección, que van desde la propia manipulación y utensilios, hasta la misma sala de procesamiento (Heard, 2002; Cantwell y Suslow, 2007; Artés *et al.*, 2009). Cantwell y Suslow (2007) señalan que el crecimiento microbiano en los productos MPF se controla principalmente con un buen manejo de la sanidad y de la temperatura, siendo esta última vital en el procesamiento. Según Heard (2002) desde la llegada de la fruta ésta debe ser almacenada a 5 °C; así mismo, el entorno en el que se procederá al pelado y trozado de la fruta debe ser mantenido a temperaturas entre 5 a 10 °C, y el agua para lavado debe ser refrigerada generalmente. Sin embargo, aunque las bajas temperaturas durante y después del procesamiento generalmente retardan el crecimiento microbiano,

pueden favorecer microorganismos psicrófilos tales como *Pseudomonas* y *Listeria* (Nguyen-The y Carlin, 1994; Cantwell y Suslow, 2007). Otro tipo de microorganismos son los mesófilos los cuales también pueden crecer a temperaturas de refrigeración, pero a una tasa muy reducida (Nguyen-The y Carlin, 1994).

1.4- Conservación de la calidad de la fruta MPF y tecnología asociada

1.4.1- Técnicas de atmósfera controlada y atmósfera modificada

El proceso de respiración está directamente relacionado con el contenido de oxígeno disponible y de CO₂ producido, en eso se basa el principio de atmósfera controlada (AC) y modificada (AM). La técnica consiste en mantener niveles bajos de oxígeno (cerca de 0%) y medios a altos de CO₂ (5-15% o superior), lo que varía según la tolerancia de la especie y variedad de la que se trate. Según Day (1994) bajas concentraciones de O₂ y/o altos en CO₂ reducen la respiración y decrece la producción de etileno, inhiben o anulan reacciones enzimáticas, disminuyen los desórdenes fisiológicos y preservan al producto de su pérdida de calidad. Sin embargo, la exposición a concentraciones de CO₂ y O₂ fuera de los límites de tolerancia puede conducir a respiración anaeróbica con una producción inminente de metabolitos indeseables y otros desórdenes fisiológicos (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003) como acumulación de etanol y acetaldehído causando malos sabores y olores. Cabe recordar que el factor principal para lograr una mayor duración de la fruta mínimamente procesada en almacenamiento es el buen manejo de la temperatura, la que, al igual que la composición de gases, se ajusta a la tolerancia de la especie y variedad que se trate. Los factores antes mencionados (temperatura, CO₂, O₂, etc.) son manejados y llevados a su condición óptima en el almacenamiento en AC y envasado en atmósfera modificada (EAM) para la conservación de la fruta MPF en el tiempo. Un estudio hecho en cubos de melón Honeydew almacenados a 5 °C señala que, la calidad visual estuvo por debajo del límite aceptable en los cubos envasados en contenedores expuestos al aire, mientras que las muestras en condiciones de AC con 2 y 4% O₂ + 10% CO₂ se

encontraron por encima del límite de aceptabilidad, al sexto día de tratamiento. Así mismo, para el décimo día de tratamiento, los cubos expuestos al aire se encontraban muy por debajo del límite de calidad visual aceptable, mientras que los cubos de melón en AC estaban ligeramente por debajo del límite de aceptabilidad (Qi *et al.*, 1999). Gorny *et al.* (1999) señalan que las AC de 0,25% O₂ y/o 10 o 20% CO₂ extendieron la vida útil de rebanadas de durazno "O'Henry" y 'Elegant Lady' almacenadas a 10 °C, por 1 a 2 días más que el control en aire, disminuyendo su tasa respiratoria y producción de etileno. En contraste con lo anterior, un estudio realizado en pera MPF en condiciones de AC, con distintas concentraciones de gases indica que concentraciones de bajo O₂ (0,25 ó 0,5%) y alto CO₂ (5, 10 y 20% de CO₂) o con oxígeno superatmosférico (40, 60 y 80%) no previnieron eficazmente el pardeamiento enzimático ni la pérdida de firmeza en rodajas de pera (Gorny *et al.*, 2002). Acerca del envasado en atmósfera modificada (EAM), Gil *et al.* (1998) y Soliva-Fortuny *et al.* (2002) compararon el almacenamiento a 0 y 21% de O₂ en rebanadas de manzana de las variedades Fuji y Golden Delicious, respectivamente. Una completa inhibición de la liberación de etileno fue detectada en ambos estudios, dado que se requiere O₂ para la producción de etileno. Lo anterior se comprueba en el estudio de Qi *et al.* (1999) los que señalaron que atmósferas bajas en O₂ redujeron drásticamente la producción de etileno en cubos de melón Honeydew a 5 °C. Bai *et al.* (2001) realizaron un estudio en cubos de melón cantaloupe almacenados a 5 °C bajo diferentes condiciones de EAM, con un primer tratamiento de EAM pasiva, el segundo de EAM activa de 4% O₂ + 10% CO₂ y el tercero consistió en envasado en bolsas perforadas. Los resultados señalaron que en EAM activa los valores de luminosidad (L) sufrieron un incremento gradual y leve, en EAM pasiva se mantuvieron sin cambios y constantes, mientras que en las bolsas perforadas sufrieron una leve caída durante los primeros 5 días, pero esta fue más marcada acercándose al día 7 del experimento.

En cuanto al EAM en productos MPF y su efecto sobre los microorganismos, estos difieren en su sensibilidad a diferentes concentraciones de gases del entorno. Así es como, según Cantwell y Suslow (2007), atmósferas con bajo oxígeno (1%) generalmente tienen poco efecto sobre el crecimiento de hongos y bacterias mientras que altas concentraciones de CO₂ pueden afectar indirectamente el crecimiento

microbiano retardando el deterioro (ablandamiento, cambios de composición) del producto y, directamente al bajar el pH celular y afectarse el metabolismo de los microorganismos. Portela *et al.* (1997), en los resultados obtenidos en sus estudios en melón Cantaloupe MPF, señalan que, las bacterias gram-negativo son muy sensibles al CO₂, en cambio, las bacterias anaeróbicas y las bacterias ácido-lácticas son completamente resistentes a este gas. Los hongos generalmente son muy sensibles al CO₂ mientras que las levaduras son relativamente resistentes a éste.

1.4.2- Inmersión en agentes químicos antipardeantes

Las técnicas mencionadas anteriormente resultan de ayuda, pero no representan una solución definitiva para el problema del pardeamiento, por esto es que se utilizan diversos agentes antipardeantes, que consisten básicamente en químicos, que retardan el efecto de pardeamiento, llegando algunos a tener una duración de días de acción en el producto. Basados en sus mecanismos de trabajo, los agentes antipardeantes pueden ser categorizados en grupos, siendo los principales los que comprenden a los agentes reductores, acidulantes, quelantes y acomplejantes (McEvily e Iyengar, 1992).

- **Agentes reductores:** Los agentes reductores desempeñan un papel relevante en la prevención del pardeamiento enzimático ya sea reduciendo las orto quinonas (o-quinonas) a difenoles incoloros o reaccionando irreversiblemente con las o-quinonas formando productos estables incoloros (Oms-Oliu *et al.*, 2006). Los agentes reductores, como por ejemplo, el ácido ascórbico (AA) y sus derivados y aminoácidos que contienen sulfuro como la cisteína (Cis) y glutatión han funcionado efectivamente en el retardo del pardeamiento (Mastromatteo *et al.*, 2009). El AA y sus derivados se han utilizado en numerosos estudios en las frutas en concentraciones que van desde 0,5 hasta 4% (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Son *et al.* (2001) señalaron que, en trozos de manzana tratados con soluciones de un 1% de AA, se redujo efectivamente el pardeamiento pasadas 3 h luego del procesamiento. Luo y Barbosa-Canovas (1997) describieron el efecto sinérgico entre el AA y el 4-hexilresorcinol en rebanadas de manzana 'Fuji', logrando reducir en gran medida la actividad de la PPO al usar ambos

compuestos conjuntamente. Se ha reportado que la cisteína tendría un efecto combinado, reduciendo las o-quinonas, actuando directamente sobre el complejo enzimático y formando un aducto cis-quinona (Kahn, 1985 citado por Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Según el estudio realizado por Son *et al.* (2001) los aminoácidos sulfurados tuvieron un gran éxito en la prevención del pardeamiento, superando los resultados obtenidos por el AA, destacándose la Cis, n-acetilcisteína y glutatión.

- **Agentes acidulantes:** Su acción se basa en la reducción del pH por debajo del óptimo para la actividad de la PPO valores que estarían comprendidos dentro un rango levemente ácido a neutro (6,5 a 7,0). Osuga *et al.* (1994) indica que, en la mayoría de las frutas y verduras, la actividad de la PPO óptima se observa a un pH de 6,0 a 6,5, mientras que se detecta poca actividad por debajo de pH 4,5, por otro lado, Bello (2002) señala que el sistema se inactiva si el pH del medio alcanza valores inferiores a 3. Es sabido que los agentes químicos acidulantes se utilizan con frecuencia en combinación con otros agentes antipardeantes, ya que es difícil lograr una inhibición eficiente del pardeamiento enzimático sólo por la vía del control del pH (García y Barret, 2002). Uno de los más conocidos y utilizados es el ácido cítrico cuya actividad ha sido ampliamente documentada, con concentraciones que pueden variar entre 0,5 a 5%, dependiendo si es utilizado en tratamiento individual o en combinación con agentes de otra naturaleza (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; García y Barret, 2002; Son *et al.*, 2001). Este agente posee un doble efecto de inhibición sobre la PPO por reducción del pH y como quelante del cobre en el sitio activo de la enzima (McEvily e Iyengar, 1992, citado por Mastromatteo *et al.*, 2009).

- **Agentes quelantes:** su acción se basa en que dichos compuestos forman complejos uniéndose a las moléculas de cobre presentes en el sitio activo de la PPO, metaloenzima que contiene cobre en su sitio activo, inhibiendo así su acción y el pardeamiento enzimático de la fruta. Según Dorantes-Álvarez y Chiralt (2000) y Perez (2003) para que la PPO actúe sobre el substrato fenólico, el Cu^{+2} debe encontrarse reducido a Cu^{+} , estado en el que la enzima puede ligar oxígeno. Uno de los agentes quelantes más usados es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) el cual, se une al cobre presente en el sitio activo de la PPO y en el tejido (García y Barret, 2002)

inhibiendo la acción de dicha enzima. El EDTA ha sido utilizado en mitades de hinojos obteniendo mejores resultados que la aplicación de AA y ácido cítrico (Escalona *et al.*, 2006).

- **Agentes acomplejantes:** son agentes capaces de atrapar o formar complejos con los sustratos de la PPO o con sus productos de reacción. Algunos ejemplos de estos son las ciclodextrinas y, más específicamente, la β -ciclodextrina. Billaud *et al.* (1995) señalan que la β -ciclodextrina posee mayor afinidad acomplejante sobre los compuestos fenólicos, pero su solubilidad en agua es baja. Por otro lado, Sapers y Hicks (1989) indican que la β -ciclodextrina no fue efectiva en la inhibición del pardeamiento en cubos de manzana. También han sido estudiados otros agentes antipardeantes como los inhibidores enzimáticos donde cabe mencionar al 4-hexilresorcinol y los ácidos fenólicos como el ácido kójico. Según McEvily *et al.* (1991) la eficiencia de 4-hexilresorcinol se ha demostrado en pruebas preliminares llevada a cabo utilizando manzanas y papas cortadas. Por otro lado, otros estudios señalan que la combinación de 4-hexilresorcinol con ácido ascórbico retardó el pardeamiento en rebanadas de manzana (Luo y Barbosa-Cánovas, 1995).

CAPITULO II. Efecto de la inmersión en agentes antipardeantes sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana 'Royal Gala'.

RESUMEN

Con el fin de reducir el pardeamiento enzimático en cascotes de manzana 'Royal Gala', debido a la ruptura de la integridad celular generada por el corte de la fruta, se aplicaron soluciones de agentes antipardeantes, en concentraciones bajas y altas, en base a cisteína (Cis; 0,1 y 0,3% p/v), ácido ascórbico (AA; 0,4 y 0,8% p/v) y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA; 0,15 y 0,3% p/v), combinándolos de la siguiente forma: 0,1% Cis + 0,4% AA, 0,1% Cis + 0,15% EDTA, 0,4% AA + 0,15% EDTA, 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,8% AA + 0,3% EDTA, todos envasados en AM pasiva, es decir, en bolsas selladas sin modificación previa de su atmósfera interna. Se preparó un testigo envasado en AM pasiva y otro envasado en bolsa perforada, así la concentración gaseosa de este último se mantuvo similar a la del ambiente (21% O₂ y 0% CO₂), con el fin de determinar si hubo algún efecto de la atmósfera modificada sobre el pardeamiento enzimático. Las bolsas con cascotes fueron almacenadas por 10 días a 5 °C. Durante el almacenamiento se evaluó tasa respiratoria, color, firmeza, parámetros químicos y sensoriales y actividad de la polifenol oxidasa (PPO). Luego de 1 día los cascotes con 0,1% Cis + 0,15% EDTA y altas concentraciones de Cis + AA y EDTA presentaron los valores más altos de L y H_{ab} (79,5 a 79,4 y 99,0 a 97,5 respectivamente) con ausencia de pardeamiento. Pasados 10 días, los cascotes con altas concentraciones de antipardeantes fueron los únicos que no mostraron pardeamiento en su superficie, presentando valores de L entre 78,0 y 78,3. Entre 2 a 4 h después del procesamiento, se presentaron valores máximos de tasa respiratoria con un promedio de 18,4 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹, un 72,3% más alto que el de la fruta entera (5,1 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹). Tras 10 días la tasa respiratoria estuvo entre 7,1 y 11,4 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹. Pasado 1 día la actividad de la PPO estuvo entre los 0,08 a 0,30 U·mg prot⁻¹, sin apreciarse pardeamiento en los cascotes con aplicación de antipardeantes. Luego de 10 días, los tratamientos de altas concentraciones de antipardeantes presentaron la menor actividad de la PPO (0,22 a 0,24 U·mg prot⁻¹), reduciendo efectivamente el pardeamiento.

Palabras clave: cuarta gama, luminosidad, agentes reductores, agentes quelantes.

ABSTRACT

In order to delay the enzymatic browning of apple slices 'Royal Gala', due to the breakdown of cellular integrity generated by cutting, antibrowning solutions were applied, at low and high concentrations, based on cysteine (Cys: 0.1 and 0.3% w/v), ascorbic acid (AA: 0.4 and 0.8% w/v) and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA: 0.15 and 0.3% w/v). The treatments evaluated were 0.1% Cys + 0.4% AA, 0.1% Cys + 0.15% EDTA, 0.4% AA + 0.15% EDTA, 0.3% Cys + 0.8% AA, 0.3% Cys + 0.3% EDTA y 0.8% AA + 0.3% EDTA, all packaged in passive MA, ie, in sealed bags without prior modification of internal atmosphere. Control treatment was packaged in passive MA and other packaged in perforated bags, both without antibrownings. These perforated bags kept gas concentration close to the air atmosphere (21% O₂ and 0% CO₂), to determine any effect of the gas levels on enzymatic browning. The apple slices were stored for 10 days at 5 °C. Respiratory rate, color, firmness, chemical and sensory parameters and polyphenol oxidase (PPO) activity were evaluated during cold storage. After 1 day slices with 0.1% Cys + 0.15% EDTA and high concentrations of Cys + AA and EDTA had highest values of L and H_{ab} (79.4 to 79.5 and 97.5 to 99.0 respectively), and absence of enzymatic browning. After 10 days, apple slices with high concentrations of antibrowning agents did not show browning in the slices surface, with L values between 78.0 and 78.3. After 2 to 4 h of processing, high respiration rate, between 15.8 and 20.3 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹, higher than that of the whole fruit (5.1 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹), were found. After 10 days, the respiratory rate was between 7.1 and 11.4 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹. After 1 day the PPO activity of apple slice was between 0.08 to 0.30 U·mg prot⁻¹, were no browning was found. After 10 days, the high-concentration treatments of antibrowning agents had the lowest PPO activity (0.22 to 0.24 U·mg prot⁻¹), in non browning apple slices.

Keywords: fresh-cut, shelf life, luminosity, antioxidant agents, chelating agents.

INTRODUCCIÓN

El mayor problema de los productos MPF es su corta vida útil, lo anterior debido a que, tras el corte, se rompe la integridad celular, induciéndose la biosíntesis de enzimas lo que, asociado a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y otras reacciones bioquímicas, dan como resultados cambios en el color, aroma, textura y valor nutritivo lo que finalmente redundará en un aumento en la velocidad de deterioro del producto (Perez, 2003; Gorny *et al.*, 2002; Vargas *et al.*, 2007). Uno de los mayores problemas ocasionados del mínimo proceso en manzanas es el pardeamiento enzimático, el cual se genera luego de la ruptura en la integridad celular, al entrar en contacto los polifenoles con el O_2 del ambiente en una reacción catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO) y puede describirse como un fenómeno que ocurre en dos etapas, una catalizada por enzimas y otra posterior no enzimática. La primera fase enzimática consiste en la oxidación de monofenoles a orto quinonas (*o*-quinonas). En la segunda fase, de carácter no enzimático, las *o*-quinonas producidas en la primera etapa son inestables y reactivas; estas *o*-quinonas condensan combinándose con otros grupos amino o sulfhidrilo de las proteínas y con azúcares reductores; dando origen a polímeros pardos, rojizos o negros, de alto peso molecular y estructura desconocida. La formación de *o*-quinonas es una reacción reversible en presencia de agentes reductores como la cisteína y ácido ascórbico dando lugar a *o*-difenoles incoloros; mientras que la polimerización posterior es irreversible (Oms-Oliu *et al.*, 2008; He y Luo, 2007; Mery, 2010). Para que el pardeamiento enzimático ocurra se requiere de la presencia de oxígeno molecular, substratos apropiados, la enzima polifenoloxidasa y la presencia de cobre en el centro activo de la enzima. Estos factores determinan la velocidad de pardeamiento (Laurila *et al.*, 1998). Otro factor que influye en la acción de la enzima es el pH, además de factores intrínsecos como la especie, la variedad y el estado fisiológico de la fruta (Amiot *et al.*, 1992; He y Luo, 2007).

Para reducir el pardeamiento enzimático una de las técnicas más eficaces es la aplicación de agentes químicos antipardeantes, los cuales poseen diferentes modos de

acción según el cual se clasifican siendo los más conocidos los agentes: reductores, acidulantes, quelantes y acomplejantes.

Los agentes reductores basan su acción en la reducción de las o-quinonas a difenoles incoloros o reaccionando irreversiblemente con las o-quinonas formando productos estables incoloros (Oms-Oliu *et al.*, 2006), este tipo de agentes son los de mayor eficiencia en el control del pardeamiento.

Dentro de los agentes reductores se destacan el ácido ascórbico (AA) y la cisteína (Cis) los cuales han sido ampliamente estudiados (Buta *et al.*, 1999; Son *et al.*, 2001; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; Mastromatteo *et al.*, 2009). El método de acción principal del AA se basa en la reducción de las o-quinonas a difenoles incoloros y, secundariamente, al ser un ácido, contribuye a bajar el pH interno de la fruta. Por otro lado, la cisteína aparte de reducir las o-quinonas, actúa formando un aducto cis-quinona (Kahn, 1985 citado por Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). Las limitantes de su utilización son la aparición de coloraciones rojizas en la superficie del producto (Sapers y Miller, 1998); además las cantidades requeridas para inhibir totalmente el pardeamiento son demasiado altas y pueden aparecer sabores y aromas no deseados, por esta razón es que se suele aplicar en combinación con otros compuestos (Gorny *et al.*, 2002; Pérez, 2003).

Los agentes quelantes basan su acción en formar complejos altamente estables al secuestrar al ion Cu^{2+} del sitio activo de la enzima PPO impidiendo así su acción (Mery, 2011). Uno de los más utilizados es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). Las concentraciones más comúnmente utilizadas son 0,2-0,5% p/v. Este agente se ha utilizado en el control de pardeamiento enzimático en papa y lechuga MPF (Laurila *et al.*, 1998).

Dados los antecedentes anteriores se hace interesante estudiar el efecto combinado de agentes antipardeantes en el control del pardeamiento enzimático y su efecto en la vida útil de los cascos de manzana 'Royal Gala'.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

Los agentes químicos antipardeantes son efectivos en retardar el pardeamiento enzimático y en conservar los parámetros de calidad en cascos de manzana 'Royal Gala'.

Objetivo

Evaluar el efecto del uso de agentes antipardeantes tales como ácido ascórbico, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y cisteína sobre el pardeamiento enzimático y los parámetros de calidad en cascos de manzana 'Royal Gala'.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Materiales

Se utilizaron manzanas de la variedad Royal Gala provenientes de un huerto comercial ubicado en San Fernando, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, cosechadas el mes de marzo y conservadas en cámara a 0 °C por 1 mes, con una humedad relativa de 95%, para luego ser almacenadas en cámara de frío, en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile de 0 a 1 °C con 90 a 95% HR por 3 meses antes de realizarse este trabajo. Se realizó una selección visual de frutos cuidando que no presenten daños físicos, mecánicos ni sanitarios, que puedan alterar la vida de almacenamiento de la fruta.

Para las soluciones antipardeantes se utilizaron agentes como el ácido ascórbico (AA) (Sigma-Aldrich, EE.UU.), 99% de pureza, L-cisteína (Cis) (Granotec, Chile), pureza 99% y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) sal disódica 2-HID (Sigma-Aldrich, EE.UU.), 99,9% pureza.

Para el envasado se utilizaron películas plásticas transparentes (PD961, Cryovac, Victoria, Australia) con permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂ de 6.000-8.000 y 19.000-22.000 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹ a 23 °C respectivamente.

Esta investigación fue financiada por FONDEF D0711026 "Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. Bases tecnológicas".

2.2- Método

2.2.1- Caracterización de fruto entero

Previo al procesamiento, y una vez seleccionada las frutas, se llevó a cabo una caracterización, tomando una muestra representativa de 20 manzanas a las cuales se le realizaron evaluaciones de parámetros físicos y químicos, como se señala a continuación:

- 2.2.1.1 Parámetros físicos

- **Tamaño.** Se determinó mediante un pie de metro (Bull Tools, EE.UU.) en la zona perimetral y ecuatorial del fruto, los valores se expresaron en mm.

- **Peso de los frutos.** Se determinó mediante una balanza electrónica (BJ 2100D, Precisa instruments, Dietikon, Suiza) de 0,1 g de precisión. Los resultados se expresaron en g.

- **Color de la piel.** Se realizó con un colorímetro portátil tri-estímulo (CR-300, Minolta, Japón), con una fuente iluminante D_{65} y un ángulo de observador de 0° , utilizando el sistema CIELab. Se realizaron dos mediciones por fruto en caras opuestas de la zona ecuatorial. El valor obtenido se expresó en L^* , que indica la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), croma (C^* , intensidad) y tono (H_{ab}).

- **Color de pulpa.** Para su medición se cortó la fruta longitudinalmente en dos mitades tomándose mediciones en ambas, en la zona central de la pulpa, siguiendo la metodología descrita para el color de la piel.

- **Firmeza.** Se midió con un texturómetro FTA (Fruit Texture Analyzer, GS-14, Güs, Italia) utilizando un diámetro del émbolo de 11,1 mm. Las mediciones se realizaron en ambas caras del fruto en la zona ecuatorial, previa remoción de la piel. Los resultados se expresaron en kg-f.

2.2.1.2- Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST):** Se obtuvo a partir de 4 muestras de jugo representativas, obtenidas cada una a partir de 5 frutos, y se determinó mediante un refractómetro portátil termo-compensado a 20°C (RHB 32 ATC, Atago, Japón). Los resultados se expresaron en porcentaje de SST.

- **pH y acidez titulable (AT):** Se obtuvieron a partir de 4 muestras representativas de jugo obtenidas cada una a partir de 5 frutos. El pH se determinó con un potenciómetro (pH 21, Hanna instruments, Padua, Italia) y la AT mediante la titulación de 10 mL de jugo con NaOH 0,1 N hasta la neutralización de los ácidos orgánicos a pH 8,2 a 8,3. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido málico.

2.2.2- Manipulación y procesamiento

Previo al procesamiento las manzanas fueron almacenadas en la cámara de almacenamiento del Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile a una temperatura de 0 a 1°C con una humedad relativa entre 90 a 95%.

Una vez seleccionada la fruta fue llevada a la sala de manipulación, especialmente diseñada para este tipo de procesamiento, previamente higienizada, donde se trabajó a una temperatura de 8 °C aproximadamente. Los utensilios fueron higienizados con una solución de hipoclorito de sodio.

Luego se procedió al procesamiento de las manzanas 'Royal Gala' siguiendo los pasos detallados a continuación:

- **Lavado de fruto entero:** las manzanas enteras fueron inmersas en una solución de hipoclorito de sodio de 200 mg ·L⁻¹, a 5°C, durante 5 min, a razón de 6 L·kg⁻¹.

- **Drenado de fruto entero:** luego del lavado, las manzanas fueron colocadas sobre una malla de acero inoxidable por 3 min, para dejar drenar el exceso de agua presente en su superficie.

- **Corte:** las manzanas se dividieron longitudinalmente en 8 cascos, con un cortador afilado, sin remover la piel. El centro de la fruta fue eliminado.

- **Lavado de cascos:** luego del corte, los cascos se lavaron en agua potable a 5°C, por 3 min, a razón de 4,25 L·kg⁻¹ de fruta.

- **Drenado de cascos:** luego del lavado, los cascos fueron colocados sobre una malla de acero inoxidable para dejar drenar el exceso de agua en su superficie por 3 min.

- **Inmersión en antiparodeantes:** para esto se preparó una solución con el (los) correspondiente(s) agente(s) químico(s) en polvo, disuelto(s) en 30 L de agua potable a 5°C cuyas concentraciones dependieron del tratamiento a realizar (Cuadro 2). Los cascos de manzana fueron inmersos durante 5 min en dicha solución, a razón de 4,25 L·kg⁻¹ de fruta.

- **Drenado:** luego del lavado, los cascos fueron colocados sobre una malla de acero inoxidable para dejar escurrir el exceso de agua presente en su superficie por 3 min.

- **Envasado:** una vez realizados los tratamientos, los cascos de manzana se envasaron en bolsas previamente confeccionadas (punto 2.1) hasta alcanzar aproximadamente 200 g por bolsa.

Las bolsas fueron confeccionadas con el fin de prolongar la vida útil del producto, por esto se calculó la permeabilidad del envase para el O₂ tomando en cuenta la tasa respiratoria de la manzana MPF, concentración de gases esperada dentro del envase, superficie de este y la masa de cascos de manzana a través de un modelo matemático propuesto por Artés (1976, citado por Escalona, 2003).

- **Almacenamiento:** una vez envasados, los cascós de manzana se mantuvieron en cámara a 5°C y 95% HR por un período máximo de 10 días.

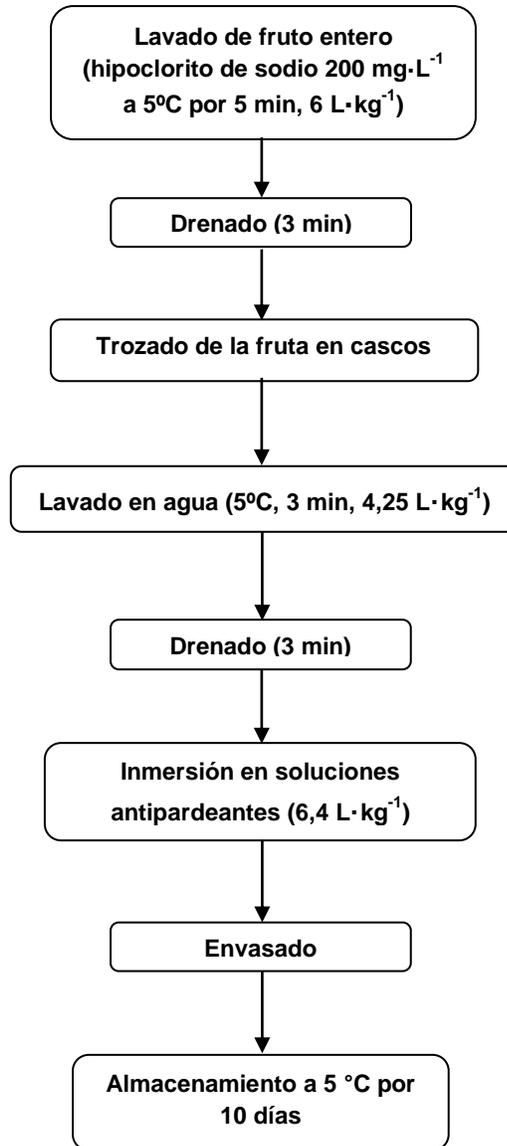


Figura 2.1. Diagrama de manipulación y procesamiento de manzana 'Royal Gala' cortada en cascós, tratados con antipardecientes.

Se realizaron 4 evaluaciones correspondientes a los días 1, 4, 7 y 10 luego del procesamiento de la fruta, para la determinación de los parámetros físicos y químicos, atributos sensoriales y tasa respiratoria. La determinación de actividad de la PPO se realizó para la materia prima y en los días 1 y 10.

2.2.3- Determinación de parámetros de calidad

2.2.3.1- Parámetros físicos

- **Color de la pulpa:** se determinó a partir de 7 cascos, sobre las dos caras de cada uno, en la zona de corte de cada uno de los cascos, en la parte central de estos, siguiendo la metodología descrita anteriormente para el color de pulpa, en el punto 2.2.1.

- **Firmeza de los cascos:** se determinó a partir de 7 cascos, midiendo esta en el punto central de cada uno, previa remoción de la piel, utilizando un émbolo de 7,4 mm de diámetro, siguiendo la metodología descrita anteriormente para firmeza de la pulpa, en el punto 2.2.1.

2.2.3.2- Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST):** se obtuvo a partir de los cascos de manzana de cada repetición, para cada uno de los tratamientos, para cada día de evaluación, siguiendo la metodología descrita anteriormente para concentración de SST, en el punto 2.1.2.

- **pH y acidez titulable (AT):** se obtuvieron a partir de los cascos de manzana de cada repetición, para cada uno de los tratamientos, para cada día de evaluación, y se midieron siguiendo la metodología descrita para pH y acidez titulable, en el punto 2.1.2.

2.2.3.3- Tasa respiratoria

Se determinó con un sistema estático a 5 °C en aire, colocando 120 g de cascos de manzana en frascos de vidrio herméticos de 500 mL, provistos de un septum de goma en su tapa a través del cual se tomaron las muestras gaseosas. Al cabo de 1 a 3 h, con una jeringa de plástico de 10 mL (Nitro, Argentina) se extrajo una muestra de aire del espacio de cabeza del recipiente la cual se inyectó en un cromatógrafo de gases provisto de un detector de conductividad térmica (CG Hewlett-Packard, 5890 Series II, Hamburg, Alemania) y de una columna Porapak Q 80/100 (Hewlett Packard, EE.UU.). La temperatura del inyector, horno y del detector es de 50, 50 y 200 °C,

respectivamente. Los resultados fueron expresados como $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Se utilizó un estándar a 1% de CO_2 (Indura, Santiago, Chile) para la calibración del equipo.

2.2.3.4- Evaluación de calidad sensorial

Se utilizó el método de análisis descriptivo-cuantitativo, aplicado a un panel de 12 jueces semi entrenados, usando una pauta no estructurada de 0 a 15 cm (Anexo 1), donde se evaluó apariencia general, grado de pardeamiento, firmeza y sabores extraños. Las evaluaciones de calidad sensorial fueron realizadas los días 1, 4, 7 y 10 luego del procesamiento de la fruta (día 0).

2.2.3.5- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)

La determinación de la actividad de la PPO se realizó en manzanas enteras antes del procesamiento y cascos de manzana MPF durante el almacenamiento a 5 °C. Las muestras fueron congeladas con nitrógeno líquido (Indura, Santiago, Chile) y conservadas en un refrigerador a -80 °C (SANYO Electric CO. Ltd., Moriguchi City, Osaka, Japón) en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, en espera de su análisis.

Aproximadamente 4 g de manzana fueron sacados cerca de la zona calicinal de diferentes cascos de manzana de cada repetición, fueron homogeneizados en 12 mL de solución tampón de 0,2 M de ácido fosfato cítrico (pH 6,6), 1% tritón y 0,4 g de polyvinyl-polypirrolidone (PVPP). El contenido de proteínas totales se determinó a partir de los extractos, empleando el método de Bradford (1976). Se usó albúmina sérica (BSA) para la curva de calibración. Luego la extracción de la enzima PPO se llevo a cabo mediante la adición de acetona en frío (-20 °C). La reacción se hizo usando como sustrato catecol (20 mM). La actividad se midió en un espectrofotómetro (UV-Vis T70 PG Instruments Limited, Reino Unido) a 400 nm cada minuto por 10 minutos a 25 °C generando una curva de actividad. Se consideró la parte recta de la curva para el cálculo de actividad. La unidad de la actividad enzimática de la PPO (U) se define como el cambio de 0,001 de absorbancia en un minuto ($\text{U min}^{-1} \text{ mg de proteína total}^{-1}$). De forma análoga se evaluó la actividad enzimática de la PPO en la materia prima. La actividad de la PPO fue expresada en $\text{U} \cdot \text{mg de proteína total}^{-1}$.

2.3- Diseño de experimentos y análisis estadístico

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con 8 tratamientos distintos y 3 repeticiones por tratamiento (Cuadro 2.1). La unidad experimental correspondió a 200 g de cascos de manzana 'Royal Gala', los que fueron envasados en bolsas confeccionadas a partir de una película plástica PD-961EZ, cada una con un tamaño de 0,2 x 0,14 m.

Cuadro 2.1. Detalle de los tratamientos de inmersión en agentes antipardeantes de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Tratamiento	Agente químico (% p/v)		
	L-cisteína	Ácido ascórbico	EDTA
T1	0	0	0
T2	0,1	0,4	0
T3	0,1	0	0,15
T4	0	0,4	0,15
T5	0,3	0,8	0
T6	0,3	0	0,3
T7	0	0,8	0,3
T8	0	0	0

Se preparó un testigo con EAM pasiva (T1) (SA) y otro envasado en bolsa perforada (T8) (SA-BP), así la concentración gaseosa de este último se mantuvo igual a la del ambiente (21% O₂ y CO₂ < 1%) durante todo el almacenamiento, con el fin de determinar si existió algún efecto del EAM pasiva sobre el pardeamiento enzimático a través del tiempo, o si este se debió exclusivamente al efecto de los tratamientos con agentes antipardeantes.

Los resultados de este experimento fueron analizados estadísticamente por medio de un ANDEVA (Análisis de Varianza) con un nivel de significancia de un 5% con el fin de evaluar si existen diferencias a través del tiempo. Al encontrarse diferencias significativas se realizó un test de Tukey de separación de medias.

Todos los resultados de las evaluaciones fueron analizados estadísticamente mediante el software estadístico MINITAB versión 16 Statistical Software en español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1- Caracterización de fruta entera

Debido a la baja calidad de la fruta utilizada (fruta de descarte) se realizó una selección de esta previo al procesamiento como se señala en el punto 2.2.2, la cual fue de bajo calibre pero, según se aprecia en la caracterización recién llegada la fruta (Apéndice, Cuadro 2.1), obtuvo una firmeza y SST aceptables, dado que ambos son indicadores de madurez confiables, utilizados comercialmente en manzanas, con valores recomendados entre 6,8 y 7,7 kg-f y 11 a 14% SST (Canepa, 2002; Feippe, 2004; Reid 2007). En el cuadro 2.2 se observa una disminución en la firmeza de la pulpa y SST, en comparación con la caracterización realizada recién recibida la fruta lo que podría deberse al efecto del almacenamiento de la fruta a 0 °C y 95% HR durante 3 meses.

Cuadro 2.2. Caracterización de fruta entera.

Parámetros físicos ¹		Color piel ¹		Color pulpa ¹		Parámetros químicos ²	
Diametro (mm)	L	51,3	L	82,8	SST (%)	13,7	
Ecuatorial	73,2	a*	27,1	a*	-8,06	pH	3,8
Polar	68,0	b*	26,1	b*	19,5	AT (%)	0,28
Peso (g)	190,0	C*	39,0	C*	21,1		
Firmeza (kg-f)	6,8	H _{ab}	44,7	H _{ab}	112,4		

¹ Los valores corresponden al promedio de 20 muestras (20 frutos).

² Los valores corresponden al promedio de 4 muestras, obtenidas cada una a partir de 5 frutos.

2.4.2- Tasa respiratoria

Luego del procesamiento de la fruta (2 a 4 h), se presentaron valores máximos de tasa respiratoria para todos los tratamientos, sin presentarse diferencias entre estos (15,7 a 20,3 mg CO₂·kg⁻¹ h⁻¹) (Apéndice, Cuadro 2.3). Entre los días 1 y 4 se observó una baja clara en la tasa respiratoria con valores entre los 7,2 y 18,7 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹. Pasados 7 días los valores más altos fueron observados en los cascos tratados con 0,3% Cis + 0,8% AA y 0,8% AA + 0,3% EDTA (12,6 y 12,1 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹ respectivamente), y los

valores más bajos en los tratamientos 0,4% AA + 0,15% EDTA y 0,1% Cis + 0,15% EDTA (8,0 y 7,7 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ respectivamente) presentándose diferencias significativas entre estos. Al cabo de 10 días el valor más alto lo obtuvo el tratamiento con 0,3% Cis + 0,8% AA (11,4 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹) y los más bajos los cascos tratados con 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,4% AA + 0,15% EDTA (Figura 2.2) presentándose diferencias significativas entre tratamientos.

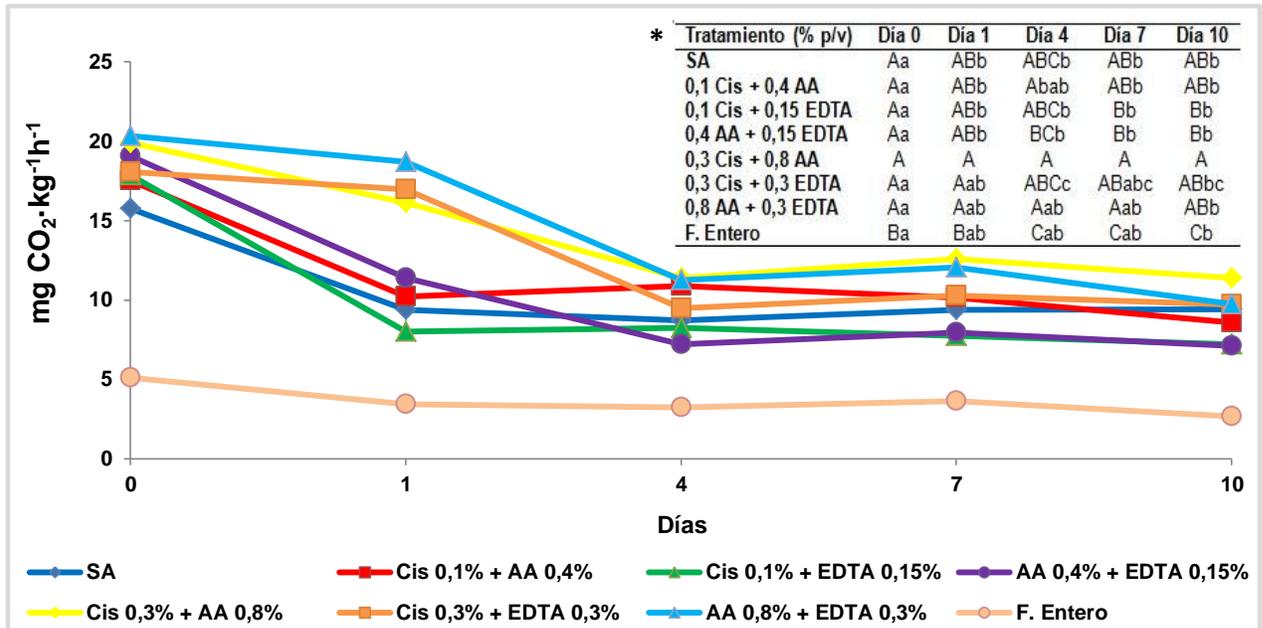


Figura 2.2. Tasa respiratoria de cascos de manzana 'Royal Gala', inmersos en agua y soluciones antipardecantes, y fruto entero. Cis: L-cisteína, AA: ácido ascórbico y EDTA: ácido etilendiaminotetraacético. Los valores son la media (n=3). * Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Durante el tiempo de almacenamiento se observaron fluctuaciones en la tasa respiratoria de los tratamientos, de este modo, como se mencionó anteriormente, todos alcanzaron su valor máximo inmediatamente después del procesamiento para luego decaer y mantenerse estables. Lo anterior podría deberse al estrés generado por el corte de la fruta, lo cual ha sido ampliamente estudiado y señalado en variadas investigaciones (Ahvenainen, 1996; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; Beltrán *et al.*, 2005).

Todos los tratamientos tuvieron tasas respiratorias ampliamente superiores al fruto entero (Figura 2.2) la cual estuvo entre los 2,7 y 5,1 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹, lo que concuerda con lo señalado por Lakakul *et al.* (1999) en su estudio en manzana en el cual señalan que la tasa respiratoria en rebanadas fue 2 a 3 veces mayor que la del fruto entero.

2.4.3- Parámetros de color

- **Luminosidad (L):** Luego de un día los tratamientos de 0,1% Cis + 0,15% EDTA, 0,3% Cis + 0,8% AA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA obtuvieron los valores más altos con 79,5, 79,4 y 79,4 respectivamente, presentando ausencia de pardeamiento; por otro lado, los tratamientos de SA y SA+BP obtuvieron valores de 76,7 y 77,5, encontrándose levemente pardeados. Tras cuatro días los valores más altos fueron observados en los tratamientos de 0,8% AA + 0,3% EDTA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,8% AA, cuyos valores fueron 78,8, 78,7 y 78,5 (Apéndice, Cuadro 2.4), sin presentar pardeamiento, mientras que, los valores más bajos los obtuvieron nuevamente en los cascos SA y SA+BP, con 75,7 y 76,1, observándose pardeamiento en su superficie. Luego de 7 días los valores más altos fueron obtenidos por los tratamientos de 0,3% Cis + 0,3% EDTA, 0,8% AA + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,8% AA, con 78,6, 78,5 y 78,4 respectivamente, sin apreciarse pardeamiento; por otro lado, se observaron los valores más bajos en los tratamientos de 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,1% Cis + 0,4% AA, con 74,1 y 74,8 respectivamente, presentando un alto grado de pardeamiento rojizo en la superficie de sus cascos, estando incluso por debajo del valor de los cascos tratados solo con agua. Para el día 10 de almacenamiento los mayores valores fueron observados en los tratamientos de 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,8% AA + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA, con 78,3, 78,0 y 78,0 respectivamente, con ausencia de pardeamiento en su superficie; los valores más bajos se presentaron en los cascos inmersos en 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,1% Cis + 0,4% AA, al igual que al séptimo día, con 73,5 y 73,6 respectivamente, presentando pardeamiento rojizo extremo en la superficie de sus cascos, hallándose nuevamente por debajo de los cascos tratados con agua (valores entre 74,1 y 75,7) los que presentaron alto grado de pardeamiento.

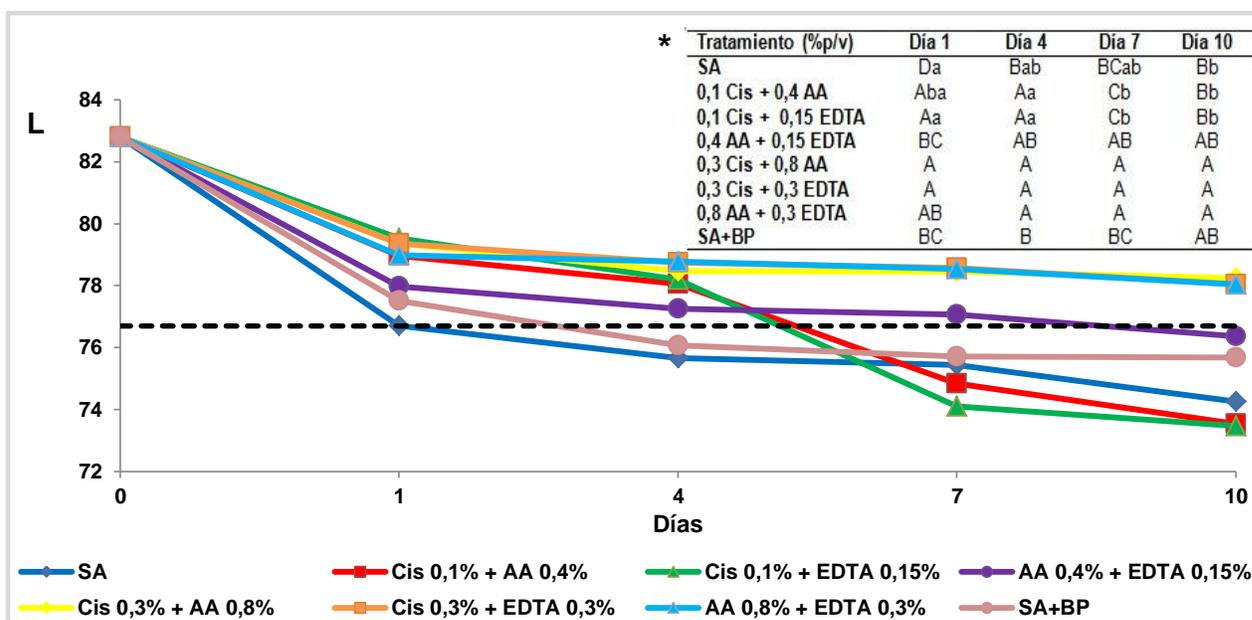


Figura 2.3. Luminosidad (L) de cascos de manzana ‘Royal Gala’, inmersos en agua y soluciones antipardeantes. Los valores son la media (n=3), (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable L=76,7). * Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Durante todo el almacenamiento se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose del resto los de altas concentraciones de antipardeantes (0,3% Cis, 0,8% AA y 0,3% EDTA), reduciendo de forma efectiva el pardeamiento enzimático al conservar altos valores de luminosidad durante los 10 días.

- **Croma (C*):** Luego del primer día, los cascos tratados con 0,4% AA + 0,15% EDTA así como SA y SA+BP, presentaron valores de 30,1, 30,6 y 29,6 respectivamente, encontrándose por sobre el límite de pardeamiento (Apéndice, Figura 1); el resto de los tratamientos presentó valores entre 25,0 a 27,3 (Apéndice, Cuadro 2.5). Tras 4 días de almacenamiento, los valores más altos fueron obtenidos por los cascos SA, SA+BP y 0,4% AA + 0,15% EDTA, con 32,2, 31,3 y 29,4 respectivamente, encontrándose estos por sobre el límite de pardeamiento. El resto de los tratamientos estuvo por bajo del límite, observándose el valor más bajo en los cascos inmersos en 0,3% Cis + 0,3% EDTA con 26,1. Para el día 7 se presentaron los valores más bajos en los tratamientos con 0,3% Cis + 0,8% AA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA, (25,9 y 26,9), encontrándose bajo el

límite de pardeamiento; el resto de los tratamientos estuvo sobre el límite, observándose los valores más altos en los tratamientos de 0,4% AA + 0,15% EDTA, SA+BP y SA, con 31,2, 30,5 y 30,4 respectivamente. Transcurridos los 10 días de almacenamiento se observaron los valores más bajos en los cascos inmersos en 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,8% AA + 0,3% EDTA con 24,3, 25,8 y 26,1 respectivamente, siendo los únicos bajo el límite de pardeamiento; el resto de los tratamientos tuvo valores entre 27,5 y 33,2.

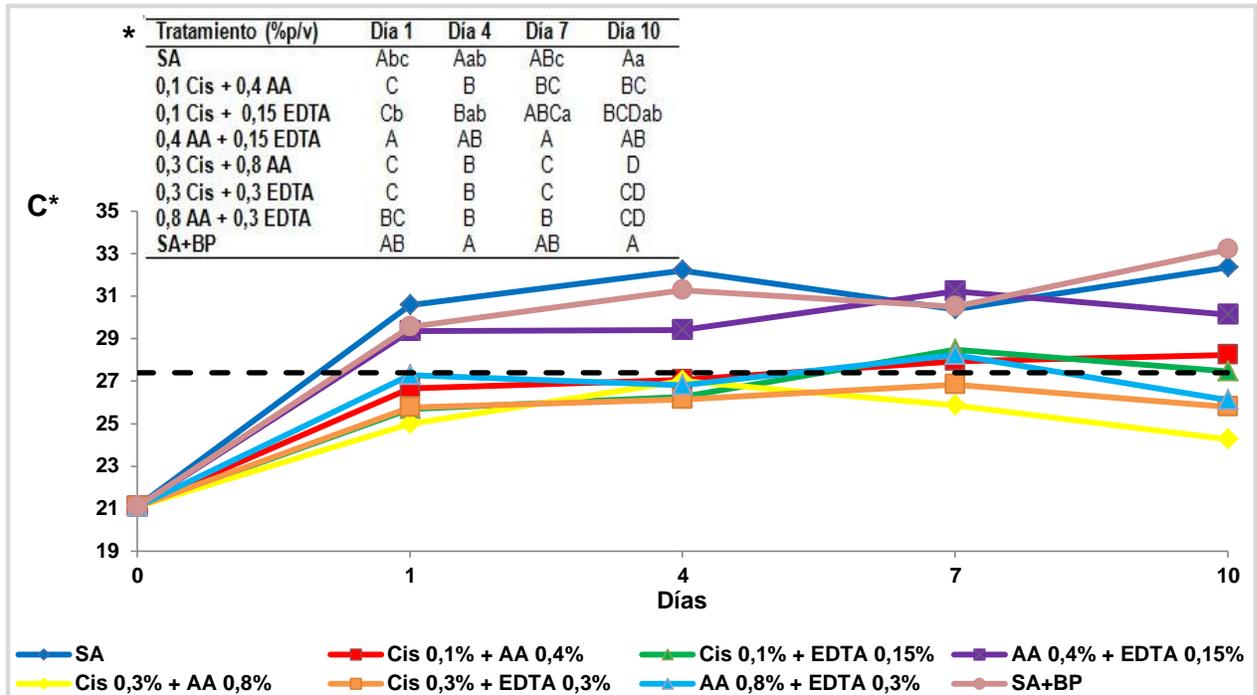


Figura 2.4. Cromo (C^*) de cascos de manzana ‘Royal Gala’, inmersos en agua y soluciones antipardeantes. Los valores son la media ($n=3$), (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable $C^* = 27,4$). * Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en todos los días de evaluación, observándose, por lo general, los valores más bajos en los cascos con altas concentraciones de antipardeantes, retardando el pardeamiento enzimático efectivamente por 10 días, al igual que para la evaluación de luminosidad.

- **Tono (H_{ab}):** tras un día, todos los tratamientos presentaron valores altos, situados por sobre el límite de pardeamiento (Apendice, Figura 1), los que estuvieron entre 90,4 y

99,0 (Apéndice, Cuadro 2.6). Para el día 4 se observaron los valores más altos en los cascos tratados con 0,8% AA + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA (96,3 y 95,9), mientras que los más bajos los presentaron los tratamientos de SA y SA+BP (89,8 y 89,1 respectivamente). Pasados 7 días se observaron los valores más altos en los tratamientos de 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,8% AA + 0,3% EDTA con 94,6, 93,7 y 93,3 respectivamente y los más bajos en cascos inmersos en 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,1% Cis + 0,4% AA con 81,1 y 84,6, presentando estos últimos un alto grado de pardeamiento rojizo. Para el décimo día, se destacaron los tratamientos con 0,8% AA + 0,3% EDTA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,8% AA que obtuvieron valores de 93,5, 93,4 y 92,6 respectivamente, los más altos, ubicándose muy por encima del límite de pardeamiento; por otro lado los valores más bajos se observaron nuevamente en los cascos inmersos en soluciones con 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,1% Cis + 0,4% AA con 80,0 y 81,3, observándose un pardeamiento rojizo extremo.

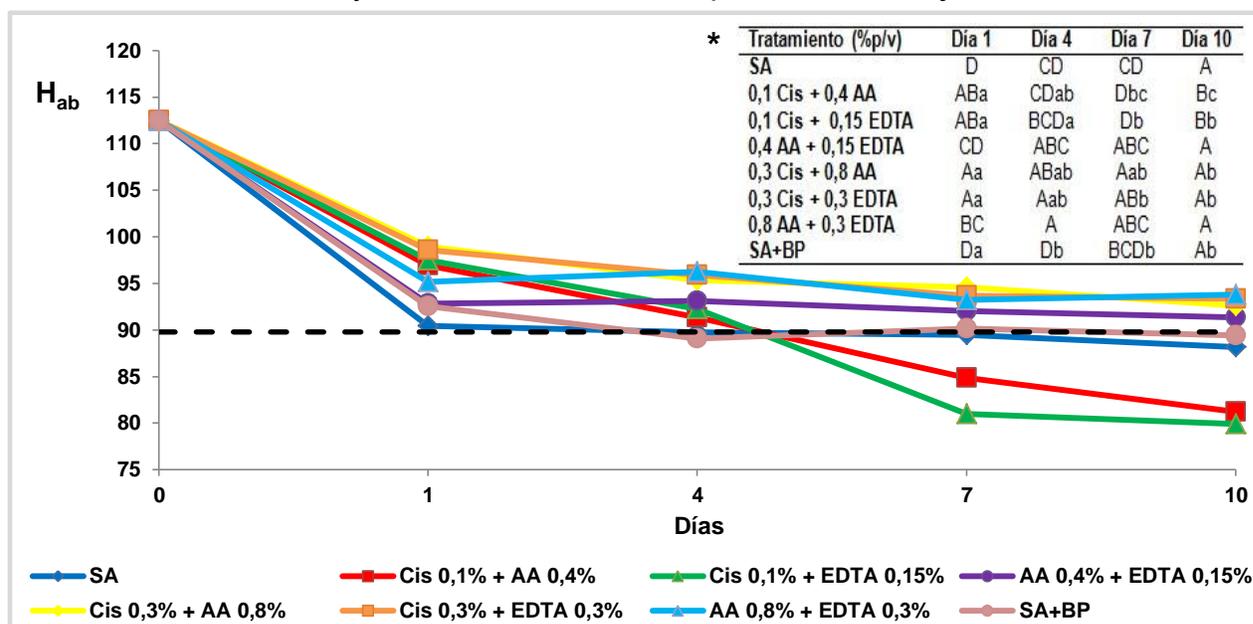


Figura 2.5. Tono (H_{ab}) de cascos de manzana 'Royal Gala', inmersos en agua y soluciones antipardeantes. Los valores son la media ($n=3$) (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable $H_{ab} = 89,8$). * Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en cada uno de los días de evaluación, observándose la mayor reducción del pardeamiento en los cascos inmersos

en altas concentraciones de antipardeantes, al igual que para la evaluación de luminosidad y croma.

Numerosos investigadores indican al valor de L como un importante parámetro para medir el grado de pardeamiento, así como también los valores de H_{ab} y C^* , una baja en los valores de L y H_{ab} y un aumento en los de C^* implicarían un aumento en el pardeamiento (Gorny *et al.*, 2000; Escalona *et al.*, 2006; Aguayo *et al.*, 2010).

Las combinaciones de altas concentraciones de antipardeantes (0,3% Cis, 0,8% AA y 0,3% EDTA) fueron efectivas al retardar el pardeamiento enzimático (Apéndice, Figura 2.1), conservando altos valores de L y H_{ab} y bajos de C^* . Lo anterior demuestra el efecto sinérgico causado al utilizar combinaciones de antipardeantes como el AA, Cis y EDTA, lo cual ha sido ampliamente estudiado (Buta *et al.*, 1999; Gorny *et al.*, 2002; Escalona *et al.*, 2006). Por otro lado, las combinaciones en base a 0,1% Cis, 0,4% AA y 0,15% EDTA no fueron eficaces, al perder su efecto entre los días 4 y 7 de evaluación, lo que pudo deberse a la rápida degradación de estos agentes antipardeantes al encontrarse en bajas concentraciones. Gorny *et al.* (2002) señalan en su investigación en rebanadas de pera que, al cabo de 3 días, los residuos de cisteína y ácido ascórbico se redujeron a niveles mínimos. Es importante señalar que, en un principio, los tratamientos con 0,1% Cis mostraron prevenir de forma efectiva el pardeamiento enzimático, sin embargo, después de siete días apareció una coloración rojiza en la superficie de los cascos (Figura 2.6), la cual pudo deberse a la rápida degradación de la cisteína, lo cual favorece la regeneración de compuestos fenólicos y el consecuente pardeamiento (Richard-Forget *et al.*, 1992). Según Sapers y Miller (1998), Gorny *et al.* (2002) y Soliva-Fortuny y Martín-Belloso (2003) para evitar las coloraciones rojizas cuando se utiliza la cisteína, se debe regular el pH de la solución y llevarlo cerca de la neutralidad (pH 7).

2.4.4- Firmeza

Tras un día el valor más alto lo obtuvo el tratamiento con 0,1% Cis + 0,4% AA con 6,6

kg-f, mientras que el valor más bajo fue observado en los cascós inmersos en 0,3% Cis + 0,8% AA con 5,5 kg-f, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. A los cuatro días de almacenamiento los valores estuvieron entre 5,3 a 6,5 kg-f (Apéndice, Cuadro 2.7), sin presentarse diferencias entre tratamientos. Para el séptimo día el valor más alto fue observado en el tratamiento con 0,1% Cis + 0,4% AA con 6,4 kg-f, y el valor más bajo el tratamiento de 0,3% Cis + 0,8% AA con 5,1 kg-f, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 10 días los valores estuvieron entre los 5,2 y 5,5 kg-f, sin apreciarse diferencias entre tratamientos.

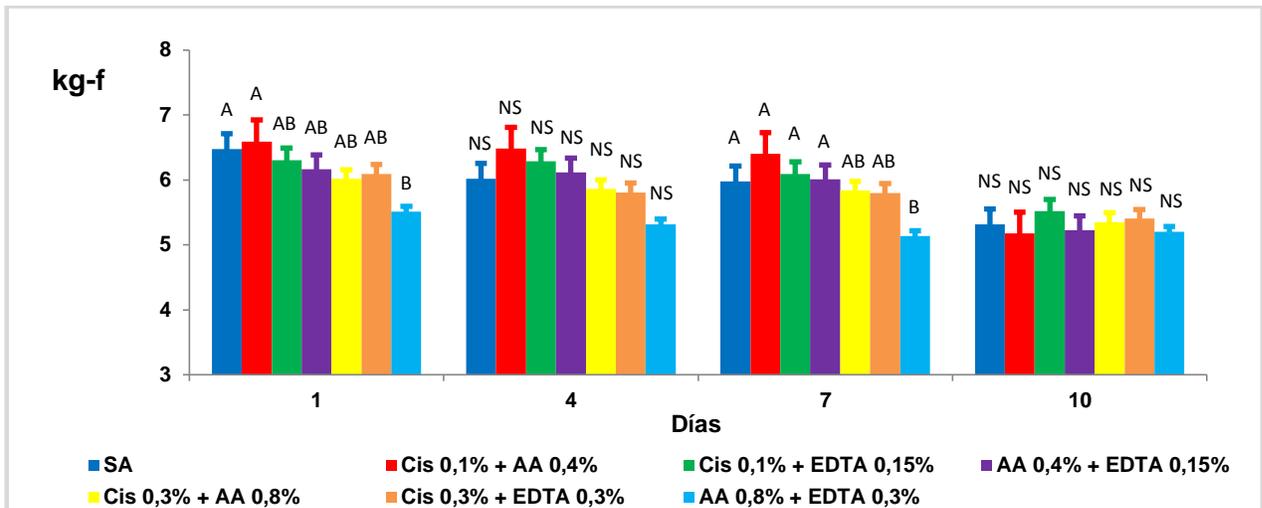


Figura 2.7. Firmeza (kg-f) de cascós de manzana ‘Royal Gala’, inmersos en agua y soluciones antipardeantes. Los valores son la media ($n=3$) \pm EE. ^{A,B,C} Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) y ^{NS} diferencias no significativas.

Solo los tratamiento de SA, 0,1% Cis + 0,4% AA y 0,4% AA + 0,15% EDTA presentaron diferencias significativas en el tiempo, debido a la gran baja que sufrieron al llegar al décimo día de almacenamiento. Dicha baja en la firmeza pudo deberse a que, luego del corte, se activaron enzimas del ablandamiento producto de la ruptura celular, además de la pérdida de turgencia por la deshidratación generada. (Varoquax *et al.*, 1990; Toivonen y Brumell, 2007). Por otro lado la mayoría de los tratamientos no presentaron diferencias significativas en el tiempo, lo cual pudo deberse al efecto de la temperatura de almacenamiento, la cual pudo minimizar el efecto del daño generado por el corte, como es la pérdida de firmeza producto de la ruptura de la integridad celular (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002; Beirão-da-Costa *et al.*, 2006; Silveira, 2009).

2.4.5- Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST):** Durante los 10 días de evaluación no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, observándose valores entre 11,8 y 13,2%. Sólo en el tratamiento con 0,3% Cis + 0,8% AA se presentaron diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento, siendo éste el que obtuvo el valor más bajo de SST al décimo día, lo que podría deberse a su mayor tasa respiratoria en ese día.

- **pH:** Tras un día se observaron valores entre 3,7 a 4,0 (Apéndice, Cuadro 2.9), sin mayores diferencias entre tratamientos. Al cuarto día el mayor valor fue para el tratamiento de 0,1% Cis + 0,15% EDTA (3,8) y el menor para el de 0,1% Cis + 0,4% AA (3,6). Para el séptimo día el mayor valor lo obtuvo el tratamiento de 0,3% Cis + 0,3% EDTA con 4,0 y el menor el de 0,3% Cis + 0,8% AA, con 3,7, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Al final del almacenamiento no se observaron diferencias significativas y los valores oscilaron entre 3,7 y 3,9. Sólo en los tratamientos SA y 0,4% AA + 0,16 EDTA se presentó efecto del tiempo el cual fue mínimo con variaciones de 0,1 en el pH.

- **Acidez titulable (AT):** Transcurridos los 10 días de almacenamiento no se observaron diferencias entre tratamientos observándose valores entre 0,2 y 0,25%; el efecto del tiempo sobre los tratamientos tampoco fue significativo (Apéndice, Cuadro 2.10).

En general se pudo apreciar estabilidad en los valores de AT, pH y SST durante los 10 días de almacenamiento, lo que pudo deberse al efecto del almacenaje a 5 °C el cual retardó el metabolismo bajando la tasa respiratoria y por ende el consumo de azúcares y ácidos, manteniéndose así el pH estable (Oms-Oliu *et al.*, 2008; Silveria, 2009). Los valores de AT y SST fueron más bajos que el valor del fruto entero (Cuadro 2.1), esto pudo deberse al estrés que sufren los tejidos luego del corte de la fruta, lo cual acelera la tasa respiratoria y por ende el consumo de azúcares, lípidos y ácidos orgánicos entre otros (Soliva-Fortuny *et al.*, 2004; Oms-Oliu *et al.*, 2008), de la misma forma podría explicarse la baja en los SST del tratamiento 0,3% Cis + 0,8% AA al décimo día debido a que este fue el que presentó mayor tasa respiratoria para ese día. En concordancia

con lo obtenido, Soliva-Fortuny *et al.* (2004) en manzanas 'Golden Delicious' cortadas en cubos con aplicación de AA y CaCl_2 a 4 °C almacenadas en bolsa plástica, obtuvieron valores estables de acidez (0,34 a 0,4) y pH (3,7) luego de 4 semanas, observándose una leve caída de los SST (13 a 11%).

2.4.6- Evaluación de calidad sensorial

- **Apariencia:** Transcurrido un día se observaron puntajes entre 8,4 y 13,6, sin observarse mayores defectos en los cascos. Para el cuarto día de almacenamiento se obtuvieron los puntajes más altos en los cascos inmersos en 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,8% AA con 13,2 y 12,8 (Apéndice, Cuadro 2.11) y el más bajo en el tratamiento de 0,1% Cis + 0,15% EDTA con un 7,0. Tras 7 días el puntaje más bajo fue observado en el tratamiento de 0,1% Cis + 0,15% EDTA con un 5,7, presentando claros defectos en su superficie; mientras que el puntaje más alto fue observado en los cascos inmersos en 0,3% Cis + 0,3% EDTA con un 12,8. Pasados los 10 días de almacenamiento, se destacaron los tratamientos con 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,8% AA + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA que obtuvieron los mayores puntajes (10,5, 9,9 y 9,4 respectivamente), siendo estos tratamientos, de altas concentraciones de antipardeantes, los únicos en los que no se apreciaron mayores defectos en su apariencia (Figura 2.8); mientras que el resto obtuvo puntajes entre 4,7 y 6,3, observándose claros defectos en la superficie de sus cascos.

- **Pardeamiento:** Tras un día de almacenamiento, se obtuvieron puntajes bajos en general, siendo los más bajos los tratamientos de 0,1% Cis + 0,4% AA y 0,3% + 0,8% AA con un 0,8 y 1,2 respectivamente; mientras que los más altos fueron observados en los cascos SA y SA+BP con un 5,0 y 5,4 respectivamente (Apéndice, Cuadro 2.12). Para el cuarto día el puntaje más bajo lo obtuvo el tratamiento con 0,3% Cis + 0,3% EDTA con 1,1, y los más altos en los tratamientos de SA+BP y 0,1% Cis + 0,15% EDTA, con 6,9 y 6,7 respectivamente, presentando un leve pardeamiento. Luego de 7 días los menores puntajes fueron obtenidos por los tratamientos de altas concentraciones de antipardeantes (1,5 a 2,7), mientras que los tratamientos de bajas

concentraciones o sin estos obtuvieron puntajes entre 6,3 y 7,8, presentando un leve pardeamiento. Transcurridos los 10 días de almacenamiento se observaron los menores puntajes en los tratamientos con 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,3% Cis + 0,3% EDTA y 0,8% AA + 0,3% EDTA (de altas concentraciones), con 3,8, 4,1 y 4,3 respectivamente, los que representan un efectivo retardo en el pardeamiento (Figura 2.8), mientras que el resto obtuvo puntajes entre 7,7 y 10,3, con pardeamiento evidente.

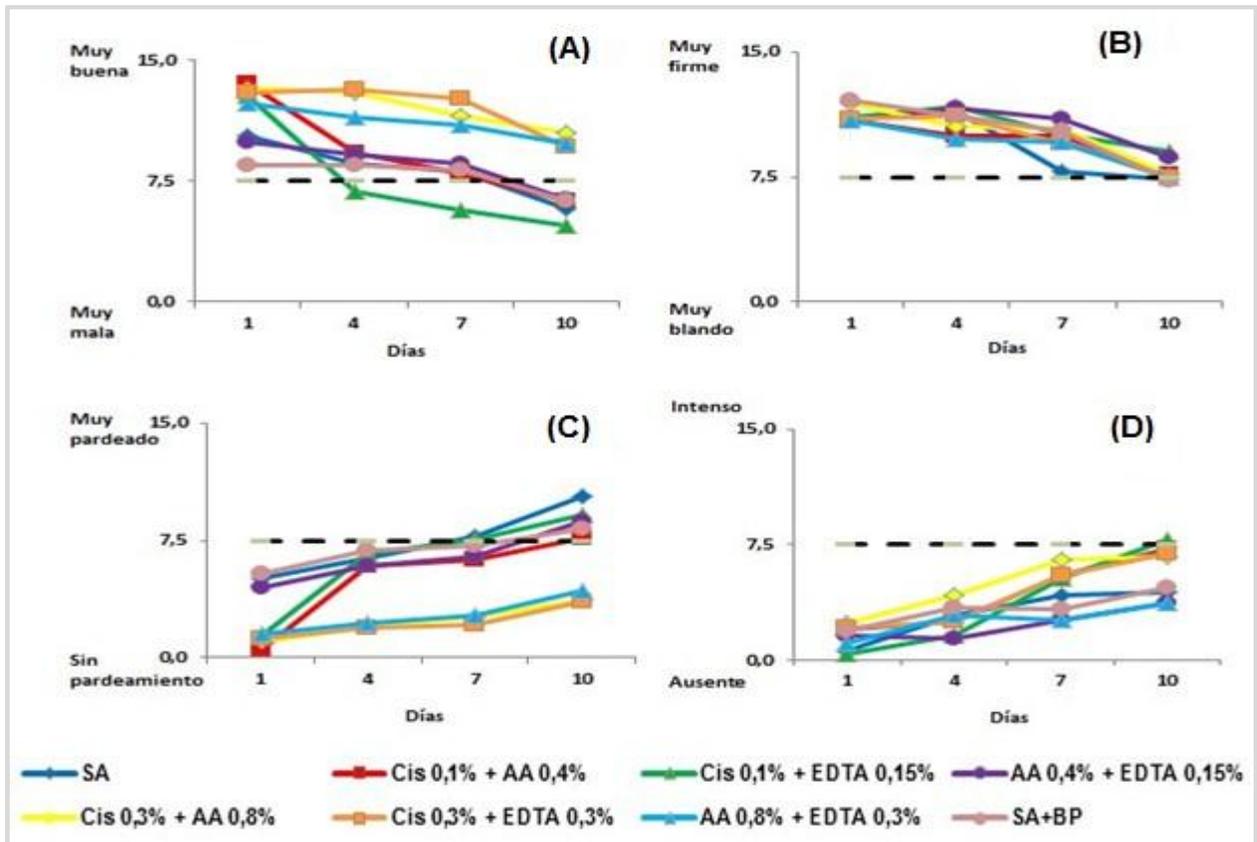


Figura 2.8. Atributos sensoriales para cascotes de manzana ‘Royal Gala’ sometidos a tratamientos con agentes antipardeantes: **(A)** Apariencia; **(B)** Firmeza; **(C)** Pardeamiento; **(D)** Sabores extraños. (La línea punteada indica el límite de aceptabilidad de cada atributo = 7,5).

En general, en las evaluaciones de apariencia y pardeamiento se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en cada una de las fechas de evaluación, lo cual pudo deberse a la mayor efectividad de los tratamientos con altas concentraciones de antipardeantes (0,3% Cis. 0,8% AA y 0,3% EDTA) (Figura 2.8) en comparación con los de bajas concentraciones y sin estos, hecho similar a lo señalado en la evaluación de color y que podría ser explicado de la misma forma (punto 2.4.3).

- **Firmeza:** tras un día los puntajes oscilaron entre 10,9 y 12,1 (Apéndice, Cuadro 2.13), valores altos de firmeza. Para el cuarto día de almacenamiento se observó el puntaje más alto en los cascos que fueron inmersos en 0,1% Cis + 0,15% EDTA con 11,7 y el más bajo para el tratamiento con 0,1% Cis + 0,4% AA con 9,9. Entre los días 7 y 10 de almacenamiento se apreció una baja generalizada en los puntajes los que estuvieron entre 7,1 y 10,2 para el día 7 y 7,2 y 9,0 para el día 10 (Figura 2.8), lo que pudo deberse al estrés generado por el corte, lo que causó la activación de enzimas del ablandamiento, producto de la ruptura celular, además de la pérdida de turgencia por la deshidratación generada (Varoquax *et al.*, 1990; Toivonen y Brumell, 2007).

- **Sabores extraños:** luego de 1 y 4 días los puntajes observados fueron bajos, estando entre 0,6 y 4,3. Tras 7 días se observó el puntaje más alto en el tratamiento con 0,3% Cis + 0,8% AA, con 6,5, y el más bajo en los cascos inmersos en AA y EDTA para ambas concentraciones con un 2,6, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Para el décimo los puntajes más altos estuvieron entre 6,5 y 7,8 y fueron obtenidos por los tratamientos con Cis en ambas concentraciones, el resto de los tratamientos obtuvo puntajes bajos entre 3,7 y 4,8 (Figura 2.8). Los sabores extraños percibidos por el panel en los tratamientos con Cis han sido anteriormente documentados por Dong *et al.* (2000) y Gorny *et al.* (2000) en rebanadas de pera.

2.4.7- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)

Tras 1 día se observó la mayor actividad de la PPO en los tratamientos de SA+BP y SA con 0,29 y 0,30 U·mg prot⁻¹ respectivamente, presentando un leve pardeamiento, mientras que la menor actividad fue observada en los cascos inmersos en 0,1% Cis + 0,15% EDTA y 0,3% Cis + 0,8% AA con 0,08 y 0,11 U·mg prot⁻¹ respectivamente, inferiores al valor de la manzana fresca sin cortar (0,31 U·mg prot⁻¹), presentando ausencia de pardeamiento, al igual que el resto de los tratamientos (Cuadro 2.3). Para el décimo día se presentó la mayor actividad de la PPO en los tratamientos con 0,1% Cis + 0,4% AA y 0,1% Cis + 0,15% EDTA con valores de 0,49 y 0,46 U·mg prot⁻¹ respectivamente, los cuales son aún mayores que los de los tratamientos sin

antipardeantes. Por otro lado los tratamientos que presentaron la menor actividad fueron los de 0,3% Cis + 0,8% AA, 0,8% AA + 0,3% EDTA y 0,3% Cis + 0,3% EDTA con 0,22, 0,22 y 0,24 U·mg prot⁻¹ respectivamente, siendo su actividad aún menor a la observada en manzana fresca sin cortar.

Cuadro 2.3. Actividad enzimática de la PPO en cascos de manzana ‘Royal Gala’ sometidos a inmersión en agentes antipardeantes.

Actividad enzimática PPO (U·mg proteína ⁻¹)		
	Día 1	Día 10
Tratamiento (%p/v)		
SA	0,30	0,44 A
0,1 Cis + 0,4 AA	0,22 b	0,49 Aa
0,1 Cis + 0,15 EDTA	0,08 b	0,46 Aa
0,4 AA + 0,15 EDTA	0,24	0,32 A
0,3 Cis + 0,8 AA	0,11	0,22 Aa
0,3 Cis + 0,3 EDTA	0,15	0,24 A
0,8 AA + 0,3 EDTA	0,21	0,22 A
SA+BP	0,29	0,40 A

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

En general los tratamientos con altas concentraciones de antipardeantes (con 0,3% Cis y EDTA y 0,8% AA) fueron efectivos en la reducción de la actividad de la PPO, presentando valores inferiores al de la manzana fresca sin cortar durante todo el almacenamiento, observándose un aumento promedio bajísimo entre el día 1 y el 10 (0,07 U·mg⁻¹prot⁻¹) (Cuadro 2.3). La efectividad de estos agentes antipardeantes al bajar la actividad de la PPO ha sido observada anteriormente por diferentes investigadores como Rocha y Morais (2005) en manzana ‘Jonagored’ y Rojas Graü *et al.* (2008) en manzana ‘Fuji’. En contraste, los tratamientos de bajas concentraciones presentaron valores más elevados de actividad presentando pardeamiento, siendo esta alza más pronunciada en los tratamientos con 0,1% Cis, lo que es comparable con lo sucedido en la evaluación de color, en la cual los valores de L y H_{ab} de estos cascos bajaron notoriamente y los de C* subieron, observándose un pardeamiento rojizo en su superficie, lo que pudo deberse a la rápida degradación de la Cis al encontrarse en bajas concentraciones (Richard-Forget *et al.*, 1992; Gorny *et al.*, 2002), según fue explicado anteriormente en el punto 2.4.3. Por otro lado, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de agua + bolsa AM y agua + bolsa perforada, lo que señala que el envasado en AM no tuvo efecto sobre la actividad de la PPO.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la hipótesis y objetivos planteados en este trabajo se establece lo siguiente:

La aplicación de altas concentraciones de Cis + AA, Cis + EDTA y AA + EDTA (0,3-0,8; 0,3-0,3 y 0,8-0,3% p/v respectivamente) reduce efectivamente el pardeamiento enzimático al obtener valores altos de luminosidad y tono, y bajos en croma, buenos resultados en el análisis sensorial de apariencia y pardeamiento y baja actividad de la PPO, presentando ausencia de pardeamiento en la superficie de sus cascos durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C, lo cual se debería al alto poder antipardeante demostrado por estas combinaciones, dado que la AM pasiva no afectó significativamente el color ni los atributos sensoriales. Dado que los cascos tratados con Cis fueron rechazados por presencia de sabores extraños se recomienda utilizar el tratamiento de 0,8% AA + 0,3% EDTA, dado que fue el mejor evaluado en esta investigación.

La aplicación de distintas combinaciones de antipardeantes en concentraciones altas y bajas no afectó significativamente la tasa respiratoria, manteniéndose esta constante entre los días 1 y 10, luego de su punto máximo ocurrido 2 a 4 horas luego del procesamiento. Algo similar ocurrió para la firmeza, donde sólo el tratamiento de 0,8% AA + 0,3% EDTA se diferenció al mostrar valores más bajos que el resto, no obstante estos valores no reflejan un ablandamiento crítico, lo cual fue respaldado por el análisis sensorial de firmeza. En cuanto a los SST, pH y AT, la aplicación de antipardeantes no afectó significativamente en estos, manteniéndose sus valores estables durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C. Lo mencionado anteriormente refleja una adecuada conservación de estos parámetros de calidad lo cual se debió principalmente a la baja temperatura de almacenamiento (5 °C) la que retardó los efectos del mínimo proceso y por ende la aceleración del metabolismo y las reacciones bioquímicas que esto conlleva.

CAPITULO III. Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada a 5 °C sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana 'Royal Gala'.

RESUMEN

En este capítulo se evaluó el efecto de distintas atmósferas controladas (AC) sobre el pardeamiento enzimático en cascotes de manzana 'Royal Gala' almacenados por 10 días a 5°C. Las AC aplicadas fueron de 21-0, 5-0, 0-0, 21-10, 5-10 y 0-10% de O₂ y CO₂ respectivamente. Durante el almacenamiento se determinó la tasa respiratoria, color, firmeza, parámetros químicos y sensoriales y actividad de la polifenol oxidasa (PPO). Tras 3 días se presentaron valores de L entre 76,2 y 78,3 observándose leve pardeamiento en los tratamientos de 21-10 y 0-10. Pasados 10 días se observaron valores de L entre 74,7 y 76,6 los que reflejaron pardeamiento leve para los tratamientos con 0% CO₂ y pronunciado en los con 10% CO₂. 4 a 6 horas después del procesamiento, se observaron valores máximos de tasa respiratoria entre 14,9 y 17,6 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹. Entre los días 3 y 10 se produjo una baja y posterior estabilización en los valores de tasa respiratoria, presentándose un claro efecto de la AC al obtener la mayor tasa respiratoria el tratamiento de 21-0 con 10,6 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, mientras que la menor perteneció al de 0-10 con 5,5 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹. Tras 3 días se observaron valores de firmeza entre los 6,2 y 6,9 kg-f. Luego de 10 días el valor más alto lo presentó el tratamiento de 0-0 con 6,4 kg-f, mientras que el más bajo fue observado en los cascotes almacenados en 21-10 con 5,8 kg-f, observándose una pérdida de firmeza mínima en los cascotes. Los tratamientos de 0-0 y 5-0 fueron los únicos que no presentaron defectos mayores en su apariencia (8,4 y 8,7), ni pardeamiento en la superficie de sus cascotes (5,4 y 5,9) al cabo de 7 días. Luego de 10 días ningún tratamiento estuvo en condiciones visuales aptas para su comercialización. Pasados 3 días se observaron valores de actividad de la PPO entre 0,24 y 0,45 U·mg prot⁻¹. Luego de 10 días se observaron los valores más altos en los cascotes almacenados en 0-10 y 5-10 con 0,92 y 0,94 U·mg prot⁻¹ respectivamente y los menores en los tratamientos de 5-0 y 0-0 con 0,48 y 0,50 U·mg prot⁻¹ respectivamente, siendo el almacenamiento en AC ineficiente en la reducción de la actividad de la PPO.

Palabras clave: oxígeno, dióxido de carbono, metabolismo, vida útil, calidad sensorial.

ABSTRACT

In this chapter the effect of different controlled atmosphere (CA) on enzymatic browning in apple slices 'Royal Gala' stored for 10 days at 5 °C were evaluated. Controlled atmospheres of 21-0, 5-0, 0-0, 21-10, 5-10 and 0-10% O₂ and CO₂ respectively were used. Respiratory rate, color, firmness, chemical and sensorial parameters and activity of polyphenol oxidase (PPO) were measured during cold storage. After 1 day the L values were between 76.2 and 78.3, related with a slight browning, in CA of 21-10 and 0-10. After 10 days L values were between 74.7 to 76.6, that reflected the slight browning to the highest, and pronounced browning in the lowest. After 4 to 6 h of processing highest values of respiratory rate were observed from 14.9 to 17.6 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹; Between 1 and 10 days, there were a fall and subsequent stabilization in the values of respiratory rate, reached the tenth day with values from 5.5 to 10.6 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, in CA of 21-0 and 0-10 respectively, with a clear effect of the CA. After 3 days firmness values were between 6.2 and 6.9 kg-f. After 10 days the highest value was presented by treatment of 0-0 with 6.4 kg-f, while the lowest value was observed in the apple slices stored in CA of 21-10 with 5.8 kg-f, minimal firmness loss were observed on the apple slices during the cold storage. The treatments of 0-0 and 5-0 were the only ones who did not present major defects in their appearance (8.4 and 8.7) or browning on the surface of the apple slices (5.9 and 5.4) after 7 days. After 10 days, no treatment was in visual conditions suitable for commercialization. After 3 days, values of PPO activity were between 0.24 and 0.45 U·mg prot⁻¹. After 10 days all treatments rose its activity, the highest values were observed in the slices stored in 5-10 and 0-10 (0.92 and 0.94 U·mg prot⁻¹ respectively), whereas the lowest activity was presented in the treatments of 5-0 and 0-0, with 0.48 and 0.50 U·mg prot⁻¹ respectively, CA storage being inefficient in reducing PPO activity.

Keywords: oxygen, carbon dioxide, metabolism, shelf life, sensorial quality.

INTRODUCCIÓN

El daño físico y las heridas causadas por la preparación de la fruta incrementa la velocidad de procesos metabólicos, como la respiración y la producción de etileno, en pocos minutos, con incrementos asociados en las tasas de otras reacciones bioquímicas responsables de cambios en color (como el pardeamiento), sabor, textura, y calidad nutricional (contenido de azúcares, ácidos, y vitaminas) (Cantwell y Suslow, 2007). El proceso de respiración está directamente relacionado con el contenido de oxígeno disponible y de CO₂ producido. La AC se basa en manejar y mantener de forma constante las concentraciones gaseosas de O₂ y CO₂ que rodean a la fruta con el fin de bajar su tasa respiratoria y con esto su metabolismo en general, para lo cual se busca generalmente concentraciones bajas de O₂ y altas de CO₂, según la tolerancia de la especie y variedad que se trate. El uso del almacenamiento en AC en productos MPF ha sido estudiado por numerosos investigadores como Rocha y Morais (2000) en su investigación en cubos de manzana 'Jonagored', probaron AC de 2% O₂ + 4, 8 y 12% CO₂, concluyendo que todas tuvieron un efecto benéfico sobre el pardeamiento en comparación con el testigo en aire. En una investigación posterior (2001) los mismos autores llegaron a la conclusión de que en los cubos de manzana 'Jonagored' almacenados en AC de 2% O₂ + 12% CO₂ hubo una total inhibición en la actividad de la PPO, mientras que en los almacenados en 2% O₂ + 4% CO₂ no se inhibió esta. En concordancia con lo anterior, Portela y Cantwell (1998) señalan que la aplicación de AC de 21% O₂ y 15% CO₂ redujo los cambios en el color en melón Honeydew MPF. Marrero y Kader (2001) señalan que, en piñas MPF almacenadas a 5 °C, bajos niveles de O₂ (2%) causaron una mayor retención del color amarillo propio de su pulpa, y altos niveles de CO₂ (10%) redujeron el pardeamiento de esta. De acuerdo con los autores anteriores la AC de 2% O₂ + 10% CO₂ extendió la vida útil de la piñas MPF por 2 semanas. Por otro lado, Gorny *et al.* (1998) en rebanadas de pera señalan que atmósferas de 0,5% O₂ y aire + 5% CO₂ no fueron efectivas en mantener la firmeza ni evitar el pardeamiento enzimático, mientras que, atmósferas de aire + 10% CO₂ lo aceleraron en comparación con el testigo, lo que también se debería a una

susceptibilidad de la especie y/o variedad a los altos niveles de CO₂ según ellos justifican. Según Gunes *et al.* (2001) en su estudio en manzana 'Delicious' MPF, almacenadas bajo condiciones de AC en numerosas combinaciones a 5 °C, la AC de peor resultado fue la que contenía 0 y 10 % de O₂ y CO₂ respectivamente, con un valor de L incluso más bajo que el testigo (en aire) a los 7 días

En resumen la técnica de AC es un método de conservación ampliamente estudiado en fruta MPF (Qi *et al.*, 1999; Gorny *et al.* 2002; Antonioli *et al.*, 2007) por lo que se hace interesante el estudio de esta en la reducción del pardeamiento y conservación de parámetros de calidad en cascos de manzana 'Royal Gala'.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

La técnica de atmósfera controlada es efectiva en la reducción del pardeamiento enzimático y en la conservación de parámetros de calidad en cascotes de manzana 'Royal Gala'.

Objetivos

Determinar la efectividad de la combinación de bajas concentraciones de O_2 y moderadas de CO_2 , sobre el pardeamiento enzimático y parámetros de calidad en cascotes de manzana 'Royal Gala'.

MATERIALES Y MÉTODO

3.1- Materiales

Para la realización de esta investigación se utilizaron manzanas de la variedad Royal Gala, suministradas por la empresa Frusan, provenientes de un huerto comercial ubicado en San Fernando, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, de calidad exportable, seleccionada en campo, homogénea en términos de color y calibre, almacenadas en cámara a 0 °C por 6 meses con una humedad relativa de 95%, para luego ser almacenadas en cámara de frío de 0 a 1 °C con 90 a 95% HR, en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, durante una semana antes de realizarse este trabajo.

Esta investigación fue financiada por FONDEF D0711026 "Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. Bases tecnológicas".

3.2- Método

3.2.1- Caracterización de fruta entera

La caracterización de fruta entera y la determinación de los parámetros físicos y químicos se realizaron de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.1

3.2.2- Manipulación y procesamiento

El procesamiento y manipulación de la fruta se realizó según lo establecido en la sección 2.2.2, con la diferencia de que luego del lavado de cascos y su posterior drenado se procedió de la siguiente forma:

- **Pesaje y envasado:** luego del drenado, los cascos de manzana fueron pesados con el fin de obtener 200 g y envasados en tarrinas destapadas y perforadas.

- **Almacenamiento en AC:** luego del envasado se procedió al almacenamiento de las tarrinas, depositándolas en recipientes plásticos herméticos de 20 L, a medida de 9 tarrinas por recipiente. Cada tratamiento se dividió en 2 recipientes diferentes conectados por una manguera de silicona flexible de 6 mm de diámetro, inyectando la concentración de gases correspondiente a cada tratamiento (Cuadro 3.1), desde un panel mezclador de gases, a uno de ellos. Luego, por difusión, la misma concentración se suministró al recipiente contiguo (Figura 3.1). Los recipientes se almacenaron a 5 °C por 10 días.

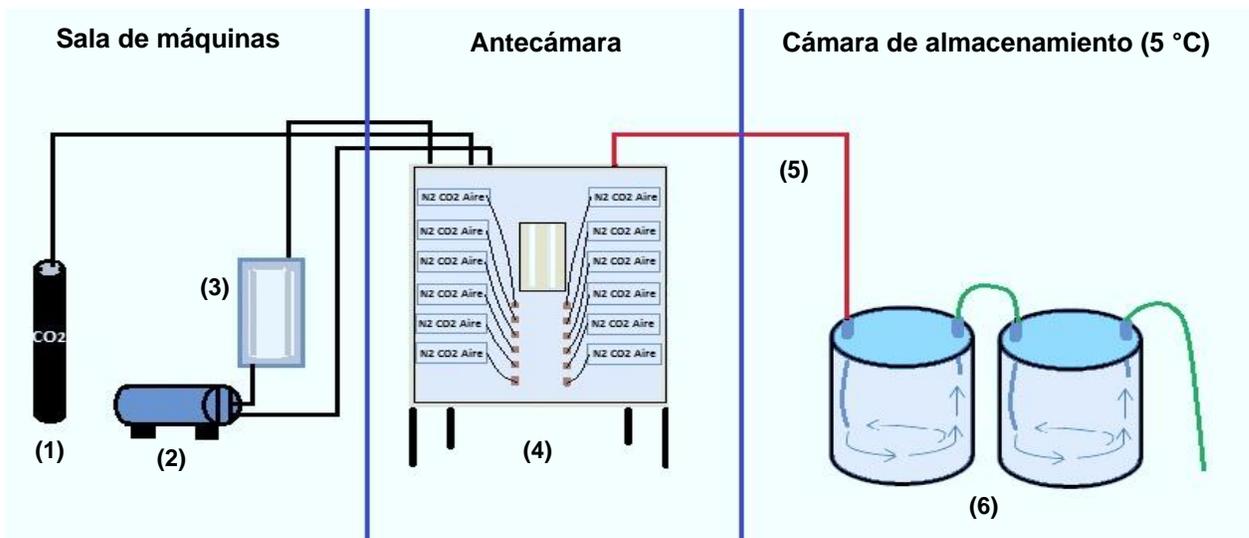


Figura 3.1. Esquema de almacenamiento en atmósfera controlada a 5 °C para cascos de manzana 'Royal Gala'. (1): cilindro de CO₂. (2): compresor de aire. (3): unidad de módulos de membrana. (4): panel mezclador de gases. (5): manguera distribuidora de la mezcla gaseosa. (6): contenedores de 20 L conectados entre sí (las flechas indican el flujo de la mezcla gaseosa en su interior y su difusión al contenedor contiguo).

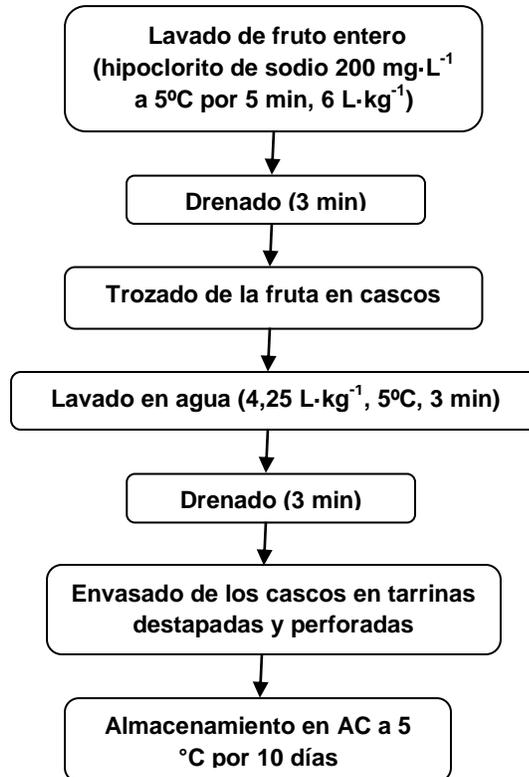


Figura 3.2. Diagrama de manipulación y procesamiento de manzana ‘Royal Gala’ cortada en cascós, almacenados en AC.

3.2.3- Determinación de parámetros de calidad

3.2.3.1- Parámetros físicos y químicos

La medición de los parámetros físicos (color y firmeza) y químicos (SST, pH y AT) se midieron de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.

3.2.3.2- Determinación de la actividad metabólica

- **Tasa respiratoria:** se determinó mediante un sistema estático a 5°C, depositando 9 tarrinas de polietileno abiertas (200 g de fruta en cada una) en recipientes plásticos herméticos con un volumen de 20 L. Cada recipiente estuvo provisto de un septum de goma en su tapa a través del cual se tomaron las muestras gaseosas. Para la toma de muestras, se interrumpió el flujo gaseoso sellando los recipientes herméticamente, luego, con una jeringa de plástico de 10 mL (Nitro, Argentina) se extrajo una muestra

gaseosa del espacio de cabeza de cada uno, como muestra de la composición gaseosa inicial para luego, al cabo de 1 a 3 h, extraer la muestra final, que por diferencia dió como resultado la tasa respiratoria de cada tratamiento. Las muestras tomadas con las jeringas fueron inyectadas en un cromatógrafo de gases provisto de un detector de conductividad térmica (CG Hewlett-Packard, 5890 Series II, Hamburg, Alemania) y de una columna Porapak Q 80/100 (Hewlett Packard, EE.UU.). La temperatura del inyector, horno y del detector es de 50, 50 y 200 °C, respectivamente. Los resultados fueron expresados como $\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Se utilizó un estándar a 1% de CO_2 (Indura, Santiago, Chile) para la calibración del equipo.

- Tasa de producción de etileno: se realizó según la metodología descrita para tasa respiratoria, usando una jeringa de plástico de 1 mL (BD Plastic, Brasil). Las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7820A, CG System, EE.UU.) provisto de un detector de ionización de llama y una columna Porapak QN 80/100 (1,20 m × 3,18 mm), (Norwalk, Connecticut, EE.UU.). La temperatura del inyector, horno y detector fue de 200, 50 y 200 °C, respectivamente. Se utilizó gas helio como gas transportador con un flujo de $55 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. Diariamente el equipo fue calibrado con un gas patrón de $0,5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ (Indura, Santiago, Chile). Los resultados fueron expresados en $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Para la medición de la tasa respiratoria y de producción de etileno se tomaron dos repeticiones ($n=2$) por tratamiento, equivalentes a los 2 recipientes conectados entre sí, por lo que no se analizó estadísticamente, sólo entregándose rangos de valores para cada día de evaluación.

3.2.3.3- Concentración de O_2 y CO_2 en recipientes de AC

Para la medición de la atmósfera interna de cada bolsa, se utilizó un analizador de gases portátil (PBI Dansensor, Check Point, Rigsted, Dinamarca), el cual entregó el porcentaje de O_2 y CO_2 presente en el espacio de cabeza. Se llevó a cabo el mismo día del procesamiento y durante los 10 días de trabajo.

3.2.3.4- Evaluación de calidad sensorial

La evaluación de calidad sensorial se realizó de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.4., esta vez para los días 3, 7 y 10 luego del procesamiento.

3.2.3.5- Actividad de la polifenoloxidasas (PPO)

La actividad de la PPO se midió de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.5.

3.3- Diseño de experimentos y análisis estadístico

Para este ensayo se estableció un diseño completamente al azar, con estructura factorial de tratamientos de 3x2 y tres repeticiones por tratamiento. El primer factor fue la concentración de O₂ (21, 5 y 0%) y el segundo fue la concentración de CO₂ (0 y 10%), con un total de seis tratamientos (Cuadro 3.1). La unidad experimental correspondió a 200 g de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Cuadro 3.1. Detalle de las concentraciones de gases aplicadas en el almacenamiento en AC de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Tratamiento	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
T1	21	0	79
T2	5	0	95
T3	0	0	100
T4	21	10	69
T5	5	10	85
T6	0	10	90

Los resultados de estos experimentos fueron analizados estadísticamente por medio de un ANDEVA (Análisis de Varianza) con un nivel de significancia de un 5% con el fin de evaluar si existen diferencias a través del tiempo. Al encontrarse diferencias significativas se realizó un test de Tukey de separación de medias.

Todos los resultados de las evaluaciones fueron analizados estadísticamente mediante el software estadístico MINITAB versión 16 Statistical Software en español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1- Caracterización de fruta entera

El Cuadro 3.2 muestra los resultados obtenidos tras la caracterización de frutos enteros de manzana 'Royal Gala', en general estos resultados no difieren con los registrados en el capítulo anterior, a pesar de provenir de huertos distintos y tener una semana de almacenamiento en cámara a 0 °C y 95% HR del CEPOC de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, con valores de firmeza y SST que indican una madurez recomendable para la cosecha y procesamiento de la fruta (entre 6,8 y 7,7 kg-f y 12 y 14% SST) (Delhom, 1985; Canepa, 2002; Canepa y Kulczweski, 2002; Gil y Rodriguez, 2003; Feippe, 2004; Reid 2007).

Cuadro 3.2. Caracterización de fruta entera.

Parámetros físicos ¹		Color piel ¹		Color pulpa ¹		Parámetros químicos ²	
Diametro (mm)		L	47,7	L	82,0	SST (%)	13,5
Ecuatorial	75,3	a*	32,8	a*	-5,9	pH	3,8
Polar	66,4	b*	24,1	b*	19,7	AT (%)	0,28
Peso (g)	185,7	C*	41,1	C*	20,7		
Firmeza (kg-f)	6,8	H _{ab}	36,5	H _{ab}	106,8		

¹ | Los valores corresponden al promedio de 20 muestras (20 frutos).

² | Los valores corresponden al promedio de 4 muestras, obtenidas cada una a partir de 5 frutos.

3.4.2. Concentración de gases en recipientes de AC

En cuanto a los tratamientos con O₂ en condiciones atmosféricas (cercaos al 21%), las concentraciones de este gas variaron entre un 20,0 y 20,9%, promediando sus mediciones de monitoreo 20,6% O₂ (Cuadro 3.3), determinándose 21% como valor representativo; para los tratamientos sin aplicación de O₂ (cercaos al 0%) las concentraciones de este gas oscilaron entre un 0,1 y 0,7%, promediando un 0,3% O₂, determinándose 0% como valor representativo; para los tratamientos de bajo O₂ (cercaos al 5%) las concentraciones variaron entre 4,7 y 5,4%, promediando un 5%

determinándose este como valor representativo; en cuanto al CO₂ los tratamientos sin aplicación de este (condiciones atmosféricas, 0% aprox.) las concentraciones de este gas variaron entre un 0,1 y 0,6%, promediando un 0,3% CO₂, determinándose 0% como valor representativo; para los tratamientos de alto contenido de CO₂ (cercaos a 10%) sus concentraciones variaron entre 9,7 y 10,6%, promediando un 10,2% CO₂, determinándose 10% como valor representativo (Apéndice, Figura 3.4).

Cuadro 3.3. Concentración de gases (%O₂ y CO₂) al interior de los recipientes de AC con cascos de manzana ‘Royal Gala’.

Concentración de gases							
Tratamientos (%O ₂ -%CO ₂)							
Días	Horario	21-0	5-0	0-0	21-10	5-10	0-10
0	09:00						
	18:00	20,8-0,2	5,0-0,1	0,1-0,2	20,8-10,1	5,1-10,2	0,2-10,0
1	09:00	20,5-0,4	5,2-0,3	0,1-0,5	20,6-9,8	4,7-10,4	0,5-9,7
	18:00	20,6-0,2	5,4-0,5	0,3-0,4	20,5-10,1	5,1-10,5	0,2-10,0
3	09:00	20,4-0,4	4,8-0,4	0,3-0,6	20,3-10,4	4,8-10,5	0,7-10,5
	18:00	20,0-0,6	5,2-0,2	0,2-0,4	20,6-10,2	5,0-10,2	0,3-10,2
5	09:00	20,8-0,5	5,3-0,5	0,4-0,4	20,8-10,6	5,3-9,8	0,4-10,6
	18:00	20,9-0,3	4,9-0,4	0,4-0,2	20,4-10,3	5,1-10,1	0,2-10,3
7	09:00	20,7-0,3	5,0-0,5	0,3-0,1	20,2-9,9	4,7-10,5	0,5-10,3
	18:00	20,9-0,2	5,2-0,3	0,3-0,3	20,8-10,2	5,0-10,1	0,2-10,1
9	09:00	20,6-0,4	5,0-0,1	0,2-0,5	20,7-10,4	5,2-9,7	0,1-9,8
	18:00	20,4-0,6	4,8-0,3	0,1-0,3	20,5-10,1	5,0-10,1	0,2-10,1
10	09:00	20,7-0,3	5,2-0,2	0,4-0,2	20,6-10,2	4,8-9,8	0,2-10,5
	18:00						

Todos los valores son el promedio de la medición de los dos recipientes conectados entre sí para cada tratamiento.

3.4.3- Determinación de la actividad metabólica

- **Tasa respiratoria:** 4 a 6 h luego del procesamiento se observaron valores máximos de este parámetro, los cuales variaron entre 15,0 y 17,4 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹ (Apéndice, Figura 3.1). Pasados 10 días la tasa bajó notoriamente con valores entre 5,4 y 10,4 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹.

- **Tasa de producción de etileno:** luego del procesamiento de la fruta (4 a 6 h) se presentaron los valores más altos entre 3,8 y 7,3 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, para luego descender alcanzando valores entre 1,1 y 3,1 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ pasados 10 días (Apéndice, Figura 3.2).

El alza inicial de la tasa respiratoria y de producción de etileno pudo deberse a que, tras el corte de la fruta, se exponen sus tejidos internos al ambiente, lo que genera como respuesta un aceleramiento en sus procesos metabólicos (Fonseca *et al.*, 2002; Beltrán *et al.*, 2005). Pudo observarse que tras esta alza, vino una brusca baja y luego una estabilización. Dicha baja y estabilización de estas tasas, luego de unos días tras el corte ha sido observada por diversos autores como Rivera *et al.* (2005) en papaya cortada y Silveira (2009) en melón MPF, la cual pudo deberse a que el tejido se adaptó a las condiciones, tanto ambientales, como estructurales.

3.4.4- Parámetros de color

- **Luminosidad (L):** Entre los 3 y 10 días de almacenamiento en AC la luminosidad sólo se vió afectada por el contenido de CO_2 de los tratamientos, distinguiéndose claramente durante este periodo los cascos almacenados con 0% de los con 10% de este gas, así es como, tras 3 días, los tratamientos de 0% CO_2 presentaron valores entre 77,6-78,4 sin observarse pardeamiento en sus cascos; por otro lado, los valores más bajos pertenecieron a los tratamientos de 10% CO_2 (Apéndice, Cuadro 3.1). Pasados 7 días sólo dos tratamientos no presentaron pardeamiento, estos fueron los cascos almacenados en 5-0 y 0-0 con valores de 77,2 y 77,8 respectivamente; el resto de los tratamientos presentaron valores entre 75,7 y 76,6, observándose pardeamiento en la superficie de sus cascos. Transcurridos los 10 días de almacenamiento en AC, los valores más altos los presentaron los tratamientos de 0% CO_2 (entre 76,2 y 76,6), y los más bajos para los con 10% CO_2 (entre 74,7 y 75,6) en los que se observó un alto grado de pardeamiento (Figura 3.3).

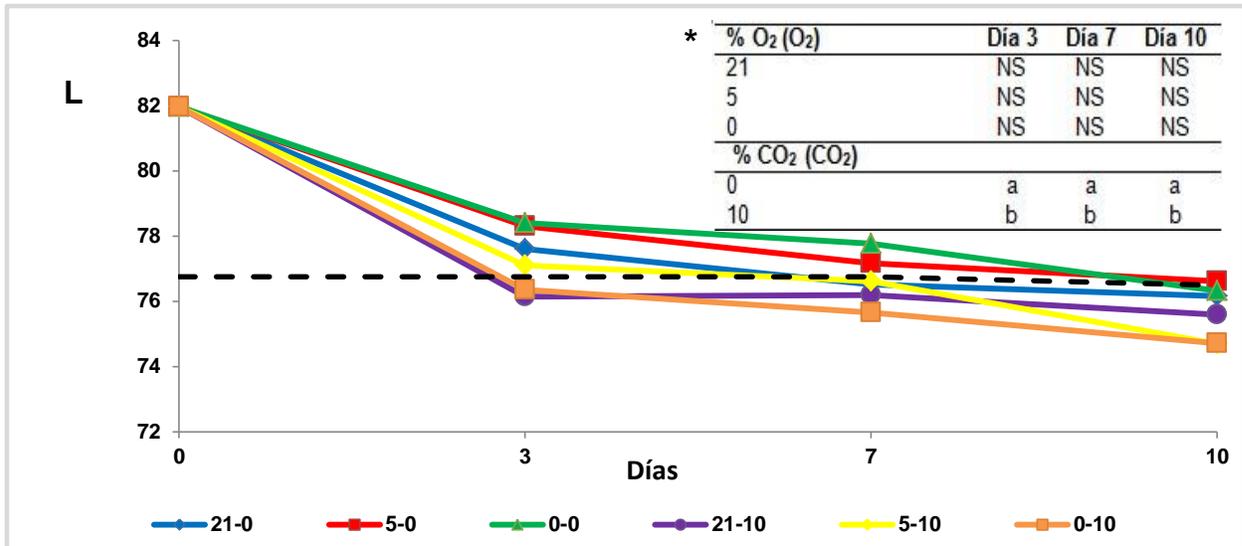


Figura 3.3. Luminosidad (L) de cascos de manzana ‘Royal Gala’, almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3). (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable L=76,7). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas para cada factor ($p < 0,05$) (NS: diferencias no significativas).

- **Croma (C*):** tras 3 días los valores estuvieron entre 27,4 y 29,0 (Apéndice, Cuadro 3.2), sin apreciarse diferencias entre tratamientos. Para el séptimo día de almacenamiento en AC, en los tratamientos con 0% CO₂ se observaron los valores más bajos (entre 27,7 y 27,8), siendo casi iguales entre ellos; mientras que, los tratamientos de 10% CO₂ obtuvieron los valores más altos (entre 27,6 y 29,9), presentándose un claro efecto del factor CO₂. Transcurridos los 10 días se observaron valores muy por debajo del límite de pardeamiento (Figura 3.4) en todos los tratamientos, los que oscilaron entre 28,3 y 29,7, valores que representan un nítido pardeamiento.

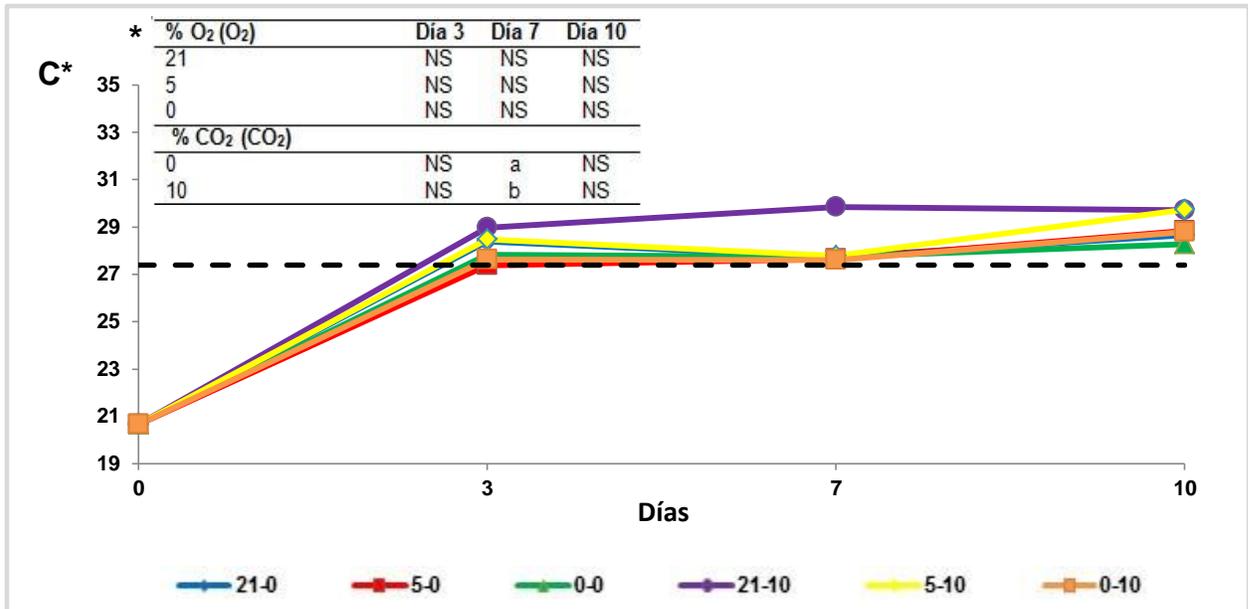


Figura 3.4. Cromo (C^*) en cascos de manzana ‘Royal Gala’ almacenada en AC a 5 °C. Los valores son la media ($n=3$). (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable $C^*=27,4$). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas para cada factor ($p < 0,05$) (NS: diferencias no significativas).

- **Tono (H_{ab}):** tras 3 días de almacenamiento se observaron los valores más altos en los tratamientos de 0 % CO_2 (entre 92,4 y 93,4) (Apéndice, Cuadro 3.2) y los más bajos en los de 10% CO_2 (entre 90,8 y 91,5), sin apreciarse pardeamiento en los cascos, presentándose efecto del factor CO_2 . Pasados 7 días se observó el valor más alto en el tratamiento de 0-0 con 92,6, mientras que el valor más bajo fue obtenido por los cascos almacenados en 21-10 con 90,0, encontrándose todos los tratamientos por encima del límite de pardeamiento, presentándose diferencias significativas entre estos. Transcurridos 10 días de almacenamiento en AC se observó que sólo el tratamiento de 5-0 se mantuvo apenas por sobre el límite de pardeamiento con un valor de 90,0, el resto de los tratamientos presentó valores de pardeamiento.

Entre los días 3 y 7 de almacenamiento en AC, la mayoría de los tratamientos bajaron sus valores excepto los tratamientos de 0% y 5% O_2 + 10% CO_2 los que aumentaron levemente, para que luego, al término del almacenamiento, todos decayeran marcadamente (Figura 3.5).

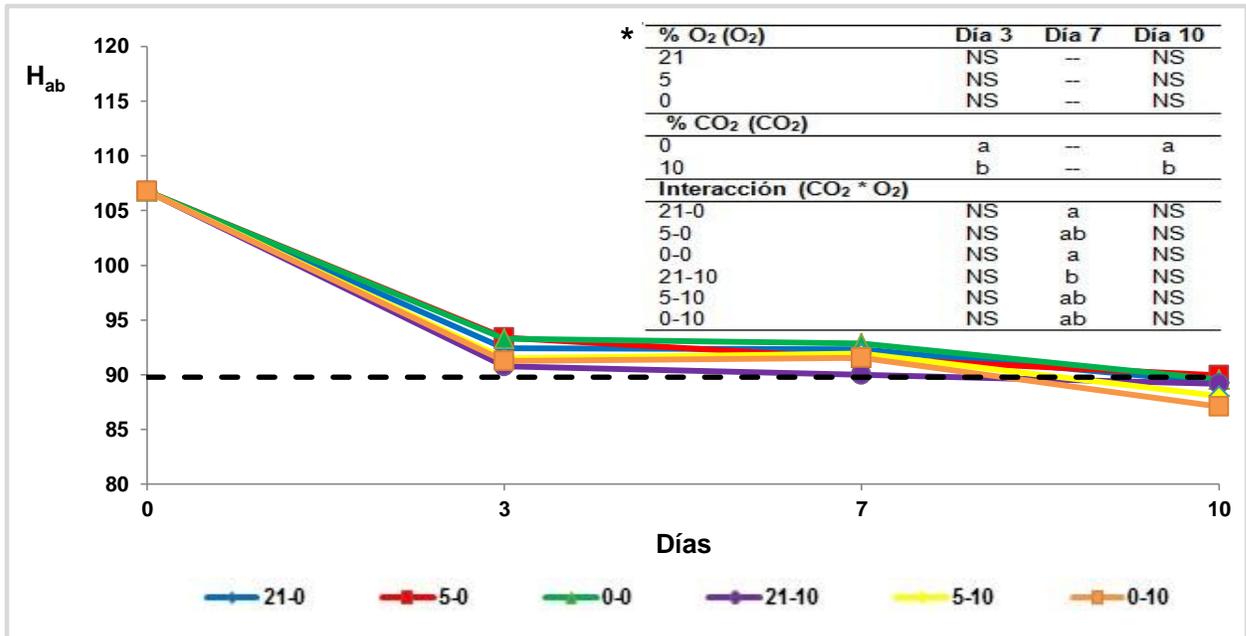


Figura 3.5. Tono (H_{ab}) en cascotes de manzana 'Royal Gala' almacenada en AC a 5 °C. Los valores son la media ($n=3$). (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento aceptable $H_{ab}=89,8$). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas para cada factor ($p < 0,05$) (NS: diferencias no significativas).

En general se pudo apreciar que los tratamientos de AC no fueron efectivos en la inhibición del pardeamiento enzimático durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C; por otro lado, pasados 7 días se destacaron los tratamientos de bajo O₂ y CO₂ (0 y 5% de O₂ + 0% CO₂) que se mantuvieron por sobre el límite de pardeamiento (Apéndice, Figura 3.1) para los valores de L y H_{ab} , presentando los valores más bajos en C*. Se observó que los cascotes almacenados en 10% CO₂ mostraron un mal comportamiento en la conservación del color, presentando al décimo día valores de pardeamiento y al tercer día valores de ausencia de pardeamiento sólo para H_{ab} , los tratamientos de 0-0 y 5-0 para L y los cascotes almacenados en 5-0 para C*. El aceleramiento del pardeamiento en los tratamientos de a altos niveles de CO₂ podría deberse a una susceptibilidad de los cascotes de manzana 'Royal Gala' a dichas concentraciones. Todo lo anterior concuerda con el trabajo de Gorny *et al.* (1998) en rebanadas de pera donde señala que atmósferas de 0,5% O₂ y aire + 5% CO₂ no fueron efectivas en mantener la firmeza ni evitar el pardeamiento enzimático, mientras que, atmósferas de aire + 10% CO₂ lo aceleraron en comparación con el control, lo que también se debería a una susceptibilidad a los altos niveles de CO₂ según ellos justifican. Gunes *et al.* (2001)

reafirman los resultados anteriores en su estudio en manzana ‘Delicious’ cortada almacenadas en AC en numerosas combinaciones a 5 °C, siendo la de peor resultado la que contenía 0 y 10% de O₂ y CO₂ respectivamente, con un valor de L incluso más bajo que el control (21 y 0 %) a los 7 días. Por otro lado, Rocha y Morais (2000) en su investigación en cubos de manzana ‘Jonagored’, probó AC de 2% O₂ + 4, 8 y 12% CO₂, concluyendo que todas tuvieron un efecto benéfico sobre el pardeamiento en comparación con el control en aire.

3.4.5- Firmeza

Luego de 3 días los cascos almacenados en AC de bajo O₂ (0 y 5%) presentaron la mayor firmeza con valores entre los 6,4 y 6,9 kg-f (Apéndice, Cuadro 3.3), observándose efecto del factor O₂. Entre los días 7 y 10 se observaron valores de firmeza entre los 5,8 y 6,7 kg-f, sin presentarse diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3.6).

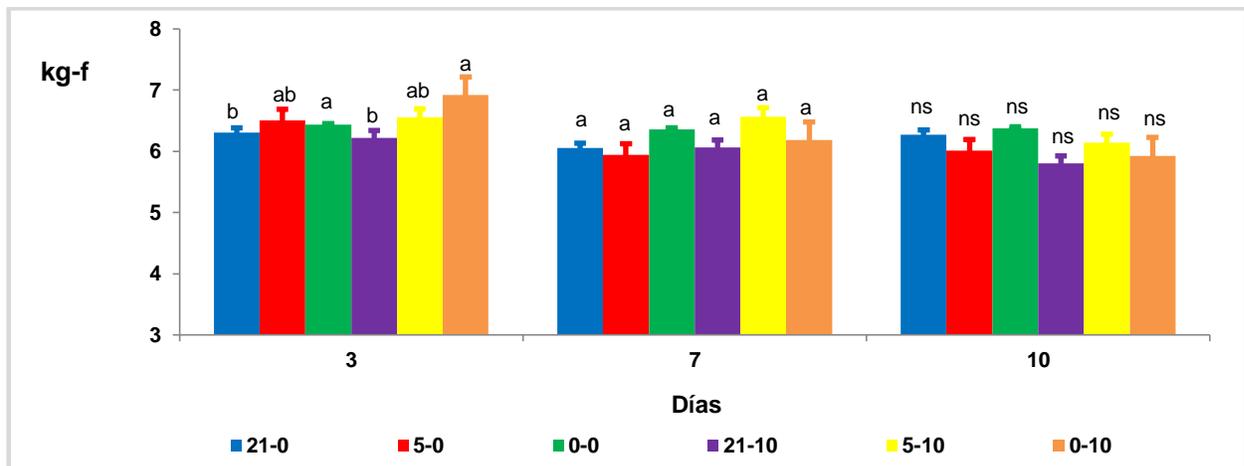


Figura 3.6. Firmeza (kg-f) en cascos de manzana ‘Royal Gala’ almacenada en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE. ^{a,b,c} Letras diferentes indican diferencias significativas y ^{ns} no significativas (p < 0,05).

En general se pudo observar una baja en la firmeza muy leve (0,38 kg-f promedio) entre el inicio y el final del almacenamiento, lo anterior pudo deberse a que las bajas temperaturas de almacenamiento (5 °C) y/o las condiciones de AC minimizaron los efectos del daño sufrido por los tejidos, propios del mínimo proceso, como en este caso

la pérdida de firmeza, debido a la ruptura de la integridad celular (Martín-Diana *et al.*, 2007; Toivonen y Brumell, 2007; Mery, 2010). Según Rocha y De Morais (2000) condiciones de AC con 0% O₂ + 4,8 y 12% CO₂ redujeron la pérdida de firmeza en cubos de manzana luego de 7 días a 5 °C.

3.4.6- Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST%)**: luego de 3 días se presentaron valores muy parejos entre sí, con una diferencia de 0,3 entre el más alto (12,7) y más bajo (12,4) (Cuadro 3.4). Para el séptimo día fueron observados los valores más bajos en los tratamientos de 0% O₂ y los más altos a los con 5% O₂ (11,5-11,7 y 12,2-12,5 respectivamente), presentándose efecto del factor O₂. Transcurridos los 10 días de almacenamiento en AC los tratamientos sin aplicación de CO₂ presentaron los valores más altos de SST mientras que los con 10% CO₂ presentaron los más bajos (11,8-12,1 y 11,0-11,6 respectivamente), con claro efecto de este gas sobre los SST de los cascos (Apéndice, Figura 3.5).

Todos los tratamientos estuvieron por debajo del valor obtenido por la manzana entera en la caracterización previa al ensayo, también pudo observarse que hubo una clara caída en los valores de SST entre los días 3 y 10, la que en promedio fue de 0,9. Como se observó para el día 10 no existieron diferencias significativas entre tratamientos lo que quiere decir que el efecto de la AC fue el mismo para todos, hecho que concuerda con lo expuesto por Rocha y Morais (2000) en cubos de manzana 'Jonagored' los que no hallaron diferencias en el contenido de azúcares al cabo de 7 días de almacenamiento en AC de 2% O₂ + 4,8 y 12% CO₂.

- **pH**: luego de 3 días los valores más altos los obtuvieron los tratamientos de 10% CO₂ (3,9) y los menores los de 0% CO₂ (3,7 a 3,8) (Cuadro 3.4). Para el séptimo día se observaron los mayores valores en los cascos almacenados en 21- 10 y los menores en el tratamiento con 5-0 (3,9 y 3,8 respectivamente), presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Pasados los 10 días de almacenamiento en AC los

valores oscilaron entre 3,8 y 3,9, perteneciendo el mayor al tratamiento con 21-10 y el menor a los cascos almacenados en 0-10 (Apéndice, Figura 3.6).

Entre los días 3 y 10 la mayoría de los tratamientos tendió al aumento leve en su pH, excepto los con 0 y 5% O₂ + 10% CO₂, el primero bajando levemente su pH y el otro manteniéndose estable.

- **Acidez titulable (AT):** tras 3 días se observaron valores parejos de AT los que oscilaron entre 0,2 y 0,22% (Cuadro 3.4). Luego de 7 días los valores más altos los obtuvieron los tratamientos de 0-10 y 5-10 (0,22 y 0,23% respectivamente) y los más bajos los con 21-0 y 0-0, presentándose efecto del factor CO₂ sobre la AT de los cascos. Pasados los 10 días de almacenamiento en AC se observaron los valores más altos en los cascos almacenados en 0-10 y 5-10 (ambos con 0,2%) y los más bajos en los tratamientos con 20-0 y 20-10 (ambos con 0,17%). En general, entre los días 3 y 10, hubo una baja leve generalizada de todos los tratamientos en su AT (0,025% en promedio) (Apéndice, Figura 3.6), pudiendo decirse lo mismo con respecto al valor del fruto entero.

La baja en los valores de sólidos solubles totales, alza leve general de pH y disminución leve de la acidez titulable pudo deberse al alza en la tasa respiratoria que sufre la manzana luego del procesamiento, alza que fue disminuida por la acción de la AC pero que aun así fue mayor a la tasa respiratoria del fruto entero (datos no mostrados para este capítulo, ver Capítulo II, punto 2.4.2), dado este metabolismo más acelerado de la fruta se consumieron los azúcares y ácidos más rápido de lo normal (Kim *et al.*, 1993; Oms-Oliu *et al.*, 2008; Silveria, 2009).

Cuadro 3.4. Evolución de los sólidos solubles totales (SST%), el pH y la acidez titulable (AT%) en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	SST (%)			pH			AT (%)		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)									
21	12,6	12,0 ab	11,9	3,8	3,9	3,9	0,21	0,20	0,17
5	12,5	12,4 a	11,6	3,8	3,8	3,9	0,21	0,22	0,20
0	12,6	11,6 b	11,5	3,8	3,9	3,8	0,21	0,20	0,19
% CO₂ (CO₂)									
0	12,6	12,0	12,0 a	3,8 b	3,8	3,9	0,21	0,19 a	0,18
10	12,5	12,0	11,3 b	3,9 a	3,9	3,9	0,21	0,22 b	0,19
Interacción (CO₂ * O₂)									
21-0	12,7	12,0	12,1	3,7	3,8 c	3,9	0,22	0,19	0,17
5-0	12,4	12,2	11,8	3,8	3,8 c	3,9	0,20	0,20	0,19
0-0	12,6	11,7	11,9	3,8	3,9 ab	3,9	0,21	0,18	0,18
21-10	12,4	11,9	11,6	3,9	3,9 a	3,9	0,20	0,20	0,17
5-10	12,6	12,5	11,3	3,9	3,8 bc	3,9	0,22	0,23	0,20
0-10	12,5	11,5	11,0	3,9	3,9 ab	3,8	0,21	0,22	0,20
Nivel de significancia									
O ₂	NS	**	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS
CO ₂	NS	NS	*	**	***	NS	NS	**	NS
CO ₂ * O ₂	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, $0,01$ o $0,001$ respectivamente.

3.4.7- Evaluación de la calidad sensorial

- **Apariencia:** luego de 3 días se observó el valor más alto en el tratamiento de 5-0 con un 11,3, mientras que el más bajo lo obtuvieron los cascos almacenados en condiciones atmosféricas (21-0) con 7,8, presentándose diferencias significativas entre tratamientos (Apéndice, Cuadro 3.4). Tras 7 días los tratamientos de 0-0 y 5-0 presentaron los puntajes más altos con 8,4 y 8,7 respectivamente, siendo los únicos que no presentaron defectos mayores en su apariencia, el resto obtuvo puntajes entre 6,3 y 7,3. Pasados 10 días los puntajes estuvieron entre los 5,5 y 7,3, presentándose defectos en la superficie de los cascos para todos los tratamientos.

- **Pardeamiento:** tras 3 días la puntuación más baja fue observada en el tratamiento de 5-0 con un 3,0, mientras que el valor más alto fue para los cascos almacenados en

condiciones atmosféricas (7,0) (Apéndice, Cuadro 3.4) presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Pasados 7 días los puntajes más bajos fueron obtenidos por los tratamientos de 5-0 y 0-0 con 5,4 y 5,9 respectivamente, siendo los únicos que no presentaron pardeamiento según el panel de jueces, el resto de los tratamientos obtuvo valores entre 7,6 y 10,1, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 10 días los puntajes estuvieron entre 7,6 y 8,8, observándose pardeamiento en todos los tratamientos.

- **Firmeza:** durante los 10 días de almacenamiento los puntajes estuvieron entre 10,4 y 12,7, sin presentarse diferencias significativas para ninguno de los días de evaluación (Apéndice, Cuadro 3.5). Entre los días 3 y 10 se pudo observar una baja en los puntajes de firmeza en todos los tratamientos excepto en el tratamiento de 0-0 que aumento 0,3 del tercer al séptimo día para mantenerse en ese puntaje hasta el final del almacenamiento.

- **Sabores extraños:** durante los 10 días de almacenamiento en AC se observaron puntajes bajos entre 0,2 y 1,7, sin presentarse diferencias entre tratamientos (Apéndice, Cuadro 3.5). Lo anterior refleja ausencia de sabores extraños en los cascos almacenados en AC a 5 °C durante 10 días.

Los resultados del análisis sensorial en apariencia y pardeamiento concuerdan con los obtenidos en los parámetros de color, en donde los únicos tratamientos que lograron aminorar el pardeamiento enzimático por 7 días fueron los de 5-0 y 0-0, sin embargo, ningún tratamiento fue eficiente en la inhibición del pardeamiento pasados 10 días. Respecto al análisis sensorial de la firmeza los resultados coinciden con los detallados anteriormente en el punto 3.4.4, donde se observó una caída leve de los valores de esta hacia el día 10 de almacenamiento, sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos para ese día. Resultados similares fueron obtenidos por Rocha y Morais (2000) en cubos de manzana en AC con combinaciones de 2% O₂ + 4, 8 y 12% CO₂, donde, al séptimo día, ninguno de los tratamientos obtuvo puntajes de calidad visual por encima del límite de aceptabilidad, los valores de firmeza no presentaron diferencias entre tratamientos y no se percibieron sabores extraños.

3.4.8- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)

Luego de 3 días sólo se observaron los valores más altos en los tratamientos con 10% CO₂ siendo estos incluso más altos que el tratamiento testigo (21-0) (0,37 a 0,45 U·mg prot⁻¹); los valores más bajos pertenecieron a los cascos almacenados en 5 y 0% O₂ + 0% CO₂, con 0,24 y 0,29 U·mg prot⁻¹ respectivamente, valores inferiores al de la manzana fresca sin cortar (0,33 U·mg prot⁻¹), presentándose efecto del CO₂ sobre los cascos. Para el décimo día los valores más bajos de actividad fueron obtenidos una vez más por los tratamientos de 5 y 0% O₂ + 0% CO₂, con 0,48 y 0,50 U·mg prot⁻¹ respectivamente, por otro lado los cascos que mostraron mayor actividad fueron los almacenados en 5 y 0% O₂ + 10% CO₂ con valores de 0,67 y 0,69 U·mg prot⁻¹ respectivamente, presentándose efecto del CO₂ sobre la actividad de la PPO.

Cuadro 3.5. Evolución en la actividad enzimática de la PPO en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

Actividad enzimática PPO (U·mg prot ⁻¹)		
	Día 3	Día 10
% O₂ (O₂)		
21	0,39	0,61
5	0,30	0,58
0	0,36	0,59
% CO₂ (CO₂)		
0	0,28 b	0,52 b
10	0,42 a	0,67 a
Nivel de significancia		
O ₂	NS	NS
CO ₂	**	***
CO ₂ * O ₂	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

En general se pudo observar un aumento en la actividad de la PPO entre los días 3 y 10 en todos los tratamientos (Cuadro 3.5), obteniendo valores superiores al de la manzana fresca sin cortar, siendo los únicos tratamientos que presentaron actividades menores al testigo (21-0) los tratamientos de 0,3 y 5% O₂ + 0% CO₂. Estos resultados se respaldan con lo obtenido en los parámetros de color donde los tratamientos mejor evaluados fueron los de bajo O₂ y sin aplicación de CO₂, presentando los cascos cierta sensibilidad a los altos niveles de CO₂ (10% en este caso) lo que concuerda con lo

obtenido por Gorny *et al.* (1998) en rebanadas de pera y Gunes *et al.* (2001) en manzana MPF. Por otro lado, Rocha y Morais (2001) señalan que, en cubos de manzana almacenadas en 2% O₂ + 4-8 y 12% CO₂, todas sus atmósferas disminuyeron levemente la actividad de la PPO entre los 3 y 7 días, excepto la con 8% CO₂ la cual aumento levemente.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis y objetivos planteados en este trabajo se establece lo siguiente:

El almacenamiento en AC de bajo O₂ sin aplicación de CO₂ a 5 °C (tratamientos de 0-0 y 5-0) reduce efectivamente el pardeamiento enzimático cumplidos 7 días, sin embargo los valores de luminosidad y tono bajaron y los de croma subieron marcadamente al cabo de 10 días, presentándose pardeamiento notorio en la superficie de los cascos para todos los tratamientos, hecho que confirman las evaluaciones sensoriales de apariencia y pardeamiento, donde ningún tratamiento se mantuvo en buenas condiciones luego de 10 días, como también la determinación de la actividad de la PPO, donde esta subió notoriamente en todos los tratamientos al cabo de 10 días.

En cuanto a la firmeza, esta no se vió afectada significativamente por la AC, hecho confirmado por la evaluación sensorial de esta, mientras que los SST y la AT bajaron en todos los tratamientos luego de 10 días de almacenamiento a 5 °C sin llegar a niveles que reflejen una pérdida de calidad preocupante para los cascos de manzana, lo que se debió principalmente a las condiciones de almacenamiento de baja temperatura (5 °C) lo que contribuyó a la conservación de dichos parámetros de calidad durante 10 días, sin distinguirse algún efecto particular de alguna de las atmósferas utilizadas. Por otro lado, la AC no afectó significativamente la presencia de sabores extraños, observándose una ausencia generalizada de estos durante todo el almacenamiento.

CAPITULO IV. Efecto combinado de la aplicación de agentes antipardeantes y almacenamiento en atmósfera controlada a 5 °C sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana 'Royal Gala'.

RESUMEN

En este trabajo se busca evaluar el efecto en forma combinada de los agentes antipardeantes y la atmósfera controlada sobre el pardeamiento enzimático en cascotes de manzana 'Royal Gala'. De esta forma los cascotes fueron inmersos en dos soluciones antipardeantes, la primera con 0,7% ácido ascórbico (AA) + 0,3% ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (%p/v) y la otra con 0,3% Cisteína (Cis) + 0,3% EDTA (%p/v), almacenados en AC de 21-0 (A), 5-5 (B) y 5-0 (C) % de O₂ y CO₂ respectivamente, por 10 días a 5 °C. De esta forma las combinaciones fueron: AA + EDTA en (A), AA + EDTA en (B), AA + EDTA en (C), Cis + EDTA en (A), Cis + EDTA en (B) y Cis + EDTA en (C). Durante el almacenamiento se determinó tasa respiratoria, color, firmeza, parámetros químicos, atributos sensoriales y actividad de la polifenol oxidasa (PPO). Entre 4 y 6 h después del procesamiento se observó la mayor tasa respiratoria (15,2 a 18,0 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹), la que luego decayó presentando valores entre 6,1 y 11,3 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹ al décimo día. Pasados 3 días los valores más altos de L y H_{ab} fueron observados en los tratamientos de AA + EDTA en (C) y Cis + AA en (B) con 79,9, 97,5 y 98,7 respectivamente. Tras 10 días los valores más altos fueron observados en los cascotes inmersos en AA + EDTA en (C) con L=78,2, C*=25,2 y H_{ab}=94,1, mostrándo ausencia de pardeamiento, mientras que los tratamientos con Cis sufrieron una gran baja en sus valores de L (74,0 a 74,6) y H_{ab} (79,0 a 81,4) lo que pudo deberse al pardeamiento rojizo observado en los cascotes tratados con dicha solución. Luego de 10 días la menor firmeza fue observada en los tratamientos de Cis + AA en (A) y (C) con valores entre 5,4 y 5,6 y entre 5,1 y 5,2 kg-f respectivamente, en el resto no se presentaron diferencias con valores entre 6,1 y 6,7 kg-f pasados 10 días. Luego de 3 días se observaron valores bajos de actividad de la PPO los que estuvieron entre 0,12 y 0,20 U·mg⁻¹prot⁻¹. La mayor reducción de la actividad de la PPO pasados 10 días fue presentada por los cascotes tratados con AA + EDTA en (C) y (B) con valores de 0,18 y 0,19 U·mg⁻¹ prot⁻¹ respectivamente, observándose ausencia de pardeamiento.

Palabras clave: dióxido de carbono, oxígeno, vida útil, calidad sensorial, luminosidad.

ABSTRACT

The effect of antibrowning agents and controlled atmosphere (CA) on enzymatic browning was studied on 'Royal Gala' apple slices. The slices were immersed in two antibrowning solutions, being 0.7% ascorbic acid (AA) + 0.3% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (%w/v) and the other 0.3% Cysteine (Cis) + 0.3% EDTA (%w/v), stored in CA of 21-0 (A), 5-0 (B) and 5-5% (C) of O₂ and CO₂ respectively, for 10 days at 5 ° C. The combinations were: AA + EDTA (A), AA + EDTA (B), AA + EDTA (C), Cys + EDTA (A) Cys + EDTA (B) and Cys + EDTA (C). Respiratory rate, color, firmness, chemical parameters, sensory attributes and activity of polyphenol oxidase (PPO) were determined during cold storage. After 4-6 hours of processing the highest respiratory rate (from 15.2 to 18.0 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹) later, the values were declined to day 10 (6.1 to 11.3 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹). After 3 days the highest values of L and H_{ab} were observed in Cys + AA in (B) and AA + EDTA in (C) treatments, with values of 79.9 and 97.5 to 98.7. After 10 days, slices dipped in AA + EDTA, in CA (C) obtained an L = 78.2, C* = 25.2 and H_{ab} = 94.1, showing absence of browning. Cis treatments showed a decrease in L (74.0 to 74.6) and H_{ab} (79.0 to 81.4) values, which may be due to a reddish browning shown in this treatments. The lowest firmness was observed in Cis + AA in CA (A) and (C), with values from 5.4 to 5.6 and 5.1 to 5.2 kg-f. The rest of treatments were not differences, with values between 6.1 to 6.7 after 10 days. After 3 days there were not differences among treatments, with low values of PPO activity from 0.12 to 0.20 U·mg prot⁻¹. The high PPO activity reduction, after 10 days, was observed in AA + EDTA, in CA (C) and (B) with values of 0.18 and 0.19 U·mg prot⁻¹ respectively, being observed absence of browning.

Keywords: carbon dioxide, oxygen, shelf life, sensorial quality, luminosity.

INTRODUCCIÓN

Las múltiples ventajas de los productos MPF como su facilidad y comodidad de consumo, su inocuidad y aporte nutricional, han hecho crecer con gran rapidez ésta industria en los últimos años. Sin embargo, el mayor obstáculo para la comercialización de éstos productos es su corta vida útil debido que sufren severos daños durante su procesamiento (Oms-Oliu *et al.*, 2008; Xiao *et al.*, 2010). Con el fin de evitar o aminorar dichos efectos dañinos se han investigado variadas técnicas.

La atmósfera controlada es un método físico de control que basa su acción en la reducción de la tasa respiratoria del producto, para lo cual controla la concentración de O₂ como sustrato de la respiración y de CO₂ como producto de esta. Según Day (1994) bajos niveles de O₂ (0,5-5%) y/o altos en CO₂ (10-15%) reducen la respiración y decrece la producción de etileno, inhiben o anulan reacciones enzimáticas, disminuyen los desórdenes fisiológicos y preservan al producto de su pérdida de calidad. Qi *et al.* (1999) señalan que, en cubos de melón Honeydew envasados en contenedores expuestos al aire a 5 °C, la calidad visual estuvo por debajo del límite aceptable, mientras que en muestras en condiciones de AC de 2% O₂ + 10% CO₂, éstos se encontraron por encima del límite de aceptabilidad, al sexto día de tratamiento. Así mismo, para el décimo día de tratamiento, los cubos expuestos al aire se encontraban muy por debajo del límite de calidad visual aceptable, mientras que los cubos de melón en AC estaban ligeramente por debajo del límite de aceptación. Dados los resultados anteriores los autores concluyeron que la AC fue beneficiosa para mantener la calidad visual de los cubos de melón cantaloupe almacenados a 5 °C. No obstante, esta técnica por sí sola no siempre es capaz de reducir totalmente el pardeamiento enzimático. Un estudio realizado en rodajas de pera en condiciones de AC, con distintas concentraciones de gases indica que niveles de O₂ bajo (0,25 ó 0,5%) y de alto CO₂ (5, 10 y 20% de CO₂) o con oxígeno superatmosférico (40, 60 y 80%) no previnieron eficazmente el pardeamiento enzimático ni la pérdida de firmeza (Gorny *et al.*, 2002).

El uso de agentes químicos antipardeantes como el ácido ascórbico, cisteína y EDTA es ampliamente conocido por su eficacia en el control del pardeamiento enzimático, inclusive siendo aplicados sólo en compañía de almacenamiento en bajas temperaturas. Rojas-Graü *et al.* (2008) describieron el efecto sinérgico entre el ácido ascórbico y el 4-hexilresorcinol, logrando inhibir efectivamente la actividad de la PPO por 7 días, al usar ambos compuestos conjuntamente, en rebanadas de manzana 'Fuji'. Según Jeong *et al.* (2008) la inmersión de los cubos de manzana 'Fuji' en solución de 0,5% Cis fue la más efectiva en la inhibición de la actividad de la PPO, obteniendo también los mejores resultados en el análisis de parámetros de color, durante el almacenamiento por 7 días a 5 °C. En cuanto al uso del EDTA, Lamikanra y Watson (2001) estudiaron el efecto de su aplicación combinada con AA en concentraciones de 0,3% EDTA + 0,8% AA, sobre el color textura y aroma de melón Cantaloupe MPF almacenados por 15 días a 4 °C, con resultados relativamente buenos luego de 6 días. No obstante, para la mayoría de los productos se necesitan grandes cantidades de estos para que el efecto sea el deseado, lo cual puede generar presencia de sabores y aromas indeseables (Gorny *et al.*, 2002; Pérez, 2003).

Por lo anteriormente detallado en este trabajo se estudió el efecto combinado de la aplicación de bajas concentraciones de agentes antipardeantes y almacenamiento en condiciones de AC, con el fin de encontrar una combinación que permita reducir el pardeamiento enzimático y conservar parámetros de calidad, en cascos de manzana 'Royal Gala', durante 10 días de almacenamiento a 5 °C.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

La técnica de atmósfera controlada en combinación con la inmersión en agentes químicos antipardeantes son efectivos en la reducción del pardeamiento enzimático y en la conservación de parámetros de calidad en cascos de manzana 'Royal Gala', almacenados durante 10 días a 5 °C.

Objetivos

Evaluar el efecto combinado de los agentes antipardeantes y almacenamiento en atmósfera controlada sobre el pardeamiento enzimático y la conservación de parámetros de calidad en cascos manzana 'Royal Gala', almacenados durante 10 días a 5 °C.

MATERIALES Y MÉTODO

4.1- Materiales

El origen, condiciones de cosecha y almacenamiento de las manzanas 'Royal Gala' fueron descritos en el Capítulo III punto 3.1, con la única diferencia de que esta vez el almacenamiento en cámara de frío a 0 °C y 95% HR tuvo una duración de un mes.

Se utilizaron antipardecantes como el ácido ascórbico (AA) (Calbiochem, China), L-cisteína (Cis) (Biogerm, México) y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Winkler, España).

Esta investigación fue financiada por FONDEF número D07I1026 y dentro del proyecto de investigación "Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. Bases tecnológicas".

4.2- Método

4.2.1- Caracterización de fruta entera

La caracterización de fruta entera y la determinación de los parámetros físicos y químicos se realizaron de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.1.

4.2.2- Manipulación y procesamiento

Tanto las condiciones previas al procesamiento, de la sala de manipulación y utensilios, y del procesamiento de las manzanas y su inmersión en agentes antipardecantes se

realizó de acuerdo a lo establecido en el punto 2.2.2 y el método de almacenamiento en AC se realizó como se señala en el punto 3.2.2 (Figura 4.1).

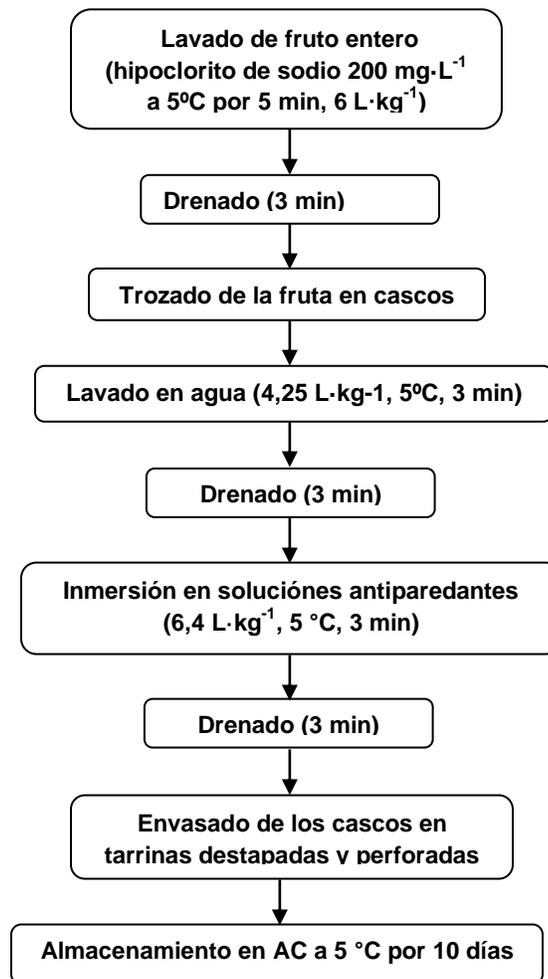


Figura 4.1. Diagrama de manipulación y procesamiento de manzana 'Royal Gala' coratada en cascotes, tratados con antipardecantes y almacenados en AC.

4.2.3- Determinación de parámetros de calidad

La determinación de los parámetros de calidad, tanto físicos como químicos y de actividad de la polifenol oxidasa se realizó como se señala en el punto 2.2.3. con respecto a la tasa respiratoria y de producción de etileno estas se midieron como se señala en la sección 3.2.3.

4.3- Diseño de experimentos y análisis estadístico

Para este ensayo se estableció un diseño completamente al azar, con estructura factorial de tratamientos de 3x2 con tres repeticiones por tratamiento. El primer factor fue la concentración de O₂ y CO₂ (21-0; 5-0 y 5-5% de O₂ y CO₂, respectivamente) y el segundo fue la solución antipardeante (0,7% AA + 0,3% EDTA y 0,7% AA + 0,3% Cis), con un total de seis tratamientos (Cuadro 4.1). La unidad experimental correspondió a 200 g (aprox.) de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Cuadro 4.1. Detalle de los tratamientos de inmersión en antipardeantes y envasado en AC de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Tratamiento	Solución antipardeante (% p/v)	Concentración de gases (%)		
		O ₂	CO ₂	N ₂
T1	0,7 AA + 0,3 EDTA	21	0	79
T2	0,7 AA + 0,3 EDTA	5	0	95
T3	0,7 AA + 0,3 EDTA	5	5	90
T4	0,7 AA + 0,3 Cis	21	0	79
T5	0,7 AA + 0,3 Cis	5	0	95
T6	0,7 AA + 0,3 Cis	5	5	90

AA: Ácido ascórbico; EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético; Cis: Cisteína.

Los resultados de estos experimentos fueron analizados estadísticamente por medio de un ANDEVA (Análisis de Varianza) con un nivel de significancia de un 5% con el fin de evaluar si existen diferencias a través del tiempo. Al encontrarse diferencias significativas se realizó un test de Tukey de separación de medias.

Todos los resultados de las evaluaciones fueron analizados estadísticamente mediante el software estadístico MINITAB versión 16 Statistical Software en español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1- Caracterización de fruta entera

El Cuadro 4.2 muestra los resultados obtenidos tras la caracterización de frutos enteros de manzana ‘Royal Gala’, en general estos resultados no difieren con los registrados en el capítulo anterior, lo que era esperable, debido a que los frutos provenían de los mismos huertos y se cosecharon en la misma época, pese a tener un mes de almacenamiento a 0 °C y 95% HR.

Cuadro 4.2. Caracterización de fruta entera.

Parámetros físicos ¹		Color piel ¹		Color pulpa ¹		Parámetros químicos ²	
Diametro (mm)		L	48,17	L	82,04	SST (%)	13,2
Ecuatorial	75,74	a*	31,95	a*	-5,39	pH	3,8
Polar	66,36	b*	24,38	b*	19,88	AT (%)	0,27
Peso (g)	185,2	C*	40,62	C*	21,36		
Firmeza (kg-f)	6,5	H _{ab}	37,34	H _{ab}	114,19		

¹ Los valores corresponden al promedio de 20 muestras (20 frutos).

² Los valores corresponden al promedio de 4 muestras, obtenidas cada una a partir de 5 frutos.

4.4.2. Concentración de gases en recipientes de AC

En cuanto a los tratamientos almacenados en aire (21-0% de O₂ y CO₂ respectivamente), las concentraciones de O₂ y CO₂ variaron entre 20,1 y 20,8% y 0,1 y 0,5% respectivamente (Cuadro 4.3), promediando un 20,6% O₂ y 0,3% CO₂; los tratamientos de almacenamiento en AC de 5-0 (% de O₂ y CO₂ respectivamente) las concentraciones de O₂ y CO₂ variaron entre 4,7 y 5,4% y 0,1 y 0,6% respectivamente, promediando 5,0% O₂ y 0,3% CO₂; para los tratamientos de almacenamiento en AC de 5-5 (% de O₂ y CO₂ respectivamente) las concentraciones de O₂ y CO₂ variaron entre 4,7 y 5,4% y 4,7 y 5,6% respectivamente, promediando 5,0% O₂ y 5,2% CO₂ (Apéndice, Figura 4.4).

Cuadro 4.3. Concentración de gases (%O₂ y CO₂) al interior de los recipientes de AC con cascos de manzana 'Royal Gala'.

Concentración de gases							
Tratamientos (%O ₂ -%CO ₂)							
Días	Horario	21-0	5-0	5-5	21-0	5-0	5-5
0	09:00						
	18:00	20,8-0,1	5,1-0,2	5,0-4,9	20,7-0,2	5,1-0,2	5,0-4,8
1	09:00	20,6-0,4	5,4-0,5	5,0-5,1	20,8-0,1	5,0-0,4	5,3-5,1
	18:00	20,3-0,3	5,1-0,3	4,8-5,4	20,5-0,4	4,8-0,5	5,0-5,4
3	09:00	20,5-0,2	5,1-0,4	4,9-5,0	20,8-0,5	4,7-0,4	5,3-5,1
	18:00	20,1-0,5	4,8-0,3	4,7-4,8	20,5-0,3	5,2-0,4	4,9-5,2
5	09:00	20,6-0,2	5,0-0,5	5,0-5,2	20,7-0,3	5,4-0,1	5,2-5,5
	18:00	20,8-0,3	5,3-0,2	5,1-5,5	20,6-0,2	5,1-0,3	4,9-5,6
7	09:00	20,8-0,3	5,3-0,5	5,4-5,3	20,7-0,3	5,3-0,2	5,1-4,7
	18:00	20,6-0,2	5,0-0,3	5,1-5,5	20,1-0,3	5,0-0,1	4,7-5,0
9	09:00	20,8-0,5	4,7-0,6	4,8-5,4	20,5-0,1	4,7-0,5	4,9-5,2
	18:00	20,4-0,2	4,9-0,4	5,2-5,2	20,7-0,4	4,9-0,1	5,1-5,0
10	09:00	20,8-0,3	5,0-0,2	5,2-5,0	20,6-0,2	4,9-0,2	5,2-5,4
	18:00						

Todos los valores son el promedio de la medición de los dos recipientes conectados entre sí para cada tratamiento.

4.4.3- Determinación de la actividad metabólica

- **Tasa respiratoria:** 4 a 6 horas después del procesamiento se presentaron valores máximos los que estuvieron entre 15,3 y 18,5 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹, para luego sufrir una clara baja, observándose valores entre 6,0 y 11,2 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹ al décimo día.

- **Tasa de producción de etileno:** los valores más altos fueron observados 4 a 6 horas luego del procesamiento con un rango entre los 3,8 y 5,4 µL C₂H₄· kg⁻¹·h⁻¹. Pasados 10 días la tasa decayó notoriamente observándose valores entre 2,0 y 3,2 µL C₂H₄· kg⁻¹·h⁻¹.

El aumento marcado en la tasa respiratoria y de producción de etileno luego del procesamiento, pudieron deberse al estrés generado por el mínimo proceso sobre los tejidos vegetales, la posterior baja en las tasas se debería a la adaptación de los tejidos

a las condiciones de almacenamiento, lo cual también ha sido detallado en capítulos anteriores de este trabajo y observado por numerosos investigadores (Fonseca *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; Beltrán *et al.*, 2005; Rivera *et al.*, 2005; Silveira, 2009).

4.4.4- Parámetros de Color

- **Luminosidad:** luego de 3 días se pudo observar la mayor reducción del pardeamiento en los tratamientos de EDTA + AA en AC de 5-0 y CIS + AA en AC de 5-5 con un $L=79,9$, presentándose diferencias significativas entre tratamientos (Apéndice, Cuadro 4.1). Tras 7 días el tratamiento con valor más alto fue el de EDTA + AA en AC de 5-0 con 78,8, por otro lado, los valores más bajos se presentaron en los tratamientos de EDTA + AA 5-5 y CIS + AA en AC de 21-0 con 76,9, presentándose una interacción significativa de los factores. Transcurridos los 10 días de almacenamiento los valores más altos fueron obtenidos por los cascots inmersos en EDTA + AA en AC de 5-0, con 78,2 mostrando efectiva reducción del pardeamiento (Figura 4.2); por otro lado el valor más bajo lo obtuvo el tratamiento de CIS + AA en AC de 5-5 con 74,0, presentándose así efecto del tipo de AC y solución antipardeante por separado, siendo la más benéfica la de bajo O_2 .

De esta forma, los tratamientos con EDTA + AA fueron los que conservaron de mejor forma la luminosidad luego de 10 días (Figura 4.2), viéndose su efecto favorecido por la combinación con almacenaje en bajo O_2 (5%).

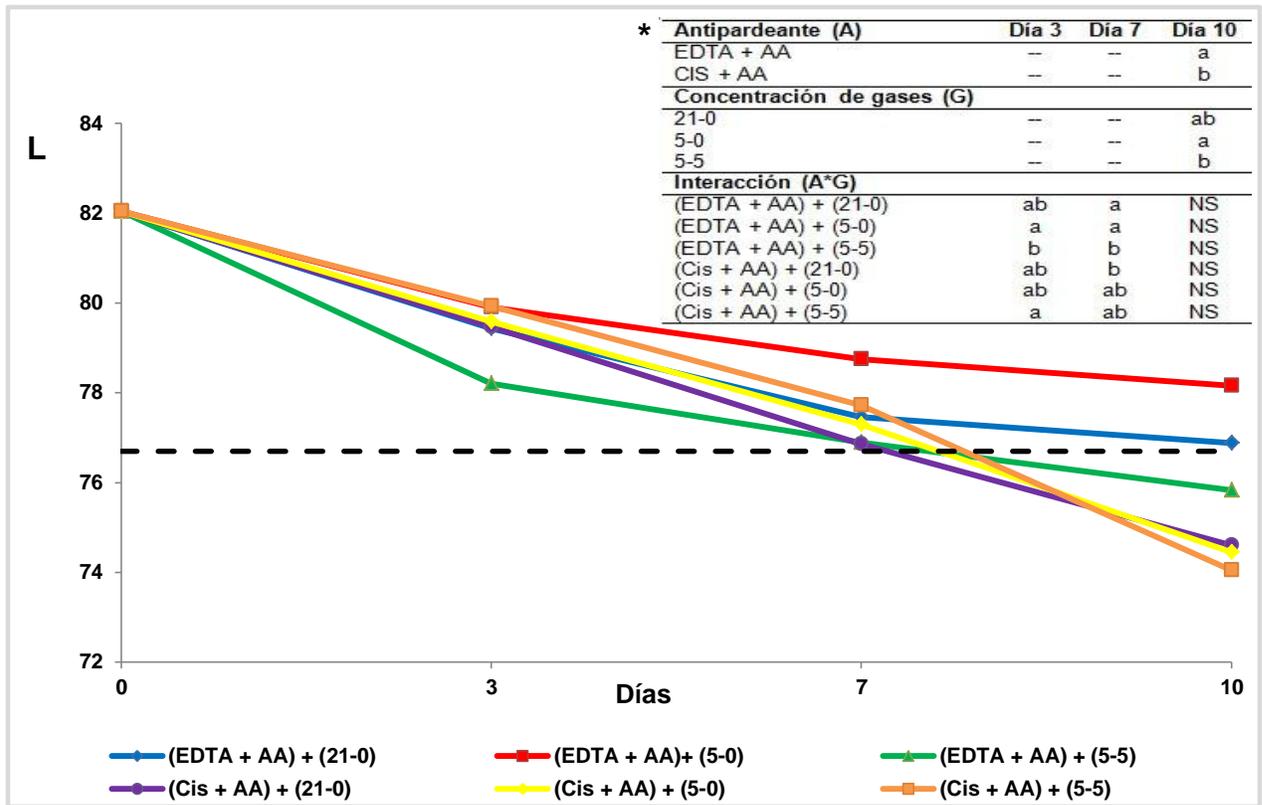


Figura 4.2. Luminosidad (L) de cascos de manzana ‘Royal Gala’ inmersos en soluciones antipardecantes almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento, L=76,7). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

- **Croma (C*):** entre los 3 y 7 días de almacenamiento los mejores resultados fueron observados en los cascos inmersos en soluciones de AA + EDTA con valores entre 21,6-23,6 (Apéndice, Cuadro 4.2); los valores más altos fueron observados en los tratamientos con AA + Cis y estuvieron entre los 24,5 a 31,2, siendo el único de estos tratamientos que se mantuvo en valores bajo el límite de pardeamiento hasta el séptimo día el almacenado en 5-0, presentándose un efecto significativo de la solución antipardecante utilizada. Transcurridos los 10 días de almacenamiento todos los tratamientos con AA + EDTA se mantuvieron bajo el límite de pardeamiento con valores entre 25,2 y 25,7, mientras que los con Cis + AA presentaron valores entre 28,0 y 31,4, los que reflejaron pardeamiento. Por otro lado la atmósfera que presentó los valores más bajos fue la de 5-0 (Figura 4.3), mientras que la de valores más altos fue la de 5-5, presentándose efecto del tipo de solución antipardecante y AC utilizada.

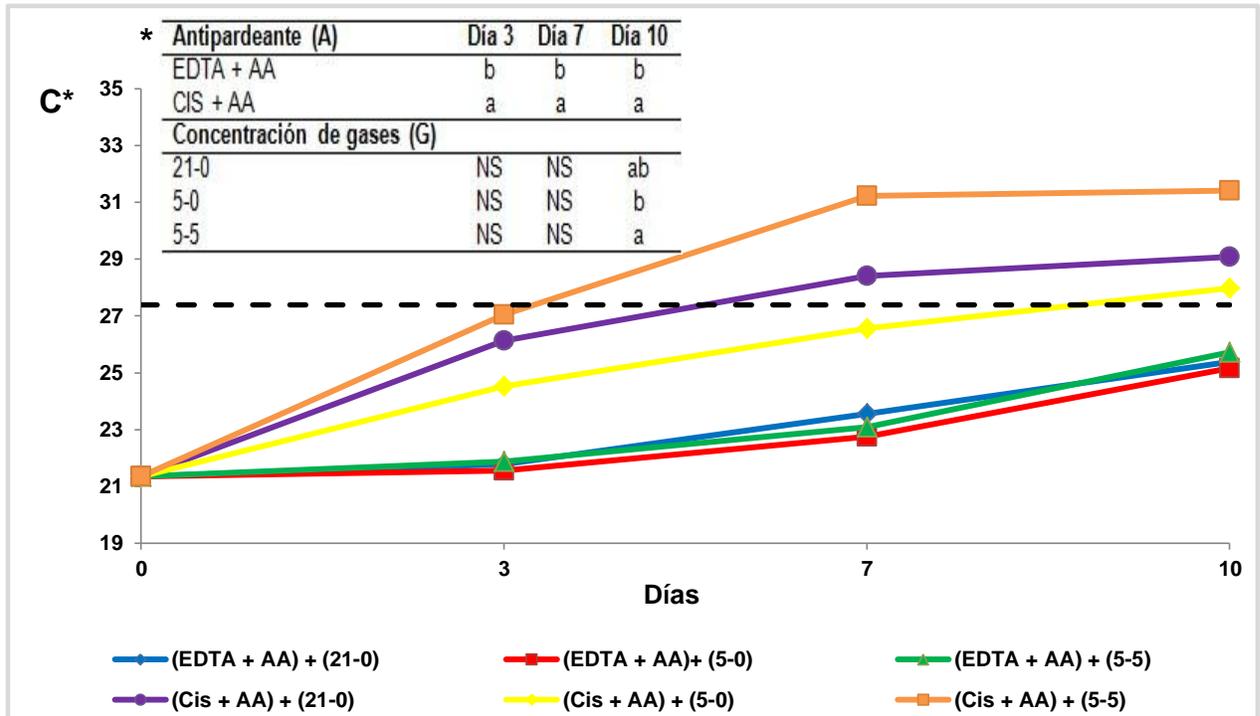


Figura 4.3. Cromo (C^*) de cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardecantes almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media ($n=3$). (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardecamiento, $C^*=27,4$). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

Al igual que en el caso de la luminosidad, los tratamientos con EDTA + AA fueron los que mejor conservaron los valores de croma durante los 10 días de almacenaje a 5 °C (Figura 4.3), favoreciéndose su efecto al combinarse con el almacenamiento en AC de 5-0.

- **Tono (H_{ab}):** entre los días 3 y 7 se obtuvieron valores entre los 85,5 y 98,5 (Apéndice, Cuadro 4.2), observándose bajas marcadas en los valores de los tratamientos con Cis + AA, (rangos de 95,6 a 97,1 para el día 3 a 85,5 a 88,3 al día 7) con una baja promedio de 9,4 en el valor de H_{ab} , mostrando todos estos valores de pardecamiento al séptimo día, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Para el día 10 de almacenamiento se observaron los valores más altos en los tratamientos con EDTA + AA, manteniéndose todos por sobre el límite de pardecamiento, con valores entre 91,6 y 94,1; por otro lado, la AC que mejor mantuvo el tono de los cascos de manzana fue la

de 5-0 (Figura 4.4); luego el tratamiento con el valor más alto fue el que reunió ambos factores con un $H_{ab} = 94,1$, presentándose efecto del tipo de solución antipardeante y AC utilizada, para este día de evaluación.

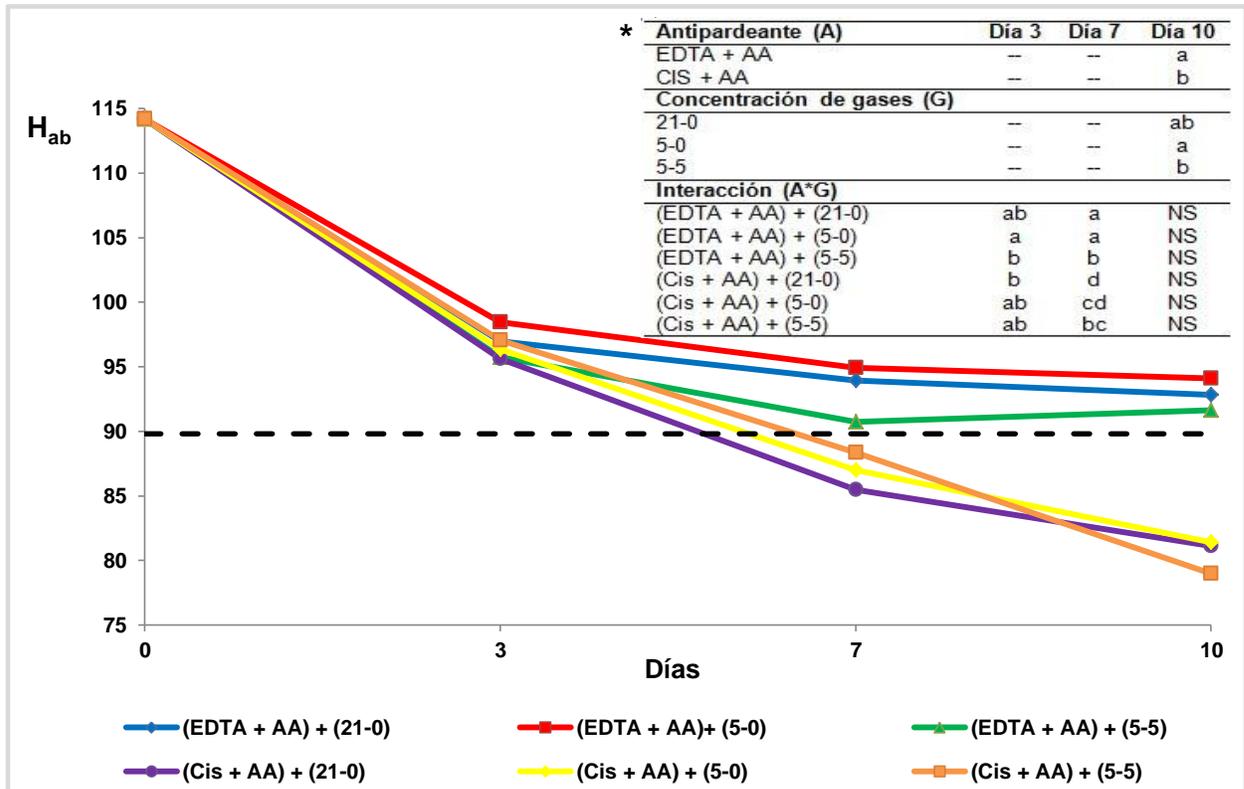


Figura 4.4. Tono (H_{ab}) de cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media ($n=3$). (Línea punteada indica el valor límite para considerar pardeamiento $H_{ab} = 89,8$). * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

Nuevamente los tratamientos con EDTA + AA fueron los de mejor resultado, conservando valores de tono superiores al límite de pardeamiento durante 10 días, siendo su efecto aumentado por el almacenamiento en AC de 5-0 (Figura 4.4).

En general predominó el efecto de las soluciones antipardeantes ante el de la AC, siendo de estas últimas la única que mostro un efecto distintivo del resto, al mantener de mejor forma el color, la de 5-0, siendo el tratamiento de EDTA + AA en AC de 5-0 el más efectivo, al retardar el pardeamiento enzimático por 10 días (Apéndice, Figura 4.1).

Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Lamikanra y Watson (2001) los que aplicaron una combinación de 0,3% EDTA + 0,8% AA sobre melón Cantaloupe MPF almacenado por 15 días a 4 °C, obteniendo buenos resultados sobre el color textura y aroma; también concuerdan con los resultados obtenidos en el capítulo II de este trabajo, en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en 0,8% AA + 0,3% EDTA. En relación a las AC de bajo O₂, Gunes *et al.* (2001) señalan que, en manzana MPF, los mejores resultados obtenidos en cuanto al valor de L fueron los de la AC de 0% O₂ + 0% CO₂ a los 7 días de almacenamiento a 5 °C. Así mismo, resultados anteriores de este trabajo apoyan la efectividad de los tratamientos con combinaciones de AA + EDTA, así como de las bajas concentraciones de O₂ y CO₂ (Capítulos II y III). Por otro lado, se observó que los tratamientos con Cis disminuyeron bruscamente su efecto, llegando a valores de alto pardeamiento para el décimo día, Lo que podría deberse al pardeamiento rojizo presente en los cascos de manzana (Figura 4.6) fenómeno observado y explicado anteriormente en el Capítulo I punto 2.4.3 de este escrito y por numerosos investigadores (Richard-Forget *et al.*, 1992; Sapers y Miller, 1998; Gorny *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

4.4.5- Firmeza

Entre los días 3 y 10 de almacenamiento se observaron los mayores valores en los cascos inmersos en CIS + AA en AC de 5- 5 y EDTA + AA en AC de 5-0, los que oscilaron entre los 6,8 y 6,5 kg-f (Apéndice, Cuadro 4.3), mientras que los de menor firmeza fueron los tratamientos de CIS + AA en AC de 21-0 y CIS + AA en AC de 5-0 con valores entre los 5,2 y 5,1 kg-f (Figura 4.5), presentándose diferencias significativas entre tratamientos durante todo el almacenamiento.

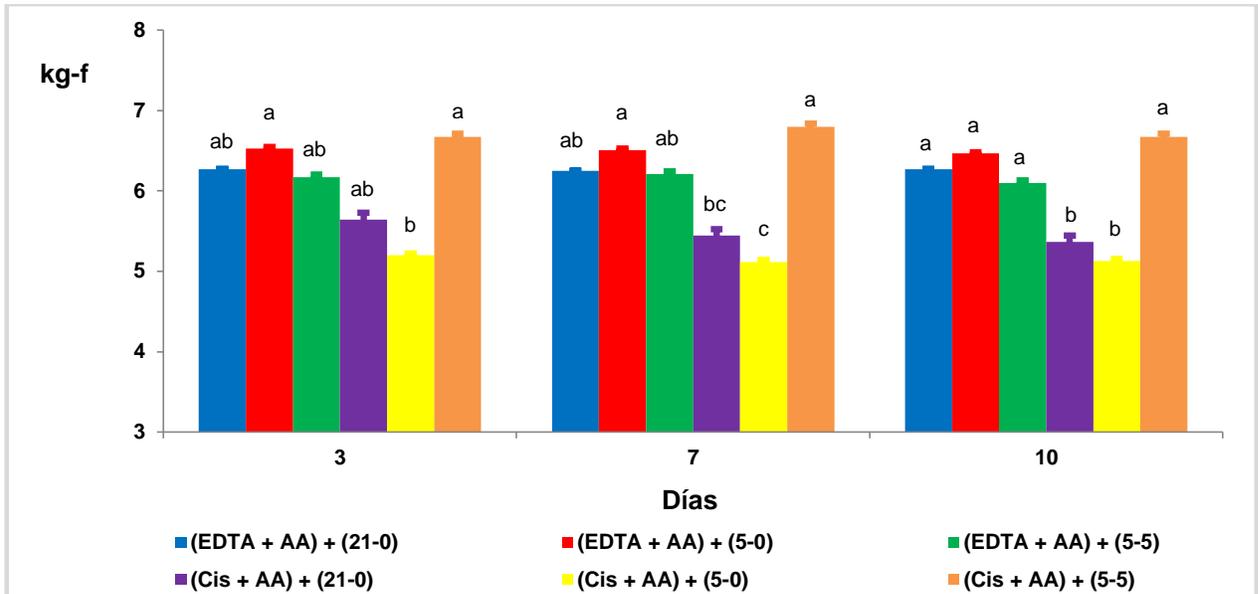


Figura 4.5. Firmeza (kg-f) en cascos de manzana ‘Royal Gala’ inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE. * Letras diferentes indican diferencias estadísticas para cada factor y ^{ns} diferencias no significativas (p < 0,05).

En general, la firmeza se mantuvo estable para cada tratamiento durante todo el almacenamiento. Lo anterior pudo deberse al efecto de la temperatura de almacenamiento la cual en conjunto con las condiciones de almacenamiento en AC, pudo minimizar llegando casi a frenar el efecto del daño generado por el mínimo proceso, como es la pérdida de firmeza producto de la ruptura de la integridad celular (Rocha y Morais, 2000; Soliva-Fortuny *et al.*, 2001; Beirão-da-Costa *et al.*, 2006; Silveira, 2009).

Sólo dos tratamientos presentaron bajas claras en su firmeza con respecto al valor de la fruta fresca recién cortada estos fueron los de CIS + AA en AC de 21-0 y CIS + AA en AC de 5-0 (Figura 4.5), lo anterior pudo deberse a que, luego del procesamiento, se activaron enzimas del ablandamiento producto de la ruptura celular, además de la pérdida de turgencia por la deshidratación generada. (Varoquax *et al.*, 1990), lo cual, al igual que el resto de los tratamientos, se vio minimizado al adaptarse los tejidos de los cascos de manzana a las condiciones de almacenamiento, manteniendo para los días 3, 7 y 10 valores constantes de firmeza.

4.4.6. Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST):** tras 3 días se obtuvieron valores entre 11,4 y 12,6, manteniéndose estos estables hasta el día 7, en donde los valores más bajos fueron observados en los tratamientos en AC de 5-0 con 11,2 y 11,8 (con Cis + AA y EDTA + AA respectivamente), presentándose en ambas fechas de evaluación efecto de la AC utilizada (Cuadro 4.4). Para el día 10 de almacenamiento se presentaron valores entre 10,9 y 12,1, sufriendo, la mayoría de los tratamientos, una baja en sus SST, a excepción de los tratamientos de EDTA + AA en 21-0 y Cis + AA en 5-0 con valores de 12,1 y 11,3, manteniéndose estables (Apéndice, Figura 4.5).

- **pH:** luego de 3 días se observaron valores entre 3,6 y 3,9 (Cuadro 4.4). Para el séptimo día los cascos inmersos en CIS + AA en AC de 5-0 obtuvieron el valor más alto con 3,9, mientras que el más bajo lo presentó el tratamiento de CIS + AA en AC de 5-5 con 3,7, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Para el día 10 de almacenamiento los valores estuvieron entre 3,8 y 3,9, observándose un alza generalizada pH de los cascos de manzana la cual fue en promedio de 0,09 (Apéndice, Figura 4.6).

- **Acidez titulable:** luego de 3 días se observaron los valores más altos en los tratamientos con CIS + AA en AC de 21-0 y CIS + AA en AC de 5-0 con una AT de 0,26%, mientras que el menor valor de AT perteneció al tratamiento de EDTA + AA en AC de 5-0 con 0,19% (Cuadro 4.4), presentándose interacción significativa de factores. Para los días 7 y 10 se observaron los valores más altos en los tratamientos de Cis + AA (entre 0,21 y 0,26%) y para la AC de 21-0 (0,22-0,26% AT), mientras que el resto de los tratamientos oscilaron entre valores de 0,18-0,19% de AT, presentándose efecto del tipo de solución antipárdeante y AC utilizada, presentándose mayor AT las soluciones de Cis + AA y AC de 21-0, es decir, el bajo O₂ o alto CO₂ no pudieron evitar la baja en la AT de los cascos de manzana 'Royal Gala' (Apéndice, Figura 4.6).

Cuadro 4.4. Evolución de los sólidos solubles totales (SST%) pH y acidez titulable (AT%) en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	SST (%)			pH			AT (%)		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)									
EDTA + AA	12,1	12,1	11,7	3,7	3,8	3,9	0,21	0,20 b	0,19 b
Cis + AA	12,0	11,9	11,7	3,8	3,8	3,9	0,25	0,24 a	0,23 a
Concentración de gases (G)									
21-0	12,0 ab	12,0 b	11,9 a	3,8 a	3,8	3,8	0,25	0,24 a	0,24 a
5-0	11,6 b	11,5 c	11,1 a	3,9 a	3,9	3,9	0,23	0,21 b	0,20 b
5-5	12,5 a	12,4 a	12,0 a	3,7 a	3,8	3,9	0,21	0,21 b	0,20 b
Interacción (A*G)									
(EDTA+AA) + (21-0)	12,0	12,0	12,1	3,7	3,8 cd	3,8	0,24 ab	0,23	0,22
(EDTA+AA) + (5-0)	11,9	11,8	10,9	3,8	3,8 bc	3,9	0,19 c	0,19	0,18
(EDTA+AA) + (5-5)	12,4	12,4	12,0	3,6	3,9 ab	3,9	0,21 bc	0,19	0,18
(Cis+AA) + (21-0)	12,1	12,0	11,8	3,8	3,9 ab	3,9	0,26 a	0,26	0,25
(Cis+AA) + (5-0)	11,4	11,2	11,3	3,9	3,9 a	3,9	0,26 a	0,24	0,23
(Cis+AA) + (5-5)	12,6	12,4	11,9	3,7	3,7 d	3,8	0,21 bc	0,22	0,21
Nivel de significancia									
A	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	***	***
G	*	***	*	*	**	NS	***	**	***
A*G	NS	NS	NS	NS	***	NS	**	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, $0,01$ o $0,001$ respectivamente.

La baja leve generalizada en el contenido de SST y AT, así como el alza en pH, entre los días 3 y 10, pudieron deberse a la elevada tasa respiratoria, la cual, a pesar de las condiciones de AC, fue superior a la del fruto entero, generando un consumo más acelerado de los azúcares y ácidos (Kim *et al.*, 1993; Oms-Oliu *et al.*, 2008; Silveria, 2009), hecho similar a lo ocurrido anteriormente en los Capítulos II y III de este estudio.

4.4.7- Evaluación de la calidad sensorial.

- **Apariencia:** luego de 3 días se obtuvieron los puntajes más altos en los tratamientos

con Cis + AA los que estuvieron entre 12,8 y 13,6, el resto estuvo entre los 9,1 y 10,4 (Apéndice, Cuadro 4.5), sin observarse defectos mayores en los cascos, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Para el séptimo día los mayores puntajes pertenecieron a los cascos almacenados en 5-0 con valores entre 10,3 y 11,1, y los menores en los con AC de 21-0 (promedio de 7,5), presentándose el valor más bajo en los cascos inmersos en EDTA + AA (7,2) estando bajo el límite de apariencia aceptable, presentándose un claro efecto de la AC utilizada. Transcurridos los 10 días de almacenamiento se observó el puntaje más alto en el tratamiento con EDTA + AA en AC de 5-0 con 7,9 siendo el único que se mantuvo por sobre el límite de apariencia aceptable (Figura 4.6), el resto se obtuvo puntajes entre 3,4 y 6,5, con un claro empeoramiento de su apariencia presentándose una interacción significativa de los factores, coincidiendo con el análisis de parámetros de color que señalaron al tratamiento de (EDTA + AA) + (5-0) como el de mejor resultado.

- **Pardeamiento:** luego de 3 días se observaron los menores puntajes en los tratamientos con Cis + AA (0,3 a 1,0) y los mayores en los con AA + EDTA (3,3 a 4,1) (Apéndice, Cuadro 4.5), siendo estos puntajes bajos en general, los que estuvieron lejos de sobrepasar el límite de pardeamiento, presentándose efecto de la solución antipardeante utilizada. Para el séptimo día los puntajes más bajos pertenecieron a los tratamientos con 5-0 (2,2 a 2,4) y el promedio más bajo de pardeamiento lo obtuvieron los cascos inmersos en Cis + AA (3,3 en promedio); mientras que los valores más altos fueron observados en la AC de 21-0 (4,0 a 5,4), específicamente en los cascos inmersos en AA + EDTA los que obtuvieron el puntaje más alto, presentándose efecto de la AC y la solución antipardeante utilizada. Transcurridos los 10 días de almacenamiento el puntaje más bajo lo obtuvo el tratamiento de AA + EDTA en AC de 5-0 con 4,6, muy por debajo del límite de pardeamiento (Figura 4.6); por otro lado, los puntajes más altos los obtuvieron los tratamientos con Cis + AA con valores entre 9,5 y 10,7 observándose un alto grado de pardeamiento, presentándose una interacción significativa de los factores, concordando con los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros de color donde el tratamiento mejor evaluado fue el de (EDTA + AA) + (5-0), con valores que señalaron ausencia de pardeamiento.

- **Firmeza:** tras 3 días, la mayor firmeza fue obtenida por el tratamiento de EDTA + AA en AC de 5-0 con 12,3, el valor más bajo fue observado en los cascos inmersos en CIS + AA en AC de 21-0 con 8,0 (Apéndice, Cuadro 4.6), presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Luego de 7 días se observaron puntajes entre 9,6 y 12,1, sin apreciarse diferencias entre tratamientos. Pasados los 10 días de almacenamiento los mayores puntajes fueron obtenidos por los tratamientos de (EDTA + AA) + (5-5), (EDTA + AA) + (5-0) y (Cis + AA) + (5-5) con puntajes entre 11,1 y 11,3, manteniendo puntajes altos durante el almacenamiento,; mientras que los más bajos fueron observados en los tratamientos de (Cis + AA) + (21-0) y (Cis + AA) + (5-0) con un puntajes entre 6,3 y 8,3 (Figura 4.6), hecho similar a lo ocurrido en el análisis instrumental de la firmeza (punto 4.4.5) para los valores más altos y bajos, presentándose efecto de la solución antipardeante y la AC utilizada. En general la tendencia fue a la baja en la percepción de firmeza entre los días 3 y 10.

- **Sabores extraños:** para los días 3 y 7 de almacenamiento el puntaje más alto lo obtuvieron los tratamientos con Cis + AA con valores entre 1,9 y 4,3; mientras que los más bajos los obtuvieron los cascos inmersos en EDTA + AA con valores entre 1,4 y 1,8, puntajes que indicaron ausencia de sabores extraños, presentándose efecto significativo del antipardeante utilizado (Apéndice, Cuadro 4.6). Pasados 10 días los tratamientos con Cis + AA en las distintas AC mostraron puntajes que indican que existió una sensación distinta hacia estos (entre 4,8 a 9,9), siendo el de peor evaluación el almacenado en AC de 5-0 con un 9,9 (Figura 4.6), siendo el único en el que se observó presencia marcada de sabores extraños. El resto de los tratamientos obtuvo puntajes entre 1,5 y 2,2, presentándose diferencias significativas entre tratamientos.

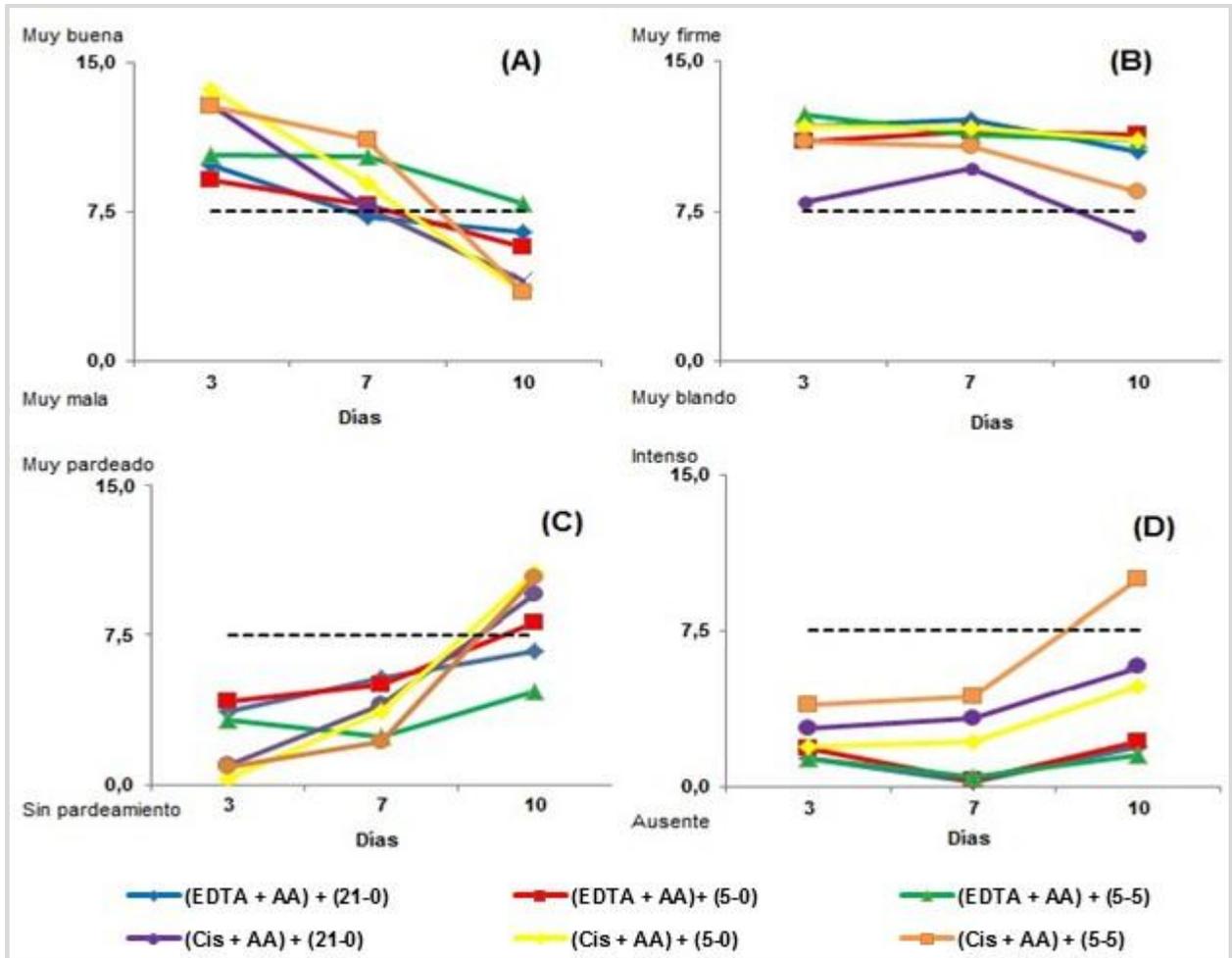


Figura 4.6. Atributos sensoriales en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a tratamientos con agentes antipardeantes y almacenados en AC: **(A)** Apariencia; **(B)** Firmeza; **(C)** Pardeamiento; **(D)** Sabores extraños. (La línea punteada indica el límite de aceptabilidad de cada atributo = 7,5).

Respecto al análisis de apariencia y pardeamiento, sus resultados se pueden asociar al de los parámetros de color donde el efecto del tipo de solución antipardeante fue predominante por sobre la AC utilizada. La AC que mostró un efecto positivo sobre el color, apariencia y pardeamiento fue 5-0, cuya combinación con la solución de AA + EDTA conservó mejor dichos parámetros. En contraste, los tratamientos con soluciones de Cis + AA fueron efectivos hasta el día 7, siendo mal evaluados para el décimo día, adoptando una calidad incomedible. Dichos resultados se deben a que llegado el décimo día se observó un pardeamiento rojizo intenso según comentarios escritos en la planilla de evaluación sensorial, cuya causa y efectos han sido detallados anteriormente

en el Capítulo II punto 2.2.3 (Richard-Forget *et al.*, 1992; Sapers y Miller, 1998; Gorny *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003). En cuanto a la firmeza, los tratamientos que valores más bajos durante el almacenamiento fueron Cis + AA en AC de 21-0 y 5-0, resultado que coincide con lo obtenido en el punto 4.4.5 de este Capítulo, donde los tratamientos mencionados fueron los de valores más bajos, mientras que el resto presento valores en kg-f y puntajes sensoriales altos al final del almacenamiento. El mayor ablandamiento sufrido por los tratamientos anteriormente mencionados pudo deberse a la activación enzimática que sucede luego que el tejido pierde su integridad celular y turgencia, tras el mínimo proceso (Varoquax *et al.*, 1990); en relación a la alta firmeza captada por el panel de jueces, esto pudo deberse a la combinación entre la AC y el almacenamiento en frío (5 °C) lo cual pudo minimizar el daño sufrido con los efectos anteriormente descritos (Martín-Diana *et al.*, 2007; Toivonen y Brumell, 2007; Mery, 2010). Se presentaron sabores extraños sólo al décimo día en los tratamiento de (Cis + AA) siendo el almacenado en AC de 5-0 el único en sobrepasar el límite de aceptabilidad. En relación a lo anterior, Dong *et al.* (2000) y Gorny *et al.* (2002) han asociado la presencia de sabores extraños a la aplicación de Cis en sus tratamientos en pera MPF.

4.4.8- Actividad de la polifenol oxidasa (PPO)

Luego de 3 días la actividad de la PPO fue baja en todos los tratamientos con valores entre 0,12 y 0,20 U·mg prot⁻¹ (Cuadro 4.5). Pasados los 10 días de almacenamiento se observó la actividad más baja en los tratamientos de AA + EDTA con valores entre 0,18 a 0,28 U·mg⁻¹prot⁻¹, inferiores al de la manzana fresca sin cortar (0,33 U·mg prot⁻¹), mientras que los cascos inmersos en Cis + AA obtuvieron los más altos niveles de actividad, presentando valores entre 0,39 y 0,49 U·mg prot⁻¹, observándose un marcado efecto de la solución antipardeante utilizada.

Los resultados anteriormente descritos concuerdan con lo obtenido en los parámetros de color, donde en un principio al tercer día todos los tratamientos fueron efectivos en el control del pardeamiento, siendo la mejor combinación la de los cascos inmersos en

EDTA + AA almacenados en AC de 5-0, presentando una actividad muy inferior a la de la manzana fresca sin cortar durante los 10 días. La efectividad de los agentes antipardeantes y la AC en la reducción de la actividad de la PPO ha sido mencionada anteriormente en los Capítulos II y III y por numerosos investigadores (Gorny *et al.*, 1998; Gunes *et al.*, 2001; Rocha y Morais, 2005; Rojas Graü *et al.*, 2008). Sin embargo, al término del almacenamiento hubo un claro pardeamiento en los tratamientos con Cis + AA, provocado por una coloración rojiza, causada por la degradación acelerada de la Cis en el tiempo con la consecuente regeneración de fenoles, efecto detallado en el Capítulo II punto 2.3.3 y por numerosos autores (Richard-Forget *et al.*, 1992; Sapers y Miller, 1998; Gorny *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

Cuadro 4.5. Actividad de la PPO en cascotes de manzana ‘Royal Gala’ inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

Actividad enzimática PPO (U·mg prot⁻¹)		
	Día 3	Día 10
Antipardeante (A)		
EDTA + AA	0,18	0,22 b
Cis + AA	0,15	0,42 a
Concentración de gases (G)		
21-0	0,17	0,33
5-0	0,13	0,28
5-5	0,19	0,34
Nivel de significancia		
A	NS	***
G	NS	NS
A*G	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis y objetivos planteados en esta investigación se establece lo siguiente:

Sólo el tratamiento de (EDTA + AA) + (5-0) fue efectivo al reducir el pardeamiento enzimático durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C, según lo respaldan los altos valores de luminosidad y tono y los bajos valores de croma obtenidos, al igual que la evaluación sensorial de apariencia y pardeamiento, donde se observó ausencia de defectos y pardeamiento en este tratamiento durante todo el almacenamiento. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos para la actividad de la PPO donde, al cabo de 10 días, presentó el valor de actividad más bajo. Lo anterior se debe al efecto conjunto de los agentes antipardeantes utilizados (uno reductor más uno quelante) y, a la benéfica atmósfera generada la cual disminuyó el metabolismo de la fruta cortada.

Para los tratamientos con la solución de Cis + AA el pardeamiento observado, luego de 10 días, fue de color rojizo y de alto grado, por lo cual se recomienda regular el pH de las soluciones que contengan Cis (cerca a 7,0) según se señaló anteriormente en el Capítulo II punto 2.4.3. Así mismo los tratamientos con Cis presentaron sabores extraños al cabo de 10 días, al igual que en el Capítulo II, cuya sensación fue leve para los cascos en AC de 21-0 y 5-5, mientras que en AC de 5-0 esta sensación fue notoria, por lo que es recomendable optar por otros agentes.

Por otro lado, la aplicación de soluciones antipardeantes y AC no afectó significativamente la AT, manteniéndose ésta estable para cada tratamiento durante el almacenamiento, mientras que los SST bajaron luego de 10 días a 5 °C, sin llegar a valores críticos, lo que refleja una buena conservación de estos parámetros de calidad, lo que mayormente se debería a las bajas temperaturas de almacenamiento (5 °C), más que a algún tratamiento en particular, las que habrían disminuido el metabolismo de la fruta cortada reduciendo el consumo acelerado de azúcares y ácidos.

CAPITULO V. Efecto del envasado en atmósfera modificada (EAM) activa con películas plásticas de permeabilidad selectiva y aplicación de agentes antipardeantes sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana ‘Royal Gala’.

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del envasado en atmósfera modificada (EAM) activa de 5 % O₂ en combinación con la aplicación de agentes antipardeantes sobre el pardeamiento enzimático en cascos de manzana 'Royal Gala', para lo cual se usaron 3 envases con distinta permeabilidad al O₂, bolsa perforada (BP), bolsa de alta (BAP) y baja permeabilidad al O₂ (BBP) (6800 y 3000 mL·m⁻²d⁻¹atm⁻¹, respectivamente), y dos niveles de antipardeantes, sin antipardeante (SA) y 0,3%EDTA + 0,7%AA (%p/v) (CA), combinándolos de la siguiente forma: SA + BP; SA + BAP; SA + BBP; CA + BP; CA + BAP y CA + BBP, almacenados por 10 días a 5 °C. Durante el almacenaje se evaluó: contenido gaseoso de las bolsas, tasa respiratoria y de producción de etileno, color, firmeza, parámetros químicos, atributos sensoriales, compuestos bioactivos y calidad microbiológica. El contenido gaseoso interno en las BP se mantuvo con valores cercanos a los del aire durante los 10 días. Tras 10 días el envase de BBP fue el que conservó mejor la composición inicial de bajo O₂, aumentando su CO₂ interno con 3,5% O₂ y 3,4% CO₂, mientras que las BAP no fueron eficaces aumentando su O₂ interno con 14,9% O₂ en promedio, estabilizándose las atmósferas a los 7 días. Luego de 3 días los cascos CA presentaron los valores más altos de L entre 79,0 y 80,0. Pasados los 10 días de almacenamiento el único tratamiento que retardó de manera efectiva el pardeamiento fue el CA + BBP con valores de L, C* y H_{ab} de 78,0, 25,1 y 92,8 respectivamente. La firmeza no se vió mayormente afectada por estos tratamientos con valores entre los 5,8 y 6,6 kg-f. Entre los 3 y 10 días los SST bajaron en los cascos envasados en BBP manteniéndose estables en el resto. La evaluación sensorial mostró que los cascos CA en BBP obtuvieron el puntaje más alto de apariencia y menor pardeamiento. El tratamiento que mostró la menor actividad de la PPO, menor disminución en sus fenoles totales y la mayor capacidad antioxidante luego de 10 días fue el de los cascos CA en BBP, coincidiendo con lo observado para el color. Los recuentos microbiológicos se mantuvieron bajos durante todo el almacenamiento.

Palabras clave: Cuarta gama, respiración, etileno, microorganismos, antioxidantes.

ABSTRACT

In this study the effect of active modified atmosphere packaging (MAP) of 5% O₂, in combination with the application of antibrowning agents was evaluated, for which were used 3 packs with different permeability to O₂, perforated bag (PB); high (HPB) and low (LPB) permeability bag (6800 and 3000 mL·m⁻²d⁻¹atm⁻¹, respectively), in combination with two antibrowning levels, without antibrowning (WOA) and 0,7% ascorbic acid (AA) + 0,3% ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (%w/v) (WA), combining as follow: WOA + PB; WOA + BHP; WOA + BLP; WA + PB; WA + BHP and WA + BLP, stored for 10 days at 5 ° C. Gas concentration in bags, respiratory rate, ethylene production rate, color, firmness, chemical and sensorial parameters, bioactive compounds and microbiological quality. The internal gas concentration in PB was maintained close to atmospheric values throughout the storage. After 10 days the LPB package was better maintained the initial composition of O₂, increasing internal CO₂ (3.5% O₂ and 3.4% CO₂), while the HPB were not effective, since its increased internal O₂ widely (14.9% O₂ on average). After 3 days, the slices WA had the highest L values from 79.0 to 80.0. After 10 days of storage, the only treatment that efficiently reduced browning was the WA + LPB, with values of L, C * and H_{ab} of 78.0, 25.1 and 92.8 respectively. The firmness was not significantly affected by the treatments, and maintained with values from 5.8 to 6.6 kg-f. Between 3 and 10 days, the SST decreased in the slices packed in LPB, and remaining stable in the rest of the treatments. The sensorial evaluation showed that slices WA + LPB obtained the highest score in appearance and less browning. According to the results of bioactive compounds, the treatment showed the lowest PPO activity, smaller decrease in total phenols and the highest antioxidant capacity after 10 days, were the WA slices, packed in LPB, coinciding with that observed for color. Microbiological counts remained low throughout the storage.

Key words: Fresh-cut, respiration, ethylene, microorganisms, antioxidants.

INTRODUCCIÓN

Las frutas MPF han sido el foco de variados estudios, en gran parte debido a los daños que estas sufren en su preparación, los cuales terminan por acortar de manera significativa su vida útil. Técnicas como el envasado en atmósfera modificada (EAM) han intentado disminuir los efectos dañinos del mínimo proceso, así es como Gil *et al.* (1998) y Soliva-Fortuny *et al.* (2002) compararon el almacenamiento a 0 y 21% de O₂ en manzana de las variedades Fuji y Golden Delicious, respectivamente. Una completa inhibición de la liberación de etileno fue detectada para el EAM de 0% O₂, en ambos estudios, dado que se requiere O₂ para la producción de etileno. Oms-Oliu *et al.* (2008b) en su estudio en rebanadas de pera 'Flor de Invierno', concluyó que el EAM activa de 2,5% O₂ + 7% CO₂ obtuvo mejores resultados que el EAM pasiva, pese a esto no fueron capaces de inhibir totalmente el pardeamiento enzimático. Según Bai *et al.* (2001) en cubos de melón 'Cantaloupe' en EAM activa (4% O₂ + 10% CO₂), pasiva y en bolsas perforadas, solo los dos primeros fueron capaces de mantener la calidad visual por 7 días a 5 °C, obteniendo los mejores resultados la EAM activa. Como se puede apreciar los resultados son variados tendiendo en mayoría a concluir que el uso de EAM activa beneficiaría la conservación de la calidad inicial de la fruta MPF.

Por otro lado conocida es la efectividad de los tratamientos de inmersión en agentes antipardeantes en el retardo del pardeamiento enzimático. Antipardeantes como el ácido ascórbico (AA), de efecto reductor/antioxidante, y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), agente quelante de los iones de cobre, han sido ampliamente estudiados por investigadores para numerosas especies y variedades de fruta como es el caso de Sapers *et al.* (1989) en jugo y rebanadas de manzana, Buta *et al.* (1999) en manzana MPF, Lamiranka y Watson (2001) en cubos de melón 'Cantaloupe', Son *et al.* (2001) en rebanadas de manzana 'Fuji'; Perez (2003) en pera 'Blanquilla' MPF y Soliva-Fortuny y Martin-Belloso (2003) en variadas especies y variedades de fruta, siendo investigaciones con resultados exitosos en su mayoría. No obstante, para la mayoría de los productos se necesitan grandes cantidades de estos

agentes para que el efecto sea el deseado, lo cual puede generar presencia de sabores y aromas indeseables (Gorny *et al.*, 2002; Pérez, 2003).

Es por esto que uno de los mayores desafíos que enfrenta el mínimo procesamiento de frutas es el poder combinar adecuadamente distintos factores de preservación con el objetivo de generar productos que garanticen características sensoriales de frescura que desea el consumidor, que sean inocuos y nutritivos (Trujillo *et al.*, 2001). Muchos autores han investigado acerca del uso de la atmósfera modificada como un método que combinado con el uso de antipardeantes han obtenido buenos resultados en la preservación del color y parámetros de calidad (Rosen y Kader, 1989; Sapers y Miller, 1998; Gorny *et al.*, 1998; Gorny *et al.*, 2002). Rojas-Graü *et al.* (2007) señalan que en rebanadas de manzana 'Fuji' los tratamientos de EAM activa de 2,5% O₂ + 7% CO₂ en adición con N-acetilcisteína (derivado de la cisteína) fueron eficaces al reducir significativamente el pardeamiento, en comparación con el EAM pasiva, conservando su valor inicial de L durante más de 10 días, mostrando un efecto sinérgico. Una opción complementaria para mejorar la eficacia del EAM activa o pasiva es la utilización de películas con permeabilidad selectiva a los gases. Wang *et al.* (2007) estudiaron el efecto del EAM pasiva con películas plásticas de diferente permeabilidad combinada con la aplicación de ascorbato de calcio (CaAsc) y variados sanitizantes en manzana 'Golden Delicious' MPF sobre el color y la carga microbilógica, obteniendo como resultado una mejor reducción del pardeamiento en aquellos trozos de manzana envasados en EAM con películas de menor permeabilidad, combinado con CaAsc.

Dados los antecedentes detallados, se hace interesante investigar sobre los efectos del uso combinado de EAM activa con películas plásticas de diferente permeabilidad a los gases y aplicación de antipardeantes sobre el control del pardeamiento enzimático y conservación de parámetros de calidad en cascos de manzana 'Royal Gala'.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

La técnica de envasado atmósfera modificada activa (EAM) y el uso de agentes químicos antipardeantes son efectivos en la reducción del pardeamiento enzimático y proliferación microbiológica y en la conservación de parámetros de calidad físicos, químicos y de compuestos bioactivos en cascos de manzana 'Royal Gala'.

Objetivos

Evaluar el efecto combinado de películas plásticas de permeabilidad selectiva, EAM activa y agentes antipardeantes, como el ácido ascórbico (AA) y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), sobre el pardeamiento enzimático, la proliferación de microorganismos y la conservación de parámetros de calidad físicos y químicos y compuestos bioactivos en cascos de manzana 'Royal Gala'.

MATERIALES Y MÉTODO

5.1- Materiales

El origen y condiciones de almacenamiento de las manzanas 'Royal Gala' fueron descritos en el Capítulo III punto 3.1, con la única diferencia de que el almacenamiento en cámara de frío a 0 °C y 90% HR tuvo una duración de 45 días.

Para la formulación de soluciones antipardeantes se utilizaron antipardeantes como el ácido ascórbico (AA) (Sigma-Aldrich, EE.UU.), 99% pureza, L-cisteína (Cis) (Granotec, Chile) 99% pureza, y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) sal disódica 2-HID (Sigma-Aldrich, EE.UU.), 99,9% pureza.

Para el envasado en EAM se utilizaron películas plásticas transparentes de alta y baja permeabilidad al O₂ (6800 y 3000 mL m⁻² d⁻¹ atm⁻¹ a 23 °C respectivamente, FF, Chile).

Esta investigación fue financiada por FONDEF número D07I1026 y dentro del proyecto de investigación "Desarrollo de productos frutícolas mínimamente procesados en fresco como estrategia para aumentar el consumo. Bases tecnológicas"

5.2- Método

5.2.1- Caracterización de fruta entera

La caracterización de fruta entera y la determinación de los parámetros físicos y químicos se realizaron de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.1.

5.2.2- Manipulación y procesamiento

Tanto las condiciones previas al procesamiento así como las condiciones de la sala de manipulación y utensilios se realizó de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.2. (Figura 5.1). Luego de la inmersión en antiparaldeantes se procedió como se señala a continuación:

- **Pesaje y envasado:** los cascos de manzana fueron pesados con el fin de obtener 200 g, los que fueron envasados primeramente en bolsas perforadas, como también en películas plásticas de alta ($6.584 \text{ mL de O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) y baja ($3.084 \text{ mL de O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) permeabilidad al O_2 , a las que se les aplicó un barrido con N_2 desde un panel de AC, hasta que alcanzaron una concentración entre 4,5 y 5,0% de O_2 en su atmósfera interna, la cual fue verificada con un analizador de gases portátil (PBI Dansensor, Check Point, Rigsted, Dinamarca). Luego del envasado los cascos de manzana fueron almacenados en cámara de frío a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 10 días.

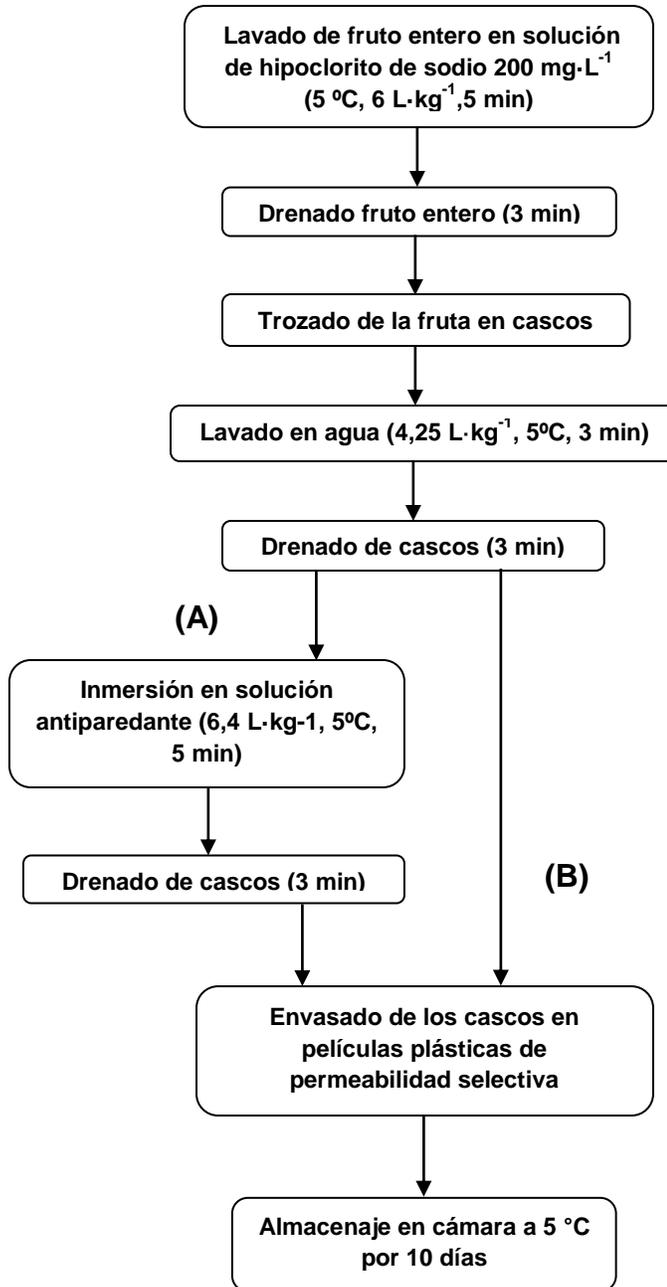


Figura 5.1. Diagrama de manipulación y procesamiento en fresco de manzanas 'Royal Gala'. **(A)**: tratamientos con aplicación antipardecantes; **(B)**: tratamientos sin aplicación antipardecantes.

5.2.3- Determinación de parámetros de calidad

5.2.3.1- Parámetros físicos y químicos

La medición de los parámetros físicos (color y firmeza) y químicos (SST, pH y AT) se midieron de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.

5.2.3.2- Determinación de actividad metabólica

- **Tasa respiratoria y tasa de producción de etileno:** la tasa respiratoria se midió según lo detallado en la sección 2.2.3.3, mientras que la tasa de producción de etileno se midió como se detalla en la sección 3.2.3.3, con la diferencia de que sólo se realizó la medición a los cascos de manzana con y sin antipardecante y al fruto entero, todos en frascos de vidrio de 500 mL. Las evaluaciones se realizaron los días 0, 1, 4, 7 y 10.

5.2.3.3- Composición gaseosa al interior del envase

Para la medición de la atmósfera interna de cada bolsa, se utilizó un analizador de gases portátil (PBI Dansensor, Check Point, Rigsted, Dinamarca), el cual entregó la concentración de O₂ y CO₂ presente en el espacio de cabeza. Se llevó a cabo para los días 0, 1, 4, 7 y 10.

5.2.3.4- Evaluación de calidad sensorial

La evaluación de calidad sensorial se realizó de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.4.

5.2.3.5- Determinación de los compuestos bioactivos

La determinación de estos compuestos se realizó en manzanas enteras antes del procesamiento y cascos de manzana MPF durante el almacenamiento a 5 °C. Las muestras fueron congeladas con nitrógeno líquido (Indura, Santiago, Chile) y conservadas en un refrigerador a -80 °C (SANYO Electric CO. Ltd., Moriguchi City, Osaka, Japón) en el Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, en espera de su análisis.

- **Actividad de la Polifenol oxidasa (PPO):** la actividad de la PPO se midió de acuerdo a lo establecido en la sección 2.2.3.5.

- **Fenoles totales:** para realizar la evaluación de fenoles totales, se realizó una extracción a un 1 g de pulpa con 9 mL de metanol (50%). Se centrifugó y filtró el sobrenadante el cual se hizo reaccionar con el reactivo Folin. La reacción se cuantificó con el reactivo Folin-Ciocalteu (preparado previamente con Reactivo A: 2,7% (P/V) Na/K tartrato + 4 H₂O; Reactivo B: 2% (P/V) Na₂CO₃ en 1N NaOH; Reactivo C: A + B y Reactivo Folin-Ciocalteu). La reacción se cuantificó en un espectrofotómetro (UV-Vis T70, PG Instruments Limited, Reino Unido) a una longitud de onda de 660 nm, según lo indicado por el método Folin-Ciocalteu, desarrollado por Singleton y Rossi (1965), con algunas modificaciones. Se realizó una curva de calibración, con ácido gálico previamente. Los fenoles totales se expresaron como mg de ácido cumárico por gramo de peso fresco (mg ac. cumárico·g p.f⁻¹).

- **Capacidad antioxidante:** para evaluar la capacidad antioxidante se utilizó el método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power, Benzie y Strain, 1996), con algunas modificaciones. Para la extracción y medición se usaron 0,2 g de muestra con nitrógeno líquido que se molieron hasta obtener un polvo fino, luego se agregó 1 mL de etanol 85% para realizar la extracción de la muestra, se filtró mediante papel Whatman n°1 y se tomó 20 µL del filtrado, y se mezcló con 80 µL de agua miliQ y 900 µL de reactivo FRAP (Buffer Acetato 300 mmol·L⁻¹, pH 3,5; Cloruro férrico hexohidrato 20 mmol·L⁻¹ y TPTZ 10 mmol·L⁻¹ en HCl 40 mmol·L⁻¹). Para preparar el reactivo se mezclan en proporción de 10:1:1, agitando durante 10 min entre 37-40°C en baño maría termostático. De esta mezcla se tomaron 900 µL de muestra y se midió su absorbancia cada 15 segundos durante 4 minutos en espectrofotómetro (UV-Vis T70, PG Instruments Limited, Reino Unido) en modo Kinetics a 593 nm. Los resultados se expresaron en mg TROLOX·g p.f⁻¹.

5.2.3.5- Recuentos microbiológicos

Se llevaron a cabo recuentos de microorganismos según lo establecido en la legislación chilena, en el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA) (Ministerio de Salud, 2009), para “Comidas y platos preparados listos para consumo”, especificado en el Título V, Párrafo 3, Art. 173, Grupo 15. En este documento se señalan límites máximos de Unidades Formadoras de Colonias por gramo (UFC·g⁻¹) para recuento de aerobios mesófilos (RAM), enterobacterias, hongos y levaduras. Se tomaron 10 g de muestra de los cascos de manzana y se molieron en 90 mL de agua pectonada estéril (APE, Merck Darmstadt, Alemania), durante 1 min dentro de una bolsa estéril (Model 400 bags 6141, Londres, Inglaterra), utilizando un digestor. Los recuentos microbianos se expresaron como Unidad Formadora de Colonia por g (Log UFC·g⁻¹).

Cuadro 5.1. Medios de cultivo y condiciones de incubación para los recuentos microbianos.

Microorganismo	Medio de cultivo	Condiciones de cultivos	
		Temperatura (°C)	Tiempo (d)
RAM	Agar de Recuento en Placa (ACP)	37	2
Enterobacterias	Agar Eosina Azul de Metileno (AEAM)	37	2
Psicrofilos	Agar de Recuento en Placa (ACP)	5	7
Hongos y levaduras	Agar Papa Dextrosa (APD)	25	5

Los análisis se llevaron a cabo el mismo día del procesamiento (día 0) y también al cabo de 10 días a partir de la elaboración (final de la conservación). Lo anterior permitirá evaluar la calidad microbiológica del alimento preparado, dentro del marco de inocuidad alimentaria.

5.3- Diseño de experimentos y análisis estadísticos

Para este ensayo se estableció un diseño completamente al azar, con estructura factorial de tratamientos de 3x2 con tres repeticiones por tratamiento. El primer factor fue el tipo de película plástica (perforada, alta y baja permeabilidad al O₂), el segundo fue la solución antipardeante (Sin antipardeante y 0,7% AA + 0,3% EDTA) obteniendo así un total de seis tratamientos (Cuadro 5.1). La unidad experimental correspondió a 200 g de cascos de manzana 'Royal Gala'.

Cuadro 5.2. Detalle de los tratamientos de inmersión en agentes antipardeantes y EAM activa con diferentes películas plásticas en cascos de manzana 'Royal Gala'.

Tratamiento	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	Solución antipardeante (% p/v)	Tipo de película plástica
T1	5	0	Sin antipardeante (SA)	Perforada (BP)
T2	5	0	Sin antipardeante (SA)	Alta permeabilidad (BAP)
T3	5	0	Sin antipardeante (SA)	Baja permeabilidad (BBP)
T4	5	0	0,7 AA + 0,3 EDTA (CA)	Perforada (BP)
T5	5	0	0,7 AA + 0,3 EDTA (CA)	Alta permeabilidad (BAP)
T6	5	0	0,7 AA + 0,3 EDTA (CA)	Baja permeabilidad (BBP)

AA = Ácido ascórbico; EDTA = Ácido etilendiaminotetraacético
Alta permeabilidad al O₂ = 6584 mL m⁻² d⁻¹; Baja permeabilidad al O₂ = 3084 mL m⁻² d⁻¹

Los resultados de estos experimentos fueron analizados estadísticamente por medio de un ANDEVA (Análisis de Varianza) con un nivel de significancia de un 5% con el fin de evaluar si existen diferencias a través del tiempo. Al encontrarse diferencias significativas se realizó un test de Tukey de separación de medias.

Todos los resultados de las evaluaciones fueron analizados estadísticamente mediante el software estadístico MINITAB versión 16 Statistical Software en español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.4.1- Caracterización de fruta entera

El Cuadro 5.3 muestra los resultados obtenidos tras la caracterización de frutos enteros de manzana 'Royal Gala', en general estos resultados no difieren con los registrados en los capítulos III y IV, lo que era esperable, debido a que los frutos provenían de los mismos huertos y se cosecharon en la misma época. Existió una diferencia de un mes aproximadamente entre el desarrollo del experimento del capítulo III con el de este capítulo, por lo cual se realizó una selección visual al momento del procesamiento eliminando la fruta harinosa o con defectos.

Cuadro 5.3. Caracterización de fruta entera.

Parámetros físicos ¹		Color piel ¹		Color pulpa ¹		Parámetros químicos ²	
Diametro (mm)		L	48,55	L	81,94	SST (%)	13,2
Ecuatorial	76,32	a*	30,87	a*	-5,83	pH	3,81
Polar	66,85	b*	24,34	b*	19,93	AT (%)	0,28
Peso (g)	185,6	C*	39,66	C*	20,81		
Firmeza (kg-f)	6,5	H _{ab}	38,33	H _{ab}	106,48		

¹ | Los valores corresponden al promedio de 20 muestras (20 frutos).

² | Los valores corresponden al promedio de 4 muestras, obtenidas cada una a partir de 5 frutos.

5.4.2- Determinación de actividad metabólica

- **Tasa respiratoria:** Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos durante todo el almacenamiento, observándose una clara tendencia de igualdad estadística entre los cascos sin y con antipardeantes (valores entre 9,0 y 20,2 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹) (Apéndice, Cuadro 5.1), siendo los primeros los que presentaron las mayores tasas cada día; por otro lado el fruto entero presentó valores muy inferiores a los dos anteriores (5,3-2,5 mg CO₂·kg⁻¹h⁻¹) siendo el que marcó la diferencia entre los tres (Figura 5.2).

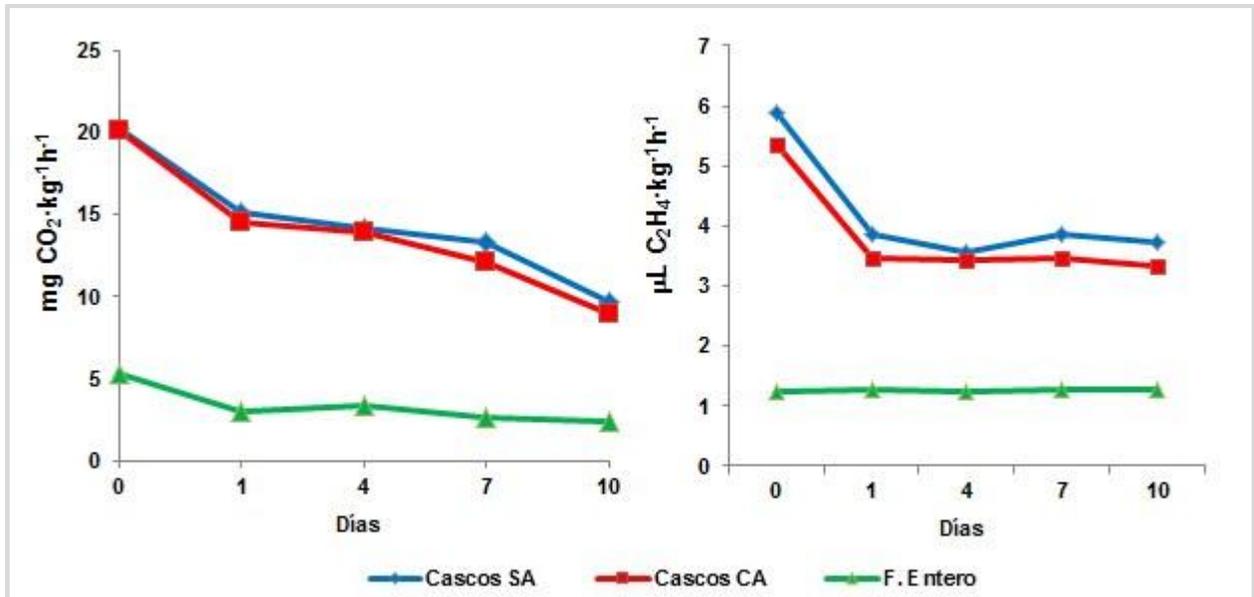


Figura 5.2. Tasa respiratoria y tasa de producción de etileno en cascós de manzana y fruto entero 'Royal Gala' sin (Cascos SA) y con (Cascos CA) antipardeantes, almacenados a 5 °C. Los valores son la media (n=3).

- **Tasa de producción de etileno:** 2 a 4 horas después del procesamiento se observaron los valores más altos para los cascós SA y CA con 5,89 y 5,35 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ respectivamente, ampliamente superiores al valor del fruto entero con 1,25 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$. Pasado 1 día la tasa de los cascós SA y CA bajó notoriamente a valores de 3,86 y 3,47 respectivamente, para mantenerse con valores entre 3,34 y 3,88 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ durante los 10 días presentando igualdad estadística entre sí. Por otro lado el fruto entero se mantuvo con valores entre 1,22 y 1,28 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, presentándose diferencias significativas entre los cascós de manzana y el fruto entero durante los 10 días de almacenamiento (Figura 5.2).

El punto máximo de tasa respiratoria y de producción de etileno observado 2 a 4 horas después del procesamiento se debería al estrés generado por la ruptura de los tejidos producto del corte de la manzana, hecho que ha sido detectado anteriormente en el Capítulo II de este trabajo y en variadas investigaciones (Ahvenainen, 1996; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; Beltrán et al., 2005). La baja marcada luego de 1 día de la tasa respiratoria y de producción de etileno y su posterior estabilización, pudo deberse al efecto del almacenamiento en bajas temperaturas (5 °C), debido a que la

fruta fue adaptándose a esta (Barreiro y Sandoval, 2006; Hu *et al.*, 2007). Por otro lado, como también pudo observarse en el Capítulo II de esta investigación, existió una clara diferencia entre la tasa respiratoria de los cascos de manzana y la fruta entera, lo que se pudo deber al daño generado por el mínimo proceso, el cual incrementa altamente estas tasas (Fonseca *et al.*, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003; Beltrán *et al.*, 2005; Rivera *et al.*, 2005; Silveira, 2009).

5.4.3- Composición gaseosa al interior de los envases

- **Concentración de oxígeno:** Durante todo el almacenamiento los tratamientos de BP presentaron el contenido más alto con valores entre 18,6 y 20,7% (Apéndice, Cuadro 5.3). Luego de 1 día los tratamientos con BAP y BBP obtuvieron valores entre 4,7 y 5,0%, siendo iguales estadísticamente. Pasados 4 días, los tratamientos de BAP comenzaron a subir su contenido de O₂ con valores entre 6,2 y 6,4%, mientras que los de BBP lo bajaron con valores entre 4,5 y 4,6%. Para el día 7 estas diferencias se acrecentaron subiendo bruscamente su contenido los tratamientos de BAP (14,5% en promedio), mientras que los de BBP siguieron bajándolo (4,0 en promedio). Pasados los 10 días de almacenamiento los tratamientos de BAP aumentaron levemente su concentración de O₂ con un valor promedio de 14,9%, mientras que los de BBP bajaron su contenido con un valor promedio de 3,6%, presentándose un claro efecto del tipo de bolsa durante todo el almacenamiento (Figura 5.3).

- **Concentración de dióxido de carbono:** luego del procesamiento se observaron bajas concentraciones de este gas para todos los tratamientos (0,0 a 0,3%), manteniéndose así durante todo el almacenamiento en el caso del tratamiento de BP (Apéndice, Cuadro 5.4). Tras 1 día sólo se diferenciaron los tratamientos de bolsa perforada ante los otros por presentar el menor contenido de CO₂ (0,2% en promedio). Luego de 4 días los tratamientos de BBP obtuvieron los valores más altos entre 2,6 y 3,0% siendo el tratamiento de CA + BBP el de mayor contenido de este gas, presentándose efecto del tipo de bolsa y nivel de antiparadeantes utilizado. Luego de 7 días la concentración de CO₂ subió, en los tratamientos de BAP y BBP, alcanzando

promedios de 2,6 y 3,3% respectivamente, los que se mantendrían estables pasados 10 días, presentándose efecto el tipo de bolsa utilizado durante ambas fechas de evaluación (Figura 5.3).

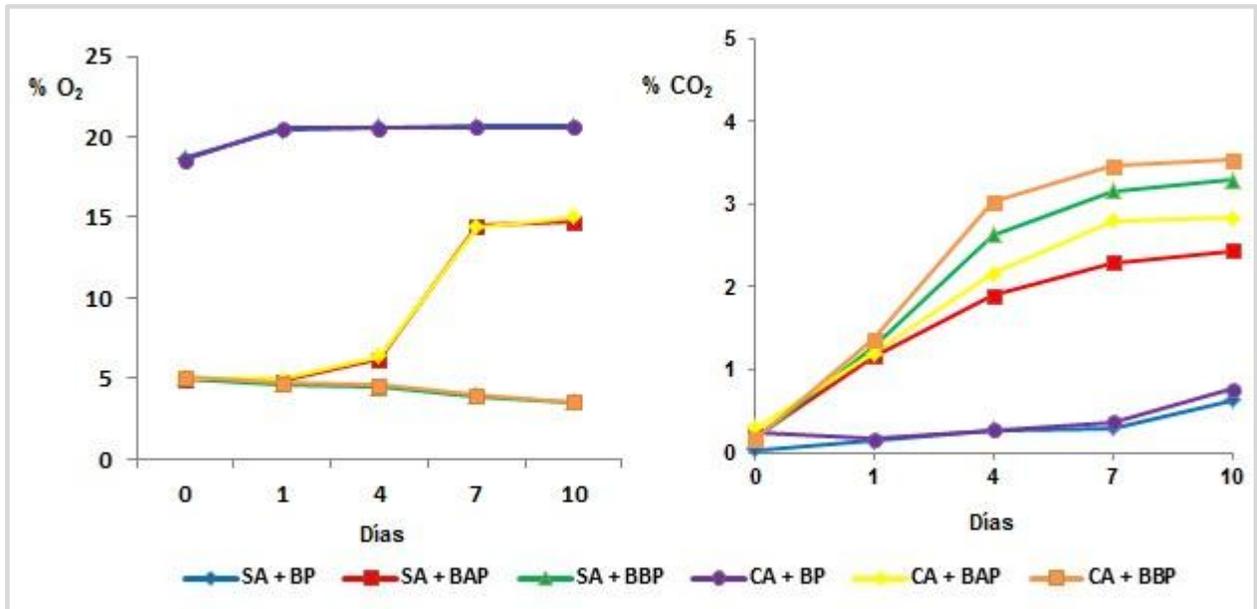


Figura 5.3. Concentración de oxígeno (%O₂) y dióxido de carbono (%CO₂) en el espacio de cabeza de las bolsas con cascos de manzana 'Royal Gala', tratados con soluciones antipardeantes y EAM activa de 5% O₂, almacenadas a 5 °C.

La composición gaseosa que debe existir dentro de un envase depende principalmente de la especie y/o variedad frutal, grado de madurez y procesamiento de esta, siendo la atmósfera recomendada para manzana MPF por Cantwell y Suslow (2007) < 1% O₂ sin especificación de CO₂, Fan *et al.* (2005) señalan un 1% O₂ como óptimo para su envasado, mientras que Lakakul *et al.* (1999) señala que el contenido de CO₂ interno debe ser inferior a 10% para evitar daños como lesiones pardas en la superficie de los cascos de manzana. Dicha atmósfera no fue alcanzada por ninguna de las películas utilizadas. Como muestran los resultados, la película plástica que mejor conservó las condiciones iniciales fue la de baja permeabilidad al O₂ (BBP), esta disminuyó levemente su contenido de O₂ en el tiempo y aumento el de CO₂, como se esperaba dado que en el proceso de respiración se consume O₂ produciéndose CO₂ entre otros productos. Con respecto al contenido de CO₂ se dio la lógica al aumentar el contenido dentro de las bolsas de alta y baja permeabilidad llegando a valores promedio de 2,6 y 3,4% respectivamente. En concordancia con los resultados anteriores Wang *et al.*

(2006) en manzana 'Fuji' y Aguayo *et al.* (2010) en manzana 'Braeburn' observaron una disminución en los niveles de O₂ y un aumento en el CO₂ al interior de los envases utilizados en condiciones de AM.

5.4.4- Parámetros de color

- **Luminosidad (L):** Para el día 1 todos los tratamientos presentaron valores altos variando entre 77,3 y 80,0 (SA+BAP y CA+BBP respectivamente). Luego de 4 días los tratamientos CA se diferenciaron claramente de los SA, con valores superiores a 79,0, mientras que los SA mostraron valores entre 78,2 y 76,7, presentando el valor más alto en ambos niveles de antipardeante los cascos envasados en bolsas de BBP (Apéndice, Cuadro 5.5). Pasados 7 días los valores más altos siguieron perteneciendo a los tratamientos CA, por otro lado, de los tratamientos SA sólo uno estuvo por encima del límite de pardeamiento propuesto (Figura 5.4) estos fueron los cascos envasados en BBP. Transcurridos los 10 días de almacenamiento se observó una clara diferencia entre los cascos CA y SA, observándose en los primeros, puntajes entre 75,5 y 78,0, siendo los que presentaron el valor más alto los cascos envasados en BBP con L=78,0, los únicos que no presentaron pardeamiento en su superficie, mientras que todos los tratamientos SA presentaron alto grado de pardeamiento en la superficie de sus cascos con valores entre 73,2 y 74,3, presentándose efecto del nivel de antipardeante y tipo de bolsa para los 4 días de evaluación (1, 4, 7 y 10).

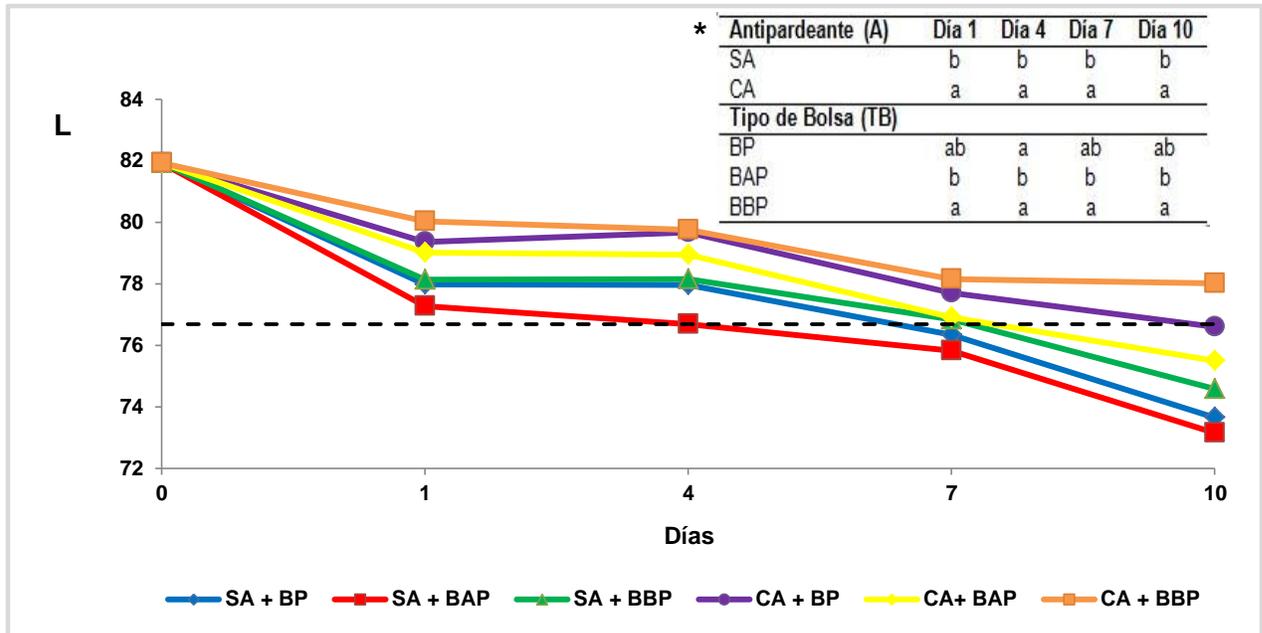


Figura 5.4. Luminosidad (L) en cascos de manzana ‘Royal Gala’ sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂. * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

- **Croma (C*):** al cabo de 1 día se observaron los valores más bajos en los cascos CA los que estuvieron entre 24,9 y 26,4, presentándose efecto del nivel de antipardecante usado (Apéndice, Cuadro 5.6). Luego de 4 días los menores valores fueron obtenidos por los tratamientos CA + BP y BBP (25,8 y 26,2 respectivamente), mientras que los mayores valores fueron para los cascos SA envasados en BP y BAP (ambos con 28,9), con valores de pardeamiento, presentándose diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores. Pasados 7 días fue observada una baja en los valores de C* en los cascos CA que estuvieron entre los 22,7 y 23,5, mientras que para los SA se presentó aumento en sus valores estando entre 27,7 y 30,9, siendo valores de pardeamiento, presentándose claro efecto del nivel de antipardecante usado. Transcurridos los 10 días de almacenamiento el valor más bajo fue obtenido por los cascos CA envasados en BBP con 25,1, el que refleja ausencia de pardeamiento, y el más alto por el tratamiento de SA y BAP con 31,8, observándose un notorio pardeamiento en la superficie de sus cascos (Figura 5.5), presentándose diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores.

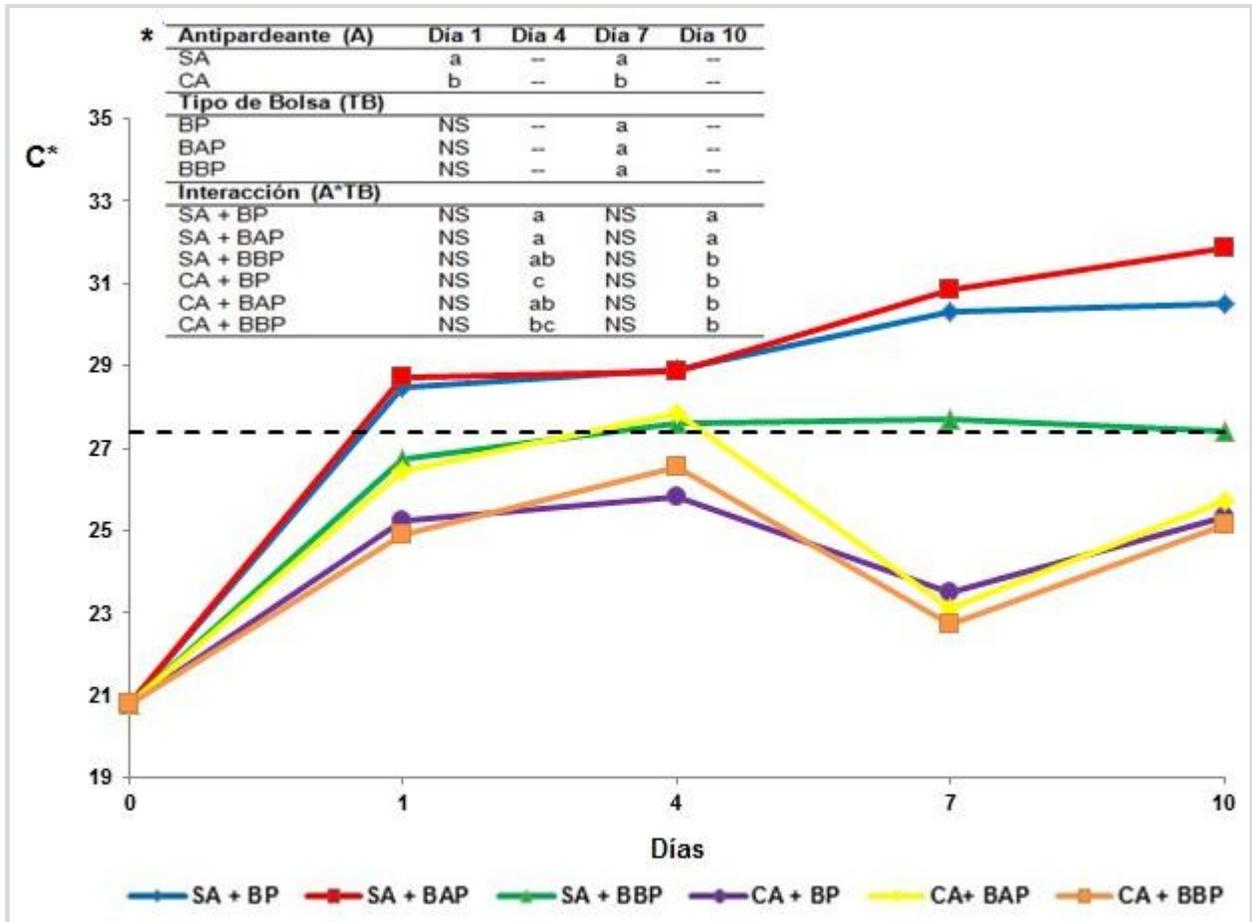


Figura 5.5. Cromo (C^*) en cascos de manzana 'Royal Gala' sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en bolsas perforadas (BP), alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O_2 . * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

- **Tono (H_{ab}):** Entre los días 1 y 4 los valores variaron entre 91,4 y 97,0, estando ampliamente por sobre el límite de pardeamiento, presentándose efecto del tipo de bolsa y nivel de antipardecante utilizado (Apéndice, Cuadro 5.6). Para los días 7 y 10 días se presentó una baja brusca en los valores de tono en los tratamientos SA con valores que reflejaron pardeamiento en sus cascos para el séptimo día (entre 88,3-85,7), bajando aún más sus valores llegado el día 10, mientras que los cascos CA obtuvieron valores entre 94,6 y 91,4 el día 7 y 92,8 y 90,1 para el décimo día, los que reflejan ausencia de pardeamiento en su superficie (Figura 5.6), presentándose diferencias significativas con interacción de factores en ambos días de evaluación (7 y 10).

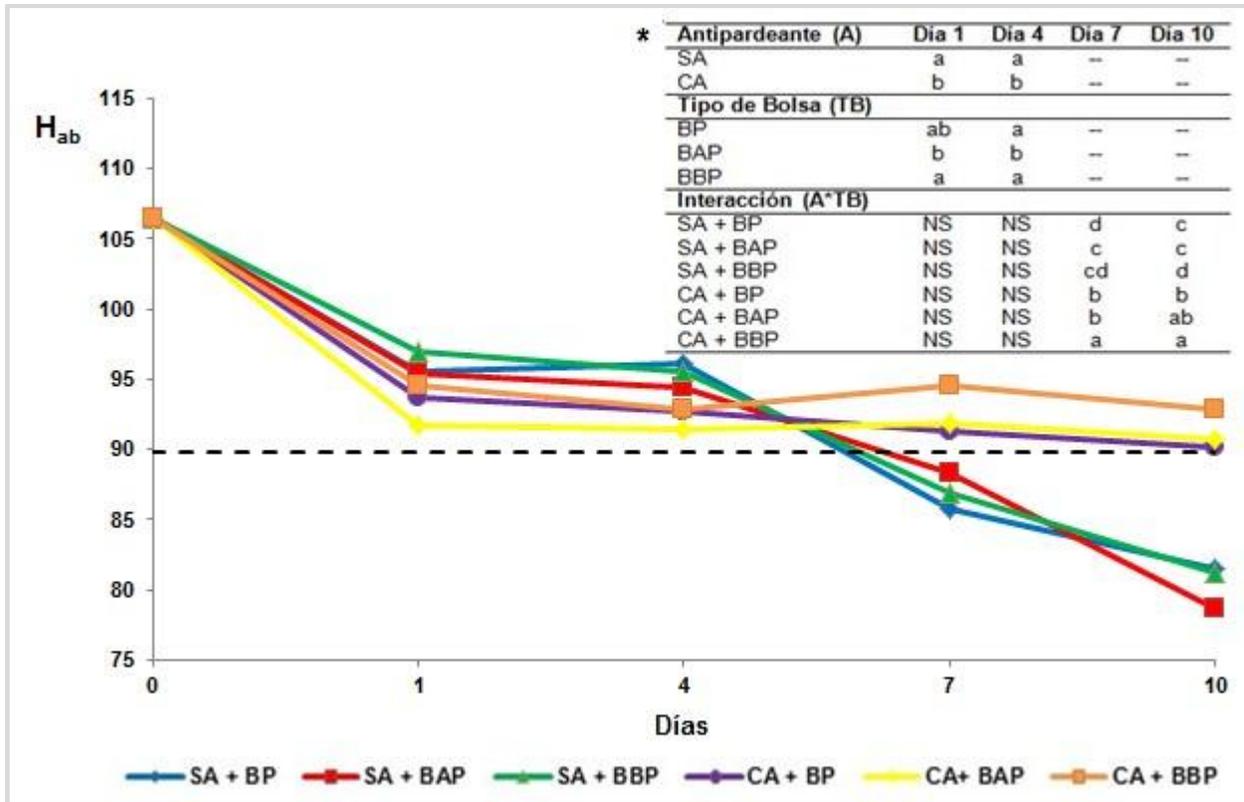


Figura 5.6. Tono (H_{ab}) en cascos de manzana ‘Royal Gala’ sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en bolsas perforadas (BP), alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O_2 . * Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para cada factor. (NS: diferencias no significativas).

Acerca del AA y el EDTA como agentes inhibidores del pardeamiento enzimático, ambos formaron una combinación efectiva, como también se aprecia en este mismo trabajo en el Capítulo II, quizás debido a sus diferentes modos de acción, uno como agente reductor/acidulante, reduciendo las o-quinonas a difenoles y bajando el pH, y el otro como agente quelante “secuestrando” los átomos de cobre presentes en el sitio activo de la PPO actuando como cofactor, reduciendo el pardeamiento por vías diferentes, existiendo múltiples trabajos que avalan sus cualidades en solitario. Lamikanra y Watson (2001) aplicaron una combinación de 0,3% EDTA + 0,8% AA sobre melón Cantaloupe MPF almacenado por 15 días a 4 °C, obteniendo buenos resultados sobre el color textura y aroma. Escalona *et al.*, (2006) investigó el efecto del AA, ácido cítrico y EDTA sobre el pardeamiento enzimático en mitades de hinojo concluyendo que al cabo de 8 días las mitades tratadas con EDTA obtuvieron valores de L superiores

que las inmersas en otros antipardeantes, sufriendo una disminución mínima con respecto al color inicial; por otro lado, Arias *et al.* (2007) describieron el efecto sinérgico entre el ácido ascórbico y el 4-hexilresorcinol, logrando reducir en más de un 90% la actividad de la PPO al usar ambos compuestos conjuntamente; además de los anteriores existen numerosas investigaciones que relatan los efectos de los agentes antes mencionados (Son *et al.*, 2001; García y Barret, 2002; Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

Como se pudo apreciar el EAM activa al combinarlo con una película plástica adecuada como la BBP que mantuvo bajo contenido de O₂ durante los 10 días, fue benéfica para los cascos de manzana SA, al mantener el valor de L sobre el límite de pardeamiento hasta el día 7, mientras que el de C* lo mantuvo durante todo el almacenamiento y el de H_{ab} sólo hasta el día 4, como también para los cascos CA manteniendo todos los valores de color de forma óptima durante todo el almacenamiento (Apéndice, Figura 5.1). Muchos autores han investigado sobre los efectos benéficos del EAM activa con bajo contenido de O₂. Rosen y Kader (1989) utilizaron EAM activa con un 0,5% de O₂ en peras, concluyendo que esta atmósfera fue efectiva en la reducción del pardeamiento; de la misma forma, Soliva-Fortuny *et al.*, (2002) reportan que en rebanadas de manzana en EAM activa de 100% N₂ hubo una excelente preservación del color. Al contrario Oms-Oliu *et al.* (2008b) en su estudio en rebanadas de pera 'Flor de Invierno' concluyó que el EAM activa (2,5% O₂ + 7% CO₂) o pasiva no fueron capaces de controlar el pardeamiento enzimático.

5.4.5- Firmeza

Para los días 1 y 4 los cascos SA presentaron los valores más altos con promedios de 6,4 y 6,5 kg-f (día 1 y 4 respectivamente) mientras que los cascos CA promediaron 6,1 y 6,0 kg-f (Apéndice, Cuadro 5.7), presentándose efecto del nivel de antipardeante utilizado. Para los días 7 y 10 se observaron valores entre 5,8 y 6,5 kg-f, sin presentarse diferencias entre tratamientos (Figura 5.7), observándose estabilidad en el tiempo en la firmeza para cada tratamiento (variación promedio de 0,3 kg-f entre el día 1 y 10).

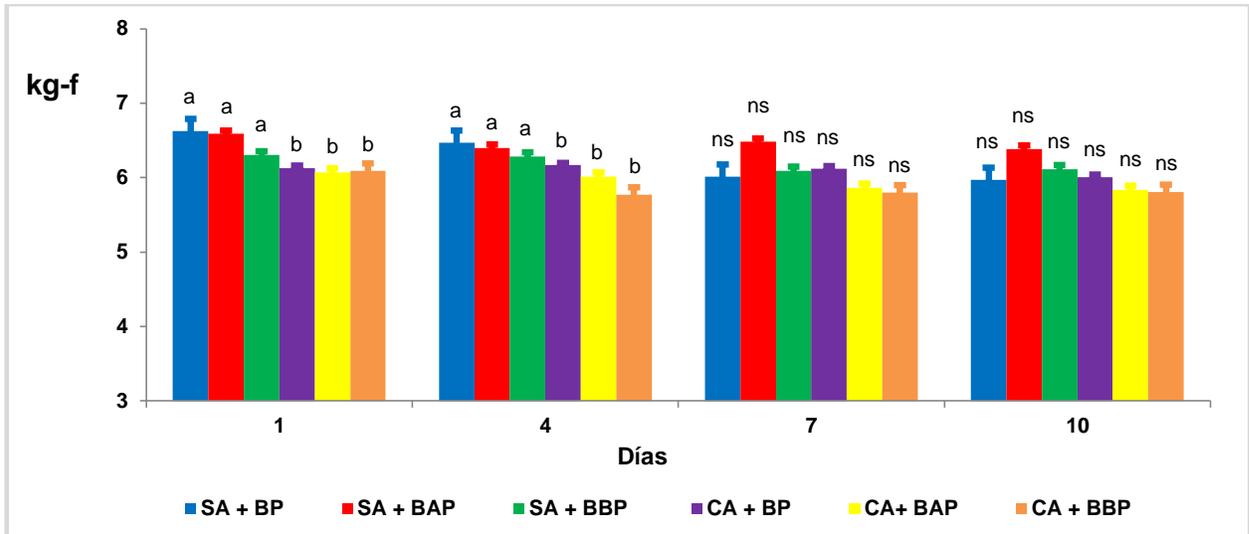


Figura 5.7. Firmeza (kg-f) en cascós de manzana ‘Royal Gala’ sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardeantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂. Los valores son la media (n=3) ± EE. ^{a,b,c} Letras diferentes indican diferencias estadísticas (p < 0,05) para cada factor y ^{ns} diferencias no significativas.

La estabilidad de la firmeza en el tiempo pudo deberse al efecto de la temperatura de almacenamiento, la cual pudo minimizar el efecto del daño generado por el corte, como es la pérdida de firmeza producto de la ruptura de la integridad celular, lo que ha sido observado en Capítulos anteriores y por variados investigadores (Soliva-Fortuny *et al.*, 2001; Beirão-da-Costa *et al.*, 2006; Silveira, 2009).

Por otro lado, se observó que entre los días 1 y 4 los tratamientos CA presentaron firmezas más bajas, comportamiento que ha sido observado anteriormente por Gorny *et al.* (2002) en rebanadas de pera, donde las que fueron inmersas en soluciones de 2 % AA presentaron la firmeza más baja entre los 4 y 8 días de almacenamiento. Contrario a lo anterior Rocha *et al.* (1996) observaron una mayor firmeza en manzana cortada con aplicación de AA.

5.4.6- Parámetros químicos

- **Sólidos solubles totales (SST):** luego de 1 día los valores más altos fueron obtenidos por los cascos SA con un promedio de 13,1% mientras que los CA promediaron 12,2%, presentándose efecto del nivel de antipardecante. Para el día 4 se observó el mayor valor en los cascos SA + BP con 13,0%, mientras que el más bajo fue para los cascos CA + BP con 11,5%, presentándose diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores. Luego de 7 días nuevamente los cascos SA obtuvieron los valores más altos promediando 12,6% contra un 11,3% de los CA (Cuadro 5.4) presentándose efecto del nivel de antipardecante utilizado. Transcurridos los 10 días de almacenamiento se observó un aumento en los valores de SST para los cascos CA, mientras que los SA se mantuvieron estables (Apéndice, Figura 5.2), sin presentarse diferencias entre tratamientos. En general entre el día 1 y 10 se observó una leve baja en los niveles de SST en los cascos envasados en BAP y CA + BP, siendo esta más marcada en los tratamientos con BBP. Sólo se mantuvo con valores estables el tratamiento SA + BP.

- **pH:** durante todo el almacenamiento pudo observarse cierta estabilidad en el pH de cada tratamiento (Apéndice, Figura 5.3), con aumentos leves en los valores de los cascos CA envasados en BBP y BAP y en los cascos SA envasados en BP y BBP cuya diferencia no fue mayor a 0,03 (Cuadro 5.5), sin presentarse diferencias significativas entre tratamientos durante este periodo.

- **Acidez titulable:** luego de 1 día los cascos SA presentaron la mayor AT por sobre los CA, con un promedio de 0,23 y 0,20% respectivamente (Cuadro 5.5), presentándose efecto del nivel de antipardecante. Para el cuarto día se observó el valor más alto en los cascos SA en BP con 0,24%, mientras que el más bajo se presentó en los cascos CA en BAP con 0,19%, presentándose diferencias significativas entre tratamientos. Para los días 7 y 10 se pudo observar cierta estabilidad en los valores de AT (Apéndice, Figura 5.4), los que variaron entre 0,19 y 0,22% para el décimo día, sin presentarse diferencias entre tratamientos.

Cuadro 5.4. Evolución de los sólidos solubles totales (SST) en cascós de manzana ‘Royal Gala’ con y sin aplicación de soluciones antipardecantes envasados en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

Sólidos solubles totales (%SST)				
Antipardecante (A)	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	13,1 a	12,4	12,6 a	12,5
CA	12,2 b	11,9	11,3 b	11,8
Tipo de Bolsa (TB)				
BP	12,5	12,3	12,2	12,4
BAP	12,7	12,4	12,0	12,4
BBP	12,7	11,8	11,8	11,7
Interacción (A*TB)				
SA + BP	13,1	13,0 a	13,1	13,1
SA + BAP	13,1	12,6 ab	12,6	12,7
SA + BBP	13,1	11,7 bc	12,2	11,8
CA + BP	11,9	11,5 c	11,3	11,7
CA + BAP	12,3	12,1 abc	11,5	12,1
CA + BBP	12,4	12,0 bc	11,3	11,6
Nivel de significancia				
A	**	**	***	NS
TB	NS	NS	NS	NS
A*TB	NS	**	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.5. Evolución del pH y acidez titulable en cascós de manzana ‘Royal Gala’ con y sin aplicación de soluciones antipardecantes en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

Antipardecante (A)	pH				Acidez titulable (AT%)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	3,8	3,8	3,8	3,8	0,23 a	0,22	0,24	0,21
CA	3,8	3,8	3,8	3,9	0,20 b	0,21	0,22	0,20
Tipo de Bolsa (TB)								
BP	3,8	3,8	3,8	3,8	0,22	0,22	0,25	0,21
BAP	3,8	3,8	3,8	3,8	0,21	0,21	0,21	0,21
BBP	3,9	3,8	3,8	3,9	0,23	0,22	0,22	0,20
Interacción (A*TB)								
SA + BP	3,8	3,8	3,8	3,9	0,25	0,24 a	0,23	0,22
SA + BAP	3,8	3,8	3,8	3,8	0,22	0,23 abc	0,22	0,22
SA + BBP	3,8	3,8	3,8	3,9	0,23	0,20 bc	0,22	0,20
CA + BP	3,8	3,8	3,8	3,8	0,19	0,20 bc	0,21	0,19
CA + BAP	3,8	3,9	3,8	3,9	0,20	0,19 c	0,21	0,20
CA + BBP	3,9	3,8	3,8	3,9	0,22	0,23 ab	0,22	0,20
Nivel de significancia								
A	NS	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

La estabilidad en los SST, pH y AT observada anteriormente podría deberse al efecto del almacenamiento en bajas temperaturas y/o al EAM activa, los que pudieron contribuir a mantener estas cualidades en el tiempo bajando el metabolismo acelerado generado por el mínimo proceso. (Soliva-Fortuny *et al.*, 2001; Silveira, 2009). Las bajas en los SST de los tratamientos de SA + BAP y BBP y el de CA + BBP pudo deberse a la alta tasa respiratoria, la cual, aunque la fruta se mantuvo condiciones de EAM con 5% O₂, pudo ser más alta que la de un fruto entero (como se apreció en los tratamientos de AC, Capítulos III y IV), generando el consumo de azúcares de la fruta (Kim *et al.*, 1993; Oms-Oliu *et al.*, 2008b; Silveria, 2009).

5.4.7. Evaluación de la calidad sensorial

- **Apariencia:** luego de un día los puntajes más altos fueron obtenidos por los cascos CA (entre 12,3 y 13,0) y para cada nivel de antipardeante en los envasados en BBP (Apéndice, Cuadro 5.8), presentándose efecto del nivel de antipardeante y tipo de bolsa usado. Para los días 4, 7 y 10 mantuvo el mayor puntaje el tratamiento de CA + BBP (Figura 5.8) seguido por el de CA + BP (puntajes entre 11,7 y 12,9 y 8,3 y 12,3 respectivamente) siendo los únicos que no mostraron defectos mayores en su apariencia luego de 10 días; mientras que los puntajes más bajos los obtuvieron los cascos SA + BAP, los cuales bajaron del límite de apariencia aceptable al cuarto día con un 6,5 hasta llegar a un 3,7 al día 10, presentándose diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores durante este periodo.

- **Pardeamiento:** entre los días 1 y 4 se observaron los puntajes más bajos en los tratamientos CA con promedios entre 1,1 y 1,8 y, para cada nivel de antipardeante, en los cascos envasados en BBP con promedios entre 1,5 y 3,2 (Apéndice, Cuadro 5.8), presentándose efecto del nivel de antipardeante y tipo de bolsa utilizada en ambos días de evaluación. Para el día 7 y 10 los puntajes más bajos fueron obtenidos por los cascos CA + BBP con valores entre 1,8 y 2,3, los que señalan ausencia de pardeamiento; mientras que, los cascos SA + BP y BAP superaron el límite de pardeamiento al séptimo día (Figura 5.8) y para el día 10 los cascos SA obtuvieron

valores entre 9,1 y 10,3, observándose pardeamiento en su superficie. Para ambos días de evaluación se presentaron diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores.

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial de apariencia y pardeamiento concuerdan con los observados en la medición de los parámetros de color, dado que los tratamientos mejor evaluados fueron los cascos CA envasados en BBP y BP, distinguiéndose el primero por sobre el resto, lo que podría deberse a la acción combinada del AA y el EDTA cuyos efectos han sido ampliamente estudiados, tanto en capítulos anteriores de este escrito, como en numerosas investigaciones (Son *et al.*, 2001; García y Barret, 2002; Soliva-Fortuny y Martin-Belloso, 2003; Escalona *et al.*, 2006; Arias *et al.*, 2007). A lo anterior se suma el efecto del EAM activa, cuyo aporte fue más que nada complementario al de los antipardeantes. Muchos autores señalan a la técnica de EAM activa o pasiva como un complemento a otras técnicas para el retardo del pardeamiento enzimático y la mejora en la calidad visual, no siendo del todo efectivo por sí sólo en la mayoría de los casos (Rosen y Kader, 1989; Soliva-Fortuny *et al.*, 2002; Oms-Oliu *et al.*, 2008b).

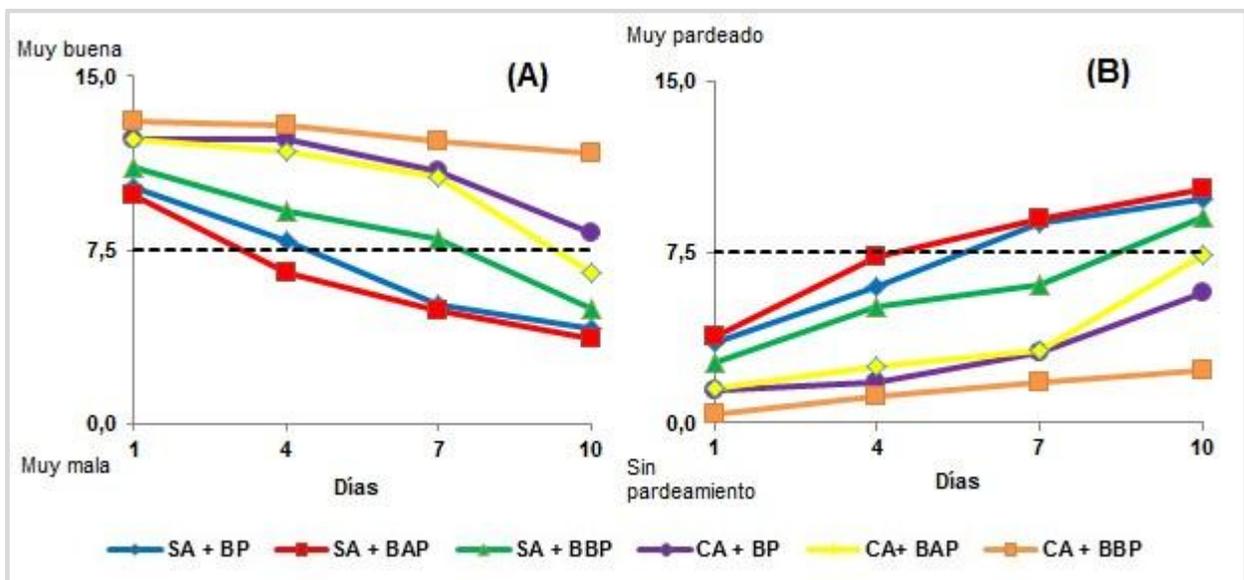


Figura 5.8. Evaluación de atributos sensoriales; **(A)** Apariencia y **(B)** Pardeamiento en cascos de manzana 'Royal Gala' sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardeantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BP) permeabilidad al O₂.

- **Firmeza:** luego de un 1 día se obtuvieron puntajes entre 11,2 y 11,8 (Apéndice, Cuadro 5.9). Al cuarto día se presentó se observaron los puntajes más altos en los cascos SA promediando 11,0, mientras que los CA promediaron 10,1, presentándose efecto del nivel de antipardeante. Para los días 7 y 10 los menores puntajes fueron obtenidos por los tratamientos de envasado en BAP con promedios entre 7,3 y 7,5, siendo, con este envasado, el puntaje más bajo el obtenido por los cascos CA (entre 7,1 y 7,2), valores bajo el límite aceptable de firmeza; por otro lado, el resto de los tratamientos llegó al día 10 con puntajes entre 7,5 y 8,1.

Los resultados de baja firmeza sensorial observados en el tratamiento de CA + BAP y la baja generalizada en todos los tratamientos pudo deberse a que la fruta al ser procesada sufre daños como la ruptura de la integridad celular y la consecuente activación de enzimas del ablandamiento, además de la pérdida de turgencia por la deshidratación generada (Varoquax *et al.*, 1990). Por otro lado, la mayoría de los tratamientos mantuvo valores de firmeza sensorial por sobre el límite hasta el décimo día, lo que pudo deberse a que los efectos del mínimo proceso descritos anteriormente pudieron ser reducidos por el almacenamiento en bajas temperaturas y el EAM activa los que bajaron el metabolismo del producto y la velocidad de la reacciones bioquímicas responsables del ablandamiento (Soliva-Fortuny *et al.*, 2001; Beirão-da-Costa *et al.*, 2006; Silveira, 2009). Dichos resultados concuerdan con lo obtenido en el punto 5.4.5 de este mismo capítulo en el que se observaron bajas leves en los valores, las cuales no afectaron mayormente la firmeza de los cascos de manzana.

- **Sabores extraños:** pasado 1 día se obtuvieron puntajes muy bajos los que estuvieron entre 0,2 y 0,5 (Apéndice, Cuadro 5.9). Para los días 4, 7 y 10, los cascos envasados en BAP se diferenciaron del resto obteniendo los mayores puntajes con promedios de 1,8, 2,4 y 2,1 (días 4,7 y 10 respectivamente), no obstante, estos puntajes son considerados bajos, mientras que los demás obtuvieron puntajes entre 0,7 y 1,7, presentándose efecto del tipo de bolsa en estos 3 días de evaluación.

Los bajos puntajes obtenidos señalaron ausencia de sabores extraños durante todo el almacenamiento, lo que concuerda con lo observado en el Capítulo II para cascos de

manzana con AA + EDTA y en los capítulos III y IV, donde se aplicaron AC de bajo O₂. Coincidiendo con lo anterior Escalona *et al.* (2006) obtuvieron buenos puntajes en calidad sensorial de mitades de hinojo tratadas con EDTA (apariencia, pardeamiento, sabor y aromas y firmeza). Por el contrario Dong *et al.* (2000) asociaron la presencia de sabores no deseables a la aplicación de EDTA en pera MPF.

5.4.8- Determinación de los compuestos bioactivos

- **Actividad de la PPO:** luego de 1 día los valores más bajos de actividad los obtuvieron los cascos CA envasados en BBP, BAP y BP con 0,19, 0,21 y 0,23 U·mg prot⁻¹ respectivamente (Cuadro 5.6). Pasados los 10 días de almacenamiento se observaron los valores más altos en los cascos SA envasados en BAP y BP con 0,66 y 0,69 U·mg prot⁻¹ respectivamente, mientras que el valor más bajo lo obtuvieron los cascos CA envasados en BBP con 0,21 U·mg prot⁻¹, valores inferiores al de la manzana fresca recién cortada (0,33 U·mg prot⁻¹), presentándose diferencias significativas entre tratamientos con interacción de factores.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo observado en los parámetros de color donde los valores tendieron a la baja en el caso de L y H_{ab} y alza en C*, observándose que los tratamientos que empeoraron de manera marcada fueron los SA + BP y BAP, mientras que los cascos que conservaron de mejor manera el color y la más baja actividad fueron los CA envasados en BBP. Concordando con lo anterior Rocha y Morais (2005) señalan que en cubos de manzana 'Jonagored' con un 0,75% (p/v) AA, la actividad de la PPO subió levemente entre el día de procesamiento y los 7 días a 4 °C, mientras que el tratamiento control subió marcadamente su valor. En adición a lo anterior Rojas-Graü *et al.* (2008) observaron en manzana 'Fuji' MPF, un aumento generalizado en la actividad de la PPO, con aplicación de diferentes antipardeantes.

- **Fenoles totales:** Luego de 1 día se obtuvieron valores entre 9,8 y 15,7 mg ac. cumárico·g p.f⁻¹ (Cuadro 5.6). Pasados los 10 días de almacenamiento se observó un baja generalizada en el contenido fenólico presentándose valores entre 9,3 y 11,1 mg

ac. cumárico-g p.f⁻¹, siendo los cascos SA los que más bajaron sus valores, con un descenso promedio de 4,1 mg ac. cumárico-g p.f⁻¹, mientras que los cascos CA bajaron en promedio 0,7 mg ac. cumárico-g p.f⁻¹, siendo los cascos CA envasados en BBP los que conservaron de mejor forma su contenido inicial de fenoles con valores entre 10,2 y 10,4 mg ac. cumárico-g p.f⁻¹.

Cuadro 5.6. Actividad de la polifenol oxidasa (PPO), fenoles totales y capacidad antioxidante en cascos de manzana ‘Royal Gala’ con y sin aplicación de soluciones antipardeantes envasados en EAM activa de 5% O₂, en 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases.

	Actividad de la PPO (U·mg prot ⁻¹)		Fenoles totales (mg ac. cumárico·g p.f ⁻¹)		Capacidad antioxidante (mg Trolox·g p.f ⁻¹)	
	Día 1	Día 10	Día 1	Día 10	Día 1	Día 10
Antipardeante (A) (% p/v)						
SA	0,28	0,57	13,9	9,7	1,28 b	1,03 b
CA	0,21	0,25	10,3	9,6	1,85 a	1,54 a
Tipo de Bolsa (TB)						
BP	0,27	0,46	12,7	9,9	1,47	1,15
BAP	0,23	0,49	10,5	8,4	1,40	1,17
BBP	0,23	0,28	13,1	10,7	1,82	1,53
Interacción (A*TB)						
SA + BP	0,31	0,66 a	14,7	10,6	1,32	1,00
SA + BAP	0,26	0,69 a	11,2	7,6	1,21	0,97
SA + BBP	0,26	0,36 b	15,7	11,1	1,31	1,10
CA + BP	0,23	0,26 b	10,8	9,3	1,63	1,30
CA + BAP	0,21	0,29 b	9,8	9,3	1,39	1,36
CA + BBP	0,19	0,21 b	10,4	10,2	2,33	1,96
Nivel de significancia						
A	NS	***	NS	NS	**	*
TB	NS	***	NS	NS	NS	NS
A*TB	NS	**	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Los resultados obtenidos concuerdan con los de actividad de la PPO, debido a que los fenoles son consumidos como consecuencia de la actividad de la PPO, donde luego a mayor actividad de la PPO, mayor es la baja en el contenido fenólico, lo que se apreció claramente en los tratamientos SA. Compuestos fenólicos como el ácido clorogénico, procianidinas, floridzina, ácido cumárico, epicatequina y quercetina son los que principalmente pueden encontrarse en la manzana, los cuales, por medio de una

reacción de oxidación enzimática mediada por la PPO, son consumidos (Galvis-Sánchez *et al.*, 2003; Aguayo *et al.*, 2010). Rocha y Morais (2005) en cubos de manzana 'Jonagored' almacenados a 4°C observaron un aumento en el contenido fenólico entre el procesamiento y el día 7 en su tratamiento con 0,75% AA, lo que señalaría una efectiva inhibición de la actividad de la PPO al no existir consumo de los fenoles. Aguayo *et al.* (2010) observaron un consumo muy lento de los compuestos fenólicos en las rebanadas de manzana 'Fuji' tratada con ascorbato de calcio (compuesto con AA), mientras que en las rebanadas sin este la baja fue mucho más abrupta.

- **Capacidad antioxidante:** Luego de 1 día, los valores más altos los obtuvieron los cascos CA los que estuvieron entre 1,39 y 2,33 mg Trolox·g p.f⁻¹, mientras que los más bajos fueron para los cascos SA y estuvieron entre 1,21 y 1,32 mg Trolox·g p.f⁻¹ (Cuadro 5.6), observándose una reducción promedio de 1,05 mg Trolox·g p.f⁻¹ en comparación con la manzana fresca recién cortada. Pasados los 10 días de almacenamiento la mayor capacidad antioxidante la obtuvieron los cascos CA con valores entre 1,30 y 1,96 mg Trolox·g p.f⁻¹, perteneciendo el valor más alto a los envasados en BBP; mientras que los SA obtuvieron valores entre 0,97 y 1,10 mg Trolox·g p.f⁻¹, presentándose efecto del nivel de antipardeante utilizado durante todo el almacenamiento.

En general se pudo apreciar una baja en la capacidad antioxidante, obteniendo los valores iniciales y finales más altos los cascos CA, debido a que la mezcla aplicada contiene AA compuesto de acción antioxidante. Algo similar observaron Aguayo *et al.* (2010) en rebanadas de manzana 'Braeburn' almacenadas a 5 °C, donde los tratamientos con ascorbato de calcio presentaron valores superiores de capacidad antioxidante que los sin aplicación de este, pese al descenso generalizado de esta. De la misma forma, Cocci *et al.* (2006) consideran que la aplicación de agentes antioxidantes y antipardeantes como AA y EDTA enriquecerían los tejidos de compuestos antioxidantes y aportarían a aumentar la actividad antioxidante de manzanas MPF en condiciones normales. Los resultados anteriores reflejan la acción benéfica de los antipardeantes sobre la capacidad antioxidante reduciendo su baja

natural luego del mínimo proceso, en concordancia con lo obtenido anteriormente para fenoles totales, debido a que los fenoles poseen un alto poder antioxidante, entonces a menor baja en los fenoles totales de los cascos, mayor capacidad antioxidante de estos, lo que también redundaría en mayor reducción en la actividad de la PPO.

De esta forma el tratamiento que obtuvo la menor actividad de la PPO, menor descenso en sus fenoles totales y mayor capacidad antioxidante al cabo de 10 días, fue el de los cascos CA + BBP, hecho que concuerda con los resultados obtenidos en los parámetros de color y análisis sensorial donde estos no mostraron pardeamiento.

5.4.9- Recuentos microbiológicos

- **Recuento de aerobios mesófilos (RAM):** para el día de procesamiento de la fruta se obtuvieron valores < 1 , y valores inferiores a lo que indica la norma chilena ($4,69 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$) para los días 5 y 10, los que estuvieron entre 2,12 y 2,65 $\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$, perteneciendo el mayor valor al tratamiento SA envasado en BP y el menor a los cascos CA envasados en BBP (Cuadro 5.7), sin presentarse diferencias entre tratamientos durante todo el almacenamiento.

- **Recuento de psicrófilos:** para el día de procesamiento se obtuvieron valores < 1 , mientras que para los días 5 y 10 estos fueron en leve aumento, presentándose valores entre 2,32 y 2,92 $\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$, perteneciendo el mayor valor al tratamiento SA envasado en BP y el menor a los cascos CA envasados en BBP (Cuadro 5.7), ocurriendo algo similar a lo sucedido para el recuento de aerobios mesófilos, sin presentarse diferencias entre tratamientos durante todo el almaceanje.

- **Recuento de enterobacterias:** todos los tratamientos obtuvieron valores < 1 al día de procesamiento, mientras que estos aumentaron para el día 5 estando entre 2,35 y 2,87 $\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$, valores bajo el límite que indica la norma chilena ($3,69 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$), sin presentarse diferencias entre tratamientos. Luego de 10 días se observaron los valores más bajos en los cascos envasados en BBP promediando 3,00 $\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$, mientras que

los envasados en BAP presentaron los mayores con un promedio de $3,34 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$ (Cuadro 5.7), presentándose efecto del tipo de bolsa utilizado.

- **Recuento de hongos y levaduras:** entre los días 0 y 5 pudo observarse nula presencia de hongos y levaduras (Cuadro 5.67). Para el décimo día se observaron valores entre <1 y $1,49 \log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$, presentando valores >1 los tratamientos SA + BAP, CA + BAP y BBP.

En general se pudo observar los valores más bajos al décimo día en los cascos envasados en BBP, lo que podría deberse a que en estos envases se mantuvo una atmósfera de bajo O_2 , lo cual tiende a reducir el crecimiento y proliferación de algunos microorganismos, principalmente los aerobios mesófilos (Farber *et al.*, 2003; Martín-Belloso *et al.*, 2005). El efecto anterior también podría deberse a un efecto combinado del EAM activa y la aplicación de antipardaentes puesto que se observó una menor proliferación para las bacterias aerobias mesófilas, psicrófilas y enterobacterias, en los cascos CA envasados en BBP, lo cual ha sido observado anteriormente por Mery (2011) quien señala que en rebanadas de pera con aplicación de antipardeantes como AA, Cis y EDTA, los recuentos microbiológicos de bacterias aerobias mesófilas, psicrófilas, enterobacterias e incluso hongos y levaduras fueron menores. Sin embargo, no queda claro el efecto de los antipardeantes sobre la proliferación de microorganismos en este estudio, debido a que, como se aprecia en el Cuadro 5.5, no hubo una tendencia clara de bajos valores en los cascos CA presentando en algunos casos valores mayores a algunos tratamientos SA. Cabe mencionar que la ploriferación de microorganismos fue bien controlada desde un principio, al procesar las manzanas 'Royal Gala' en condiciones sanitarias de inocuidad, para luego almacenar las bolsas con cascos de la misma forma, lo cual es fundamental al momento de trabajar con este tipo de productos (Wang *et al.*, 2007; Aguayo *et al.*, 2010), viéndose esto reflejado en los resultados obtenidos.

Cuadro 5.7. Recuentos microbiológicos en cascos de manzana ‘Royal Gala’ con y sin aplicación de soluciones antipardeantes envasados en 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases.

Tratamientos	Microorganismo (log ufc·g ⁻¹)							
	Bacterias aerobias mesófilas		Bacterias psicrófilas		Enterobacterias		Hongos y levaduras	
	Días		Días		Días		Días	
	0	10	0	10	0	10	0	10
SA + BP	<1	2,6	<1	2,6	<1	3,2	<1	<1
SA + BAP	<1	2,3	<1	2,9	<1	3,5	<1	1,2
SA + BBP	<1	2,4	<1	2,5	<1	3,1	<1	<1
CA + BP	<1	2,5	<1	2,6	<1	3,3	<1	<1
CA + BAP	<1	2,3	<1	2,7	<1	3,2	<1	1,5
CA + BBP	<1	2,1	<1	2,3	<1	2,9	<1	1,0

SA: Sin antipardeante; CA: Con antipardeante (0,7% AA + 0,3% EDTA); BP: bolsa perforada; BAP: bolsa de alta permeabilidad; BBP: bolsa de baja permeabilidad. Los valores representan las medias (n=3).

CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis y objetivos planteados en este trabajo se establece lo siguiente:

El tratamiento CA + BBP con aplicación de EAM activa (5% O₂) fue efectivo en la reducción del pardeamiento enzimático, al presentar los mayores valores de luminosidad y tono, y el menor valor de croma, además de ser el mejor evaluado en el análisis sensorial de apariencia y pardeamiento, sin presencia de sabores extraños, siendo el único tratamiento en el cual no se observó pardeamiento durante los 10 días de almacenamiento a 5 °C, efecto que, según lo observado, podría prolongarse por aún más días de lo estudiado. Lo anterior debido a la mezcla antipardeante utilizada de 0,3% EDTA + 0,7% AA (%p/v), que combina un agente reductor con uno quelante obteniendo una doble acción sobre la actividad de la PPO, y a que el envase de BBP fue el que mejor mantuvo la atmósfera inicial de bajo O₂. Del mismo modo, los resultados obtenidos para los compuestos bioactivos respaldan la eficiencia del tratamiento mencionado, al obtener la menor actividad de la PPO, un consumo casi nulo en los fenoles totales y la mayor capacidad antioxidante.

La aplicación de antipardeantes, películas plásticas de distintas permeabilidades y EAM activa no afectaron significativamente la firmeza manteniéndose ésta estable durante el almacenamiento, así mismo ocurrió para los SST, el pH y la AT, sólo presentándose bajas leves en algunos casos en los SST. Los recuentos de aerobios mesófilos, enterobacterias, microorganismos psicrófilos, hongos y levaduras se mantuvieron con valores (log ufc·g⁻¹) por debajo del límite de la norma chilena, no obstante la proliferación de estos microorganismos no se vió mayormente afectada por algún tratamiento en particular. Lo anterior refleja una buena conservación de dichos parámetros de calidad lo que se debe a una buena regulación del metabolismo por el almacenamiento en baja temperatura (5 °C) y al EAM activa en algunos casos, y a un manejo inocuo de la fruta durante su procesamiento y almacenaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguayo, E., C. Requejo-Jackman, R. Stanley and A. Woolf. 2010. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology* 57: 52-60.

Ahvenainen, R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* 7: 179-187.

Antoniolli, L., B. Benedetti, J.M. Sigrist and N. Silveira. 2007. Quality evaluation of fresh-cut 'Pérola' pineapple stored in controlled atmosphere. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 27(3): 530-534.

Amiot, M.J., M. Tacchini, S. Aubert and J. Nicolas. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science* 57: 958-962.

Arias, E., J. Gonzales, J.M. Petró, R. Orta and P. Lopez-Buesa. 2007. Browning prevention by ascorbic acid and 4-hexylresorcinol: different mechanisms of action on polyphenol oxidase in the presence and in the absence of substrates. *Journal of Food Science* 72: 464-470.

Artés, F., P. Gómez, E. Aguayo, V. Escalona and F. Artés-Hernández. 2009. Sustainable sanitation techniques for Keeling quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology* 51: 287-296.

Bai, H., R. Saftner, A. Watada and Y. Lee. 2001. Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *Journal of Food Science* 8(66): 1207-1211.

Barreiro, J. y A. Sandoval. 2006. Aspectos Bioquímicos. pp. 21-27. In: Barreiro, J. y A.

Sandoval (Ed). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. 343p.

Beirão-da-Costa, S., A. Steiner, L. Correira, J. Empis and M. Moldão-Martins. 2006. Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering* 76: 616-625.

Bello, J. 2002. *Ciencia bromatológica: principios generales*. Ediciones Díaz de Santos, España. 577 p.

Beltrán, D., M.V. Selma, J.A. Tudela and M.I. Gil. 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stores under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biology and Technology* 37: 37-46.

Benzie I. and J. Strain. 1996. The Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 70-76.

Bett, K.L., D.A. Ingram, C.C. Grimm, S.W. Loyd, A.M. Spanier, J.M. Miller, K.C. Gross, E.A. Baldwin and B.T. Vinyard. 2001. Flavor of fresh-cut gala apples in barrier film packaging as affected by storage time. *Journal of Food Quality* 24:141-156.

Billaud, C., E. Rigaudie, N. Fayad, F. Richard-Forget and J. Nicolas. 1995. Effect of cyclodextrins on polyphenol oxidation catalyzed by apple polyphenol oxidase. pp. 295–312. In: Lee, Y. y J. Whitaker (Ed). *Enzymatic Browning and Its Prevention*. American Chemical Society, Washington DC, Estados Unidos. 418p.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.

Bruhn, C., 2007. Aspectos de Calidad y Seguridad Alimentaria de Interés para el Consumidor. Traducido por Pelayo-Zaldivar, C. pp 37-44. In: Kader, A.A. (Ed.).

Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Tercera edición. Universidad de California Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. California, Estados Unidos. 580p.

Buta, J.G., H.E. Moline, D.W. Spaulding and C.Y. Wang. 1999. Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(1):1-6.

Canepa, A., B. Kulczweski. 2002. Estados fenológicos del Manzano. *Revista Frutícola*. 23 (1): 20-22.

Cantwell, M. y T. Suslow. 2007. Sistemas de Manejo Postcosecha: Frutas y Hortalizas Precortadas (Mínimamente Procesadas). Traducido por Corrales-García, J. y M. Cantwell. pp. 497-518. In: Kader, A (Ed). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera edición. Universidad de California Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. California, Estados Unidos. 580p.

Cocci, E., P. Rocculi, S. Romani and M. Dalla Rosa. 2006. Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. *Postharvest Biology and Technology* 39: 265-271.

Day, B. P. F.1994. Modified atmosphere packaging and active packaging of fruits and vegetables. In: Ahvenainen, R., T. Mattila-Sandholm y T. Ohlsson. (Ed.). *Minimal processing of foods*, Majvik, Finlandia, 14–15 Abril, 1994. VTT Symposium series 142, Majvik, Finlandia.

Delhom, M.J. 1985. La calidad de manzanas y peras. *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, Madrid, España 6: 1-20.

Devlieghere, F., P. Ragaert, J. Debevere and W. Verbeke. 2004. Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference* 15: 259-270.

Dong, X., R.E. Wrolstad and D. Sugar. 2000. Extending shelf life of fresh-cut pears. *Journal of Food Science*. 65:181-186.

Dorantes-Álvarez, L. and A. Chiralt. 2000. Color of minimally processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes. In: Alzamora, S. M., M. S. Tapia y A. López- Malo (Eds): *Minimally processed fruits and vegetables*. Aspen Publication. Gaithersburg, Maryland. p. 111-126.

Escalona, V.H. 2003. Innovaciones tecnológicas en la conservación y procesado en hinojo fresco y colirrábano mediante refrigeración y modificación de la atmósfera. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería de Alimentos y Equipamiento Agrícola. Cartagena, España. 280 p.

Escalona, V.H., E. Aguayo y F. Artés. 2006. Reducción del pardeamiento enzimático en hinojos enteros y mínimamente procesados. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos* 375: 89-100.

Farber, J.N., L.J. Harris, M.E. Parish, L.R. Beuchat, T.V. Suslow, J.R. Gorney, E.H. Garrett and F.F. Busta. 2003. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2: 142-160.

Fallahi, E., W.S. Conway, K.D. Hickey and C.E. Sams. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *HortScience*. 32:831-835.

Fan, X., B.A. Niemera, J.P. Mettheis, H. Zhuang and D.W. Olson. 2005. Quality of fresh-cut apples slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *J Food Sci* 70:143–148.

Fonseca, F.C., F. Oliveira and J. Brecht. 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*. 52: 99-119.

Galvis-Sánchez, A.C., A. Gil-Izquierdo and M.I. Gil. 2003. Comparative study of six pear cultivars in terms of their phenolic and vitamin C contents and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83: 995-1003.

García, E. and D. Barret. 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. pp 268-303. In: Lamikanra, O. (Ed). *Fresh-cut fruits and vegetables, science, technology and market*. Primera edición. CRC Press LLC, N.W. Corporate Blvd., United States of America. Library of Congress, Florida, United States of America. 447p.

Gil, F. y M. Rodríguez. 2003. Efecto del raleo manual tardío y del nivel de carga frutal sobre el rendimiento y la calidad de manzanas var. Royal Gala. *Simiente* 73(1-2): 14-19.

Gil, M., J.R. Gorny and A.A. Kader. 1998. Responses of 'Fuji' apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience* 33: 305–309.

Gorny, J.R., M.I. Gil and A.A. Kader. 1998. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. *Acta Horticulturae* 464: 231-236.

Gorny, J.R., B. Hess-Pierce and A.A. Kader. 1999. Quality changes in fresh-cut peach and nectarine slices as affected by cultivar, storage atmosphere and chemical treatments. *Journal of Food Science* 64(3): 429-432.

Gorny, J.R., R. Cifuentes, B. Hess-Pierce and A.A. Kader. 2000. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *Journal of Food Science* 65: 541-544.

Gorny, J.R., B. Hess-Pierce, R. Cifuentes and A.A. Kader. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology* 24: 271-278.

Gunes, G., C. Watkins and J. Hotchkiss. 2001. Physiological responses of fresh-cut

apple slices under high CO₂ and low O₂ partial pressures. *Postharvest Biology and Technology* 22: 197-204.

He, Q. and Luo, Y. 2007. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce. *Stewart Postharvest Review* 6:1-7.

Heard, G. 2002. Microbiology of fresh-cut produce. pp. 187-223. In: Lamikanra, O (Ed). *Fresh-cut fruits and vegetables, science, technology and market*. CRC Press LLC, N.W. Corporate Blvd., United States of America. Library of Congress, Florida, United States of America. 447p.

Hiwasa, K., Kinugasa, Y., Amano, S., Hashimoto, A., Nakano, R., A. Inaba, and Y. Kubo. 2003. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *Journal of Experimental Botany* 54:771-779.

Hu, W.Z., K. Pang, A.L. Jiang and M.X. Tian. 2007. Changes in ethylene production, respiration y polyphenol oxidase of fresh-cut apple. *Acta Horticulturae* 746: 369-373.

Jeong, H.L., W.J. Jin, D.M. Kwang and J.P. Kee. 2008. Effects of anti-Browning agents on polyphenoloxidase activity and total phenolics as related to browning of fresh-cut 'Fuji' apple. *ASEAN Food Journal* 15(1): 79-87.

Kader, A. 2007. *Biología y Tecnología Postcosecha: un Panorama*. Traducido por E. Mercado-Silva. pp. 45-53. In: Kader, A.A. (Ed.). *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Tercera edición. Universidad de California Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. California, Estados Unidos. 580p.

Kim, D.M.; N.L. Smith and C.Y. Lee. 1993. Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *Journal of Food Processing and Preservation* 58: 1111-1114.

Lakakul, R., R. M. Beaudry, and R. J. Hernandez. 1999. Modeling respiration of apple

slices in modified-atmosphere packages. *Journal of Food Science* 64: 105–110.

Lamikanra, O. and M.A Watson, M. 2001. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science* 66: 1283-1286.

Laurila, E., R. Kervinen and R. Ahvenainen. 1998. The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest News Information* 9: 53-66.

Lopez, M y J. Moreno. 1994. IV Gama en España. *Hortofruticultura* 3:33-35.

Luo, Y. and G.V. Barbosa-Canovas. 1995. Inhibition of apple slice browning by 4-hexylresorcinol. pp. 240–250. In: Lee, Y. J. Whitaker (Ed). *Enzymatic Browning and Its Prevention*. American Chemical Society, Washington DC, Estados Unidos. 418p.

Luo, Y. and G.V. Barbosa-Canovas. 1997. Enzymatic browning and its inhibition in new apple cultivars slices using 4-hexylresorcinol in combination with ascorbic acid. *Food Sci Technol Int* 3:195–201.

Marrero, A. and A.A. Kader. 2001. Factors affecting the post-cutting and quality of minimally processed pineapple. *Acta Horticulturae* 2(553): 705-706.

Martín-Belloso, O. y G. Oms-Oliu. 2005. Efecto de la atmósfera modificada en las características físico-químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. pp 47-58. Simposium “Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados”. La Habana, Cuba. Marzo 2005. Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida. Lleida, España.

Martin-Diana, A.B., D. Rico, J.M. Frías, G.T.M. Henehan and C. Barry-Ryan. 2007. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology* 18: 210-218.

Mastromatteo M., A. Conte and M.A. del Nobile. 2009. Preservation of fresh-cut produce

using natural compounds. *Stewart Postharvest Review* 5(7):1-7.

McEvily, A., R. Iyengar. and W. Otwell. 1991. Sulfite alternative prevents shrimp melanosis. *Food Technology* 9:80-86.

McEvily A.J. and R. Iyengar. 1992. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 32:253–273.

Mery, L. 2011. Evaluación de distintas técnicas de postcosecha para prolongar la vida útil de peras mínimamente procesadas. Tesis para optar al título de ingeniero agrónomo y al grado de magíster en ciencias agropecuarias. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 213p.

Moggia, C., M. Pereira and J. Yuri. 2005. Evolución de madurez en pre y postcosecha y potencialidad de almacenamiento de peras Packham's Triumph. *Agricultura Técnica*. sep. 65: 246-257.

Nguyen-The, C. and F. Carlin. 1994. The microbiology of minimally processed fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34:371-401.

Oms-Oliu G., I. Aguiló-Aguayo and O. Martín-Belloso. 2006. Inhibition of Browning on fresh-cut pear Hedges by natural compounds. *Journal of Food Science* 71:216-224.

Oms-Oliu, G., R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2008a. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology* 50: 87-94.

Oms-Oliu, G., I. Aguiló-Aguayo, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2008b. Effect of ripeness at processing on fresh-cut “Flor de invierno” pears packaged under modified atmospheres conditions. *International Journal of Food Science and Technology* 44: 900-909.

Osuga, D., A. van der Schaff, and J.R. Whitaker. 1994. Control of polyphenoloxidase activity using a catalytic mechanism. pp. 62-88. In: Yada, R.Y., Jackman, R.L. and Smith, J.L. (Eds.). Protein Structure-Function Relationships in foods. Blackie Academic and professional, New York, E.E.U.U.

Pérez, L. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo de pardeamiento enzimático en pera (variedad *Blanquilla*) mínimamente procesada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Valencia, España. 256 p.

Piga, A., A. Del Caro, I. Pinna and M. Agabbio. 2003. Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidante activity in minimally processed cactus pear fruits. *Lebensmittel-Wissenschaft und.- Technologie* 36: 257-262.

Portela, S., X. Nie, T. Suslow, and M. Cantwell. 1997. Changes in sensory quality and fermentative volatile concentrations of minimally processed cantaloupe stored in controlled atmospheres. *Postharvest Horticulture Series* 19:123–129.

Portela, S. and M. Cantwell. 1998. Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. *Postharvest Biology and Technology* 14(3): 351-357.

Qi, L., W. Tianzia and A.E. Watada. 1999. Quality changes of fresh-cut honeydew melons during controlled atmosphere storage. *Journal of Food Quality* 22: 513-521.

Razeto, B. 2006. Para entender la fruticultura. Cuarta edición. Santiago, Chile. 518p.

Reglamento sanitario de los alimentos (RSA), Chile. 2009. Disponible en <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=71271>. Leído el 7 de Mayo de 2011. Richard-

Forget, F.C., P.M. Goupy and J.J. Nicolas. 1992. Cysteine as an inhibitor of enzymatic

browning. Kinetics studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40: 2108-2113.

Rivera, J., F.A. Vázquez, J. Ayala-Zabala and G.A. González. 2005. Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (Carica papaya L. c.v. "Maradol"). *Revista Iberoamericana de Tecnología de Postcosecha* 6: 83-94.

Rocha, A. and A. Morais. 1998. Influence of chemical treatment on quality of cut apple (cv. Jonagored). *Journal of Food Quality* 21: 13-28.

Rocha, A. and A. Morais. 2000. Effects of controlled atmosphere on quality of minimally processed apple (cv. Jonagored). *Journal of Food Processing Preservation* 24: 435-451.

Rocha, A. and A. Morais. 2001. Influence of controlled atmosphere storage on polyphenoloxidase activity in relation to colour changes of minimally processed 'Jonagored' apple.

Rocha, A. and A. Morais. 2005. Polyphenoloxidase activity of minimally processed 'Jonagored' apples (*Malus doméstica*). *Journal of Food Processing and Preservation* 29: 8-19. *International Journal of Food Science and Technology* 36: 425-432.

Rojas, A.; P. Villalobos y M. Leporati. 2008. Desafíos de la política alimentaria en la promoción del consumo de frutas y verduras: un compromiso con la nutrición y la salud de la población. pp. 15-24. En: Olivares, S., Leporati, M., P. Villalobos y L. Barría. 1ª ed. 2008. *Contribución de la política agraria al consumo de frutas y verduras en Chile: un compromiso con la nutrición y la salud de la población*. Chile. 164p.

Rojas-Graü, M. A. 2006. Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: una nueva estrategia de conservación. Tesis doctoral. Universidad de Lleida, España. 76p.

Rojas-Graü, M. A., R. Grasa-Guillem and O. Martín-Belloso. 2007. Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage

atmosphere. *Journal of Food Science* 72 (1): 36-43.

Rojas-Graü M.A., R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso. 2008. Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid. *Institute of Food Technologists* 73 (6): 267-272.

Rosen, J. C. and A.A. Kader. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science*, 54, 656–659.

Sapers, G. and K. Hicks. 1989. Inhibition of enzymatic browning of fruits and vegetables. pp. 29–43. In: Jen, J. (Ed). *Quality Factors of Fruits and Vegetables*. American Chemical Society, Washington DC, Estados Unidos. 405p.

Sapers, G.M., K.B. Hicks, J.G. Phillips, L. Garzarella, D.L. Pondish, R.M. Matulaitis, T.J. McCormack, S.M. Sondey, P.A. Seib and Y.S. El-Atawy. 1989. Control of enzymatic browning in apple with ascorbic acid derivatives, polyphenol oxidase inhibitors, and complexing agents. *J. Food Sci.* 54:997-1002.

Sapers, G. and R. Miller. 1998. Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of Food Science* 63: 342-346.

Silveria, A. C. 2009. Técnicas ecoinnovadoras para elaborar melón Galia mínimamente procesado en fresco. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería en Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Cartagena, España. 380p.

Singleton, S.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(1): 144-158.

Soliva-Fortuny, R., N. Grigelmo-Miguel, I. Odiozola-Serrano, S. Gorinstein and O. Martín-Belloso. 2001. Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by

modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 3685-3690.

Soliva-Fortuny, R., G. Oms-Oliu and O. Martín-Belloso. 2002. Effects of ripeness stages on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *Journal of Food Science* 67: 1958–1963.

Soliva-Fortuny, R. and O. Martín-Belloso. 2003. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology* 14: 341-353.

Soliva-Fortuny, R., O. Martín-Belloso and P. Elez-Martínez. 2004. Microbiological and biochemical stability of fresh-cut apples preserved by modified atmosphere packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 215-224.

Son S.M., K.D. Moon and C.Y. Lee. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry* 73:23-30.

Toivonen P. and D. Brumell. 2007. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48(1):1-14.

Trujillo, F., S. López, V. Tavera, M.S. Tapia and R. Cava. 2001. Estudio de la estabilidad microbiológica de melón mínimamente procesado por impregnación a vacío. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 173-179.

Valderrama P. y E. Clemente. (2004). Isolation and thermostability of peroxidase isoenzymes from apple cultivars Gala and Fuji. *Food Chem.* 87: 601-606.

Vargas, L., A. Centurión, E. Tamayo, J. Tamayo, C. Saucedo y E. Sauri. 2007. Variación de la respiración y producción de etileno de rebanadas de pitahaya (*Hylocereus undatus*). V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. p. 790-794.

Varoquaux, P., I. Lecendre, F. Varoquaux and M. Souty. 1990. Changes in firmness of kiwifruit after slicing. *Sci. Aliment.* 10:127-139.

Watada, A.E. and L. Qi. 1999. Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15: 201-205.

Wang H., H. Feng and Y. Luo. 2007. Control of browning and microbial growth on fresh-cut apples by sequential treatment of sanitizers and calcium ascorbate. *Journal of Food Science* 72(1): 1-7.

Wiley, R.C.1997. Preservation methods for minimally processed refrigerated foods and vegetables. pp. 66-134. In R. C. Wiley (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*. Chapman and Hall, New York, United States of America. 373p.

Xiao, C.; Zhu, L.; Luo, W.; X. Song and Y. Deng. 2010. Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality of fresh-cut pears. *Food Chemistry* 121: 1003-1009.

Yang, H.H. and H.T. Lawsless. 2003. Descriptive analysis of divalent salts. *Journal of Sensory Studies* 20:97-113.

ANEXO 1

EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre: Fecha:

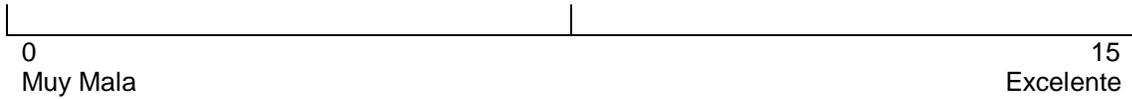
Instrucciones:

Por favor, indique con una línea vertical la intensidad de su sensación para cada una de ellas.

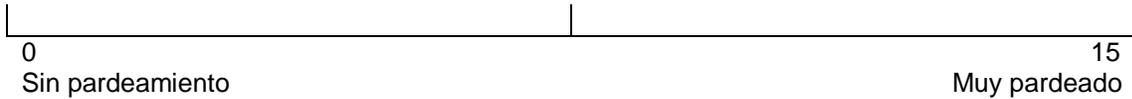
Muestra N° ____

Aspecto visual

Apariencia

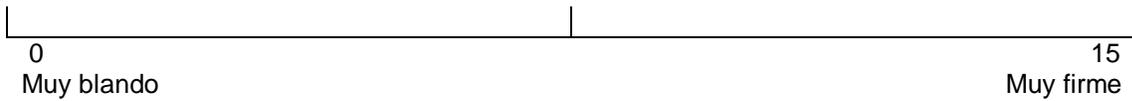


Pardeamiento

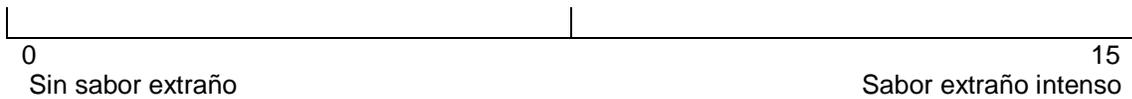


Aspecto gustativo

Firmeza



Sabor Extraño



Comentarios: _____

APÉNDICE

Figura 1. Escala de Pardeamiento.

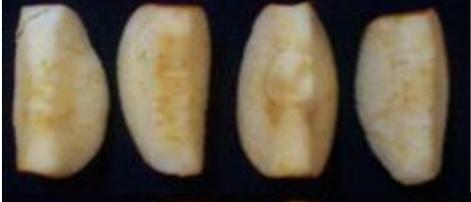
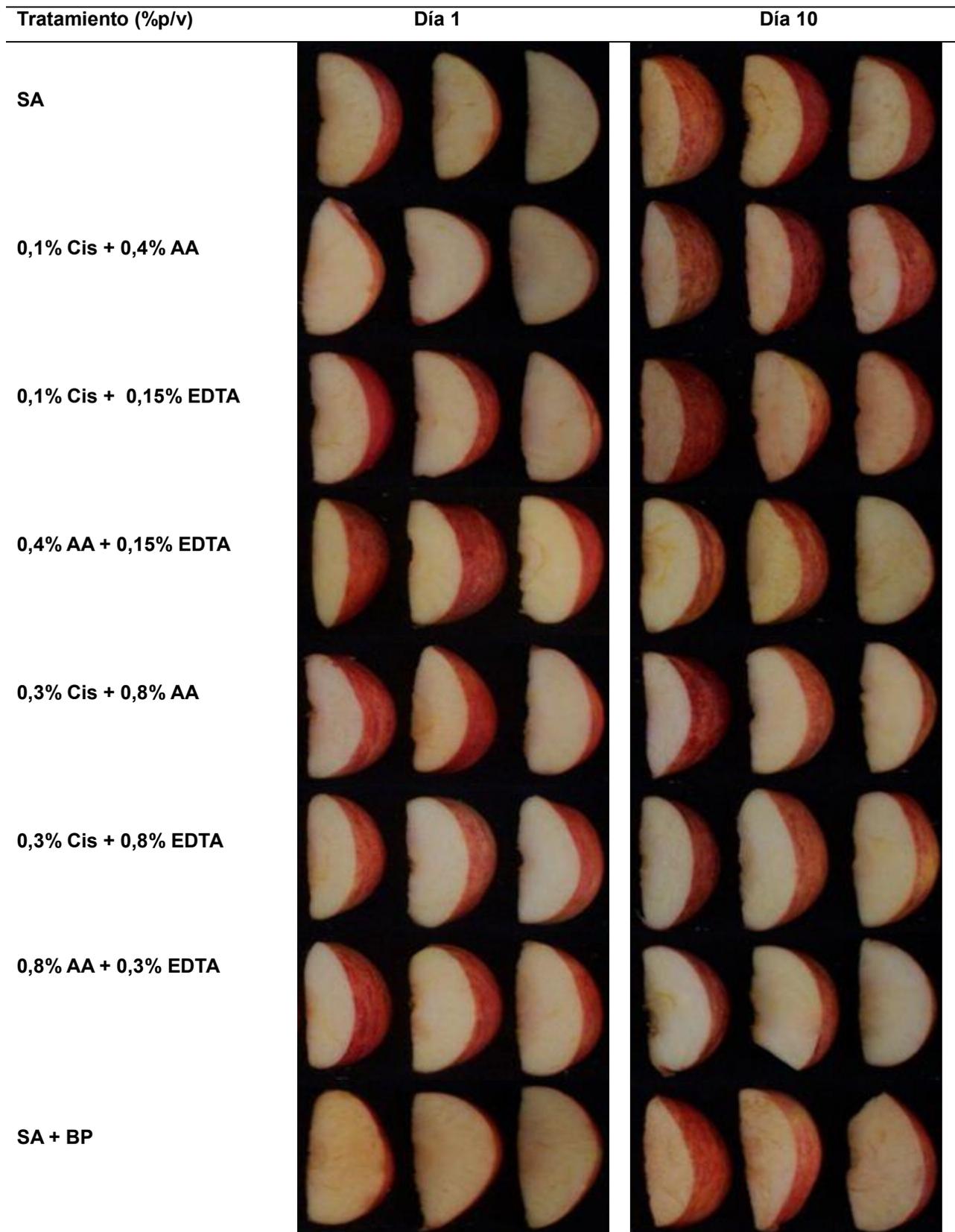
Puntaje		Parámetros de Color
15 = Ausencia de pardeamiento		L = 79,2 a* = -5,7 C* = 20,9 H _{ab} = 105,8
12		L = 78,5 a* = -1,8 C* = 23,7 H _{ab} = 95,1
9		L = 77,6 a* = -0,7 C* = 25,8 H _{ab} = 92,6
7 = Límite de pardeamiento		L = 76,7 a* = 0,1 C* = 27,4 H _{ab} = 89,8
5		L = 75,6 a* = 1,4 C* = 28,8 H _{ab} = 87,1
3		L = 74,2 a* = 3,2 C* = 29,9 H _{ab} = 83,7
1 = Extremadamente pardeado		L = 72,5 a* = 4,9 C* = 31,5 H _{ab} = 81,2

Figura 2.1. Evolución en el color y pardeamiento en cascós de manzana 'Royal Gala', inmersos en agua y soluciones antipardeantes.



Cuadro 2.1. Caracterización de fruta entera recién recibida.

Parámetros físicos		Color piel		Color pulpa		Parámetros químicos	
Diametro (mm)		L	49,65	L	82,91	SST (%)	13,8
Ecuatorial	73,42	a*	28,62	a*	-8,05	pH	3,79
Perimetral	67,89	b*	26,05	b*	19,33	AT (%)	0,28
Peso (g)	189,4	C*	39,37	C*	21,0		
Firmeza (kg-f)	6,8	H _{ab}	42,46	H _{ab}	112,66		

Los valores de los parámetros químicos corresponden al promedio de 4 muestras, obtenidas cada una a partir de 5 frutos. Los valores de los parámetros físicos, color piel y color pulpa corresponden al promedio de 20 muestras.

Cuadro 2.2. Evolución de la tasa respiratoria en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardecantes y fruto entero, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (% p/v)	Tasa respiratoria (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)				
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	15,8 Aa	9,4 ABb	8,7 ABCb	9,4 ABb	9,4 ABb
0,1 Cis + 0,4 AA	17,5 Aa	10,2 ABb	10,9 Abab	10,2 ABb	8,6 ABb
0,1 Cis + 0,15 EDTA	17,9 Aa	8,0 ABb	8,3 ABCb	7,7 Bb	7,2 Bb
0,4 AA + 0,15 EDTA	19,1 Aa	11,4 ABb	7,2 BCb	8,0 Bb	7,1 Bb
0,3 Cis + 0,8 AA	19,9 A	16,1 A	11,4 A	12,6 A	11,4 A
0,3 Cis + 0,3 EDTA	18,1 Aa	17,0 Aab	9,5 ABCc	10,3 ABabc	9,7 ABbc
0,8 AA + 0,3 EDTA	20,3 Aa	18,7 Aab	11,3 Aab	12,1 Aab	9,7 ABb
Fruto entero	5,1 Ba	3,5 Bab	3,3 Cab	3,7 Cab	2,7 Cb

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.3. Evolución de la tasa respiratoria en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardecantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (% p/v)	Tasa respiratoria (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)				
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	15,8 a	9,4 b	8,7 b	9,4 ABb	9,4 ABb
0,1 Cis + 0,4 AA	17,5 a	10,2 b	10,9 ab	10,2 ABb	8,6 ABb
0,1 Cis + 0,15 EDTA	17,9 a	8,0 b	8,3 b	7,7 Bb	7,2 Bb
0,4 AA + 0,15 EDTA	19,1 a	11,4 b	7,2 b	8,0 Bb	7,1 Bb
0,3 Cis + 0,8 AA	19,9	16,1	11,4	12,6 A	11,4 A
0,3 Cis + 0,3 EDTA	18,1 a	17,0 ab	9,5 c	10,3 ABabc	9,7 ABbc
0,8 AA + 0,3 EDTA	20,3 a	18,7 ab	11,3 ab	12,1 Aab	9,7 ABb

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.4. Evolución de la luminosidad (L) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Luminosidad (L)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	76,7 Da	75,7 Bab	75,4BCab	74,3 Bb
0,1 Cis + 0,4 AA	78,9 Aba	78,1 Aa	74,8Cb	73,6 Bb
0,1 Cis + 0,15 EDTA	79,5 Aa	78,2 Aa	74,1Cb	73,5 Bb
0,4 AA + 0,15 EDTA	78,0 BC	77,3 AB	77,1 AB	76,4 AB
0,3 Cis + 0,8 AA	79,4 A	78,5 A	78,4 A	78,3 A
0,3 Cis + 0,3 EDTA	79,4 A	78,7 A	78,6 A	78,0 A
0,8 AA + 0,3 EDTA	79,0 AB	78,8 A	78,5 A	78,0 A
SA+BP	77,5 BC	76,1 B	75,7 BC	75,7 AB

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.5. Evolución de la croma (C*) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Croma (C*)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	30,6 Abc	32,2 Aab	30,4 ABc	32,4 Aa
0,1 Cis + 0,4 AA	26,7 C	27,1 B	27,9 BC	28,3 BC
0,1 Cis + 0,15 EDTA	25,7 Cb	26,3 Bab	28,5 ABCa	27,5 BCDab
0,4 AA + 0,15 EDTA	30,1 A	29,4 AB	31,2 A	30,1 AB
0,3 Cis + 0,8 AA	25,0 C	27,0 B	25,9 C	24,3 D
0,3 Cis + 0,3 EDTA	25,8 C	26,1 B	26,9 C	25,8 CD
0,8 AA + 0,3 EDTA	27,3 BC	26,8 B	28,3 B	26,11 CD
SA+BP	29,6 AB	31,3 A	30,5 AB	33,2 A

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.6. Evolución del tono (H_{ab}) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Tono (H_{ab})			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	90,4 D	89,8 CD	89,5 CD	88,2 A
0,1 Cis + 0,4 AA	96,9 ABa	91,4 CDab	84,6 Dbc	81,3 Bc
0,1 Cis + 0,15 EDTA	97,5 ABa	92,2 BCDa	81,1 Db	80,0 Bb
0,4 AA + 0,15 EDTA	92,8 CD	93,2 ABC	92,0 ABC	91,4 A
0,3 Cis + 0,8 AA	99,0 Aa	95,4 ABab	94,6 Aab	92,6 Ab
0,3 Cis + 0,3 EDTA	98,6 Aa	95,9 Aab	93,7 ABb	93,4 Ab
0,8 AA + 0,3 EDTA	95,2 BC	96,3 A	93,3 ABC	93,5 A
SA+BP	92,5 Da	89,1 Db	90,2 BCDb	89,5 Ab

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.7. Evolución de la firmeza (kg-f) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Firmeza (kg-f)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	6,5 Aa	6,0ab	6,0 Aab	5,3b
0,1 Cis + 0,4 AA	6,6 Aa	6,5a	6,4 Aa	5,2b
0,1 Cis + 0,15 EDTA	6,3 AB	6,3	6,1 A	5,5
0,4 AA + 0,15 EDTA	6,2 ABa	6,1a	6,0 Aa	5,2b
0,3 Cis + 0,8 AA	6,0 AB	5,9	5,8 AB	5,4
0,3 Cis + 0,3 EDTA	6,1 AB	5,8	5,8 AB	5,4
0,8 AA + 0,3 EDTA	5,5 B	5,3	5,1 B	5,2

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.8. Evolución de los sólidos solubles totales (SST) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Sólidos solubles totales (SST %)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	12,7	12,5	12,7	12,5
0,1 Cis + 0,4 AA	12,8	12,7	12,5	12,4
0,1 Cis + 0,15 EDTA	12,9	12,4	12,2	12,1
0,4 AA + 0,15 EDTA	12,4	12,5	12,5	12,3
0,3 Cis + 0,8 AA	12,9 a	12,5 b	12,7 ab	11,8 c
0,3 Cis + 0,3 EDTA	12,7	12,8	12,7	12,3
0,8 AA + 0,3 EDTA	13,2	12,9	12,9	12,7

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.9. Evolución del pH en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	pH			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	4,0 a	3,7 ABb	3,9 ABab	3,9 ab
0,1 Cis + 0,4 AA	3,8	3,6 B	3,8 AB	3,7
0,1 Cis + 0,15 EDTA	3,7	3,8 A	3,9 AB	3,9
0,4 AA + 0,15 EDTA	3,8 ab	3,7 ABb	3,9 ABa	3,9 ab
0,3 Cis + 0,8 AA	3,8	3,6 AB	3,7 B	3,8
0,3 Cis + 0,3 EDTA	3,8	3,8 AB	4,0 A	3,8
0,8 AA + 0,3 EDTA	3,8	3,7 AB	3,8 AB	3,8

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.10. Evolución de la acidez titulable (AT%) en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Acidez titulable (AT%)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	0,22 A	0,22	0,23	0,20
0,1 Cis + 0,4 AA	0,21 A	0,21	0,21	0,22
0,1 Cis + 0,15 EDTA	0,24 A	0,20	0,24	0,22
0,4 AA + 0,15 EDTA	0,20 A	0,21	0,21	0,21
0,3 Cis + 0,8 AA	0,24 A	0,24	0,22	0,22
0,3 Cis + 0,3 EDTA	0,20 A	0,20	0,20	0,23
0,8 AA + 0,3 EDTA	0,25 A	0,21	0,25	0,24

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.11. Evaluación de atributos sensoriales; Apariencia en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Análisis sensorial; Apariencia			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	10,3 Ba	8,5 CDb	8,1 Bb	5,8 BCc
0,1 Cis + 0,4 AA	13,6 Aa	9,1 Cb	8,0 Bb	6,3 Bc
0,1 Cis + 0,15 EDTA	12,8 Aa	7,0 Db	5,7 Cbc	4,7 Cc
0,4 AA + 0,15 EDTA	9,9 BCa	9,1 Ca	8,5 Bab	6,1 BCb
0,3 Cis + 0,8 AA	13,3 Aa	12,8 ABa	11,6 Aab	10,5 Ab
0,3 Cis + 0,3 EDTA	13,0 Aa	13,2 Aa	12,8 Aa	9,4 Ab
0,8 AA + 0,3 EDTA	12,4 Aa	11,5 Bab	11,0 Ab	9,9 Ac
SA+BP	8,4 Ca	8,5 CDa	8,2 Bab	6,3 Bb

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.12. Evaluación de atributos sensoriales; Pardeamiento en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Análisis sensorial; Pardeamiento			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	5,0 Ab	6,4 Ab	7,8 Aab	10,3 Aa
0,1 Cis + 0,4 AA	0,8 Bb	5,9 Aa	6,3 Aa	7,7 Aa
0,1 Cis + 0,15 EDTA	1,7 Bb	6,7 Aa	7,5 Aa	9,2 Aa
0,4 AA + 0,15 EDTA	4,4 Ab	5,7 Aab	6,5 Aab	8,7 Aa
0,3 Cis + 0,8 AA	1,2 B	2,1 B	2,6 B	3,8 B
0,3 Cis + 0,3 EDTA	1,4 Bb	1,1 Bb	1,5 Bb	4,1 Ba
0,8 AA + 0,3 EDTA	1,5 Bc	2,2 Bb	2,7 Bb	4,3 Ba
SA+BP	5,4 A	6,9 A	7,2 A	8,2 A

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.13. Evaluación de atributos sensoriales; Firmeza en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Análisis sensorial; Firmeza			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	11,0 a	11,5 ABa	7,18b	7,4 b
0,1 Cis + 0,4 AA	10,9	9,4 B	10,0	7,7
0,1 Cis + 0,15 EDTA	11,1	12,0 A	10,1	9,0
0,4 AA + 0,15 EDTA	10,9	11,4 AB	11,3	8,7
0,3 Cis + 0,8 AA	11,9	10,4 AB	10,1	7,6
0,3 Cis + 0,3 EDTA	11,0 a	11,2 AB a	9,2 ab	7,5 b
0,8 AA + 0,3 EDTA	10,9	10,1 AB	9,7	7,5
SA+BP	12,1 a	11,2 Abab	10,2 ab	7,2 b

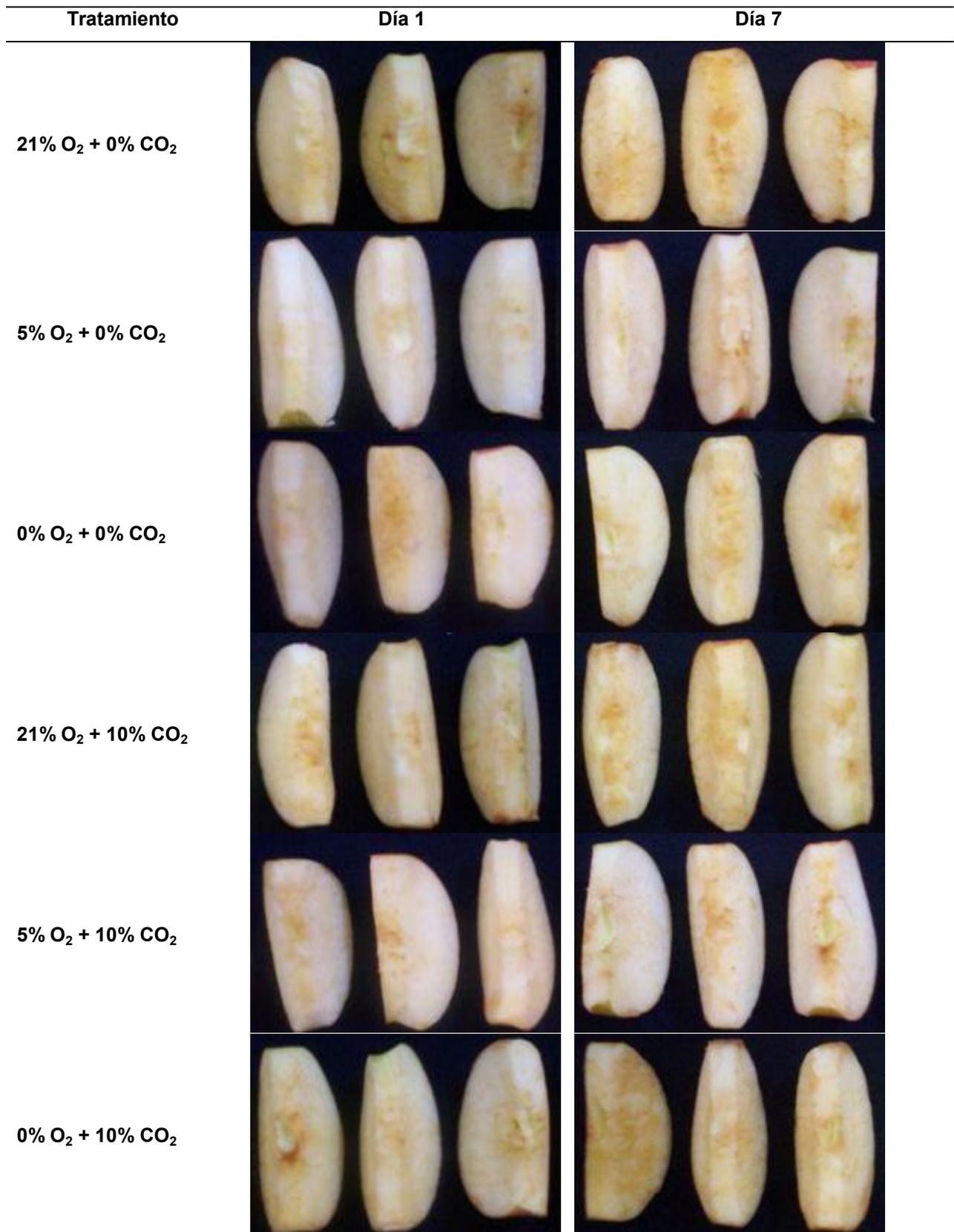
^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 2.14. Evaluación de atributos sensoriales; Sabores extraños en cascos de manzana 'Royal Gala' sometidos a inmersión en agentes antipardeantes, almacenados a 5 °C.

Tratamiento (%p/v)	Análisis sensorial; Sabores extraños			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
SA	0,6	2,6	4,3 ABC	4,4 A
0,1 Cis + 0,4 AA	2,0	2,6	5,6 ABC	7,2 A
0,1 Cis + 0,15 EDTA	1,4	1,3	5,4 ABC	7,8 A
0,4 AA + 0,15 EDTA	1,6	1,3	2,6 C	3,8 A
0,3 Cis + 0,8 AA	2,4	4,3	6,5 A	7,2 A
0,3 Cis + 0,3 EDTA	2,1	2,6	5,8 AB	6,5 A
0,8 AA + 0,3 EDTA	1,1	2,9	2,6 C	3,7 A
SA+BP	1,9	3,4	3,3 BC	4,8 A

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Figura 3.1. Evolución en el color y pardeamiento en cascos de manzana ‘Royal Gala’ almacenada en AC a 5 °C.



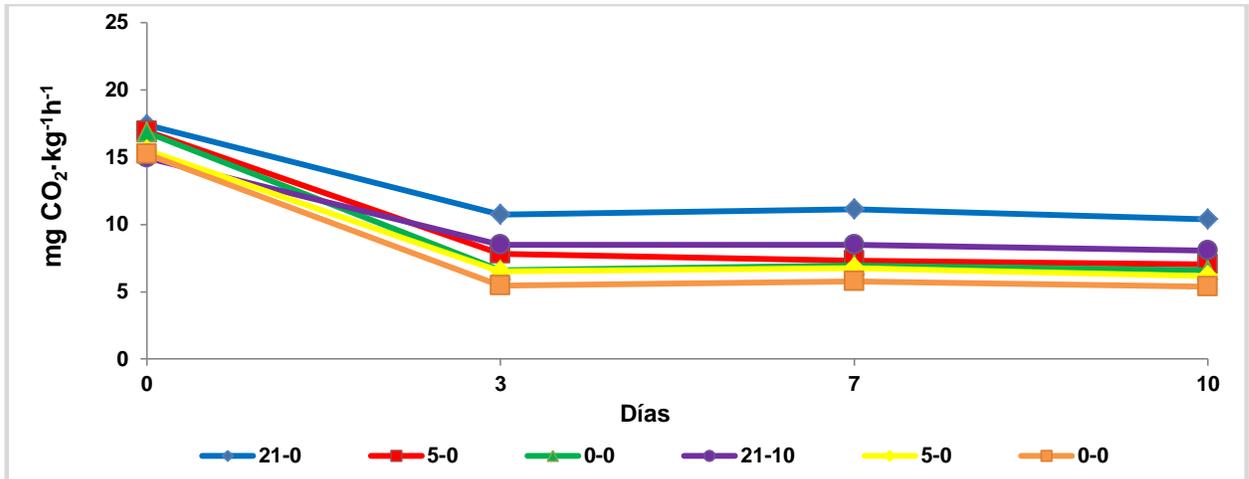


Figura 3.2. Tasa respiratoria ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) en cascós de manzana 'Royal Gala' almacenada en AC a 5°C . Los valores son la media ($n=2$).

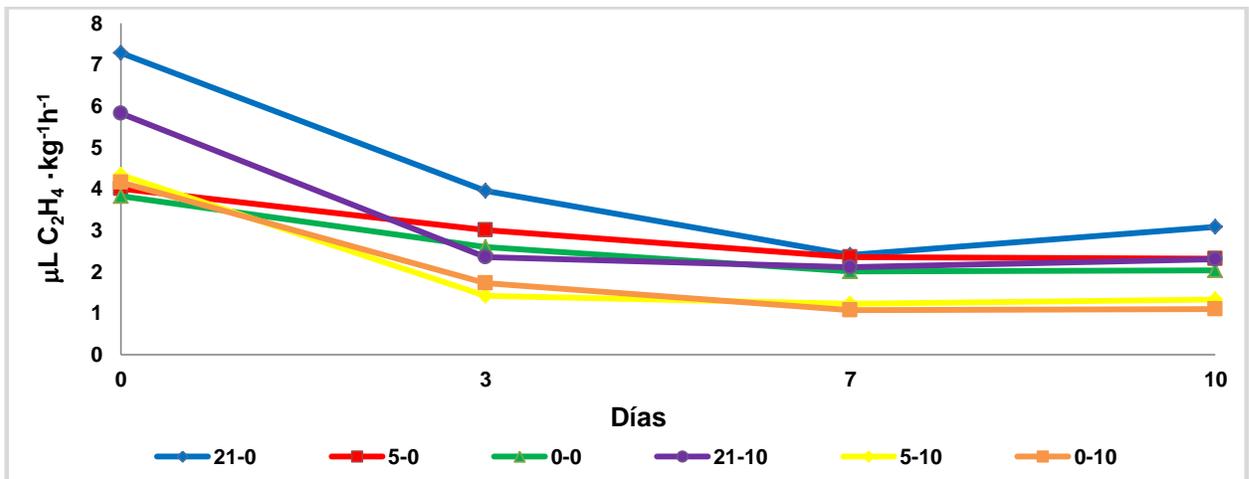


Figura 3.3. Tasa de producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) en cascós de manzana 'Royal Gala' almacenada en AC a 5°C . Los valores son la media ($n=2$).

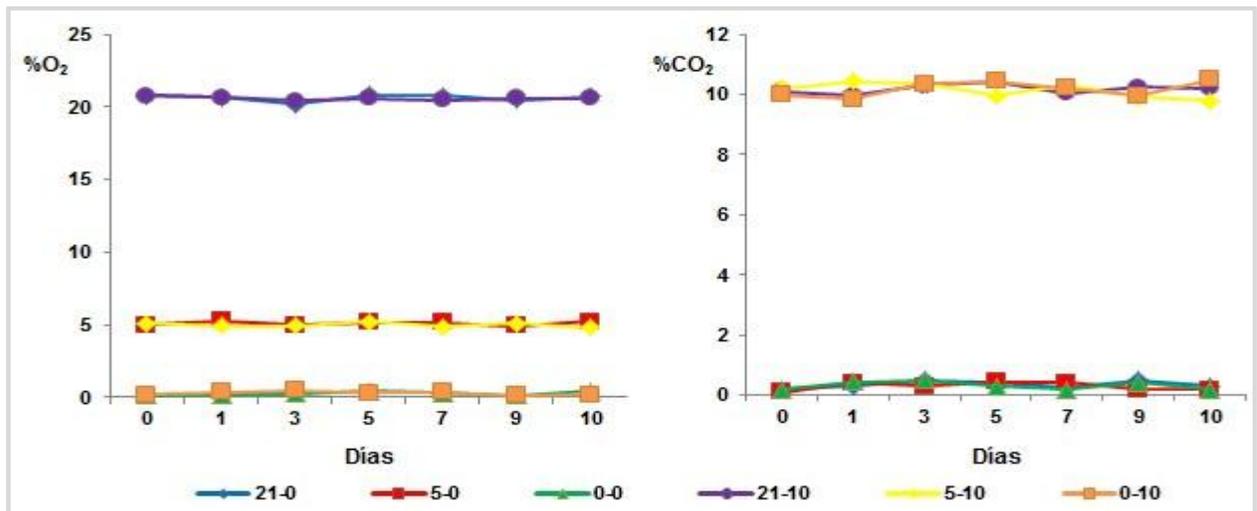


Figura 3.4. Concentración de gases (O_2 y CO_2) al interior de los recipientes de AC con cascós de manzana 'Royal Gala'. Los valores son la media ($n=2$).

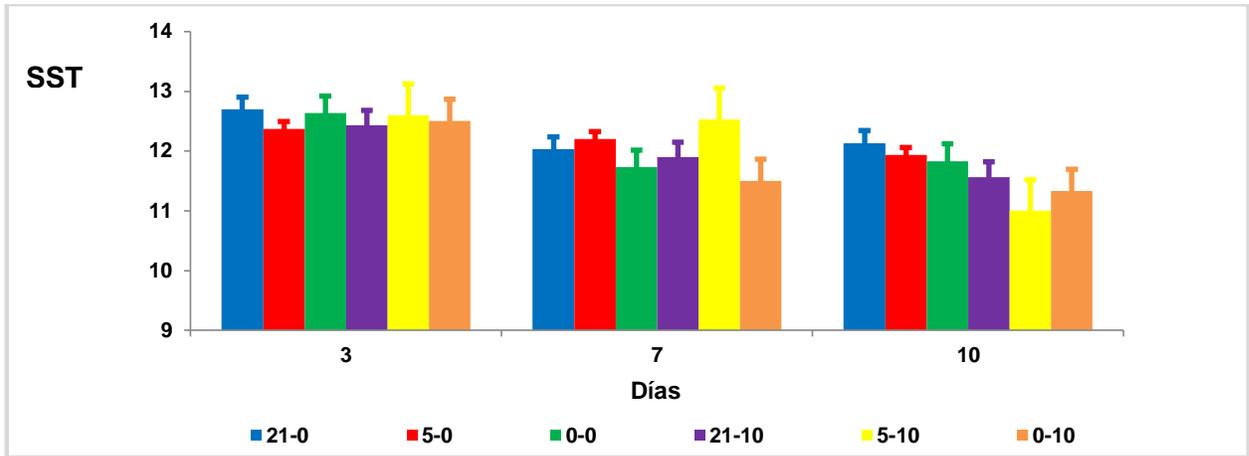


Figura 3.5. SST en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenada en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE.

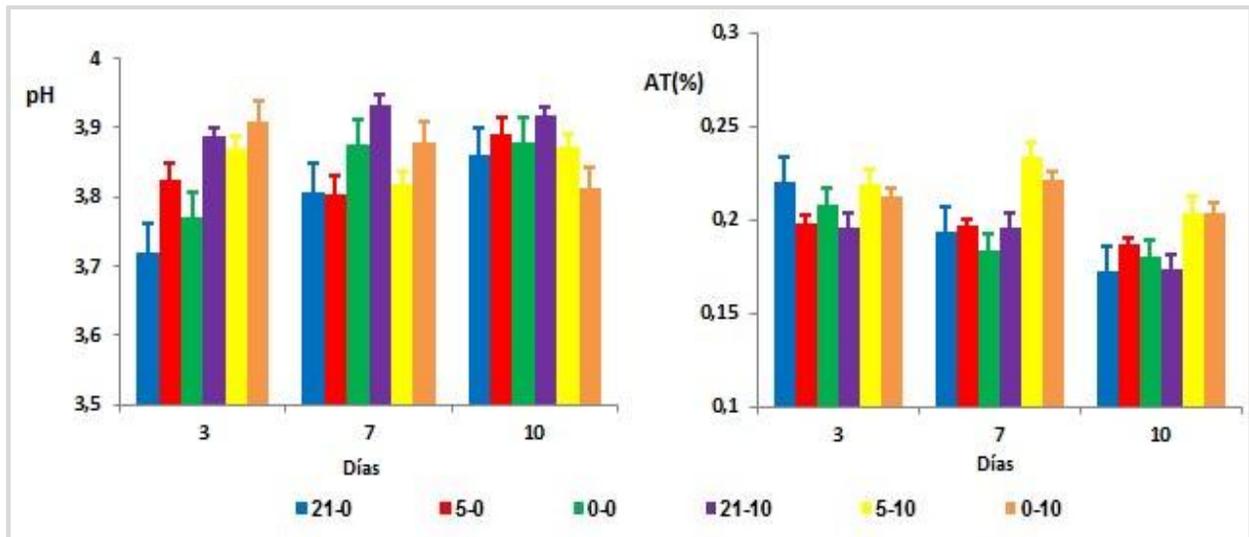


Figura 3.6. pH y AT(%) en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenada en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE.

Cuadro 3.1. Evolución de la luminosidad en cascotes de manzana 'Royal Gala' almacenados en AC a 5 °C.

	Luminosidad (L)		
	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)			
21	76,9	76,4	75,9
5	77,7	76,9	75,7
0	77,4	76,7	75,5
% CO₂ (CO₂)			
0	78,1 a	77,1 a	76,4 a
10	76,5 b	76,2 b	75,0 b
Interacción (CO₂ * O₂)			
21-0	77,6	76,5	76,2
5-0	78,3	77,2	76,6
0-0	78,4	77,8	76,3
21-10	76,2	76,2	75,6
5-10	77,1	76,6	74,7
0-10	76,4	75,7	74,7
Nivel de significancia			
O ₂	NS	NS	NS
CO ₂	***	*	***
CO ₂ * O ₂	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 3.2. Evolución de la croma (C*) y el tono (H_{ab}) en cascotes de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Croma (C*)			Tono (H _{ab})		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)						
21	28,7	28,8	29,2	91,6	91,2	89,2
5	27,9	28,4	29,3	92,5	91,7	89,1
0	27,7	27,7	28,5	92,3	92,2	88,4
% CO₂ (CO₂)						
0	27,9	27,7 a	28,6	93,0 a	92,2	89,6 a
10	28,4	28,9 b	29,4	91,2 b	91,2	88,1 b
Interacción (CO₂ * O₂)						
21-0	28,4	27,8	28,7	92,4	92,3 a	89,3
5-0	27,4	27,7	28,9	93,4	91,5 ab	90,0
0-0	27,8	27,8	28,3	93,3	92,9 a	89,6
21-10	29,0	29,9	29,7	90,8	90,0 b	89,2
5-10	28,5	29,1	29,7	91,5	91,9 ab	88,1
0-10	27,6	27,6	28,8	91,4	91,6 ab	87,1
Nivel de significancia						
O ₂	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CO ₂	NS	*	NS	***	*	**
CO ₂ * O ₂	NS	NS	NS	NS	*	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 3.3. Evolución de la firmeza (kg-f) en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Firmeza (kg-f)		
	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)			
21	6,3 b	6,1	6,0
5	6,5 ab	6,3	6,1
0	6,7 a	6,3	6,2
% CO₂ (CO₂)			
0	6,4	6,1	6,2
10	6,6	6,3	6,0
Interacción (CO₂ * O₂)			
21-0	6,3	6,1 a	6,3
5-0	6,5	5,9 a	6,0
0-0	6,4	6,4 a	6,4
21-10	6,2	6,1 a	5,8
5-10	6,6	6,7 a	6,1
0-10	6,9	6,2 a	5,9
Nivel de significancia			
O ₂	*	NS	NS
CO ₂	NS	NS	NS
CO ₂ * O ₂	NS	*	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 3.4. Evaluación de atributos sensoriales; Apariencia y Pardeamiento en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Apariencia			Pardeamiento		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)						
21	8,8	8,6	5,7	5,8	5,6	8,3
5	10,6	7,2	6,4	3,6	7,4	8,1
0	9,2	7,0	6,9	4,4	7,5	8,2
% CO₂ (CO₂)						
0	9,3	8,1	6,7	4,7	5,8	7,8 b
10	9,8	7,1	6,0	4,5	7,9	8,6 a
Interacción (CO₂ * O₂)						
21-0	7,8 c	8,4	6,0	7,0 a	7,6 b	8,0
5-0	11,3 a	8,7	6,8	3,0 b	5,9 bc	7,8
0-0	8,7 bc	7,3	7,3	4,1 b	5,4 c	7,6
21-10	9,7 abc	8,8	5,5	4,5 ab	7,8 b	8,6
5-10	10,0 ab	5,7	6,0	4,2 b	7,8 b	8,5
0-10	9,7 abc	6,7	6,4	4,8 ab	10,1 a	8,8
Nivel de significancia						
O ₂	**	NS	NS	**	NS	NS
CO ₂	NS	NS	NS	NS	***	***
CO ₂ * O ₂	**	NS	NS	*	***	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

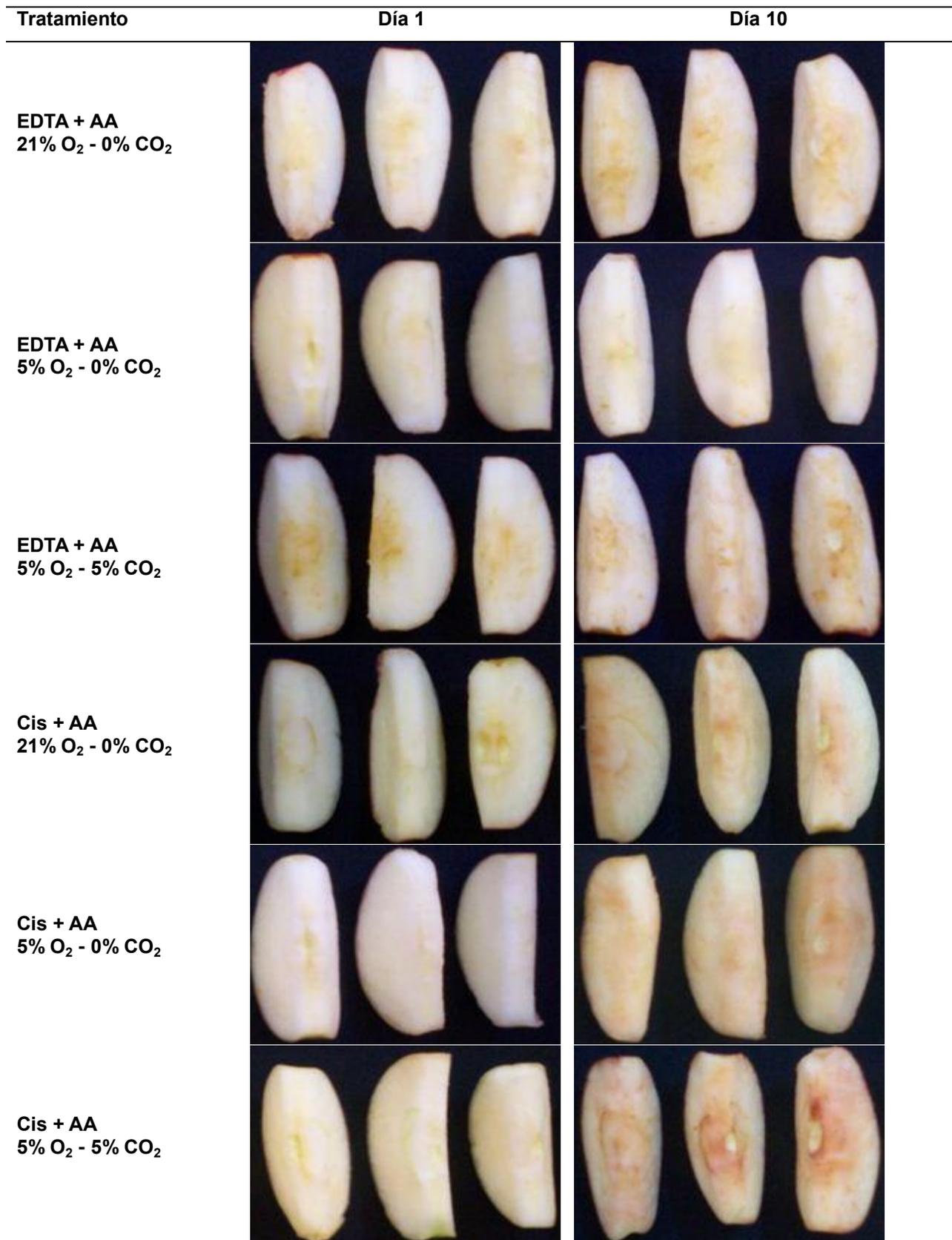
Cuadro 3.5. Evaluación de atributos sensoriales; Firmeza y Sabores extraños en cascos de manzana 'Royal Gala' almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Firmeza			Sabores extraños		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
% O₂ (O₂)						
21	12,3	11,7	10,9	1,2	0,2	1,0
0	11,8	11,4	10,8	1,2	0,6	0,9
5	12,0	11,8	11,5	0,8	0,8	0,8
% CO₂ (CO₂)						
0	11,6	11,7	11,0	1,2	0,4	1,0
10	12,5	11,6	11,1	0,9	0,6	0,8
Interacción (CO₂ * O₂)						
21% + 0%	12,4	11,5	10,5	1,4	0,2	1,7
0% + 0%	11,0	11,3	11,3	1,5	0,3	0,8
5% + 0%	11,5	12,2	11,3	0,8	0,8	0,5
21% + 10%	12,2	11,9	11,2	1,0	0,3	0,4
0% + 10%	12,7	11,5	10,4	0,9	1,0	0,9
5% + 10%	12,5	11,3	11,9	0,9	0,7	1,0
Nivel de significancia						
O ₂	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CO ₂	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CO ₂ * O ₂	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Figura 4.1. Evolución en el color y pardeamiento en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en AC a 5 °C.



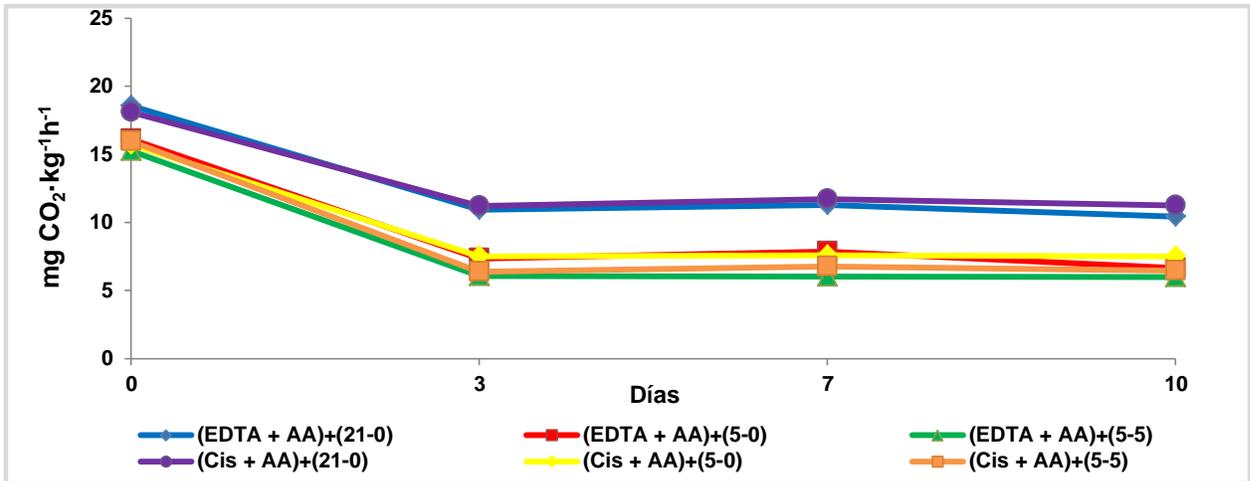


Figura 4.2. Tasa respiratoria ($\text{mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) en cascós de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardecantes y almacenados en AC a 5°C . Los valores son la media ($n=2$).

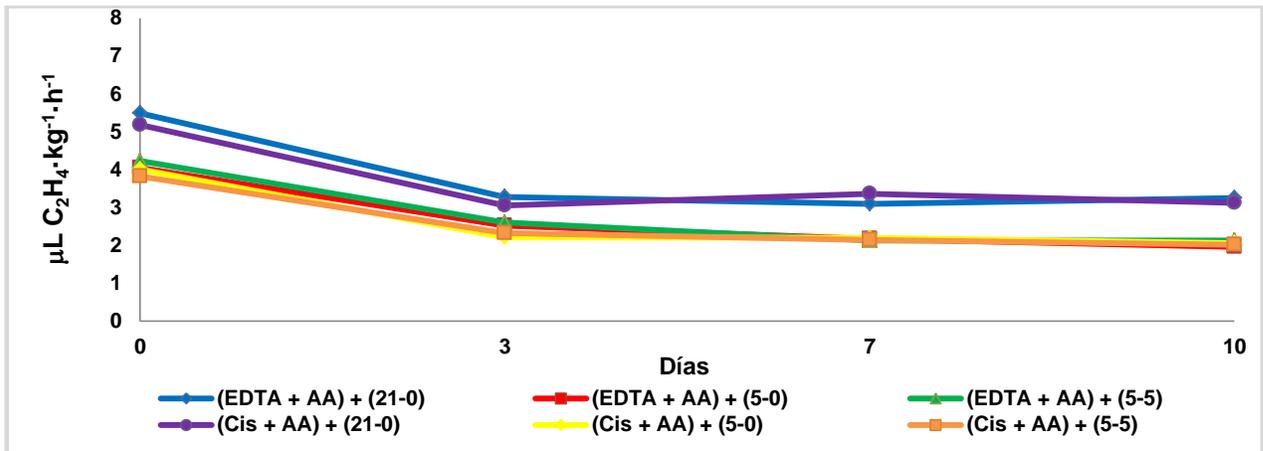


Figura 4.3. Tasa de producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) en cascós de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardecantes y almacenados en AC a 5°C . Los valores son la media ($n=2$).

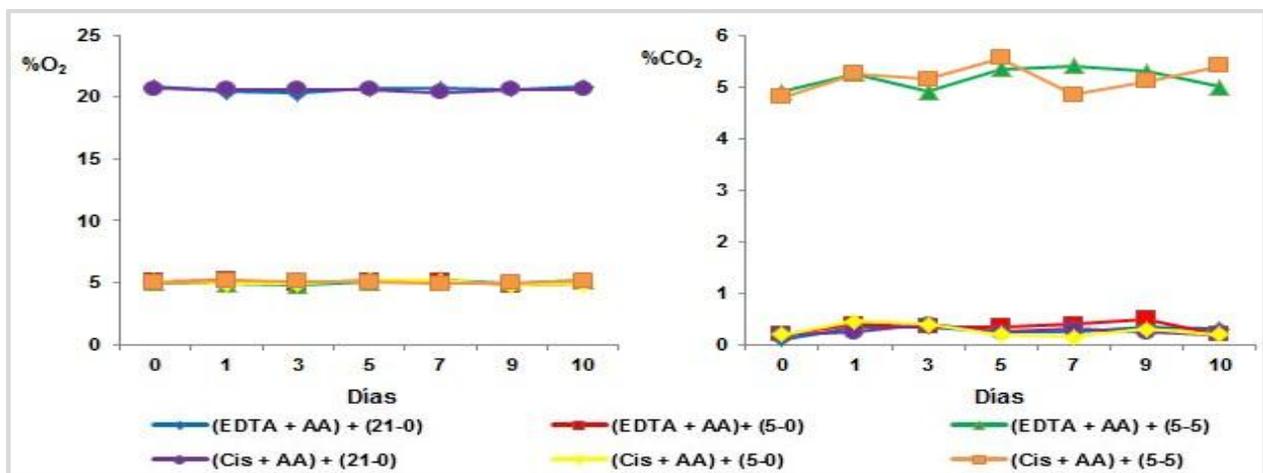


Figura 4.4. Concentración de gases (O_2 y CO_2) al interior de los recipientes de AC con cascós de manzana 'Royal Gala'. Los valores son la media ($n=2$).

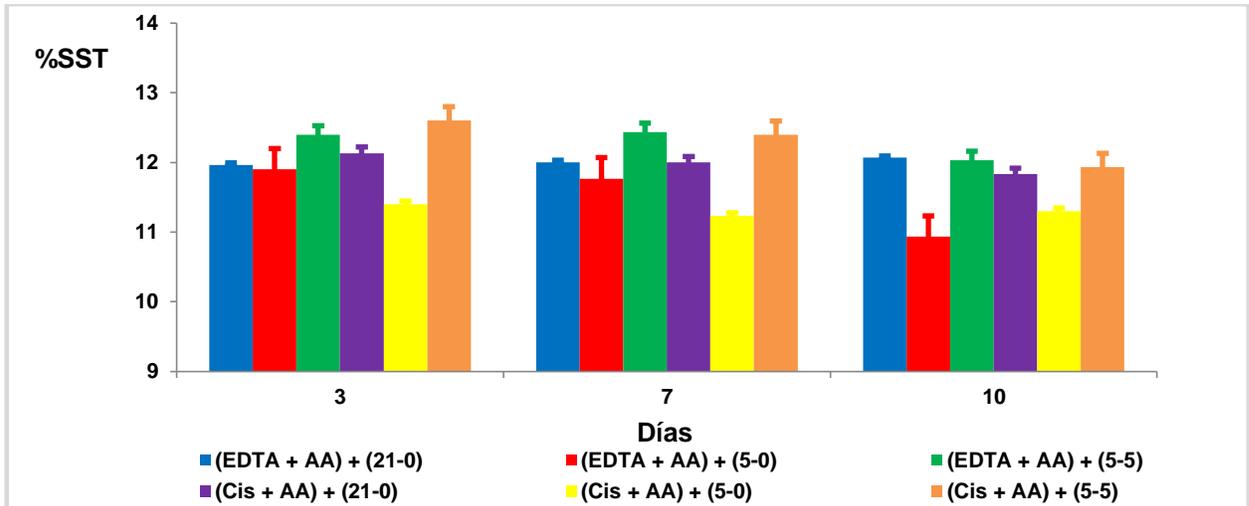


Figura 4.5. Sólidos solubles totales (%) en cascós de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE.

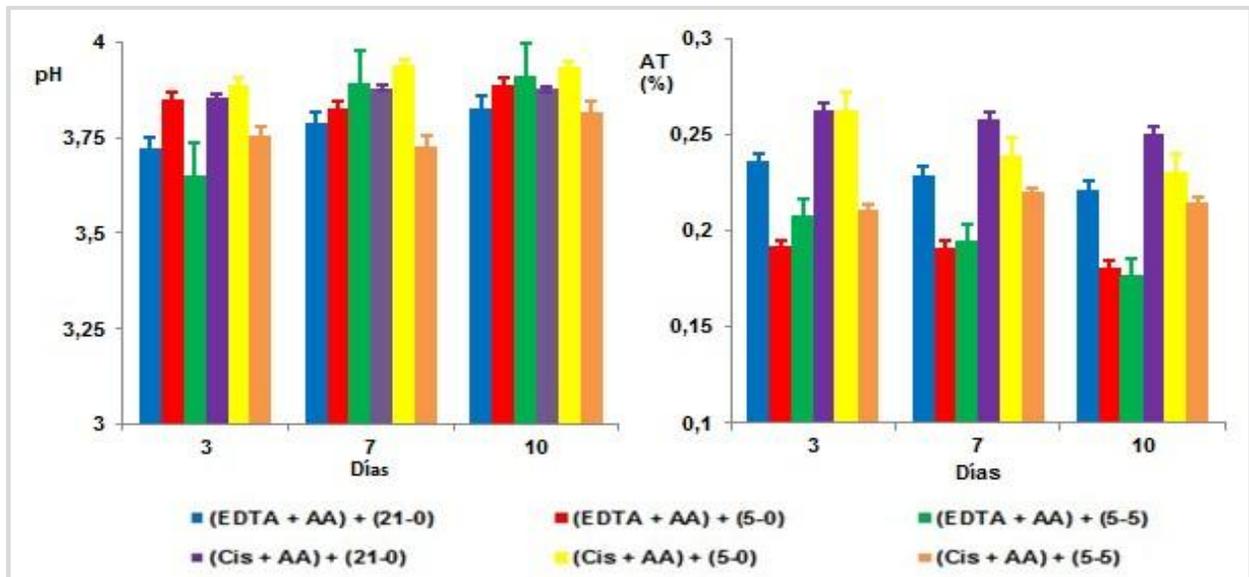


Figura 4.6. pH y acidez titulable en cascós de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en AC a 5 °C. Los valores son la media (n=3) ± EE.

Cuadro 4.1. Evolución de la luminosidad (L) en cascotes de manzana ‘Royal Gala’ inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Luminosidad (L)		
	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)			
EDTA + AA	79,2	77,9	77,0 a
CIS + AA	79,7	77,3	74,4 b
Concentración de gases (G)			
21-0	79,4	77,4	75,7 ab
5-0	79,7	78,0	76,3 a
5-5	79,1	77,3	74,9 b
Interacción (A*G)			
(EDTA + AA) + (21-0)	79,4 ab	78,0 a	76,9
(EDTA + AA) + (5-0)	79,9 a	78,8 a	78,2
(EDTA + AA) + (5-5)	78,2 b	76,9 b	75,8
(Cis + AA) + (21-0)	79,5 ab	76,9 b	74,6
(Cis + AA) + (5-0)	79,6 ab	77,3 ab	74,5
(Cis + AA) + (5-5)	79,9 a	77,7 ab	74,0
Nivel de significancia			
A	NS	NS	***
G	NS	*	*
A*G	*	***	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 4.2. Evolución de la Croma (C*) y el Tono (H_{ab}) en cascotes de manzana ‘Royal Gala’ inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Croma (C*)			Tono (H _{ab})		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)						
EDTA + AA	21,7 b	23,1 b	25,4 b	97,1	93,2	92,9 a
CIS + AA	25,9 a	28,8 a	29,5 a	96,4	86,9	80,5 b
Concentración de gases (G)						
21-0	24,0	26,0	27,2 ab	96,3	89,7	87,0 ab
5-0	23,0	24,8	26,6 b	97,4	90,9	87,8 a
5-5	24,5	27,2	28,6 a	96,4	89,6	85,3 b
Interacción (A*G)						
(EDTA + AA) + (21-0)	21,8	23,6	25,4	97,0 ab	94,0 a	92,8
(EDTA + AA) + (5-0)	21,5	22,7	25,2	98,5 a	94,9 a	94,1
(EDTA + AA) + (5-5)	21,9	23,1	25,7	95,7 b	90,8 b	91,6
(Cis + AA) + (21-0)	26,1	28,4	29,1	95,6 b	85,5 d	81,1
(Cis + AA) + (5-0)	24,5	26,6	28,0	97,1 ab	87,0 cd	81,4
(Cis + AA) + (5-5)	27,0	31,2	31,4	96,4 ab	88,3 bc	79,0
Nivel de significancia						
A	***	***	***	NS	***	***
G	NS	NS	**	NS	*	**
A*G	NS	NS	NS	*	***	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 4.3. Evolución de la firmeza (kg-f) en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardecantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Firmeza (kgf)		
	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardecante (A)			
EDTA + AA	6,3	6,3	6,3
Cis + AA	5,8	5,8	5,7
Concentración de gases (G)			
21-0	6,0	5,8	5,8
5-0	5,9	5,8	5,8
5-5	6,4	6,5	6,4
Interacción (A*G)			
(EDTA + AA) + (21-0)	6,3 ab	6,3 ab	6,3 a
(EDTA + AA) + (5-0)	6,5 a	6,5 a	6,5 a
(EDTA + AA) + (5-5)	6,2 ab	6,2 ab	6,1 a
(Cis + AA) + (21-0)	5,6 ab	5,4 bc	5,4 b
(Cis + AA) + (5-0)	5,2 b	5,1 c	5,1 b
(Cis + AA) + (5-5)	6,7 a	6,8 a	6,7 a
Nivel de significancia			
A	*	**	***
G	NS	**	**
A*G	*	***	***

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 4.4. Evaluación de atributos sensoriales; Apariencia y Pardecamiento en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardecantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Apariencia			Pardecamiento		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardecante (A)						
EDTA + AA	9,8	8,4	6,7	3,7 a	4,3 a	6,5
Cis + AA	13,1	9,2	3,6	0,7 b	3,3 b	10,2
Concentración de gases (G)						
21-0	11,4	7,4 b	5,2	2,3	4,7 a	8,1
5-0	11,4	10,7 a	5,7	2,1	2,3 b	7,5
5-5	11,6	8,4 b	4,6	2,2	4,3 a	9,4
Interacción (A*G)						
(EDTA + AA) + (21-0)	9,8 b	7,2	6,5 ab	3,7	5,4	6,7 c
(EDTA + AA) + (5-0)	10,4 b	10,3	7,9 a	3,3	2,4	4,6 d
(EDTA + AA) + (5-5)	9,1 b	7,9	5,7 bc	4,1	5,0	8,1 bc
(Cis + AA) + (21-0)	12,9 a	7,7	4,0 cd	1,0	4,0	9,5 ab
(Cis + AA) + (5-0)	12,8 a	11,1	3,5 d	0,9	2,2	10,4 a
(Cis + AA) + (5-5)	13,6 a	8,9	3,4 d	0,3	3,6	10,7 a
Nivel de significancia						
A	***	NS	***	***	*	***
G	NS	***	*	NS	***	***
A*G	**	NS	*	NS	NS	***

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

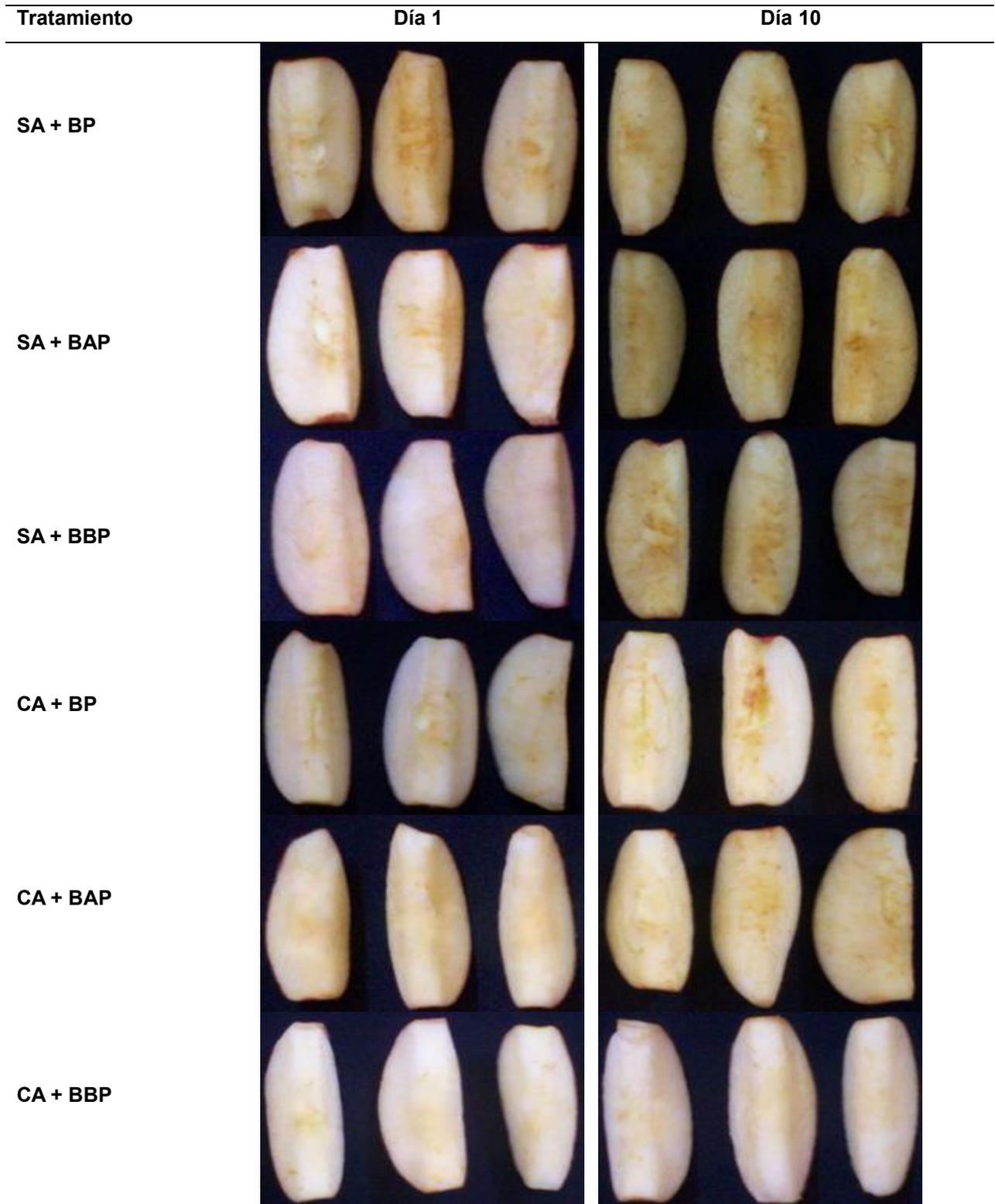
Cuadro 4.5. Evaluación de atributos sensoriales; Firmeza y Sabores extraños en cascos de manzana 'Royal Gala' inmersos en soluciones antipardeantes y almacenados en atmósfera controlada a 5 °C.

	Firmeza			Sabores extraños		
	Día 3	Día 7	Día 10	Día 3	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)						
EDTA + AA	11,7	11,6	11,0 a	1,5 b	0,3 b	1,9
Cis + AA	10,2	10,7	8,6 b	2,9 a	3,3 a	6,8
Concentración de gases (G)						
21-0	9,8	10,9	8,4 b	2,1	1,8	3,9
5-0	11,4	11,6	11,2 a	1,9	1,3	3,5
5-5	11,7	11,0	9,8 ab	2,7	2,4	5,7
Interacción (A*G)						
(EDTA + AA) + (21-0)	11,7 a	12,1	10,4	1,4	0,2	2,0 d
(EDTA + AA) + (5-0)	11,0 ab	11,5	11,3	1,8	0,3	2,2 cd
(EDTA + AA) + (5-5)	12,3 a	11,4	11,1	1,4	0,4	1,5 d
(Cis + AA) + (21-0)	8,0 b	9,6	6,3	2,8	3,3	5,8 b
(Cis + AA) + (5-0)	11,7 a	11,6	11,1	1,9	2,2	4,8 bc
(Cis + AA) + (5-5)	11,0 ab	10,7	8,5	4,0	4,3	9,9 a
Nivel de significancia						
A	*	NS	**	*	***	***
G	NS	NS	*	NS	NS	**
A*G	*	NS	NS	NS	NS	***

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, $0,01$ o $0,001$ respectivamente.

Figura 5.1. Evolución del color y el pardeamiento en cascos de manzana ‘Royal Gala’ sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardeantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂.



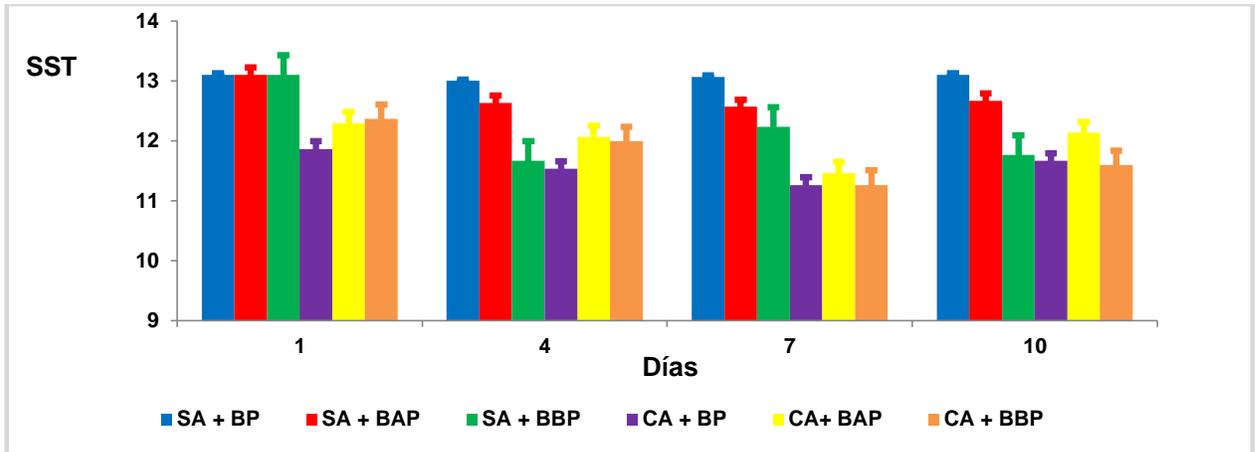


Figura 5.2. Sólidos solubles totales (SST) en cascos de manzana 'Royal Gala' sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂. Los valores son la media (n=3) ± EE.

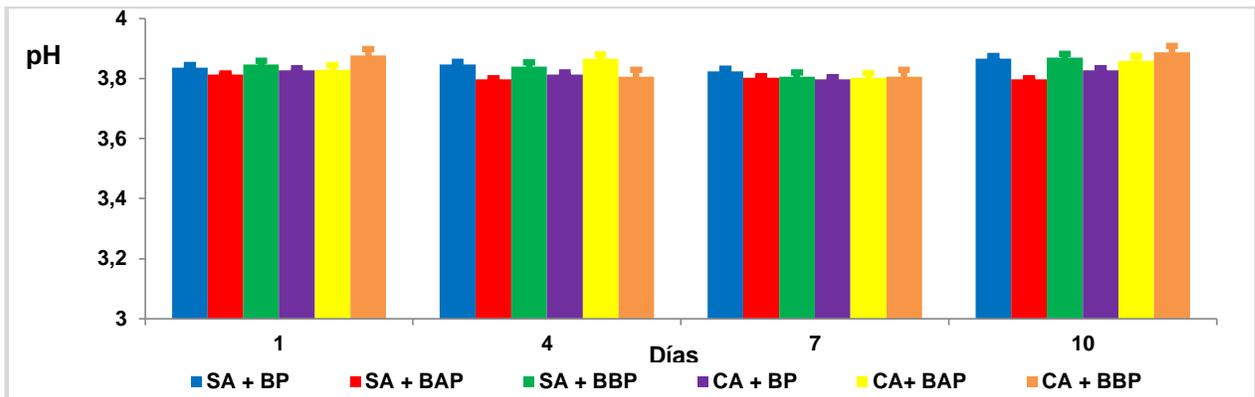


Figura 5.3. pH en cascos de manzana 'Royal Gala' sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂. Los valores son la media (n=3) ± EE.

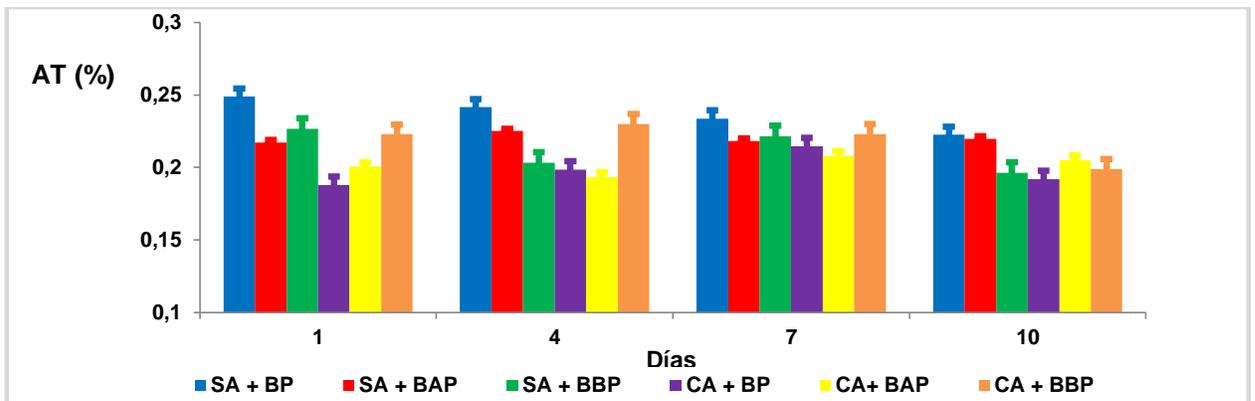


Figura 5.4. Acidez titulable (AT%) en cascos de manzana 'Royal Gala' sin (SA) y con (CA) aplicación de antipardecantes, envasados en EAM activa de 5% O₂, en bolsas perforadas (BP), de alta (BAP) y baja (BBP) permeabilidad al O₂. Los valores son la media (n=3) ± EE.

Cuadro 5.1. Evolución de la tasa respiratoria en cascos de manzana y fruta entera 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardecantes, almacenados a 5 °C por 10 días.

Tasa respiratoria (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)					
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Tratamiento					
Cascos SA	20,2 A	15,1 A	14,2 A	13,3 A	9,7 A
Cascos CA	20,1 Aa	14,5 Aab	14,0 Aab	12,2 Aab	9,0 Ab
Fruta entera	5,3 Ba	3,0 Bb	3,4 Bbc	2,7 Bbc	2,5 Bc

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 5.2. Evolución de la tasa de producción de etileno en cascos de manzana y fruta entera 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardecantes, almacenados a 5 °C por 10 días.

Tasa de producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)					
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Tratamiento					
Cascos SA	5,89 a	3,86 a	3,57 a	3,88 a	3,72 a
Cascos CA	5,35 a	3,47 a	3,43 a	3,45 a	3,34 a
Fruta entera	1,25 b	1,28 b	1,22 b	1,28 b	1,28 b

^z Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Letras mayúsculas comparan verticalmente y las letras minúsculas comparan horizontalmente.

Cuadro 5.3. Concentración de oxígeno (%O₂) en el espacio de cabeza de bolsas plásticas con diferente permeabilidad a los gases con cascos de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardecantes, almacenados a 5 °C por 10 días.

Concentración de oxígeno (%O ₂)					
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardecante (A)					
SA	9,5	10,0	10,4	13,0	13,0
CA	9,6	10,1	10,5	13,0	13,1
Tipo de Bolsa (TB)					
BP	18,6 a	20,5 a	20,5 a	20,6 a	20,6 a
BAP	5,0 b	4,9 b	6,3 b	14,5 b	14,9 b
BBP	5,0 b	4,7 b	4,5 c	4,0 c	3,5 c
Interacción (A*TB)					
SA + BP	18,7	20,4	20,6	20,7	20,7
SA + BAP	5,0	4,9	6,2	14,5	14,7
SA + BBP	5,0	4,7	4,5	3,9	3,5
CA + BP	18,6	20,5	20,5	20,6	20,6
CA + BAP	5,0	5,0	6,4	14,4	15,0
CA + BBP	5,1	4,7	4,6	4,0	3,6
Nivel de significancia					
A	NS	NS	NS	NS	NS
TB	***	***	***	***	***
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.4. Concentración de dióxido de carbono (%CO₂) en el espacio de cabeza de bolsas plásticas con diferente permeabilidad a los gases con cascos de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardecantes, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Concentración de dióxido de carbono (%CO ₂)				
	Día 0	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardecante (A)					
SA	0,1	0,9	1,6 b	1,9	2,1
CA	0,2	0,9	1,8 a	2,2	2,4
Tipo de Bolsa (TB)					
BP	0,1	0,2 b	0,3 c	0,3 c	0,7 c
BAP	0,3	1,2 a	2,0 b	2,6 b	2,6 b
BBP	0,2	1,3 a	2,8 a	3,3 a	3,4 a
Interacción (A*TB)					
SA + BP	0,0	0,1	0,3	0,3	0,6
SA + BAP	0,2	1,2	1,9	2,3	2,4
SA + BBP	0,2	1,3	2,6	3,2	3,3
CA + BP	0,2	0,2	0,3	0,4	0,8
CA + BAP	0,3	1,2	2,2	2,8	2,8
CA + BBP	0,2	1,4	3,0	3,5	3,5
Nivel de significancia					
A	NS	NS	*	NS	NS
TB	NS	***	***	***	***
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.5. Evolución de la Luminosidad (L) en cascos de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardecantes en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Luminosidad (L)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardecante (A)				
SA	77,8 b	77,6 b	76,4 b	73,8 b
CA	79,5 a	79,5 a	77,6 a	76,8 a
Tipo de Bolsa (TB)				
BP	78,7 ab	78,8 a	77,0 ab	75,2 ab
BAP	78,2 b	77,8 b	76,4 b	74,3 b
BBP	79,1 a	79,0 a	77,5 a	76,3 a
Interacción (A*TB)				
SA + BP	78,0	78,0	76,4	73,7
SA + BAP	77,3	76,7	75,8	73,2
SA + BBP	78,2	78,2	76,9	74,3
CA + BP	79,4	79,7	77,7	76,6
CA + BAP	79,0	79,0	76,9	75,5
CA + BBP	80,0	79,8	78,2	78,0
Nivel de significancia				
A	***	***	***	***
TB	**	***	**	**
A*TB	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.6. Evolución de la Croma (C*) y Tono (H_{ab}) en cascotes de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes envasados en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Croma (C)				Tono (H _{ab})			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)								
SA	28,0 a	28,5	29,6 a	29,9	96,0 a	95,4 a	87,0	80,5
CA	25,5 b	26,6	23,1 b	25,4	93,3 b	92,4 b	92,6	91,2
Tipo de Bolsa (TB)								
BP	26,8	27,4	26,9 a	27,9	94,6 ab	94,4 a	88,5	85,8
BAP	27,6	28,4	27,0 a	28,8	93,6 b	93,0 b	90,1	84,7
BBP	25,8	26,9	25,2 a	26,3	95,7 a	94,2 a	90,7	87,1
Interacción (A*TB)								
SA + BP	28,5	28,9 a	30,3	30,5 a	95,6	96,1	85,7 d	81,5 c
SA + BAP	28,7	28,9 a	30,9	31,8 a	95,4	94,5	88,3 c	81,3 c
SA + BBP	26,7	27,6 ab	27,7	27,4 b	97,0	95,6	86,9 cd	78,6 d
CA + BP	25,2	25,8 c	23,5	25,4 b	93,7	92,8	91,4 b	90,1 b
CA + BAP	26,4	27,8 ab	23,1	25,7 b	91,7	91,4	91,8 b	90,7 ab
CA + BBP	24,9	26,2 bc	22,7	25,1 b	94,5	92,8	94,6 a	92,8 a
Nivel de significancia								
A	**	***	***	***	***	***	***	***
TB	NS	*	*	***	*	*	**	**
A*TB	NS	*	NS	**	NS	NS	**	*

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.7. Evolución de la firmeza (kg-f) en cascotes de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes envasados en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Firmeza (kg-f)			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)				
SA	6,5 a	6,4 a	6,2	6,2
CA	6,1 b	6,0 b	5,9	5,9
Tipo de Bolsa (TB)				
BP	6,4	6,3	6,1	6,0
BAP	6,3	6,2	6,2	6,1
BBP	6,2	6,0	5,9	6,0
Interacción (A*TB)				
SA + BP	6,6	6,5	6,0	6,0
SA + BAP	6,6	6,4	6,5	6,4
SA + BBP	6,3	6,3	6,1	6,1
CA + BP	6,1	6,2	6,1	6,0
CA + BAP	6,1	6,0	5,9	5,8
CA + BBP	6,1	5,8	5,8	5,8
Nivel de significancia				
A	*	*	NS	NS
TB	NS	NS	NS	NS
A*TB	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas p < 0,05 para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para p < 0,05, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.8. Evaluación de atributos sensoriales; Apariencia y Pardeamiento en cascotes de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Apariencia				Pardeamiento			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)								
SA	10,4 b	7,9	6,0	4,3	3,3 a	6,2 a	8,0	9,7
CA	12,5 a	12,3	11,2	8,8	1,1 b	1,8 b	2,7	5,1
Tipo de Bolsa (TB)								
BP	11,3 b	10,1	8,0	6,2	2,5 a	3,9 b	6,0	7,8
BAP	11,1 b	9,1	7,7	5,1	2,7 a	4,9 a	6,1	8,8
BBP	12,1 a	11,0	10,1	8,3	1,5 b	3,2 c	3,9	5,7
Interacción (A*TB)								
SA + BP	10,2	7,9 d	5,1 d	4,1 e	3,5	6,0	8,8 a	9,9 a
SA + BAP	9,8	6,5 e	4,9 d	3,7 e	3,8	7,3	9,0 a	10,3 a
SA + BBP	11,1	9,1 c	8,0 c	5,0 d	2,7	5,2	6,1 b	9,1 b
CA + BP	12,3	12,3 ab	10,9 b	8,3 b	1,4	1,7	3,1 c	5,7 d
CA + BAP	12,3	11,7 b	10,6 b	6,5 c	1,6	2,5	3,2 c	7,4 c
CA + BBP	13,0	12,9 a	12,2 a	11,7 a	0,4	1,2	1,8 d	2,3 e
Nivel de significancia								
A	***	***	***	***	***	***	***	***
TB	***	***	***	***	***	***	***	***
A*TB	NS	**	***	***	NS	NS	***	***

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.9. Evaluación de atributos sensoriales; Firmeza y Sabores extraños en cascotes de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes en EAM activa de 5% O₂, con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Firmeza				Sabores extraños			
	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10
Antipardeante (A)								
SA	11,5	11,0 a	8,0	7,8	0,4	1,1	1,7	1,4
CA	11	10,1 b	7,8	7,6	0,4	1,2	1,4	1,2
Tipo de Bolsa (TB)								
BP	11,5	10,6	8,2 a	8,0 a	0,3	0,9 b	1,0 b	0,8 b
BAP	11,9	10,3	7,5 b	7,3 b	0,4	1,8 a	2,4 a	2,1 a
BBP	11,3	10,8	8,0 ab	7,8 a	0,4	0,8 b	1,4 b	0,9 b
Interacción (A*TB)								
SA + BP	11,8	11,1	8,2	8,0	0,2	0,7	0,9	1,0
SA + BAP	11,2	10,7	7,7	7,5	0,4	1,7	2,5	2,1
SA + BBP	11,5	11,1	8,2	8,0	0,4	0,7	1,7	1,0
CA + BP	11,2	10,1	8,3	8,1	0,5	1,0	1,0	0,7
CA + BAP	11,6	9,8	7,2	7,1	0,4	1,9	2,2	2,0
CA + BBP	11,2	10,4	7,9	7,7	0,3	0,8	1,0	0,8
Nivel de significancia								
A	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TB	NS	NS	*	***	NS	***	***	***
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.10. Recuentos microbiológicos; Aerobios mesófilos y microorganismos psicrófilos ($\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$) en cascos de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes en EAM activa de 5% O_2 , con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Aerobios mesófilos			Psicrófilos		
	Día 0	Día 5	Día 10	Día 0	Día 5	Día 10
Antipardeante (A)						
SA	0,00	1,83	2,48	0,00	2,10	2,69
CA	0,00	1,80	2,31	0,00	1,77	2,53
Tipo de Bolsa (TB)						
BP	0,00	2,05	2,58	0,00	2,02	2,63
BAP	0,00	1,79	2,32	0,00	1,87	2,79
BBP	0,00	1,60	2,28	0,00	1,93	2,42
Interacción (A*TB)						
SA + BP	0,00	1,98	2,65	0,00	2,20	2,64
SA + BAP	0,00	1,84	2,35	0,00	1,86	2,92
SA + BBP	0,00	1,68	2,45	0,00	2,25	2,52
CA + BP	0,00	2,13	2,52	0,00	1,83	2,61
CA + BAP	0,00	1,75	2,30	0,00	1,87	2,66
CA + BBP	0,00	1,52	2,12	0,00	1,62	2,32
Nivel de significancia						
A	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.

Cuadro 5.11. Recuentos microbiológicos; Enterobacterias, Hongos y levaduras ($\log \text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$) en cascos de manzana 'Royal Gala' con y sin aplicación de soluciones antipardeantes en EAM activa de 5% O_2 , con 3 tipos de bolsa con permeabilidad selectiva a los gases, almacenados a 5 °C por 10 días.

	Enterobacterias			Hongos y levaduras		
	Día 1	Día 5	Día 10	Día 1	Día 5	Día 10
Antipardeante (A)						
SA	0,00	2,61	3,26	0,00	0,00	0,91
CA	0,00	2,57	3,14	0,00	0,00	1,06
Tipo de Bolsa (TB)						
BP	0,00	2,69	3,26 ab	0,00	0,00	0,62
BAP	0,00	2,75	3,34 a	0,00	0,00	1,37
BBP	0,00	2,33	3,00 b	0,00	0,00	0,98
Interacción (A*TB)						
SA + BP	0,00	2,64	3,19	0,00	0,00	0,57
SA + BAP	0,00	2,87	3,50	0,00	0,00	1,25
SA + BBP	0,00	2,31	3,08	0,00	0,00	0,93
CA + BP	0,00	2,74	3,33	0,00	0,00	0,67
CA + BAP	0,00	2,63	3,17	0,00	0,00	1,49
CA + BBP	0,00	2,35	2,92	0,00	0,00	1,03
Nivel de significancia						
A	NS	NS	NS	NS	NS	NS
TB	NS	NS	*	NS	NS	NS
A*TB	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^z Letras diferentes indican diferencias estadísticas $p < 0,05$ para cada factor.

NS, *, **, ***. No significativo o significativo para $p < 0,05$, 0,01 o 0,001 respectivamente.