

**Centro de Investigación en Alimentación
Y Desarrollo. A.C.**

**USO DE ATMÓSFERAS CONTROLADAS DE
ULTRA BAJO OXÍGENO PARA PRESERVAR
LA CALIDAD DE MANZANA**

POR

MISAELODIN VEGA GARCÍA

TESIS APROBADA POR LA

**UNIDAD CUAUHTÉMOC
ENFISIOLOGIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
DE ZONAS TEMPLADAS**

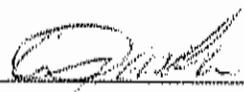
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá de dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión, del Director de la tesis.



Dr. Alfonso A. Gardea Bejar
Director General

APROBACIÓN

Los miembros del comité para revisar la tesis de Misael Odin Vega García, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias, en la Unidad CIAD-Cuauhtémoc.



Dr. Alfonso A. Gardea Bejar



Dr. Elhadi Yahia Kazuz



Dr. Victor M. Guerrero Prieto

Dra. Luz Vázquez Moreno



Dra. Graciela Ávila Quezada

DEDICATORIAS

A Dios por darme la oportunidad de vivir, la voluntad y la esperanza para salir adelante.

A mi esposa Ivón por brindarme su cariño y comprensión, así como su amor y apoyo en todo momento. Sin ti esto nunca hubiera sido posible.

A mis hijos, Alexis Misael, Iván Alejandro y Kassandra, mis grandes tesoros, que son mi mayor motivo para superarme.

A mi madre Herlinda por su amor, cariño y porque con su sacrificio constante me enseñó que los retos de la vida son para enfrentarlos siempre.

A mis hermanos Angel y Fátima por su cariño, comprensión, apoyo y amistad.

A mis sobrinos Ricardo, Normita y Angelito por esos momentos de risas y felicidad.

A mi tía Armida por su apoyo y por comprender que el progreso significa prosperidad.

A mi padre y abuelas por su ejemplo de honestidad y por ser desde el cielo mis protectores siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. por permitir mi formación académica en sus instalaciones y con su personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme el apoyo económico que me permitió dedicarme por completo a mis estudios.

A mi Institución, Universidad Autónoma de Sinaloa, porque a ella debo mi formación, a ella sirvo con alegría y por ella me supero. Gracias por el apoyo económico otorgado.

Al Dr. Alfonso A. Gardea Bejar, por darme la oportunidad de trabajar a su lado y permitirme aprender de sus conocimientos, así como por aceptar dirigir mi tesis.

Al Dr. Elhadi Yahia, por su confianza y sus valiosos consejos además de su constante interés por mi superación.

Al Dr. Victor M. Guerrero Prieto, porque su experiencia y apoyo fueron de gran contribución en este trabajo, pero sobre todo por su amistad.

A las Dras. Luz Vázquez M. y Graciela Avila Q., por su valioso apoyo en la revisión de este trabajo y por aceptar formar parte de mi comité.

A mis compañeros Antonio Orozco Avitia, Alejandro Romo Chacón, Javier Molina, Francisco Meda, Cecilia Figueroa, Roberto Martínez, Jorge Ruelas, Betty Zamarrón, David Berlanga, Mónica García, Hector Janacua, Georgina Vargas, Lupita e Iván; por todo el apoyo otorgado durante mi estancia en este centro y por su valiosa amistad; gracias por hacerme sentir como en casa.

A la empresa Frigoríficos La Norteña, en especial al CP. Oscar Armando Corral Pérez por las facilidades otorgadas para utilizar sus instalaciones y por su experiencia y consejos para con su servidor.

Al Ing. Santiago Zarazúa, pilar importante del buen desarrollo de este trabajo en los cuartos de atmósfera controlada que coordina.

Al MC. Jesús Ornelas Paz y a la Dra. Gloria Soto Zamora, por su amistad y compañerismo durante mi estancia en Querétaro.

A todas aquellas personas que con su apoyo y amistad hicieron de nuestra estancia en Ciudad Cuauhtémoc una etapa muy feliz de nuestras vidas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	
A. OBJETIVO GENERAL	4
B. OBJETIVOS PARTICULARES	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	
A. MANZANA	
1. Botánica	5
2. Características morfológicas	5
3. Variedades	5
4. Fisiología y bioquímica	
a. Crecimiento y desarrollo	6
b. Maduración	6
5. Producción	7
6. Composición química y cambios en postcosecha	
a. Agua	9
b. Carbohidratos	9
c. Ácidos orgánicos	11
d. Proteínas	11
e. Minerales	13
f. Vitaminas	14
g. Compuestos fenólicos	15
7. Índices de madurez y cosecha	17
8. Factores de calidad	18

a. Recomendaciones de Índices de madurez y calidad	
1). Manzana Golden Delicious	20
2). Manzana Red Delicious	20
3). Manzana Fuji	21
4). Manzana Granny Smith	21
5). Manzana Gala	22
9. Fisiología postcosecha	
a. Respiración	22
b. Producción de etileno	23
c. Respuesta al tratamiento con etileno	24
10. Requerimientos postcosecha	24
11. Desórdenes fisiológicos y su control	
a. Mancha amarga	26
b. Corazón café u oscuro	27
c. Magulladura	28
d. Daño por frío	29
e. Núcleo oscuro	30
f. Mancha Jonathan y mancha de lenticela	30
g. Descomposición senescente	30
h. Escaldado suave	31
i. Escaldado superficial	32
j. Corazón acuoso	33
k. Formación de alcohol	34
l. Escaldado solar	34
12. Sistema de manejo postcosecha	
a. Cosecha	34
b. Recepción en empaque frigorífico	36
c. Clasificación	36

d. Empacado	37
e. Almacenamiento	38
f. Transporte	38
B. ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS	
1. Atmósferas modificadas	42
2. Atmósferas controladas	43
a. AC convencional	49
b. AC rápida	51
c. AC de alto bióxido de carbono	51
d. AC de bajo etileno	51
e. AC de ultra bajo oxígeno	52
3. Uso de atmósferas controladas de ultra bajo oxígeno	52
4. Almacenamiento en atmósferas controladas en México	61
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	
A. MATERIAL	67
B. DESARROLLO EXPERIMENTAL	67
C. MÉTODOS	
1. Presencia e intensidad del escaldado y mancha amarga	70
2. Calidad externa	70
3. Textura	70
4. Daños debido a la baja concentración de O ₂	70
5. Índice de almidón	70
6. Efecto del sistema de bajo oxígeno sobre la respiración anaeróbica	71
7. Producción de etileno y velocidad de respiración	71
D. ANÁLISIS SENSORIAL	73

E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	74
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
A. COSECHA	75
B. EVALUACIONES MENSUALES	
1. Primer mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	79
b. Textura	81
c. Índice de almidón	83
d. Metabolitos de fermentación	85
e. Producción de etileno	88
2. Segundo mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	91
b. Textura	93
c. Índice de almidón	95
d. Metabolitos de fermentación	97
e. Producción de etileno	101
3. Tercer mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	104
b. Textura	106
c. Índice de almidón	108
d. Metabolitos de fermentación	110
e. Producción de etileno	111
4. Cuarto mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	119
b. Textura	121
c. Índice de almidón	125
d. Metabolitos de fermentación	125
e. Producción de etileno	131

5. Quinto mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	135
b. Textura	137
c. Índice de almidón	139
d. Metabolitos de fermentación	139
e. Producción de etileno	145
6. Sexto mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	148
b. Textura	150
c. Índice de almidón	153
d. Metabolitos de fermentación	153
e. Producción de etileno	159
7. Séptimo mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	162
b. Textura	162
c. Metabolitos de fermentación	166
d. Producción de etileno	170
8. Octavo mes de almacenamiento	
a. Calidad externa	172
b. Textura	174
c. Metabolitos de fermentación	176
d. Producción de etileno	180
C. ANÁLISIS SENSORIAL	183
VI. CONCLUSIONES	187
VII. SUGERENCIAS	189
VIII. LITERATURA CITADA	190

ÍNDICE DE CUADROS

	Cuadro	Página
1	Producción mundial de manzana	8
2	Principales países productores en el 2003	8
3	Producción de manzana en América Latina y El Caribe	10
4	Contenido de azúcar y pectina (%) de algunas variedades de manzana	12
5	Ácidos orgánicos presentes en manzana	13
6	Contenido de aminoácidos en manzana fresca	14
7	Minerales en manzana fresca	15
8	Contenido de vitaminas en 100 g de manzana fresca	16
9	Sólidos solubles totales y firmeza como factores de calidad para manzana según el Departamento de Agricultura y Alimentos de California en Estados Unidos	19
10	Condiciones para el almacenamiento de manzana en atmósferas controladas	50
11	Principales Estados productores de manzana en México durante 2003	64
12	Capacidad de almacenamiento de manzana en el Estado de Chihuahua	65
13	Capacidad de almacenamiento de manzana en AC en la zona de Cuauhtémoc	65
14	Evaluación de manzana Red y Golden Delicious recién cosechada	76
15	Determinación sensorial de la calidad de manzana Red y Golden Delicious	185

ÍNDICE DE FIGURAS

	Figura	Página
1	Velocidad de respiración (A) evaluada en agosto antes de la cosecha (6 de septiembre) y velocidad de producción de etileno (B) evaluada a 20 °C iniciando un día después de la cosecha de manzanas Red Delicious (●) y Golden Delicious (▽).	77
2	Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (□), Ref+DPA (▨), AC (▩), AC+DPA (⊠), ULO (⊞) y ULO+DPA (⊟).	80
3	Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□).	82
4	Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□).	84
5	Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□).	86
6	Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□).	87
7	Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□).	90
8	Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente	92

- almacenadas durante dos meses en Ref (□), Ref+DPA (▨), AC (▩), AC+DPA (▪), ULO (≡) y ULO+DPA (≡).
- 9 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 94
- 10 Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 96
- 11 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 98
- 12 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 100
- 13 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 103
- 14 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (□), Ref+DPA (▨), AC (▩), AC+DPA (▪), ULO (≡) y ULO+DPA (≡). 105
- 15 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 107
- 16 Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 109

- 17 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 112
- 18 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 114
- 19 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 118
- 20 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (▣), Ref+DPA (▤), AC (▥), AC+DPA (▦), ULO (▧) y ULO+DPA (▨). 120
- 21 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 122
- 22 Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 126
- 23 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 128
- 24 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 130
- 25 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). 134

- 26 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (□), AC+DPA (▨), ULO (▩) y ULO+DPA (▪). 136
- 27 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 138
- 28 Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 140
- 29 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 142
- 30 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 144
- 31 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 147
- 32 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (□), AC+DPA (▨), ULO (▩) y ULO+DPA (▪). 149
- 33 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 152
- 34 Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 154

- 35 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 156
- 36 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 158
- 37 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). 161
- 38 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (□) y ULO+DPA (▣). 163
- 39 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 165
- 40 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 167
- 41 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 169
- 42 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 171
- 43 Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (□) y ULO+DPA (▣). 173
- 44 Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 175

- 45 Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 177
- 46 Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 179
- 47 Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). 182

RESUMEN

La manzana (*Malus domestica* L) es una de las frutas más consumidas gracias a sus atributos de calidad y su valor nutricional. En México, provoca una gran derrama económica durante su comercio y transporte pero enfrenta problemas de pérdida de la calidad consecuencia de un almacenamiento deficiente y la posibilidad de encontrar síntomas de escaldado. El Estado de Chihuahua genera una gran parte de la producción nacional; sin embargo, se estima que se puede almacenar solo la mitad de la fruta producida y de ésta solo el 40 % en atmósfera controlada (AC). Esta falta de infraestructura se traduce en una corta vida de anaquel que limita el comercio de la fruta. La tecnología de AC para el almacenamiento de manzana se ha desarrollado bastante en los últimos años y a la fecha estas mejoras no se han implementado en México. Dentro de éstas se encuentra el almacenamiento en AC de ultra bajo oxígeno (ULO) que tiene la particularidad de prolongar aun más la vida de anaquel de la fruta y controlar desórdenes fisiológicos como el escaldado y que se encuentra en uso en otras regiones del mundo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad del uso de concentraciones ultra bajas (0.7 - 1.2%) de oxígeno como una alternativa al uso de AC tradicional conservando las características de calidad de la manzana mexicana y buscando un método no químico que, además de prolongar la vida de anaquel, sirva de control para el escaldado. Para esto, fruta de las variedades Red Delicious y Golden Delicious se dividió en 6 lotes para cada una y se aplicó difenilamina (DPA, 2000 g l⁻¹) a 3 de ellos. Un lote sin DPA acompañado de otro lote con DPA se almacenaron en condiciones de refrigeración comercial (Ref) (0 °C y 90 - 95 % HR) por 4 meses, otros dos fueron almacenados en atmósfera controlada convencional (AC) (1.5 - 1.7 % O₂ + 2 - 2.2 % CO₂; 0 °C; 90 - 95 % HR) por 6 meses seguido por almacenamiento en aire (0 °C) por hasta 12 días y los últimos se almacenaron en atmósfera controlada de ultra bajo O₂ (ULO) (0.7 - 1.2 % O₂ + 0 % CO₂; 0 °C, 90 - 95 % HR) por 8 meses seguido por almacenamiento en aire (0 °C) por hasta 12 días. Se evaluó la presencia e intensidad del escaldado, textura, daños debido al bajo O₂, índice de almidón, producción de etanol y acetaldehído en el tejido, producción de etileno y velocidad de respiración; se realizó un análisis sensorial después de 4 meses de almacenamiento usando un panel no entrenado de 45 personas que evaluó los tres tratamientos (Ref, AC y ULO).

controlada de ultra bajo O₂ (ULO) (0.7 ± 1.2 % O₂ ± 0.0 %), CO₂: 0 °C, 90 - 95 % RH) por 8 meses seguido por almacenamiento en aire (0 °C) por hasta 12 días. Se evaluó la presencia e intensidad del escaldado, textura, daños debido al bajo O₂, Índice de almidón, producción de etanol y acetaldehído en el tejido, producción de etileno y velocidad de respiración; se realizó un análisis sensorial después de 4 meses de almacenamiento usando un panel no entrenado de 45 personas que evaluó los tres tratamientos (Ref, AC y ULO).

Los tratamientos (je AC y ULO preservaron la calidad de la fruta durante el almacenamiento. La fruta almacenada en Ref perdió su calidad después de 4 meses de almacenamiento. La fruta almacenada en ULO perdió su capacidad de producción de etileno y mostró velocidades de producción comparada con el tratamiento AC. Se desarrollaron aromas a alcohol en la fruta almacenada en ULO, pero disminuyeron y en algunos casos desaparecieron cuando la fruta fue posteriormente mantenida por un corto tiempo a 20 °C. Sin embargo, este aroma fue persistente y se relacionó con los incrementos en las concentraciones de etanol y acetaldehído. El análisis sensorial reveló que la fruta de los tratamientos AC y ULO fue más aceptada por los panelistas que la fruta correspondiente al tratamiento Ref. No se presentaron síntomas de oscurecimiento en cáscara y pulpa. No se pudo observar síntomas de escaldado en ningún tratamiento. La tecnología de ultra bajo oxígeno desarrollada y aplicada para el almacenamiento de manzana no aportó resultados más favorables que la AC convencional utilizada para las variedades Red y Golden Delicious cosechadas en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua.

ABSTRACT

Apple (Malus domestica, L.) is one of the most appreciated fruits due to its quality and nutritional attributes. In Mexico, Chihuahua state is the main producer but faces some problems such as loss of quality due to a deficient storage and the possibility of superficial scald. About 40 % of the annual production is destined to controlled atmosphere (CA) storage. This lack of storage facilities limits the marketing life of the fruit. CA technology for apple storage have improved during last year but this improvements are not implemented in Mexico. Ultra low oxygen (ULO) is a CA system that prolongs storage life of the fruit, controls some physiological disorders such as superficial scald and is successfully used in some regions of the world.

The objective of this work was to investigate the effectiveness of ultra low oxygen (ULO) controlled atmosphere as an alternative to traditional controlled atmosphere trying to maintain the apple quality and looking for a chemical treatment that prolongs storage life and controls superficial scald. Fruit, with or without DPA (2000 g l⁻¹), were stored in commercial refrigeration (Ref) at 0 °C and 95 % RH for up to 4 months, CA (1.5 - 1.7 % O₂ + 2 - 2.2 % CO₂) at 0 °C and 95 % RH for up to 6 months, or ULO (0.7 - 1.2 % O₂ + 0% CO₂) at 0 °C and 95 % RH for up to 8 months. A monthly sample was withdrawn for evaluation, and was maintained at 0 °C for up to 12 days. External quality, presence of scald, ethylene production, respiration rate, ethanol and acetaldehyde concentrations were evaluated. A sensory analysis was done after four months of storage using a 45 persons non trained panel. ULO and CA treatments preserved fruit quality during storage. Fruit stored in Ref lost its quality after 4 months of storage at 0 °C. Fruit stored in ULO lost its capacity of ethylene production and showed lower rates than CA. Off-flavors developed after 3 months of storage in ULO apples, but decreased when the fruit was subsequently held for a short period at 20 °C. However, off-flavors were persistent and related to increases in ethanol

and acetaldehyde concentrations. Sensory analysis revealed that CA and ULO treatments were accepted by panelists than the control. There were no symptoms of low oxygen injury in peel and pulp of both cultivars and there was no presence of superficial scald in any treatment, ULO technology developed for the storage of Red and Golden Delicious apples grown in Cd. Cuauhtemoc, Chihuahua resulted effective in prolonging storage life but didn't report more advantageous results than conventional CA.

I. INTRODUCCIÓN

El comercio de frutas y hortalizas frescas surge de su importancia en la dieta humana. El hombre ha mantenido estos productos en su dieta para cubrir requerimientos nutricionales, proveer variedad, sabor y apariencia estética. Las frutas y hortalizas son fuentes importantes de carbohidratos, minerales, vitaminas y en menor medida de proteínas (Wills y col., 1989). Diversas asociaciones y organismos profesionales de la salud recomiendan un mayor consumo diario de frutas y hortalizas y una menor ingestión de productos de origen animal.

Desde hace algún tiempo, existe una preocupación creciente por mejorar las condiciones de preservación después de la cosecha, dada la gran cantidad de productos existentes y el marcado interés por cubrir la demanda de productos de calidad. La fisiología y bioquímica de frutas y hortalizas frescos es de vital importancia durante su manejo postcosecha. En el entendido de que un producto es cosechado con una buena calidad, es indispensable cuidar cada una de las etapas por las que debe atravesar después de su cosecha hasta la mesa del consumidor. Con esto se asegura la integridad del producto y se está en posición de competir en el mercado.

La manzana es una de las frutas más representativas de este género debido a su apariencia estética, color, sabor y aporte nutricional. México produce cerca de 500 mil toneladas métricas de este fruto al año. Sólo para el 2003 se obtuvo una producción de 493,844 toneladas, de las cuales 350,000 correspondieron al Estado de Chihuahua (Sagarpa, 2004). Esta industria representa un importante factor en la economía no sólo estatal, sino con impacto nacional, dada la derrama que provoca con el transporte y comercialización. Toda la fruta producida en el país es consumida internamente.

Actualmente, la infraestructura disponible de almacenamiento en el Estado de Chihuahua es insuficiente ya que se pueden almacenar alrededor de 287,000 toneladas de las cuales solo el 40 % van destinadas a cuartos de atmósferas controladas y el resto se dirigen a cuartos de refrigeración convencional. Se cuenta con una capacidad de almacenamiento cercana a las 112,000 toneladas para atmósfera controlada mientras que en refrigeración se pueden almacenar cerca de 175,000 toneladas con una capacidad por cuarto que varía entre 1,200 y 2,000 pallets de 300 a 400 kilogramos. Sin embargo, en varias regiones del Estado existe un marcado interés por implementar el sistema de atmósfera controlada utilizando instalaciones nuevas o las convencionales actuales.

La diferencia en tiempo de almacenamiento de la fruta es muy marcada, mientras que por refrigeración convencional la calidad del producto se puede mantener hasta por 4 meses, el uso de atmósferas controladas provee una calidad aceptable después de 7 a 8 meses de cosechada lo que repercute en un mejor precio de mercado.

La tecnología de atmósferas controladas se ha desarrollado favorablemente en los últimos años. Estos avances incluyen cuartos más herméticos, sistemas de separación de aire, sistemas de establecimiento de la atmósfera y sistemas de monitoreo de gases, entre otros (Yahia, 1998). Estas mejoras reducen el deterioro de la calidad del fruto y prolongan su vida de anaquel. Sin embargo, algunas de estas mejoras no están implementadas en México y es indispensable utilizar sistemas avanzados que permitan una competencia adecuada con otras regiones del mundo.

El uso de sistemas mejorados de atmósferas controladas que ayuden a mantener la calidad del fruto en mayor nivel que la atmósfera controlada convencional que se utiliza actualmente, es una recomendación que se puede sugerir a la industria manzanera mexicana. Una alternativa es el sistema de ultra bajo oxígeno (ULO, por sus siglas en inglés) que es utilizado en otras

regiones del mundo desde hace más de 20 años y que ha demostrado ser muy eficiente para mantener la calidad de la manzana por períodos más largos que la atmósfera controlada convencional.

Además de su bondad en el tiempo de vida de la fruta, ULO ha probado ser efectivo en el control de algunos desórdenes fisiológicos como el escaldado que en ocasiones suele presentarse en nuestro país y que se traduce en pérdidas económicas importantes.

Es importante señalar que la implementación de esta modalidad de almacenamiento en atmósferas controladas requiere una capacidad de refrigeración mayor que el cuarto frío normal, un sellado adecuado (hermeticidad) en puertas, paredes, techo y piso, un sistema que absorba la diferencia de presión entre el cuarto y el ambiente, así como ventanas de inspección y puertas de muestreo que faciliten el acceso durante el almacenamiento. Además, se requiere un control más estricto sobre los niveles de los gases a los que se expone la fruta.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y aplicar condiciones de almacenamiento en atmósferas controladas con niveles ultra bajos de oxígeno (0.7 – 1.2 %) como una alternativa al uso de atmósfera controlada tradicional sin alterar las características de calidad propias de la manzana mexicana y buscando un método no químico que, además de prolongar la vida de anaquel, sirva de control para el escaldado.

B. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar los cambios en calidad (daños superficiales, calidad externa, Índice de almidón y textura) de dos variedades de manzana almacenadas en atmósferas controladas de bajo oxígeno (0.7 – 1.2 %) y compararlas con la atmósfera controlada convencional.
2. Valorar el potencial del sistema de atmósferas controladas de bajo oxígeno como una alternativa al uso de difenilamina (DPA) para evitar el escaldado en manzana.
3. Evaluar los cambios en velocidad de respiración y producción de etileno de dos variedades de manzana almacenadas en atmósferas controladas de bajo oxígeno (0.7 - 1.2 %) y en atmósfera controlada convencional.
4. Evaluar el efecto del uso de atmósferas controladas de bajo oxígeno (0.7 – 1.2 %) sobre la producción de acetaldehído y etanol en dos variedades de manzana.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. MANZANA

1. Botánica

La manzana (*Malus domestica* L.) es un fruto pomo de gran importancia comercial debido a su alto valor remunerativo. Se cree que es el resultado de una hibridación entre *Malus silvestris* y otras especies *Malus*, teniendo su origen en la región sur del Cáucaso; actualmente, se cultiva en casi todo el mundo.

El género *Malus* pertenece a la familia Rosaceae y a la subfamilia Pomoidae. Se clasifica en 25 especies de las cuales *Malus pumila* se considera el padre de la mayoría de los cultivos actuales. Otras especies son *Malus domestica* (manzana cultivada), *Malus silvestris*, *Malus floribunda*, *Malus baccata* y *Malus coronasea*. *Malus sylvestris* y *Malus pumila* son consideradas las principales especies ancestrales de la manzana moderna, pero *Malus spectabilis*, *Malus pratti*, *Malus prunifolia* y *Malus astracanea* contribuyeron al reservorio genético de manera significativa (Lal y Sharma, 1995).

2. Características morfológicas

La morfología de los frutos en general varía ampliamente debido a que se derivan de distintas partes de la planta (pedicelo, arilo, receptáculo y pericarpio, por mencionar algunas) (Kays, 1991). La manzana proviene de uno o más ovarios maduros, fusionados y embebidos en el tejido; el cual, junto con el carpelo, se torna pulposo y comestible (Salunkhe y Desai, 1984; Lal y Sharma, 1995).

3. Variedades

Existen aproximadamente 5000 variedades de manzana en todo el mundo, de las cuales sólo unas pocas alcanzan el status de cultivares

comerciales. Los nuevos cultivares generalmente son más resistentes a enfermedades y más productivos que los ya establecidos (Lal y Sharma, 1995). La variedad Red Delicious es la más explotada en los Estados Unidos y ha reemplazado otras variedades a nivel mundial contribuyendo a un aumento en la producción (Salunkhe y Desai, 1984; Lal y Sharma, 1995). Otras variedades importantes son Golden Delicious, McIntosh, Jonathan, Williams, Early Red, Grimes Golden, Yellow Newton, Rome Beauty, Stayman Winesap, Winesap, Fuji y York Imperial. Para los tipos Delicious se encuentran Starking Delicious, Standard Delicious, Red King Delicious y Hi-Early Delicious (Salunkhe y Desai, 1984).

4. Fisiología y bioquímica

a. Crecimiento y desarrollo

El desarrollo de la manzana está caracterizado por un continuo alargamiento del receptáculo. La unión entre receptáculo y carpelo empieza a ser más cercana, hasta que el primero se introduce casi por completo en el segundo para formar la porción más grande de la pulpa (Lal y Sharma, 1995). Una fase rápida de división celular ocurre en las primeras semanas después de la polinización, para dar cabida a la expansión celular que es la principal etapa de crecimiento del fruto y durante la cual, las células meristemáticas se diferencian en los diversos tejidos del mismo. La longitud del período de crecimiento de la manzana desde la caída de los pétalos hasta la cosecha comercial varía considerablemente entre cultivares (Salunkhe y Desai, 1984; Lal y Sharma, 1995).

b. Maduración

La maduración de la fruta es un proceso complejo que incluye muchos cambios en textura, firmeza, color de la cáscara, contenido de volátiles y

composición química. Además, va precedida o acompañada por un aumento en la producción de CO₂ y de etileno.

Los cambios generales asociados con la maduración de manzana se presentan como ablandamiento de la pulpa, conversiones hidrolíticas de material de reserva y cambios en el contenido de pigmentos y compuestos responsables del aroma del fruto. El contenido de clorofila de la piel (epidermis) y pulpa de la fruta se degrada con el avance de la maduración. Se ha reportado una pérdida de aproximadamente 75 % del contenido total de clorofila durante la maduración de manzana Golden Delicious, acompañada de un marcado incremento en el contenido de xantofilas (Lal y Sharma, 1995). La maduración también provoca un incremento en el aroma de la fruta. Se conoce que para el caso de manzana existen alrededor de 300 compuestos producidos durante las diferentes etapas de la madurez; sin embargo, sólo unos pocos tienen un impacto sobre la calidad sensorial de la fruta (Yahia y col., 1990). Los principales compuestos responsables del aroma son hexanal, butilacetato, hexilacetato, 2 - metilbutanoato y etil 2 - metilbutanoato (Song y Bangerth, 1996), sin embargo este último parece ser un compuesto inducido en poscosecha (Yahia, 1994). Aaby y col. (2002) reportaron que etil butanoato, etil 2-metilbutanoato y etil hexanoato son los principales componentes responsables del aroma en manzana Gravenstein y que etil butanoato podría ser un compuesto apropiado para indicar el grado de madurez del fruto debido a que su concentración incrementa durante el almacenamiento.

5. Producción

La producción mundial de manzana se muestra en el cuadro 1. Se puede observar un valor de producción constante en los últimos seis años. Estados Unidos de Norteamérica encabeza la lista de países productores en el 2003 (cuadro 2) aportando casi 4.3 millones de toneladas seguido por Polonia y

Turquía con una producción considerablemente menor (más de 2 millones de toneladas menos). México ocupa el lugar número 20 detrás de Chile y Hungría.

Cuadro 1. Producción mundial de manzana

Año	Producción (Tons)
1997	57,427,497
1998	56,975,313
1999	57,726,155
2000	59,963,060
2001	60,237,466
2002	56,213,624
2003	57,938,065

FAO, 2004

Cuadro 2. Principales países productores en el 2003

Lugar	País	Producción (Tons)
1	Estados Unidos de Norteamérica	4,241,810
2	Polonia	2,200,000
3	Turquía	2,200,000
4	Italia	2,052,640
5	Alemania	1,600,000
10	Chile	1,100,000
15	Hungría	550,000
20	México	460,185
25	Bélgica	350,000

FAO, 2004

México ocupa el cuarto lugar en producción de manzana en América Latina y el Caribe, siendo superado solamente por Brasil, Argentina y Chile (ver cuadro 3).

6. Composición química y cambios postcosecha

La composición química de las manzanas es muy variable, debido principalmente a la variedad, región de crecimiento, clima, etapa de madurez, prácticas culturales y procesamiento (Lal y Sharma, 1995).

a. Agua

Para la mayoría de los productos hortofrutícolas es importante cosechar cuando exista la mayor cantidad de agua posible, esto debido a su impacto en la textura, su ausencia provoca ablandamiento, flacidez y pérdida de turgencia y jugosidad (Wills y col., 1989; Kader, 1992). El contenido de agua en manzana varía de 75 a 90 % dependiendo del cultivar, etapa de desarrollo, madurez y factores climáticos.

b. Carbohidratos

Son generalmente el grupo de constituyentes más grandes en frutas (Wills y col. 1989). La concentración final de sólidos solubles de una fruta está gobernada por la concentración total de carbohidratos al momento de la cosecha, lo cual puede variar significativamente entre frutas, variedades, huertos y temporadas (Martinsen y Schaare, 1998). En manzana, los carbohidratos son los principales constituyentes encontrándose almidón, azúcares, pectina, celulosa y hemicelulosa.

Los carbohidratos totales en manzana representan alrededor del 15 %, correspondiendo valores similares para fructosa y glucosa (0.89 – 5.58 %) y valores de 0.88 – 5.62 % para sacarosa. La manzana es una fuente importante

de fibra dietaria. El contenido de ácido péctico es diferente entre cultivares (Cuadro 4) (Lal y Sharma, 1995).

Cuadro 3. Producción de manzana en América Latina y El Caribe

Producción (Tons)	Año					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
América Latina y Caribe	3,442,341	3,656,294	3,473,071	3,932,709	3,585,384	3,653,635
Argentina	1,033,520	828,800	828,800	1,428,367	1,000,000	1,000,000
Bolivia	8,880	9,750	10,000	10,000	9,810	9,810
Brasil	791,437	944,812	1,160,475	705,515	857,824	842,256
Chile	1,000,000	1,165,000	750,000	1,075,000	1,050,000	1,100,000
Ecuador	25,080	12,201	12,445	12,902	11,177	7,556
Granada	520	520	520	530	540	540
Guatemala	27,000	27,500	27,500	29,112	28,903	28,903
Honduras	150	150	150	145	145	145
México	370,244	442,702	450,000	457,889	428,216	460,185
Paraguay	500	500	500	500	550	600
Perú	126,805	150,014	171,000	158,300	123,742	135,000
San Vicente/ Granadinas	635	635	635	640	640	640
Uruguay	57,570	73,710	61,046	53,809	73,837	68,000

FAO, 2004

Los cambios en carbohidratos durante la maduración de manzana incluyen: conversión de almidón a azúcar y conversión de almidón y azúcar a CO₂ y agua a través de la respiración. Además, la degradación de pectinas y

otros polisacáridos provoca el ablandamiento de la fruta y un aumento en su susceptibilidad a daños mecánicos (Kader, 1992).

Las condiciones de desarrollo también influyen en la concentración de carbohidratos del fruto. DeEll y Prange (1992) analizaron la calidad postcosecha y atributos sensoriales en manzanas Cortland y McIntosh desarrolladas orgánica y convencionalmente. Encontraron un mayor contenido de sólidos solubles en el fruto desarrollado orgánicamente que en el desarrollado convencionalmente, coincidiendo este comportamiento para ambos cultivos.

c. Ácidos orgánicos

Son de los constituyentes más importantes en manzanas debido a su papel en el sabor. El ácido principal en la fruta es el málico, aunque también existen el cítrico, láctico y oxálico. La acidez total en jugo de manzana de diferentes variedades es entre 0.22 a 0.78 %, con un promedio de 0.42 % como ácido málico. A su vez, la variación en pH entre cultivos oscila entre 3.36 y 4.25 (Lal y Sharma, 1995). Los ácidos encontrados en cáscara y pulpa se observan en el cuadro 5.

d. Proteínas

Las frutas y hortalizas frescas no son fuentes importantes de proteínas en la dieta humana. La mayoría de estas proteínas son de tipo funcional, como las enzimas, más que del tipo de almacenamiento como en granos y nueces (Wills y col., 1989).

El contenido de proteínas en manzana fresca con cáscara es cercano a 0.19 % y la proporción de los diferentes aminoácidos (cuadro 6) muestra que los ácidos aspártico y glutámico son los predominantes seguidos por lisina y leucina (Lal y Sharma, 1995). Los cambios en aminoácidos durante la maduración del fruto pueden influir en la calidad de su sabor (Kader, 1992).

Cuadro 4. Contenido de azúcar y pectina (%) de algunas variedades de manzana.

Variedad	Azúcares totales	Azúcares reductores	Sacarosa	Pectina
Delicious	11.79	8.81	2.89	0.42
Golden Delicious	12.39	7.89	3.78	0.64
Jonathan	11.45	8.29	2.79	0.59
Jubilee	12.60	8.02	3.90	0.61
McIntosh	10.89	8.30	2.61	0.52
Newton	11.67	7.50	4.18	0.60
Spartan	11.32	9.00	1.95	0.54
Stayman	11.69	7.05	5.02	0.61
Winesap	12.82	10.67	3.14	0.75
Northern Spy	12.05	9.15	2.69	0.63
Stirling	11.98	7.94	3.16	0.60
Rome Beauty	10.65	7.16	3.49	0.56
York Imperial	12.38	8.07	4.31	0.53
Lowry	13.23	8.64	3.59	0.32

Lal y Sharma, 1995.

Cuadro 5. Ácidos orgánicos presentes en manzana.

Fruta completa o jugo	Cáscara	Pulpa
Málico	Glioxílico	Pirúvico
Quínico	Isocítrico	Málico
Glucónico	Málico	Cítrico
Succínico	Cítrico	Quínico
Láctico	Quínico	Cinámico
Galacturónico	Cinámico	Citramálico
Citramálico	Glicérico	Glicérico
Músico	α - Oxoglutarico	α - Oxoglutarico
	Pirúvico	

Lal y Sharma, 1995.

e. Minerales

Los minerales en manzana fresca se muestran en el cuadro 7. El principal mineral para este fruto, así como para otros, es potasio, comprendiendo más del 40 % de las cenizas totales (Wills y col., 1989). En manzana fresca se ha reportado un contenido de cenizas de 0.26 %, mientras que para el fruto deshidratado se reportan valores de 4 a 5 veces más debido principalmente al efecto de la concentración. Además, la variabilidad de suelos en distintas regiones produce diversos valores para este nutriente (Lal y Sharma, 1995).

Otro elemento importante es el calcio. Su deficiencia causa desórdenes fisiológicos en frutas y hortalizas. Este mineral es el nutriente más importante que afecta la calidad postcosecha de manzana y su análisis es utilizado

ampliamente para tomar decisiones comerciales relacionadas con el almacenamiento y mercadeo de este fruto (Knee y Srivastava, 1995).

Cuadro 6. Contenido de aminoácidos en manzana fresca

Aminoácido	%	Aminoácido	%
Alanina	0.007	Lisina	0.012
Arginina	0.006	Metionina	0.002
Ácido aspártico	0.034	Fenilalanina	0.005
Cistina	0.003	Prolina	0.002
Ácido glutámico	0.020	Serina	0.006
Glicina	0.008	Treonina	0.007
Histidina	0.003	Triptofano	0.002
Isoleucina	0.008	Tirosina	0.004
Leucina	0.012	Valina	0.009

Lal y Sharma, 1995.

f. Vitaminas

Más del 90 % de la vitamina C es proporcionada en la dieta humana por frutas y hortalizas (Lee y Kader, 2000). El contenido de vitamina C en manzana es de aproximadamente 5 mg/100 g de fruto. La manzana contiene cantidades bajas de otras vitaminas y, en comparación con la cantidad diaria recomendada, los valores se consideran insignificantes (Lal y Sharma, 1995).

Cuadro 7. Minerales en manzana fresca

Mineral	ppm	Mineral	ppm
Calcio	7.0	Cloro	4.2 – 6.2
Hierro	1.8	Cromo	0.03
Magnesio	50.0	Cobalto	0.10
Fósforo	70.0	Yodo	0.02
Potasio	1150.0	Molibdeno	0.30
Zinc	0.4	Selenio	0.9 – 1.6
Cobre	0.4	Sodio	8.9 – 9.2
Manganeso	0.4		8.9

Lal y Sharma, 1995

La recomendación diaria de vitamina C es de aproximadamente 50 mg y se considera que es un antioxidante natural que ayuda a prevenir enfermedades, principalmente escorbuto, y a mantener saludable la piel. Además, existen reportes que indican que reduce los riesgos de arterioesclerosis, enfermedades cardiovasculares y algunas formas de cáncer (Lee y Kader, 2000). Su pérdida provoca deterioro en la calidad nutricional del fruto. El contenido de vitaminas en manzana se muestra en el cuadro 8.

g. Compuestos fenólicos

Estos compuestos no nutritivos muestran actividad antioxidativa, antimutagénica y anticarcinogénica. Existen reportes de que las enfermedades del corazón y algunos tipos de cáncer están inversamente asociados con el consumo de flavonoides. Adicionalmente, las sustancias fenólicas juegan un papel crucial en la determinación de las características de color y sabor (como

amargor y astringencia) en manzana fresca (Awad y de Jager, 2000). En esta fruta, estos compuestos se mantienen estables después de la cosecha y durante el almacenamiento en refrigeración y en atmósfera controlada manteniendo sus efectos benéficos por largo tiempo (Awad y de Jager, 2003).

Cuadro 8. Contenido de vitaminas en 100 g de manzana fresca

Vitamina	Concentración
Ácido ascórbico	5.7 mg
Tiamina	0.017 mg
Riboflavina	0.014 mg
Niacina	0.077 mg
Ácido pantoténico	0.061 mg
Vitamina B6	0.048 mg
Ácido fólico	2.8 mcg
Vitamina A (Retinol)	5.3 mg

Lal y Sharma, 1995

Varios tipos de compuestos fenólicos han sido encontrados en manzana, entre ellos: (1) lignina; (2) flavonoides, principalmente quercetin glucósidos y procianidinas; (3) fenoles simples, principalmente ácidos fenólicos como el ácido clorogénico y (4) antocianinas (Ju y col., 1996). Para manzana madura se han encontrado valores totales de 0.15 – 2.5 %; sin embargo, estos datos pueden verse afectados por algunos factores como la variedad, etapa de madurez, condiciones ambientales y método usado para su estimación.

Los compuestos identificados en manzana son ácido quínico, epicatequina, quercetin-3-O- β -D-galactopiranosido, floretin-2-O-glucosido y cianidin-3-galactopiranosido (Guyot y col., 2002). Estos compuestos están localizados principalmente en la vacuola, su concentración es alta en frutas jóvenes y disminuye a medida que la fruta se desarrolla. Están envueltos en el oscurecimiento enzimático de productos de manzana (Lal y Sharma, 1995) y su producción, asociada con la maduración de este fruto, es muy importante en su calidad comestible (Kader, 1992).

7. Índices de madurez y cosecha

Algunos aspectos de las frutas han sido utilizados para tratar de establecer índices de madurez adecuados utilizando distintos métodos que buscan determinar un valor que defina la mínima calidad de madurez aceptable (Kader, 1992).

Uno de los índices de maduración utilizados para manzanas es el tiempo transcurrido después de la floración, por ello es importante definir cuando ocurre este proceso en el huerto. Algunas comparaciones del uso de este índice en variedades producidas en México son: Delicious 150 días posteriores a la floración completa (DPFC), Golden Delicious 155 DPFC, McIntosh 140 DPFC, Cortland 130 DPFC, Jonathan 140 DPFC, Winesap 160 DPFC, Rome Beauty 165 DPFC, York 150 DPFC, Yellow Newtown 165 DPFC, Stayman 155 DPFC, Yellow Transparent 68 DPFC, Garvenstein 120 DPFC y Granny Smith 180 DPFC (Richardson, 1991).

El índice de floración completa no es el único método utilizado para manzanas, se ha reportado también el uso del índice de almidón en algunas variedades y los resultados varían dependiendo del cultivo (Brookfield y col., 1997). También es útil el índice de textura, donde un valor mínimo de 16 Lb (71.6 N) utilizando una punta de 11 mm es un buen indicador para manzanas que se almacenan en atmósferas controladas (Richardson, 1991). Otros índices

reportados son tamaño, color externo, contenido de azúcares y concentración interna de etileno (Brookfield y col., 1997).

Para determinar el momento óptimo de cosecha se debe implementar un programa de monitoreo de la maduración que consiste en tomar muestras de fruta desde 2 a 3 semanas antes de la fecha estimada de inicio de la cosecha, y evaluar 2 veces por semana los días transcurridos después de floración, el tamaño del fruto, el color externo e interno, el color de la semilla, la firmeza de la pulpa, el contenido de sólidos solubles y el contenido de almidón. De acuerdo a las características de madurez de la fruta que se requieran en el lugar de destino, se inicia la recolección para cubrir ese aspecto (Chávez, 2000).

8. Factores de calidad

La calidad de un producto hortícola es una combinación de características, atributos y propiedades que le dan un valor como alimento. Debido a esto, los productores deben preocuparse porque su producto cuente con una apariencia agradable y escasos defectos visuales, sin descuidar aquellos aspectos (como el rendimiento por hectárea, la resistencia a enfermedades y la facilidad de cosecha) que le son de interés particular. Aunado a todo esto, los criterios para definir la calidad de un producto dependen de cada etapa por la que atraviesa (Shewfelt, 1993), es decir, si bien el productor tiene sus propios parámetros bien definidos, los distribuidores están más interesados en el tiempo que el fruto conserva sus características de venta y el consumidor prefiere aquéllos que tienen un color agradable, una buena firmeza, ausencia de defectos, buen aroma y en menor medida un adecuado valor nutritivo (Kader, 1992).

En el sistema postcosecha, la calidad de un producto fresco usualmente es evaluada contra un grado o estándar. Los grados y estándares se basan en atributos del producto que pueden determinarse fácilmente de manera visual, evaluando el color, tamaño, forma y la ausencia de defectos (Shewfelt, 1993).

Este sistema provee, entre otras cosas, un lenguaje común entre productores, distribuidores, procesadores y receptores que hacen más eficiente el manejo del producto en el mercado (Kader, 1992).

Los estándares de calidad utilizados para manzana en el Estado de California, Estados Unidos fueron revisados en 1983 y contemplan como factores el contenido de sólidos solubles (%) y la firmeza de la pulpa (Kader, 1992). Estos parámetros son considerados atributos de calidad importantes para manzana y para otras frutas frescas (Renfu, 2004). El cuadro 9 muestra los valores asignados para distintas variedades.

Cuadro 9. Sólidos solubles totales y firmeza como factores de calidad para manzana según el Departamento de Agricultura y Alimentos de California en Estados Unidos

Variedad	Sólidos solubles (%)	Firmeza (N)
Red Delicious	11.0	80
Golden Delicious	12.0	80
Jonathan	12.0	85
Rome	12.5	94
Newton Pippin	11.0	103
Mc Intosh	11.5	85
Gravenstein	10.5	NR

NR = No reportado

Kader, 1992

a. Recomendaciones de índices de madurez y calidad

1). Manzana Golden Delicious

(<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/golden.html>)

Índices de Cosecha

- Cambio del color verde oscuro a verde claro o verde amarillento. Firmeza de 76 N, 20 a 40 % de la pulpa libre de almidón. Generalmente entre 135 a 150 días después de floración.

Índices de Calidad

- Firmeza crujiente y ausencia de harinosidad
- Sabor, incluyendo sólidos solubles, acidez titulable y compuestos aromáticos volátiles
- Ausencia de defectos como golpes, pudrición, partiduras de la cavidad calicinal y pedúncular, mancha amarga, escaldado, pardeamiento interno y arrugamiento

2). Manzana Red Delicious

(<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/red.html>)

Índices de Cosecha

- Firmeza de 80 N
- Corazón sin almidón
- Firmeza (lbs-f) x sólidos solubles (%) x índice de almidón (escala 1 a 6) debe ser igual a 250 al inicio de la cosecha

Índices de calidad

- Firmeza crujiente y ausencia de harinosidad
- Sabor, incluyendo sólidos solubles, acidez titulable y compuestos aromáticos volátiles

- Ausencia de defectos como golpes, pudrición, partiduras de la cavidad calicinar y pedúncular, picado amargo, escaldado, pardeamiento interno y arrugamiento
- Color de la piel rojo intenso y uniforme

3). Manzana Fuji

(<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/fuji.html>)

Índices de Cosecha

- Cambio de color de fondo de verde a verde claro o blanco
- Cosecha antes de degradación completa de almidón
- Cosecha de 180 a 190 días después de floración

Índices de Calidad

- Firmeza crujiente y ausencia de harinosidad
- Sabor, incluyendo sólidos solubles, acidez titulable y compuestos aromáticos volátiles
- Ausencia de defectos como golpes, pudrición, partiduras de la cavidad calicinal y pedúncular, picado amargo, escaldado, pardeamiento interno y arrugamiento
- Porcentaje de coloración de la manzana

4). Manzana Granny Smith

(<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/grannysmith.html>)

Índice de Cosecha

- Cuando el promedio de índice de almidón de una muestra de 30 frutos es igual o mayor que 2.5 en una escala de 0 a 6 (California Granny Smith Apple Starch Scale) basado en el porcentaje del área del corazón y pulpa teñidos de azul oscuro, cuando los frutos se han sumergido en una solución yodo-yoduro de potasio

Índices de Calidad

- Sabor, incluye sólidos solubles (12 % o mayor), acidez titulable (0.75 % o menor) y compuestos aromáticos volátiles
- Ausencia de defectos como golpes, pudrición, partiduras de la cavidad calicinar o pedúncular, bitter pit, daño por insectos y corazón acuoso
- Color verde profundo y ausencia de colores atípicos y/o quemado de sol (manchas amarillas o pardas)

5). Manzana Gala

(<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/apple.html>)

Índices de Cosecha

- Cambio de color de fondo de verde a verde claro o blanco
- Inicio de la degradación del almidón

Índices de Calidad

- Firmeza crujiente y ausencia de harinosidad
- Sabor, incluyendo sólidos solubles, acidez titulable y compuestos aromáticos volátiles
- Ausencia de defectos como golpes, pudrición, partiduras de la cavidad calicinar y pedúncular, mancha amarga (bitter pit), daño por insectos
- Porcentaje de coloración de la manzana (calidad visual)

9. Fisiología postcosecha

a. Respiración

Es el proceso mediante el cual los materiales orgánicos (carbohidratos, proteínas y grasas) son descompuestos en productos más simples con la liberación de energía, consumo de O₂ y producción de CO₂. La energía liberada es importante en el manejo postcosecha debido a que provee calor que debe

ser considerado en las estimaciones de carga de refrigeración y en los requerimientos de ventilación (Kader, 1992).

La respiración generalmente es un buen indicador de la velocidad metabólica de frutas y vegetales cosechados, por lo tanto su control puede ser un medio efectivo de regulación con el fin de extender la vida postcosecha de estos productos (Mathooko, 1996b). La vida de anaquel del fruto es inversamente proporcional a la velocidad de respiración. Un alto valor de respiración está asociado con una corta vida poscosecha del producto. Además, nos indica la velocidad a la cual la fruta pierde su calidad y valor nutritivo (Church y Parsons, 1995).

La manzana es considerada como fruta climatérica y por tanto tiene una actividad respiratoria mínima durante la maduración fisiológica y antes de la madurez comercial. La velocidad de respiración se acelera a medida que progresa la madurez y que la fruta se acerca a la madurez comercial, alcanzando su máxima velocidad (el climatérico) aproximadamente en la fecha en que la fruta alcanza su óptima madurez comercial. A partir de entonces, la respiración disminuye a medida que la fruta continúa ablandando (Richardson, 1991).

La manzana está clasificada como un fruto de baja velocidad de respiración: 5 – 10 mg CO₂/kg-hr a 5 °C. La velocidad depende de varios factores, entre los que se encuentran la variedad, el grado de madurez, la temperatura y condiciones de almacenamiento y la exposición a situaciones de estrés (Church y Parsons, 1995).

b. Producción de etileno

Es una de las más simples moléculas orgánicas con actividad biológica. Es una hormona vegetal que regula algunos aspectos del crecimiento, desarrollo y senescencia. Juega un papel regulatorio importante en la fisiología de plantas y, en particular, en la senescencia y fisiología postcosecha de frutas,

flores y vegetales (Mathooko, 1996a). Su biosíntesis inicia con metionina y guía a través de dos intermediarios, S-adenosilmetionina (SAM) y 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico, a etileno (Fernández-Maculet y Yang, 1992).

Para manzana, el comportamiento del etileno es parecido a su patrón respiratorio. Parte de un mínimo en las etapas tempranas de la maduración y aumenta a medida que el fruto madura hasta alcanzar el máximo en su madurez comercial, para disminuir posteriormente a medida que la fruta se acerca a la senescencia (Richardson, 1991).

Por otro lado, Kader (1992) clasifica a la manzana como un cultivo de alta producción de etileno, con valores que alcanzan hasta $100 \mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg-hr}$ a 20°C . Esta producción se puede ver acelerada con la presencia de daños físicos, incidencia de enfermedades, incrementos en temperatura por arriba de 30°C y por estrés hídrico.

c. Respuesta al tratamiento con etileno

El etileno aplicado externamente antes del pico climatérico, generalmente desencadenará el climatérico, mientras que el etileno aplicado después, no provoca ninguna respuesta en el patrón (Richardson, 1991). Song y Bangerth (1996) reportan que un aumento en la producción autocatalítica del etileno y en la actividad respiratoria pueden ser esenciales para aumentar la producción de volátiles aromáticos. La alta actividad metabólica puede ser necesaria para proveer los precursores que incrementarán la síntesis.

10. Requerimientos postcosecha

El período de almacenamiento para manzana por lo regular es largo. La refrigeración es altamente deseable, aún para productos de corto tiempo en almacén, dado que la fruta es metabólicamente activa y continúa ablandando después de la cosecha (Tu y col., 1997). La manzana respira y se ablanda

aproximadamente dos veces más rápido a 4 °C que a 0 °C y tres veces más a 15 °C que a 4 °C (Hardenburg y col., 1986). La vida de almacenamiento de este fruto varía ampliamente dependiendo de la variedad, área de producción, prácticas culturales, condiciones climáticas, madurez al cosechar y prácticas de manejo y transporte (Lal y Sharma, 1995). Para el caso de la variedad Anna, Lurie y Klein (1992) reportan que el uso de tratamientos térmicos (38 °C) combinados con calcio (3 %) para prolongar la vida de almacenamiento a 0 °C mantiene mejor la calidad de la fruta al compararse con los tratamientos por separado. Además, un aumento en la temperatura a valores de 42 y 46 °C tiene los mismos efectos que 38 °C, pero el tiempo de exposición de la fruta es tres veces menor (Klein y Lurie, 1992).

La temperatura de almacenamiento recomendada para cada variedad es aquella que retarda de mejor manera la maduración y desarrollo de pudriciones, sin llegar a provocar daños por bajas temperaturas o por congelación. Para la mayoría de las variedades, la temperatura óptima es de -1 a 0 °C con una humedad relativa de 90 – 95 % (Hardenburg y col., 1986). Temperaturas superiores son recomendables para cultivos susceptibles a desórdenes por bajas temperaturas (Yellow Newton, McIntosh, Cortland) (Lal y Sharma, 1995; Richardson, 1992). Estos desórdenes pueden ser más serios en algunas regiones y en ciertas temporadas. La manzana Jonathan de algunas áreas desarrolla escaldado blando (soft scald) durante su almacenamiento a 0 °C; por lo tanto debe almacenarse a 2 °C. La variedad McIntosh desarrolla corazón café (brown core) a 2 °C, por lo que debe almacenarse a 3 °C (Hardenburg y col., 1986).

La maduración de la fruta es más rápida a temperaturas elevadas y su vida de almacenamiento es menor. Más aún, algunos tipos de pudrición y otros desórdenes se agravan a temperaturas por arriba de -1 a 0 °C. El uso de atmósferas controladas es el método comercial más utilizado para compensar el

almacenamiento a temperaturas altas gracias a sus efectos de control (Salunkhe y Desai, 1984; Hardenburg y col., 1986).

11. Desórdenes fisiológicos y su control

Los desórdenes fisiológicos se refieren a la degradación del tejido que no es causada por la invasión de patógenos. Se pueden desarrollar en respuesta a condiciones ambientales adversas o debido a deficiencias nutricionales durante el crecimiento y desarrollo (Salunkhe y col., 1991).

Las manzanas presentan los siguientes desórdenes fisiológicos:

a. Mancha Amarga

Es uno de los desórdenes más importantes debido a que la mayoría de los cultivares son sensibles (entre otros Golden Delicious, Granny Smith, Cox's Orange Pippin, Newton, Stayman, Arkansas y Gravenstein). Tiende a presentar sus síntomas empezando en el extremo del cáliz de la fruta. Las manchas son duras, hondas (2 a 3 mm) y descoloridas, además existen lesiones internas. El tejido afectado es seco, oscuro y con un ligero sabor amargo.

Este desorden es considerado como el resultado de un desbalance nutricional. Se piensa que durante el metabolismo normal de la planta se forman ácidos orgánicos que son rendidos por la reacción con compuestos de calcio, absorbidos por las raíces, que son transportados a toda la planta incluyendo los frutos. Si el suministro de calcio es insuficiente y las proporciones de otros minerales (magnesio y potasio por ejemplo) están fuera de balance se acumulan los ácidos orgánicos en los extremos de los tejidos conductivos (haz vascular) en la pulpa del fruto. Así, las células afectadas eventualmente mueren y se tornan oscuras. Otra hipótesis sugiere que una rápida redistribución del calcio hacia el centro del tejido resulta en una deficiencia localizada y muerte de las células (Snowdon, 1990).

La aparición de la mancha amarga se favorece bajo condiciones de clima caluroso y estrés hídrico durante la maduración de la fruta. Otras causas son cosecha temprana, tamaño grande, excesos de fertilizantes (nitrógeno) y bajos niveles de calcio en la fruta (Lal y Sharma, 1995).

La velocidad de desarrollo de la mancha amarga está determinada por las condiciones de almacenamiento (Snowdon, 1990). Las aspersiones de calcio previas a la cosecha y las inmersiones en soluciones de calcio antes del almacenamiento refrigerado son el mejor control (Wills y col., 1989). El calcio está asociado con sustancias pécticas en las membranas y lamela media y puede prevenir desórdenes principalmente por el fortalecimiento de los componentes de la pared celular, pero no alivia la causa original del colapso (Salunkhe y col., 1991). Las aspersiones en el campo deben ser efectuadas bajo condiciones de secado rápido para evitar manchas en la piel (roseteado). La incidencia de esta fisiopatía se reduce con el almacenamiento en atmósfera controlada (Snowdon, 1990; <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/golden.html>).

b. Corazón café u oscuro

No es un desorden muy común en la actualidad, aunque puede ocurrir en fruta empacada en películas de polietileno. La fruta presenta una apariencia externa normal, pero al ser cortada muestra oscurecimiento de la pulpa, el cual puede ser al azar o formando una zona descolorida entre el centro y la superficie. Una vez iniciado este desorden se incrementa rápidamente y, durante el almacenamiento, el tejido (que en un principio era firme y húmedo) se torna esponjoso y seco y puede desarrollar cavidades (Snowdon, 1990, Wills y col., 1989). Entre los cultivares de manzana más susceptibles se encuentran Sturmer Pippin y Cox's Orange Pippin (Snowdon, 1990). Aunque también existen reportes de daño en manzana Fuji (Argenta y col., 2000).

La principal causa de este desorden es una elevada concentración de CO₂ en el tejido del fruto. El nivel crítico de CO₂ que induce el daño en manzana varía entre diferentes cultivares y puede ser tan bajo como 1 % (Salunkhe y col., 1991). Por ello es que una forma de control es la ventilación con aire fresco y el preenfriamiento del producto antes de almacenar. Para el caso de fruta empacada en polietileno se recomienda evitar atmósferas dañinas a través de una selección cuidadosa del material de empaque, haciendo perforaciones en la película o incluyendo un absorbedor de CO₂ en el paquete (Snowdon, 1990). El retardo en el establecimiento de la atmósfera controlada para almacenar manzana se ha observado benéfico para la variedad Fuji, sin embargo se pierde un poco la calidad del fruto (Argenta y col., 2000).

c. Magulladura

La fruta puede dañarse físicamente mientras se encuentra en el árbol (quizás debido al granizo o al contacto de las ramas balanceadas por el viento) o durante el manejo postcosecha (Snowdon, 1990). Este desorden afecta la superficie del fruto dando como resultado áreas oscuras o bandas en la parte donde ocurre la vibración, giro o fricción sin que el daño se vea de manera aparente (Kader, 1992). Las magulladuras se presentan como lesiones grisáceas hundidas visibles externamente o en su caso manchas oscuras en la pulpa que son aparentes hasta que la epidermis es removida. El tejido afectado se seca eventualmente y se vuelve gomoso (Snowdon, 1990). El oscurecimiento resulta de la oxidación de fenoles en la presencia de la enzima polifenoloxidasas (Kader, 1992). La susceptibilidad a la decoloración disminuye con la madurez del fruto (debido al desarrollo de cera natural) y es diferente entre cultivares. Además, aquellos frutos grandes en tamaño son menos afectados que los chicos. El almacenamiento incrementa el grado de decoloración (Snowdon, 1990).

El control de este desorden envuelve la prevención de las vibraciones o fricciones del fruto durante todas las etapas por las que atraviesa (Kader, 1992). Algunas medidas benéficas incluyen entrenamiento del personal para prevenir presiones excesivas durante la cosecha y para realizar manejos cuidadosos durante el llenado y vaciado de las cajas de campo. La maquinaria de selección debe ser la adecuada y debe estar bien calibrada. También se pueden utilizar ceras para ayudar a reducir el daño en la cáscara (Snowdon, 1990).

d. Daño por frío

La susceptibilidad varía entre cultivares (Wills y col., 1989); en los que se incluyen Cox's Orange Pippin, Starking Delicious, McIntosh, Jonathan, Sturmer Pippin y Bramley's Seedling. Los síntomas observados son oscurecimiento de la pulpa y del núcleo, escaldado y presencia de áreas húmedas. Además, una característica de este desorden en manzana es la aparición de una zona delgada de tejido sano inmediatamente debajo de la epidermis que en etapas avanzadas se vuelve oscura (Snowdon, 1990).

La temperatura crítica, por debajo de la cual ocurre el daño, se ve afectada con el cultivar y con las condiciones de crecimiento, pero generalmente es de 2 a 3 °C (Hardenburg y col., 1986; Snowdon, 1990). El desorden incrementa con el tiempo de exposición a la baja temperatura y es más severo si ésta es impuesta durante el aumento climatérico de manzana (Snowdon, 1990).

La forma de control más adecuada incluye el conocimiento de la temperatura crítica del fruto, con el fin de no almacenarlo por debajo de este valor (Colinas, 1992). Otros medios incluyen pretratamientos con calcio y el uso de atmósferas controladas mantenidas a temperatura por abajo de la que sería adecuada para aire normal (Snowdon, 1990).

e. Núcleo oscuro

Este desorden se presenta en las variedades Cox's Orange Pippin, McIntosh y Granny Smith. Los síntomas se desarrollan sólo después de un periodo de almacenamiento y se observan como una decoloración oscura o rosácea del tejido central, ya sea como un área circular difusa o áreas angulares individuales entre las cavidades de las semillas (Snowdon, 1990; Salunkhe y col., 1991).

Se ha sugerido que este desorden es el resultado del daño por baja temperatura, por dióxido de carbono o por senescencia. Los síntomas se agravan con un almacenamiento continuo a baja temperatura y por niveles elevados de CO₂ (arriba del 5 %). La cosecha de manzana en la madurez óptima y su almacenamiento en atmósferas controladas con bajos niveles de oxígeno y CO₂ previenen la aparición del desorden (Snowdon, 1990).

f. Mancha Jonathan y mancha de lenticela

No es un desorden exclusivo de la variedad Jonathan, también se ha observado en Rome Beauty y Stayman Winesap. La presencia de manchas cafés a negras en la superficie con tendencia a ser más oscuras y numerosas en el lado rojizo de la fruta es el síntoma más habitual. Este síntoma se ve favorecido a temperaturas elevadas (por arriba de 3 °C) (Snowdon, 1990; Salunkhe y col., 1991).

La incidencia de este desorden tiende a ser mayor durante el almacenamiento prolongado (Snowdon, 1990). El uso de atmósferas controladas puede prevenirlo por completo cuando se usa una concentración de 2 % de CO₂ (Salunkhe y col., 1991).

g. Descomposición senescente

Este desorden aparece en todas las variedades aunque con diferente grado de susceptibilidad. El primer indicio es un ablandamiento de la pulpa, la

cual se vuelve harinosa y oscura (Wills y col., 1989). Posteriormente la epidermis y el extremo del cáliz se vuelven apagados y oscuros (Snowdon, 1990).

La presencia de este desorden ocurre en frutas almacenadas por largo tiempo o en frutas sobremaduras. La manzana con bajo contenido de calcio tiene predisposición para este desorden. Los síntomas se agravan por almacenamiento en humedad relativa arriba del 90 %. Es aconsejable aplicar calcio a la fruta en varias etapas de su maduración. Además, el enfriamiento debe ser rápido y la temperatura y humedad relativa deben mantenerse en valores óptimos (Snowdon, 1990).

h. Escaldado suave

Las variedades susceptibles a este desorden incluyen Jonathan, Rome Beauty, Ellison's Orange, Golden Delicious y Red Delicious. Se caracteriza por la presencia de lesiones café, lisas y ligeramente hundidas, casi siempre confinadas a las partes ecuatoriales de la manzana. La pulpa también resulta afectada, algunas veces en poca profundidad; el tejido inicialmente se vuelve oscuro y pálido, suave, esponjoso y húmedo, aunque después estas lesiones se secan. En etapas avanzadas las lesiones se muestran como manchas oscuras y el tejido se vuelve susceptible al ataque por hongos (Wills y col., 1989; Snowdon, 1990).

Este desorden es una forma de daño por bajas temperaturas y aparece en algunos cultivares a temperaturas por debajo de 2 a 3 °C. Los síntomas se desarrollan después de un período de almacenamiento frío y hay mayor probabilidad de daño si el fruto se almacena con altas tasas de respiración. Los factores de mayor predisposición son sobremadurez en la cosecha y retardo entre la cosecha y el enfriamiento. La cosecha de manzana en una madurez óptima es muy importante para variedades susceptibles a este desorden. De otra manera se requerirán tratamientos especiales inmediatamente después de

la cosecha, entre los que se incluyen la aplicación de calor, CO₂ y uso de ceras. El uso de cloruro de calcio y algunos antioxidantes combinados con aceites han sido utilizados con relativo éxito (Snowdon, 1990). Recientemente, DeLong y col. (2004) reportaron que un almacenamiento durante 7 días a 20 °C previo al almacenamiento a baja temperatura suprime el desarrollo de este desorden en manzana Honeycrisp.

i. Escaldado superficial

Es un desorden importante en manzanas que desarrolla manchas difusas de color café en la epidermis y distribuidas al azar en cultivares de color verde. En cultivares rojos usualmente está confinada al lado no colorado. Dentro de las áreas cafés pueden existir pequeñas manchas verdes que marcan las aberturas naturales (lenticelas) del fruto. Este desorden es esencialmente un defecto de la piel debido a que la pulpa retiene su color normal, sin embargo, cuando el daño es severo la pulpa también se torna oscura y puede ser invadida por hongos. Los cultivares susceptibles son Granny Smith y Starking Delicious (Snowdon, 1990; Salunkhe y col., 1991).

Se considera que está asociado con la acumulación de compuestos volátiles generados por la fruta. El farnesano (constituyente natural del tejido de la fruta) incrementa la oxidación de sustancias que son dañinas para el producto (Whitaker y col., 2000). La susceptibilidad está gobernada por el tipo de cultivar, las condiciones de crecimiento, las prácticas culturales y el ambiente postcosecha. Además, el desorden ocurre en frutas con alto contenido de nitrógeno y bajo contenido de calcio. Los síntomas no son aparentes al tiempo de la cosecha, incluso no se desarrollan durante el almacenamiento en frío hasta que han pasado algunos meses y pueden expresarse aún más cuando el fruto es removido a temperatura ambiente. La fruta susceptible debe ser cosechada durante la madurez óptima y debe aplicarse un antioxidante inmediatamente. También debe enfriarse lo más rápido posible y debe

permitirse una adecuada ventilación de aire durante el almacenamiento. El uso de atmósferas controladas, en particular de baja concentración de oxígeno, puede reducir el desarrollo del escaldado (Snowdon, 1990). Ju y Curry (2000) reportaron el uso de aceite de maíz (α -tocoferol) para inhibir la presencia de este desorden en manzana Granny Smith.

j. Corazón Acuoso

Prevalece principalmente en regiones de altas temperaturas durante el verano e intensa luz solar. En climas más templados sólo causa problemas ocasionales. Bramley's Seedling, Cox's Orange Pippin, Delicious, Jonathan, Winesap y Fuji son cultivares susceptibles. Otros, como Golden Delicious, Granny Smith y McIntosh rara vez exhiben este desorden. Los síntomas desarrollados antes de la cosecha incluyen áreas translúcidas y vidriosas, no necesariamente en la región central, localizadas alrededor del haz vascular o dispersas en la pulpa hacia el extremo del cáliz. Los síntomas tienden a desaparecer si la fruta es mantenida a temperatura ambiente por 3 ó 4 días antes del almacenamiento en frío. Si el daño es severo una degradación irreversible de la pulpa será observada (Snowdon, 1990; Salunkhe y col., 1991; Bowen y Watkins, 1997).

Este desorden es el resultado de una salida de la savia celular dentro de los espacios celulares (que normalmente están llenos de aire), seguido de una conversión anormal de almidón a azúcar. Una carencia de calcio puede ser un factor de predisposición, además de una alternancia entre días calientes y noches frías. El factor más influyente es la madurez y un retardo en la cosecha aumenta la incidencia y severidad de este desorden. Debido a ello, cosechar en el momento oportuno es el método más práctico de control (Snowdon, 1990; Bowen y Watkins, 1997).

k. Formación de alcohol

Puede alcanzar niveles considerables si la fruta es sometida a concentraciones muy bajas de oxígeno por un largo tiempo. La pulpa afectada tiene un olor a fermento. En etapas tempranas es reversible y los síntomas pueden desaparecer si el producto es mantenido en aire normal. Sin embargo, una exposición prolongada a condiciones de anaerobiosis puede desarrollar un envenenamiento por alcohol, en el cual grandes áreas de piel y pulpa se tornan café-rosáceas. Se puede controlar favoreciendo una ventilación adecuada del producto y evitando el uso excesivo de ceras de cobertura (Snowdon, 1990).

l. Escaldado solar

Es un desorden muy serio en manzana. Es causado cuando la fruta madura es expuesta nuevamente al sol debido a que las ramas se doblan por el peso del producto. Al tiempo de la cosecha la piel parece desteñida, pero durante el almacenamiento se oscurece y se torna negra. En estas condiciones el tejido es atacado por microorganismos, como *Alternaria* (Snowdon, 1990).

12. Sistemas de manejo postcosecha

a. Cosecha

Las manzanas son cosechadas manualmente y la forma correcta de hacerlo es levantándola y torciéndola un poco. Esto asegura que el producto será cosechado con todo y pedúnculo. La cosecha apropiada generalmente requiere un manejo cuidadoso a cada paso para evitar daños en el fruto (Lal y Sharma, 1995). La recolección puede ser pareja de un solo corte o de entresaque, seleccionando la fruta de mejor color y tamaño. Algunas variedades como la Gala requieren de este último método de recolección (Chávez, 2000). Los índices de cosecha utilizados para manzana en México son la firmeza, los sólidos solubles totales (SST), el índice de almidón y el color superficial.

La supervisión del personal durante la cosecha es muy importante para detectar las prácticas inadecuadas y poder corregir los errores. Se recomienda tener un supervisor por cada 10 a 12 cosechadores y revisar continuamente durante todo el día el trabajo realizado por la gente. No se debe permitir más del 2 % de daños en la fruta durante la cosecha (Chávez, 2000).

Realizar una buena planeación es importante. Hay que saber con anticipación cuándo la fruta estará lista para cosecharse; es necesario haber podado los árboles para obtener un buen rendimiento y permitir que los cosechadores tengan fácil acceso a todas las frutas del árbol proporcionando espacio para que las escaleras puedan colocarse adecuadamente. Es importante saber cuántos cosechadores será necesario contratar para poder levantar la cosecha cuando todavía tenga un buen rango de madurez fisiológica para ser almacenada y comercializada. La revisión de las manos de los cosechadores, especialmente para asegurar que tengan las uñas cortas y que no utilicen joyería cortante o ropas que puedan lastimar las frutas es una labor necesaria de cada supervisor. Hay que instruir a los cosechadores a subir y bajar escaleras sin golpear las bolsas con fruta para evitar heridas y posteriormente invasión de patógenos. Hay que enseñar a los trabajadores a descargar cuidadosamente las bolsas de cosecha en las cajas de campo o en las estibas. Hay que asegurar que todo el equipo de cosecha, incluyendo escaleras, bolsas y cajas se encuentren en buen estado antes de que se inicie la cosecha. Finalmente, hay que asegurar que los caminos de acceso y de salida de los huertos estén en buenas condiciones y que los choferes tomen la ruta más adecuada hacia el empaque (Richardson, 1992).

El vaciado de la fruta en el cajón deberá hacerse con cuidado aunque éste tenga el protector de polifoam en su interior; el cajón debe llenarse de la parte más vacía hacia la más llena para evitar que las manzanas se rueden hacia abajo y se maltraten. Los cajones deben colocarse en la sombra antes de empezar a llenarlos para evitar calentamientos en la fruta. El traslado al

empaquete/frigorífico debe realizarse lo más pronto posible evitando insolaciones con el uso de lonas en los camiones o en horas de menos calor para conservar la calidad de la fruta (Chávez, 2000). Esta es una práctica poco común en el Estado de Chihuahua.

b. Recepción en empaque

Una vez que la fruta llega al frigorífico, la que es almacenada en cajas de campo y que posteriormente será empacada debe ser bañada con un inhibidor del escaldado y fungicidas y en ocasiones tratadas con cloruro de calcio para controlar mancha amarga antes del almacenamiento (Ryall y Pentzer, 1974; Mitchell, 1992); sin embargo, estas prácticas no están del todo implementadas en México ya que sólo algunas empacadoras utilizan fungicidas para evitar problemas durante el almacenamiento. Para disminuir la contaminación del agua con productos químicos en la pila de la ducha, el lavado previo de las llantas y carrocería de los camiones transportadores da buenos resultados; de cualquier forma el agua con el fungicida se debe cambiar diariamente (Chávez, 2000).

La fruta que será empacada para el mercado fresco debe ser descargada en agua, lavada, preseleccionada (para eliminar frutas que no cumplen en tamaño), encerada y clasificada. Las frutas deben ser separadas en mercado fresco, fruta de procesamiento y uso como subproducto (Mitchell, 1992). En Chihuahua, la mayor parte de la fruta recibida del campo se destina al mercado nacional y la presentación de las cajas varía entre empacadoras, la fruta que no se empaqueta (desecho) se vende a compañías dedicadas a la elaboración de jugos o bebidas de fruta.

c. Clasificación

La manzana es clasificada por tamaño y calidad en grupos A, B y C dependiendo de su color, forma, libertad de daños, defectos y enfermedades.

Los grados A y B son enviados al mercado mientras que el grado C no es comercializado como fruta fresca. Posteriormente, la fruta A y B es dividida con base en tamaño, los grados dependen del diámetro ecuatorial de la fruta. La fruta destinada para exportación es etiquetada como U. S. Extra fancy, U. S. Fancy, U.S. No. 1 y U.S. Utility según la norma establecida el 19 de diciembre de 2002 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2004). En México se realiza un trabajo de selección para decidir cual fruta será destinada al mercado en fresco y en algunas empacadoras se clasifica utilizando clasificadores mecánicos que toman en cuenta los atributos de color o tamaño de cada fruta dando como resultado una mejor uniformidad de producto en las cajas.

d. Empacado

El empaque apropiado debe mantener la calidad del producto durante el transporte y la comercialización. El empackado es uno de los principales factores que influye en la calidad del producto cuando éste llega al consumidor.

Los materiales de empaque tienen gran importancia en la presentación del producto en el mercado. La manzana es empacada en cajas de fibra o cartón corrugado que son capaces de resistir la manipulación durante el almacenamiento y el transporte. Causan un daño mínimo y reducen la pérdida de peso del producto. Además, su diseño es atractivo, ligero en peso y ofrecen un buen espacio para publicidad. El uso de charolas de plástico es una práctica común en la industria manzanera. El producto es colocado en ellas logrando un mejor acomodo, una apariencia más estética y disminuyen los daños por fricción. Recientemente, la implementación del uso de código de barras facilita la identificación de lotes de fruta y permite llevar un mejor control tanto de inventario como de ventas (Chávez, 2000).

La fruta empacada es acomodada en pallets (cajas estibadas en forma de torre) que son diseñados para moverse directamente al mercado de destino.

Una vez armado el pallet debe darse un enfriamiento del producto, usualmente por aire forzado antes del almacenamiento o llenado del transporte (Mitchell, 1992). El transporte de fruta paletizada aún no es muy común en México, mientras que en otros países se utiliza con éxito ya que significa un gran ahorro en maniobras de carga y descarga (Chávez, 2000).

e. Almacenamiento

La manzana es almacenada bajo refrigeración a temperaturas que varían desde 2 hasta -1 °C (dependiendo del cultivar) y humedades relativas de 90 a 95 %. Hay que mantener registros y agrupar las frutas de acuerdo a madurez y condición de tal manera que puedan comercializarse ordenadamente. Es importante registrar temperaturas de almacenamiento al menos dos veces al día. Es aún mejor tener un sistema registrador continuo de temperatura. Es necesario conocer dónde hay puntos calientes dentro del almacén y tratar de obtener mayor circulación de aire hacia esos puntos, de tal manera que pueda mantenerse una temperatura más uniforme. Hay que medir la temperatura de la fruta en el centro hasta tener la certeza de que se alcanzó la deseada.

El uso de atmósferas controladas para el almacenamiento es una práctica aceptada para este fruto y consideraciones más específicas serán tratadas más adelante.

f. Transporte

El diseño y condición del equipo de transporte y el método de carga son críticos para mantener la calidad del producto. La fruta debe ser transportada lo más cerca posible de la temperatura y humedad relativa recomendadas para mantener la calidad. El transporte está diseñado para mantener la temperatura de la fruta preenfriada, no para preenfriar los productos.

En México, un pequeño volumen de manzana para consumo fresco continúa transportándose en camiones de carga sin refrigeración o "caja seca".

El transporte en caja refrigerada (Thermoking) con control de temperatura es aun limitado. La temperatura durante el transporte es un elemento que debe manejarse con exactitud, ya que de ella depende que una carga se pueda dañar o llegue en óptimas condiciones a su destino. El monitoreo de la temperatura durante el tiempo de traslado es otra deficiencia del transporte; el uso de termógrafos desechables (registradores continuos de temperatura) es muy limitado. Este sistema de monitoreo es sencillo, barato y fácil de llevar a cabo. Permite conocer la temperatura durante todo el tiempo que duró el traslado y ayuda a resolver problemas con líneas de transporte refrigerado (Chávez, 2000).

Las atmósferas modificadas pueden ser aplicadas a los remolques y contenedores al terminar de cargar. Éstos deben estar equipados con canales en la puerta de entrada para colgar una cortina de plástico y conductos de gas para la aplicación del tratamiento. La unidad de refrigeración, paredes, cielo, piso y puertas deben sellar adecuadamente la parte interior del área de carga contra el aire exterior. De lo contrario, la atmósfera se disipará rápidamente (McGregor, 1987). El uso de atmósferas modificadas o controladas para el transporte de manzana no se utiliza en México, las condiciones de los transportes no son las más adecuadas y sería difícil crear y mantener una atmósfera en sus vehículos. Además, los productores no se interesan en aplicar esta tecnología en sus transportes debido a que se incrementarían sus costos y sus distancias de recorrido las cubren adecuadamente con refrigeración.

B. ATMÓSFERAS MODIFICADAS Y CONTROLADAS

El oxígeno (O_2) y el bióxido de carbono (CO_2) son moléculas biológicamente activas de gran importancia en procesos metabólicos primarios y secundarios en plantas. Su influencia global sobre el metabolismo ha resultado en su aprovechamiento con el fin de modificar el comportamiento de las frutas y hortalizas para extender el almacenamiento y la vida de anaquel. Los primeros ejemplos de modificaciones atmosféricas datan de la era Romana, aunque con anterioridad ya se almacenaban granos en fosas subterráneas. Los primeros estudios científicos sobre almacenamiento en atmósferas modificadas se realizaron en Francia en el año de 1819 por Jacques Berard quien demostró que la fruta cosechada utilizaba O_2 y liberaba CO_2 durante el almacenamiento y que las frutas colocadas en contenedores desprovistos de O_2 no maduraban. En los años de 1860, Benjamin Nyce construyó y operó un almacén de fruta que utilizaba los principios de la atmósfera modificada, sin embargo la idea no generó mucho interés y se perdió (Kays, 1991). En 1927 Kidd y West demostraron que el uso de concentraciones reducidas de O_2 y elevadas de CO_2 en el ambiente del almacén prolongaba la vida de almacenamiento de la manzana. Dos años después, se estableció en Inglaterra el primer almacén de atmósferas controladas para manzana (Beaudry, 1999) y en 1940 y 1941 se utilizó para manzana en Australia y Estados Unidos respectivamente (Little y Peggíe, 1987).

Las atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) se definen como aquellas composiciones atmosféricas alrededor del producto que difieren en la concentración de gases del aire normal (78.08 % N_2 , 20.95 % O_2 , 0.03 % CO_2) por la adición o remoción de los mismos (Kader, 1992). Usualmente esto involucra la disminución de oxígeno y/o el aumento en la concentración de CO_2 alrededor del fruto. El grado de control de los gases es más estricto en AC que

en AM. El uso de estos sistemas debe considerarse un complemento al de las bajas temperaturas, ya que sólo así se obtendrán resultados positivos.

A medida que el nivel de oxígeno alrededor de la fruta se reduce por debajo de 20.95 %, la velocidad de respiración disminuye y este efecto empieza a ser más pronunciado a niveles por debajo de 10 %. La caída en la velocidad de respiración ocurre sin cambios en el cociente respiratorio (volumen de CO₂ producido por volumen de O₂ consumido), lo que implica que mientras la energía disponible para el tejido disminuye, los carbohidratos son todavía oxidados por completo a CO₂ evitando la acumulación de productos dañinos de la glucólisis, como acetaldehído y lactato. Cuando la concentración de oxígeno se reduce más (3 – 5 %), la fruta es expuesta a un stress mínimo por la acumulación de productos finales de la glucólisis, pero no sufre una reducción en la energía disponible para mantener la actividad celular.

Por debajo de cierto nivel de O₂, la producción de CO₂ se incrementa, indicando un cambio al metabolismo fermentativo. Este nivel de O₂ es conocido como el punto de compensación anaeróbica y varía para diferentes temperaturas, diversas frutas y aún entre variedades de una misma especie (Chervin y col., 1996).

Algunos de los efectos benéficos del uso de AM y AC durante el almacenamiento de frutas y hortalizas son una disminución en la velocidad de respiración y senescencia, una reducción en la sensibilidad a la acción del etileno (a niveles por debajo de 8 % de O₂ y arriba de 1 % de CO₂), alivio de ciertos desórdenes fisiológicos (como daño por frío en algunos productos y escaldado en manzana), control de pudriciones e insectos, reducción en la biosíntesis de carotenoides y antocianinas y en la pérdida de clorofila, reducción en la velocidad de pérdida de firmeza, reducción en la conversión de almidón en azúcar y disminución en la pérdida de acidez. Sin embargo, puede provocar maduración irregular (en plátano, pera y tomate), desarrollo de sabores y olores desagradables (como resultado de anaerobiosis), aumento en la susceptibilidad

a pudriciones (como resultado del daño por alto CO_2 o bajo O_2), disminución en la producción de volátiles (en manzana y pera) y puede agravar desórdenes fisiológicos (como corazón oscuro en manzana y pera, mancha oscura en lechuga) (Kader, 1986; Kader, 1992; Luo y Mikitzel, 1996; Beaudry, 2000, Aaby y col., 2002).

1. Atmósferas modificadas

En algunos casos la propia respiración del producto es utilizada para modificar la atmósfera, reduciendo la concentración de O_2 y aumentando la de CO_2 en condiciones restringidas de intercambio de gases y barreras, como ceras, plástico, y películas entre otras (Kader, 1992). En AM la concentración de los gases resulta de un balance entre el consumo o producción de gas por el producto y por la difusión de gases a través de una barrera permeable (Chervin y col., 1996).

Como ya se mencionó, no existe un grado de control sobre los gases y sólo en ocasiones se realiza vacío al contenedor y luego se inyecta una mezcla inicial conocida que será modificada a medida que el producto respire (Brody, 2000). La AM generada por el producto en esta forma se conoce como pasiva.

Las AM pueden ser aplicadas en pallets, contenedores marítimos, vagones de tren y en empaques individuales, ya sea para fruta entera o para producto procesado o semi-procesado. El empaque en atmósferas modificadas tiene el potencial de extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas, debido a que disminuye la actividad respiratoria, reduce la pérdida de peso, protege al producto de daños mecánicos, retarda la maduración y el ablandamiento, controla pudriciones y reduce la incidencia de desórdenes fisiológicos (Escalona y col., 2004). Sin embargo, un diseño inapropiado del empaque o un abuso en la temperatura durante el manejo puede provocar daños en el producto (Smyth y col., 1999). Wang y Qi (1997) encontraron que el empaque de pepino en bolsas de

polietileno de baja densidad disminuye la pérdida de peso y los síntomas de daño por frío durante el almacenamiento a 5 °C. De manera similar, el uso de películas de cloruro de polivinilo (PVC) ha mostrado efectos positivos en la reducción de la pérdida de peso, el amarillamiento y la presencia de la mancha de pimienta (pepper spot) en repollo, pero no tiene efectos sobre la incidencia de *Botrytis cinerea* (Menniti y col., 1997).

Durante los últimos 10 años ha existido una rápida expansión del uso del empaçado en AM especialmente para productos mínimamente procesados, pero las limitaciones para una expansión más intensa radican principalmente en la diversidad de respuesta de los productos y en la disponibilidad de tecnología (Kader y Watkins, 2000).

2. Atmósferas controladas

Este tipo de tecnología es una práctica comercial muy común para extender la vida de algunos productos manteniendo sus atributos de calidad (Volz y col., 1998). El daño causado por algunos desórdenes, la retención de la firmeza y la presencia de pudriciones puede reducirse con el uso de AC (Larsen y Watkins, 1995; Menniti y col., 1997; Chervin y col., 2001).

Un cuarto de AC no difiere mucho de uno de refrigeración, los requisitos indispensables son una alta hermeticidad en paredes, techo y piso que no permita intercambio de gas con el exterior, una puerta que facilite un sellado adecuado y que posea una escotilla para realizar muestreos, ventanas de observación instaladas en la parte superior del cuarto para realizar inspecciones visuales y un sistema liberador de presión (bolsas de aire, columnas de agua) que ayude a que el cuarto no sufra deterioros por la diferencia de presión con el exterior. Adicionalmente, todas las perforaciones por las que ingresa tubería deben ser selladas cuando el cuarto es aislado, así como aquéllas que se realicen para montar la estructura que sostiene el equipo que se encuentra

dentro. Se deben realizar pruebas de presión para corroborar que no existan fugas y en caso de haberlas proceder a sellarlas.

El equipo utilizado para generar la atmósfera reduce la concentración de oxígeno cuando el cuarto ha sido sellado. Dentro de los sistemas utilizados se encuentran los generadores de flama abierta que utilizan propano para consumir el O_2 del aire exterior a través de la combustión (también se puede usar aire proveniente del cuarto), haciendo fluir aire rico en N_2 que desplaza al O_2 del interior del cuarto; sin embargo, este sistema genera e introduce otros gases (CO_2 , CO , etileno) y existe siempre un peligro latente de explosiones debido al propano. Otro sistema muy parecido es el de quemadores catalíticos que recircula el aire a través de catalizadores que aceleran la velocidad de quemado con el propano. Los quemadores de amoniaco (sistema no muy usado) contienen amonia en forma de gas que reacciona a altas temperaturas con el O_2 presente en el cuarto formando N_2 y vapor de agua. Este sistema no produce CO , CO_2 y etileno, sin embargo el amoniaco es un peligro potencial para la fruta en caso de fugas. El uso de N_2 líquido es otra alternativa para generar la atmósfera. Se introduce directamente al cuarto (donde cambia a gas) ayudando a disminuir la temperatura y desplazando el O_2 del interior, no presenta peligro de explosión ni produce nada que dañe la fruta, sin embargo es muy caro y no es muy disponible en grandes cantidades. La malla molecular de carbono es un sistema que separa los componentes del aire absorbiendo selectivamente el O_2 y permitiendo el paso de N_2 a través del absorbedor. En este sistema los absorbedores son presurizados y despresurizados en forma alternada durante la generación de N_2 y la liberación de O_2 proporcionando un flujo continuo de N_2 . Debe tenerse el cuidado de eliminar la humedad del aire debido a que el agua disminuye la capacidad de absorción de O_2 de la malla molecular de carbono. El uso de membranas de fibra hueca es el método más empleado para separar los componentes del aire y aprovechar el nitrógeno dejando escapar el oxígeno al medio ambiente. El principio está basado en que

cada gas tiene una velocidad de permeabilidad característica de acuerdo a su solubilidad y difusividad en la membrana. El O_2 , CO_2 y vapor de agua tienen velocidades rápidas, mientras que el N_2 es más lento. El aire del ambiente es presurizado e introducido en la membrana de fibra hueca, los gases son separados a medida que atraviesan la fibra de tal manera que la salida es rica en N_2 mientras que el O_2 se pierde a través de la pared de la membrana. El gradiente de presión parcial entre el interior y el exterior de la fibra hueca propicia la separación de gases. El aumento en la temperatura y en la presión incrementa la permeabilidad dando como resultado una mayor velocidad de separación así como una mejor pureza del N_2 obtenido al final. Los componentes de este sistema están comprendidos en una secuencia que inicia con un compresor de aire, un filtro, un calentador, el módulo de membranas y un tanque receptor de N_2 . Este tipo de tecnología provee un medio seguro, limpio y eficiente para establecer y mantener la atmósfera deseada para el almacenamiento de la fruta (Dilley, 1990).

Al principio las concentraciones de CO_2 no representan problema alguno pero a medida que transcurre el tiempo empieza a acumularse. La remoción del exceso de CO_2 de la atmósfera del cuarto se puede conseguir de varias maneras. Una opción que no es muy eficaz pero que ha sido aplicada es el uso de columnas de agua en movimiento que absorben el CO_2 formando bicarbonato, sin embargo este sistema no funciona adecuadamente a bajas temperaturas y falla en la etapa climatérica de la respiración del fruto (cuando más CO_2 se produce). El uso de sacos de cal en el interior del cuarto es otra opción muy común que funciona adecuadamente al inicio del almacenamiento. La cal es acomodada durante el llenado en la parte alta de las estibas sin interrumpir el flujo del aire. Un saco de 50 kg de cal absorbe CO_2 hasta alcanzar un peso aproximado de 68 kg; sin embargo y a pesar de que la cal utilizada todavía es apropiada para aplicaciones en el suelo, la cantidad de sacos que se debe introducir en el cuarto debe ser calculada a prueba y error y no se puede

automatizar su uso. Además, a medida que la cal se satura las concentraciones de CO_2 vuelven a incrementar y en ese momento se debe recurrir a otra opción de eliminación del exceso. Una alternativa para esto es el uso de removedores (scrubbers, en inglés) que funcionan tomando aire del interior del cuarto y haciéndolo pasar por una capa de carbón activado que lo absorbe y lo regresa de nuevo ya libre de CO_2 , una vez que el carbón se satura es limpiado con aire fresco que circula a través de la capa y es liberado al exterior. En este sistema se puede controlar la cantidad de CO_2 que se absorbe y se puede automatizar, incluso se puede utilizar para más de un cuarto. La malla molecular es otra alternativa que funciona absorbiendo CO_2 del aire que proviene del cuarto, el gas es liberado de la malla al calentarla y purgarla mediante un flujo de aire. Este sistema ocupa más energía para operar que los removedores de carbón activado debido a que se requiere un calentamiento.

El monitoreo de las concentraciones de gases en el interior de la AC debe realizarse diariamente y de ser necesario deben tomarse las medidas necesarias para mantener los niveles deseados. Esta operación se puede realizar manualmente, pero existen equipos automatizados que trabajan en conjunto con los analizadores ya sea bombeando aire al interior cuando la concentración de O_2 es baja o iniciando la operación del removedor cuando el CO_2 es muy alto. Estos equipos son capaces de realizar pequeños ajustes diariamente y por ello son ideales para mantener un control estricto de los gases en la cámara. A diferencia del automático, el monitoreo y control manual trabaja con rangos mayores de concentraciones de gases y el funcionamiento del abanico que ingresará aire rico en O_2 a la cámara o del removedor que absorberá el CO_2 del interior debe realizarse tomando en consideración el tiempo que durarán encendidos y por ningún motivo deben hacerse funcionar de más. Para realizar el análisis de los gases de la atmósfera del cuarto se utilizan analizadores paramagnéticos o electroquímicos; los primeros miden la concentración de O_2 en mezclas de gases basados en que éste y los óxidos de

nitrógeno son los únicos componentes gaseosos atraíbles por un campo magnético mientras que el segundo utiliza una celda electrolítica líquida o sólida que registra cambios de potencial de oxidación-reducción. Por otro lado, es posible utilizar analizadores infrarrojos para estimar el contenido de CO₂ en gases ya que este componente absorbe radiación infrarroja a una longitud de onda específica, generando una corriente eléctrica proporcional a su concentración. Ambos sistemas funcionan tomando una muestra del aire del interior del cuarto (por medio de una bomba de vacío) que fluye por los detectores originando una señal que se traduce en un valor de la concentración del gas correspondiente.

La atmósfera en el interior del cuarto no es apta para soportar la vida humana y las personas pueden fallecer por asfixia mientras trabajan en él. Por ello, es esencial que los trabajadores que entran en el cuarto entiendan los riesgos y peligros y tomen las medidas precautorias necesarias para asegurar su seguridad. Además, deben colocarse anuncios en las puertas de las cámaras que adviertan sobre los riesgos de entrar. Una vez que la cámara es abierta para retirar la fruta se debe alimentar con aire para que la concentración de oxígeno alcance niveles cercanos a 21 % y se pueda ingresar en ella sin riesgo.

Las manzanas y las peras son las frutas más comúnmente almacenadas bajo condiciones de atmósferas controladas, debido a que responden favorablemente a este tipo de almacenamiento. El fruto almacenado en AC respira y se ablanda más lentamente y es menos susceptible a desórdenes que aquél almacenado en aire normal. Consecuentemente, posee una vida de almacenamiento y de anaquel mayor (Hardenburg y col., 1986). La extensión de vida alcanzada con este sistema es de alrededor del 75 - 100 % adicional. Kader (1992) reporta de 6 - 12 meses de almacenamiento en AC para algunas variedades de manzana. En general, las condiciones de AC para manzana son de 2 a 3 % de O₂ y de 2 % de CO₂, con la misma temperatura óptima que la que se usaría en el almacenamiento refrigerado normal. Las concentraciones

de los gases y la vida adicional conseguida dependen de la variedad almacenada (Richardson, 1992). Otros reportes indican concentraciones de 1 – 3 % de O₂ y de 1 – 5 % de CO₂ a temperaturas de 0 – 5 °C y 90 – 95 % de humedad relativa (Kader, 1992).

En el cuadro 10 se muestran las condiciones de almacenamiento en AC para diversas variedades de manzana. El almacenamiento en AC tiene los efectos más notables en las variedades McIntosh, Newton y Cortland (que no toleran almacenamiento de -1 a 0 °C), sin embargo, también es utilizado para otras variedades que sí toleran estas temperaturas (Golden Delicious, Rome Beauty y Stayman) con el fin de extender su vida de almacenamiento. Las AC retardan la producción de etileno endógeno, además retrasan las actividades metabólicas del mismo. Los efectos del O₂ y del CO₂ son básicos, una baja concentración de oxígeno limita el proceso de oxidación y el CO₂ participa en las reacciones de carboxilación y descarboxilación propiciando así que la velocidad de maduración sea mínima debido a que la velocidad de respiración se reduce.

La composición atmosférica crítica que puede causar daño en manzana varía ampliamente. Existen diferencias considerables entre cultivares, y aún para un mismo cultivar entre regiones. Frutas de diferentes huertas en la misma localidad muestran diferencia en susceptibilidad al uso de bajas presiones de O₂. Esta susceptibilidad puede aumentar a medida que avanza la fecha de cosecha (Volz y col., 1998).

Para asegurar la más alta calidad de manzana al final de un almacenamiento por largo tiempo en AC, la fruta debe cosecharse en un estadio que no alcance la madurez completa. Si la cosecha es temprana, la fruta tiene un tamaño pequeño, color y aroma reducidos, puede madurar de manera incompleta y es más susceptible al escaldado y mancha amarga. Contrariamente, la fruta cosechada sobremadura es más vulnerable al daño mecánico y a enfermedades, desarrolla aromas desagradables y es muy común

la presencia de desórdenes fisiológicos como corazón acuoso. Por lo tanto, la determinación de un periodo de cosecha óptimo es crítico para maximizar la calidad postcosecha y minimizar pérdidas (DeLong y col., 1999). Algunos reportes (Skrzynski, 1994; Gorny y Kader, 1997; Ingle y col., 2000) citan que cuando la fruta es cosechada lo más cerca posible de la etapa climaterica, determinada por la concentración de etileno y otros índices de cosecha, es factible suprimir la acción del etileno y mantener la firmeza, acidez y calidad.

Los sistemas de atmósferas controladas pueden ser de flujo continuo o cerrados. El sistema cerrado recircula los gases que se encuentran en el interior de la cámara y es el más utilizado comercialmente. El otro sistema no recircula los gases ya que tiene un suplemento continuo de la composición gaseosa requerida fluyendo a través de la cámara. Este último es el sistema más utilizado en investigación debido a su bajo costo capital (Smith y col., 1997).

Hay varios tipos de atmósferas controladas para manzana:

a. AC convencional

La fruta modifica la atmósfera disminuyendo la concentración de O_2 y aumentando la concentración de CO_2 hasta que se establece la atmósfera necesaria. Se deben monitorear los niveles de gases todos los días y cuando se establezcan los niveles de gases adecuados, empieza el control de los mismos. El nivel de O_2 se mantiene introduciendo aire del exterior del cuarto y el nivel de CO_2 se remueve. Con esto, se mantienen los niveles de gases constantes durante todo el almacenamiento. Un almacén de manzana requiere de alrededor de 5 a 10 días desde el momento de sellar, hasta que se establece la concentración de O_2 y CO_2 necesaria (Yahia, 1992).

Cuadro 10. Condiciones para el almacenamiento de manzana en atmósferas controladas

Variedad	CO₂ (%)	O₂ (%)	Temperatura (°C)
Cortland	5	2 – 3	2.2
Delicious	1 – 2	1.5 – 2	- 0.5 – 0
Empire	2 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Golden Delicious	1 – 3	1.5 – 2	- 0.5 – 0
Granny Smith	1 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Idared	2 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Jonathan	0.5 – 5	2.5 – 3	2.2 un mes, post 0
Macoun	5	2 – 3	2.2
McIntosh	2 – 3 un mes, post. 5	2.5 – 3	2.2
Northern Spy	2 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Rome Beauty	1 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Spartan	2 – 3	2 – 3	- 0.5 – 0
Stayman Winesap	2 – 5	2 – 3	- 0.5 – 0
Winesap	1 – 2	2 – 3	- 0.5
Yellow Newton	5 – 6	3	2.2

Hardenburg y col., 1986.

b. AC rápida

Un control rápido (inmediatamente después de sellar el cuarto) prolonga más la vida de la fruta y mantiene mejor su calidad. Este sistema es utilizado para manzana y se mantienen los niveles de los gases utilizando un sistema similar al de AC convencional (Yahia, 1992). El establecimiento rápido también se ha reportado benéfico para fresas variedad Pájaro (Larsen y Watkins, 1995).

c. AC de alto bióxido de carbono

La manzana almacenada por largo tiempo tolera aproximadamente 5 % de CO₂. La exposición de la fruta a una concentración de 10 a 15 % de CO₂ por 2 semanas, a 0 – 5 °C antes de iniciar la atmósfera ideal, disminuye la pérdida de textura y calidad y prolonga la vida de la fruta (Yahia, 1992). Este sistema sólo se utiliza para la variedad Golden Delicious en el estado de Washington. Este tipo de atmósferas puede actuar como agente fungistático muy efectivo, sin embargo, concentraciones muy altas de CO₂ podrían afectar adversamente la calidad de la fruta (Sitton y Patterson, 1992).

d. AC de bajo etileno

La manzana produce una cantidad elevada de etileno. De manera general, se producen alrededor de 500 a 1000 ppm de etileno en el cuarto de almacenamiento en atmósferas convencionales o AC rápida (Yahia, 1992), pero existen reportes de concentraciones que alcanzan hasta 1400 ppm (Brackman y col., 2001). La remoción de etileno durante el almacenamiento en AC de manzana preserva la fruta por mayor tiempo, disminuyendo la pérdida de firmeza, acidez y sólidos solubles (Yahia y col., 1991). Este tipo de AC se aplicó para las variedades Cortland y McIntosh en el noreste de Estados Unidos.

e. AC de ultra bajo oxígeno (ULO)

La concentración de O₂ más recomendada para manzana es del 2 %. Si se controla la concentración en el almacén a niveles más bajos, se prolonga la vida de la fruta y preserva mejor su calidad. Es una AC rápida de niveles de oxígeno muy bajos (menos del 1 %) sin usar altos niveles de CO₂. Se requiere de un sistema de vigilancia para evitar que las concentraciones de O₂ no disminuyan a niveles peligrosos para la fruta. Este sistema se está utilizando en otras regiones y es muy eficiente para mantener la calidad de la manzana por periodos más largos que la AC convencional. Sin embargo, no está investigado su uso para las variedades cultivadas en México (Yahia, 1992).

3. Uso de atmósferas controladas de ultra bajo oxígeno

Muchos de los efectos benéficos de las AC son atribuidos a la reducción en las concentraciones de O₂, pero generalmente es aceptado que la atmósfera de almacenamiento óptima para un producto es aquella en la que la presión parcial de este gas se encuentra por arriba del punto en donde se presenta la acumulación de productos de anaerobiosis (Yearsley y col., 1996). En este punto la maduración se reduce al máximo sin la presencia de desordenes relacionados a las bajas concentraciones. Estas óptimas concentraciones de oxígeno difieren entre especies, cultivares y variedades, y pueden aún ser diferentes entre temporadas para una misma variedad (Peppelenbos y Rabbinge, 1996).

El enfoque de la tecnología postcosecha sobre la utilización de la modificación atmosférica para mejorar la vida de anaquel ha conducido a investigar los efectos del uso de AC con bajas concentraciones de oxígeno en una amplia gama de productos (Beaudry, 1999). Para algunos cultivares es posible utilizar niveles tan bajos como 0.8 % (conocidos como ultra bajo oxígeno) sin la acumulación de productos de anaerobiosis y sin daño al tejido que pudiera guiar al desarrollo de ciertos desórdenes fisiológicos. Con este

sistema es posible extender el almacenamiento de la fruta por arriba de 7 - 11 meses, lo que se transmite en un mercado con manzana durante todo el año (Skrzynski, 1994).

Algunos de los resultados positivos del almacenamiento en AC con óptimas condiciones de bajo oxígeno son una reducida actividad respiratoria y reducida producción de etileno (Dadzie y col., 1996), una mejor retención del sabor, velocidades de ablandamiento menores, disminución de la pérdida del color (Zanella, 2003), un mantenimiento en los niveles de ácidos orgánicos (Bender y col., 2000) y en los niveles de vitaminas y azúcares (Ke y col., 1991) y una reducción en el catabolismo de lípidos y en otras reacciones oxidativas (Chervin y col., 1996). Además, una disminución en el riesgo de desórdenes como escaldado y corazón oscuro en McIntosh, Spartan, Delicious, Granny Smith, Jonathan y Cox's Orange Pippin (Skrzynski, 1994; Little y Peggie, 1987). Para manzana McIntosh, el uso de AC de bajo oxígeno (1 % + 1.5 % CO₂) provee fruta crujiente, jugosa y con mejor firmeza que aquella almacenada en AC convencional (Lidster y col., 1981). Asimismo, manzana Granny Smith mantiene una calidad aceptable después de 6 meses de almacenamiento en 0.7 % de O₂ (Zanella, 2003).

La exposición de nectarinas y duraznos a condiciones de ultra bajo oxígeno (< 1 %) reduce la velocidad de ablandamiento de la fruta y controla insectos, aunque se presenta acumulación de acetaldehído y etanol. Bonghi y col. (1999) encontraron que el uso de este tipo de atmósferas por tiempo prolongado no es recomendable para duraznos debido a que se favorece la activación de genes de alcohol deshidrogenasa (ADH), un aumento en la actividad de la enzima y una acumulación de etanol; sin embargo, dado que el almacenamiento retiene la firmeza de la pulpa y que la transferencia de la fruta a condiciones de aire normal disminuye rápidamente las concentraciones de los metabolitos, sugieren que el uso de AC de bajo oxígeno por periodos cortos puede ser una alternativa al almacenamiento refrigerado de duraznos. Siddiqui

y col. (1996) reportaron resultados similares al utilizar concentraciones de 1 % de O₂ y 3 % de CO₂ en manzana Golden Delicious, encontrando una mejor retención en la firmeza al comparar con la AC convencional (3 % O₂ y 3 % CO₂) y el almacenamiento en aire frío. Además, para esta variedad y para las variedades McIntosh y Spartan, Lidster y col. (1987) encontraron resultados coincidentes en cuanto a firmeza pero observaron un incremento en la evolución de etanol después del almacenamiento en 1 % O₂ a 0 y 3 °C alcanzando niveles por debajo de 20 mg/100 g (considerado un nivel crónico que predispone la susceptibilidad al daño por bajo oxígeno) en McIntosh y por arriba de este valor en Spartan.

Si bien es conocido que la acumulación de etanol puede causar olores desagradables, la concentración requerida para lograr este efecto no deseable varía grandemente entre cultivos. Patterson y Nichols (1988) sugieren concentraciones mayores a 4600 µL/L en la mayoría de los tejidos vegetales mientras que Ke y col. (1991) reportan que se requieren concentraciones mayores a 1000 µL/L de etanol para provocar un ligero aroma a alcohol en manzana Yellow Newton.

Entre los pigmentos afectados por la modificación atmosférica, la clorofila es el más ampliamente asociado con la calidad de frutas y hortalizas. La pérdida de clorofila puede ser deseable para productos comestibles, como en el caso de frutos climatéricos, pero puede ser un defecto de la calidad, como en el caso de la pérdida asociada con la senescencia en hortalizas de hoja. En los productos climatéricos, la degradación de clorofila puede ser inhibida por el uso de bajas concentraciones de O₂, principalmente por su efecto sobre el etileno. De manera similar, la degradación de clorofila relacionada con la senescencia en tejidos vegetales no climatéricos puede verse reducida por el bajo O₂ (Beaudry, 1999). Luo y Mikitzel (1996) evaluaron la calidad de chile pimienta almacenado durante 4 semanas en diferentes concentraciones de O₂ (1, 3, 5, 7 %) y sin el uso de CO₂; observaron que la atmósfera de 1 % de O₂

mantenía mejor la calidad del pimiento que las otras atmósferas, disminuyendo las pudriciones aproximadamente a la mitad comparado con el control (almacenado en aire) y manteniendo el color verde característico del fruto. El efecto del bajo O_2 sobre la retención del color verde también fue observado por Lopez y col. (2000) en manzana Golden Delicious. En este caso, la aceleración de la degradación de clorofila representa una herramienta importante para dar el color apropiado en este cultivar ya que ciertos mercados prefieren tonos que van de verde a amarillo.

La velocidad de establecimiento de la atmósfera influye directamente en la calidad del producto. Lau (1985) estudió el efecto de esta variable en AC con bajos niveles de oxígeno para manzanas Golden Delicious y Delicious. Utilizó concentraciones de 1, 1.5, 2 y 2.5 % de O_2 + 1.9 % de CO_2 . El establecimiento rápido de la AC y el uso de bajos niveles de O_2 (1 – 2 %) demostraron ser más efectivos en la retención de firmeza de ambas variedades que el almacenamiento lento, sucediendo lo mismo en el caso de la acidez. Este comportamiento persistió después de 7 días de almacenamiento en aire a 20 °C. No se observó ningún daño aparente en la fruta con el uso de bajo oxígeno y AC rápida, las evaluaciones sensoriales no revelaron efectos del almacenamiento sobre la calidad de ambas variedades, pero en ocasiones algunos panelistas prefirieron la manzana almacenada en 1 % de O_2 . Los efectos benéficos sobre la firmeza y acidez titulable observados en este estudio fueron confirmados por López y col. (2000) al utilizar AC de bajo O_2 para manzana Golden Delicious. Aún para el establecimiento de AC rápidas, la respuesta entre variedades es diferente. Red y Golden Delicious son más tolerantes al uso de atmósferas con concentraciones de 1 % de O_2 que las variedades Spartan y McIntosh, mientras que las del grupo Delicious se pueden mantener exitosamente a 1% de O_2 , Spartan y McIntosh deben almacenarse a niveles de 1 a 1.5 % para prevenir daños en la fruta y maximizar la firmeza como respuesta al almacenamiento (Lau, 1989). Así mismo, Delicious y Golden

Delicious son más susceptibles a la pérdida de textura que las variedades Jonathan, Granny Smith, Gala y Fuji aún en condiciones de bajo oxígeno (Little y Peggie, 1987).

Para el caso del mango, se ha reportado que AC de bajo oxígeno puede ser de uso potencial durante el transporte marítimo de las variedades Tommy Atkins y Haden (en estado verde maduro), ya que toleran 3 kPa de O₂ por 2 a 3 semanas (12 – 15 °C) sin presentar pérdida en su calidad (Bender y col., 2000a). Además, el almacenamiento en AC también permite un manejo exitoso de la fruta madurada en el árbol, conservando su calidad aromática (Bender y col., 2000b).

El etileno juega un papel crítico en la maduración de la fruta y su inhibición disminuye el ablandamiento y los cambios asociados con la maduración y senescencia. En el caso de frutos climatéricos, el O₂ y el CO₂ probablemente retardan la maduración no solamente a través de su efecto sobre la respiración, sino a través de sus efectos inhibitorios sobre la acción del etileno (Beaudry, 1999). Las atmósferas con bajo oxígeno (2 %) impiden la biosíntesis de etileno en manzana Golden Delicious por reducción en la habilidad catalítica de 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) oxidasa para convertir ACC a etileno y por una supresión en la expresión de ACC sintetasa a nivel transcripcional (Gorny y Kader, 1996). ACC sintetasa es la enzima reguladora de la biosíntesis de etileno y es el sitio principal en el cual actúan las atmósferas reducidas en oxígeno; además, este comportamiento es irrespectivo de la madurez fisiológica de la fruta (Gorny y Kader, 1997). Estas observaciones se ven apoyadas por los resultados obtenidos por otros autores. Kim y col. (1999) reportan que el uso de bajo oxígeno bloquea completamente el incremento autocatalítico del etileno y el climatérico respiratorio en tomate, disminuyendo su velocidad normal de maduración. Lidster y col. (1987) encontraron que la capacidad de manzanas McIntosh, Spartan y Golden Delicious para generar etileno después del almacenamiento generalmente

disminuye a medida que incrementa la duración del almacenamiento en bajo oxígeno (1 % O₂ y 1 % CO₂). Además, la supresión residual de la producción de etileno y CO₂ en estas variedades se correlaciona con una retención de firmeza y una reducida incidencia de desórdenes. Gherghi y col. (1994) reportan que la intensidad de respiración de las variedades Golden Delicious, Idared, Jonathan y Starkrimson en condiciones de almacenamiento de 0 – 1 °C y 0.5 % de O₂ durante 230 días es de 1.2 a 1.3 veces menor que en condiciones de 5 % de O₂, coincidiendo también en una inhibición en la biosíntesis de etileno como producto del bajo nivel. Ke y col. (1991) no observaron producción de etileno en manzanas Yellow Newton y Granny Smith almacenadas en 0.25 % de oxígeno a 0 °C por hasta 35 días.

Un desorden serio que ocurre durante el almacenamiento prolongado de manzanas es el escaldado superficial. Los síntomas incluyen principalmente la aparición de áreas cafés o negras en la superficie del fruto que se intensifican al removerlo del almacenamiento. Se cree que la síntesis y oxidación del sesquiterpeno α -farnesano juega un papel crítico en el desarrollo del escaldado. Los productos de su oxidación son referidos como trienos conjugados debido a que su estructura incluye tres dobles enlaces conjugados. La hipótesis prevaleciente del mecanismo del escaldado sostiene que los trienos conjugados son tóxicos para el tejido del producto, posiblemente a través de la iniciación de reacciones de radicales libres y/o descomposición a volátiles dañinos (Whitaker, 2000).

El desarrollo del escaldado es un proceso oxidativo y los antioxidantes difenilamina (DPA) y etoxiquina o el uso de atmósferas de bajo oxígeno alivian o controlan el desorden. El DPA reduce la incidencia del escaldado pero no siempre provee un control completo (Watkins y col., 2004). Además, una creciente preocupación acerca de los efectos ambientales y de salud que producen los agroquímicos acoplada con un movimiento global dirigido a una disminución en el uso de éstos y a su prohibición en algunos países europeos

(y a su futuro incierto en otros). pone en riesgo la utilización de DPA y etoxiquina como medios de control del escaldado en manzanas lo que obliga a buscar otras alternativas. Dado que no sería lógico reemplazar al DPA con otro agente químico (sería igualmente rechazado), los tratamientos que no dependen de medios químicos parecen ser la dirección más obvia a seguir en un futuro (Truter y col., 1994). El uso de AC con 0.7 % de O₂ y 1 % de CO₂ se ha reportado como un método viable para sustituir al DPA en el control del escaldado en las variedades Harrold Red, Starking y Starkrimson (Lau, 1997); también, 1 % de O₂ con 1 % de CO₂ (Chen y col., 1985) y 0.7 % de O₂ + 1.5 % de CO₂ a 0°C (Lau, 1990) pueden controlar el escaldado en las variedades Delicious. Además, existen reportes de que el uso de AC con niveles de 1.2 – 1.4 % O₂ y 1 % CO₂ controla por completo el escaldado en algunas variedades producidas en Rusia, manteniendo la calidad del producto hasta por 250 días (Ilinski y Goudkovski, 1998); mientras que en Canadá el uso de 0.7 % O₂ en manzana Red Delicious reduce mejor el escaldado que el uso de DPA (Kupferman, 2001). La disminución en la concentración de oxígeno a valores de 1 % reduce considerablemente la apariencia de escaldado en manzana Jonagold obteniéndose frutas crujientes y altas en vitamina C con una limitada reducción en la producción de volátiles y de azúcares. Además, la concentración de α -farnesano y de trienos conjugados se disminuye haciendo a la fruta menos susceptible al escaldado (Herregods y Goffings, 1993).

El escaldado está considerado como un desorden relacionado con la madurez; se ha reportado que el almacenamiento durante seis meses en condiciones de bajo oxígeno (1.5 % O₂ y 1 % CO₂) a 0 °C inhibe significativamente su desarrollo en manzana Granny Smith, pero el efecto de inhibición se ve influido por el grado de madurez de la fruta al momento de la cosecha siendo menos susceptible la fruta cosechada en el estado de madurez óptimo (Truter y col., 1994). Para manzana Delicious la condición es similar, el uso de concentraciones ultra bajas de O₂ (0.7 %) como una alternativa al DPA

debe estar acompañada por una cosecha de la fruta con una adecuada proporción de la pulpa de color rojo, es decir en la madurez comercial (Lau, 1990). Un tiempo de cosecha apropiado y condiciones de ultra bajo oxígeno hacen posible obtener fruta Jonagold de alta calidad aún durante almacenamientos prolongados (Herregods y Goffings, 1993). Sin embargo, una cosecha en la madurez incorrecta, un retraso en el establecimiento del bajo oxígeno y un fracaso en mantener los niveles adecuados de los gases disminuye la efectividad de ULO sobre el escaldado e incrementa el riesgo de aparición de otros desórdenes (Lau y col., 1998).

En contraste con los efectos positivos, respuestas indeseables pueden ocurrir cuando se utilizan concentraciones extremas de O_2 con el fin de prolongar la vida de anaquel, aliviar desórdenes fisiológicos y para desinfestación o control de patógenos en postcosecha. Estas respuestas consisten principalmente en decoloración y acumulación de volátiles que causan olores desagradables como resultado de una fermentación, disminuyendo la calidad del producto (Menniti y col., 1997; Yearsley y col., 1997; Bender y col., 2000). Además, mientras que existen reportes de una mayor incidencia de desórdenes internos en manzana y pera al utilizar concentraciones de 1 % de O_2 + 1 % CO_2 y 1 % O_2 + 0.7 % de CO_2 , respectivamente (Lidster y col., 1987; Larrigaudiere y col., 1998); otros estudios reportan que el uso de bajas concentraciones de O_2 no tiene efecto sobre la incidencia de desórdenes fisiológicos en manzana, ni efectos positivos sobre la firmeza, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y pérdida de peso (DeEll y Prange, 1998).

El aroma de manzana es una combinación compleja de sensaciones de sabor y olor. Aunque el sabor y la textura son importantes en la calidad del fruto, la presencia de trazas de volátiles, responsables del olor característico, le brinda a la fruta mucha de su calidad percibida (Rizzolo y col., 1997). El uso de AC de bajo oxígeno afecta el aroma natural de la fruta. La emisión de volátiles

durante la maduración está determinada por algunos factores que incluyen la madurez de la fruta en la cosecha (Yahia y col., 1990; Song y Bangerth, 1996; Fellman y col., 2003), la composición atmosférica y la duración del almacenamiento (Yahia, 1991; Brackmann y col., 1993; Echeverría y col., 2004b). Un efecto residual de la AC en manzanas es una reducción en la producción de compuestos aromáticos, más notablemente una reducida emisión de esteres característicos de la madurez del fruto (Fellman y col., 2003). Se cree que los principales esteres producidos por la fruta provienen de la degradación de lípidos y aminoácidos, y estas rutas se encuentran activas en el producto maduro (Mattheis y col., 1998; Echeverría y col., 2004a). La producción de esteres derivados de lípidos se reduce por el uso de bajas concentraciones de oxígeno durante el almacenamiento (Brackmann y col., 1993; Fellman y col., 2003). El uso de AC de 1 % de O₂ tiene un impacto negativo sobre la producción de esteres de cadena lineal y ramificados después de 60 días de almacenamiento de manzana Gala. Estos resultados también han sido observados en manzana Golden Delicious después de 5 meses de almacenamiento en AC de bajo oxígeno (Lopez y col., 2000). La concentración de O₂ en el almacenamiento es un factor determinante en la producción de esteres de cadena lineal, mientras que la de CO₂ tiene su efecto sobre esteres de cadena ramificada. La disponibilidad de precursores para la síntesis de esteres, alcoholes y carboxil CoA, así como la especificidad de sustratos de las enzimas en la ruta sintética son factores que determinan que compuestos son producidos. La reducción en la producción de esteres en manzana debido a una limitada disponibilidad de sustratos ocurre después de un almacenamiento prolongado en AC de bajo O₂ (Mattheis y col., 1998). Una disminución en la síntesis de etil 2-metilbutirato, compuesto de impacto directo sobre el aroma de manzanas del grupo Delicious, fue observada después de 5 meses de almacenamiento de manzana Golden Delicious en 10 l/m³ de O₂ + 10 l/m³ de CO₂ (Lopez y col., 2000).

Chervin y col. (2000) encontraron que un almacenamiento por corto tiempo (2 meses) en atmósferas con 3 % de O₂ era suficiente para disminuir de manera significativa los componentes aromáticos en pera. Saftner y col. (2002) reportaron una reducción en los niveles de aroma asociados con compuestos volátiles en manzana Gala almacenada en 0.7 ó 1 % de O₂ + 1 % de CO₂ después de 6 meses a 0 °C.

4. Almacenamiento en atmósferas controladas en México

Este tipo de almacenamiento se utiliza solamente para manzanas en los Estados de Chihuahua y Coahuila. En el Estado de Chihuahua se produce más del 70 % de la producción nacional seguido por Durango y Puebla (Cuadro 11). Otras áreas importantes de producción incluyen Veracruz, Coahuila, Nuevo León, Oaxaca, Hidalgo, Zacatecas, Chiapas y Sonora. Las variedades más importantes en Chihuahua incluyen Red y Golden Delicious, Starkrimson, Oregon Spur, Gala y Top Red Delicious. La superficie sembrada abarca un 60 – 70 % de Golden Delicious y el resto de las variedades rojas.

El uso de la tecnología de AC para el almacenamiento de manzanas en México inició hace más de 20 años en la Empacadora Paquimé, Nuevo Casas Grandes, en el Estado de Chihuahua y posteriormente en el Estado de Coahuila (Yahia, 1993).

El tamaño de los cuartos varía entre empacadoras pero en general ninguna utiliza preenfriamiento lo que puede provocar que la temperatura dentro del cuarto incremente al cerrar y exista un retraso en el establecimiento de las condiciones de almacenamiento, además de un mayor gasto de energía eléctrica y sobre todo una menor vida postcosecha de la fruta. El aislamiento de los cuartos se logra utilizando poliuretano y la diferencia de presión es controlada mediante válvulas, bolsas de aire y columnas de agua. Se realizan pruebas de presión cada inicio de temporada y los rangos entre cuartos varían de 30 a 40 min para perder una pulgada de agua. Los sistemas de refrigeración

son tradicionales (amoníaco y freón 12 como refrigerantes), la temperatura es mantenida a 0 °C y la humedad relativa varía entre 90 – 95 %. El tiempo de carga del almacén es hasta de tres días y el requerido para establecer la atmósfera varía entre dos y cuatro días. Los sistemas de separación de gases incluyen membranas de fibra hueca y controlan el CO₂ utilizando cal (aprox. 1 Kg de cal por cada 40 a 60 Kg de fruta) y removedores cuando la cal es insuficiente. El análisis de la atmósfera se realiza manualmente con un analizador de gases portátil que mide la concentración de O₂ y CO₂ existente en el interior del cuarto. La entrada de aire del analizador es conectada al dispositivo de toma de muestra del cuarto y una pequeña bomba del analizador succiona aire que fluye a través de detectores electroquímicos e infrarrojos que originan un resultado basado en una calibración previa del equipo con una mezcla de gases de concentración conocida. El análisis de gases en la atmósfera se realiza seis veces por día (dos ocasiones por cada turno de ocho horas) y las concentraciones se mantienen de 1.5 a 2 % para O₂ y de 0.5 a 2.2 % para CO₂. No se miden ni controlan los niveles de etileno en las cámaras y no se cuenta con eliminadores o trampas.

Los problemas más comunes que se encuentran durante el almacenamiento en AC incluyen mal estibamiento que limita el libre flujo del aire, retraso en el llenado de los cuartos y sobrellenado, falta de organización de los espacios que obliga a mezclar variedades con diferentes grados de madurez y fruta de diferentes huertas, posible presencia de escaldado, deterioro del aroma y una rápida maduración después del almacenamiento como consecuencia de un índice de cosecha inadecuado. Existen pocas diferencias entre las regiones que utilizan AC en México, pero de manera general todas manejan tecnologías similares (Yahia, 1993).

La capacidad de almacenamiento en el Estado de Chihuahua (Cuadro 12) es cubierta en su mayoría por el sistema de refrigeración convencional, aún cuando existe una aceptación reconocida por los beneficios del

almacenamiento en AC. Para este fin, cabe mencionar que hay una marcada tendencia a construir cuartos de AC o a convertir los cuartos fríos convencionales. La zona de Cuauhtémoc aporta la mayor producción del Estado y cerca del 40 % es almacenada en AC siendo la empresa Frigoríficos La Norteña la que cuenta con la mayor infraestructura en este tipo como se puede observar en el Cuadro 13. Como ya se mencionó, el tamaño de los cuartos varía entre empacadoras con capacidades desde 1,100 hasta 2,000 pallets que a su vez oscilan en volúmenes de fruta entre 300 a 400 kgs.

Cuadro 11. Principales Estados productores de manzana en México durante 2003*

Estado	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Tons)
Aguascalientes	51	20	162
Baja California	58	54	158
Coahuila	7,720	2,640	8,341
Chiapas	1,205	1,205	2,917
Chihuahua	26,306	24,236	350,242
Distrito Federal	25	25	202
Durango	12,695	11,298	52,183
Guanajuato	17	14	33
Guerrero	24	18	88
Hidalgo	1,571	1,492	5,646
Jalisco	30	19	102
México	323	238	1,863
Michoacán	178	90	627
Nuevo León	2,141	1,311	3,787
Oaxaca	1,839	1,807	8,193
Puebla	9,742	7,354	35,592
Querétaro	735	458	1,074
San Luis Potosí	24	24	295
Sonora	347	347	2,223
Tlaxcala	58	58	428
Veracruz	810	747	12,420
Zacatecas	1,674	1,526	7,268
Total	67,573	54,981	493,844

* Situación al 31 de diciembre de 2003
SAGARPA, 2004.

Cuadro 12. Capacidad de almacenamiento de manzana en el Estado de Chihuahua

Zona	Toneladas		
	AC	Refrigeración	Total
Alvaro Obregón	2,000	23,900	25,900
Bachíniva	0	15,080	15,080
Basuchil	0	3,000	3,000
Casas Grandes	19,500	14,940	34,440
Chihuahua	0	5,950	5,950
Cuauhtémoc	81,600	57,772	139,372
Cusihuirachi	0	1,100	1,100
Guerrero	8,800	38,108	46,908
Namiquípa	0	8,840	8,840
Temosachi	0	5,950	5,950
Total	111,900	174,640	286,540

UNIFRUT, 2004

Cuadro 13. Capacidad de almacenamiento de manzana en AC en la zona de Cuauhtémoc

Empresa	Número de cámaras	Capacidad promedio (pallets)	Capacidad total (pallets)	Capacidad de almacenamiento (tons)
La Norteña	47	2,000	120,000	50,000
Arroyo Seco	9	1,700	16,000	6,000
Indian Joy	8	1,300	10,400	5,400
S.P.R.	10	1,500	15,384	5,000
Cuauhtémoc				
Fruchi	8	1,250	10,000	4,000
Profruta	10	1,150	11,500	3,000
Grupo Visi	4	1,550	6,200	2,200
Agrofrío	6	1,800	14,400	2,000
La Campana	4	1,360	5,440	2,000
Vallecillos	4	1,350	5,400	2,000
Total	112	14,960	214,724	81,600

Comunicación personal del autor con cada empresa

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIAL

Durante el desarrollo de este trabajo se utilizaron como materia prima dos variedades de manzana, Red Delicious (RD) y Golden Delicious (GD) obtenidas en una huerta local en la Ciudad de Cuauhtémoc, Chihuahua. Con el fin de asegurar uniformidad en el tamaño y madurez de la fruta se seleccionó un huerto donde se maneja la floración a modo de compactar el período en que ocurre, posterior a la floración los racimos florales con grado similar de desarrollo se etiquetaron y de éstos se realizó el muestreo previo a la cosecha. La cosecha de la fruta se realizó los días 5 y 6 de septiembre de 2002 para RD y GD respectivamente tomando un sólo costado de los árboles. Se cosecharon 25 frutas por árbol para la primera y 24 para la segunda de un total de 71 y 74 árboles. Se obtuvo una cantidad de 1775 frutas de RD y 1776 frutas de GD, lo que facilitó realizar una segunda selección de 1656 frutas por variedad.

B. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La temporada inició con la cosecha del año 2002 y los tratamientos se aplicaron de la siguiente manera,

T1. Refrigeración a 0 ± 1 °C por 4 meses; en lo sucesivo denominado Ref.

T2. Refrigeración + DPA a 0 ± 1 °C por 4 meses; en lo sucesivo denominado Ref + DPA.

T3. AC convencional (1.5 - 1.7 % O₂; 2 - 2.2 % CO₂) a 0 °C por 6 meses, seguido de almacenamiento en aire a 0 ± 1 °C por hasta 12 días; en lo sucesivo denominado AC.

T4. AC convencional + DPA a 0 °C por 6 meses, seguido de almacenamiento en aire a 0 ± 1 °C por hasta 12 días; en lo sucesivo denominado AC + DPA.

T5. AC de ultra bajo oxígeno (0.7 – 1.2 %) a 0 °C por 8 meses, seguido de almacenamiento en aire a 0 ± 1 °C por hasta 12 días; en lo sucesivo denominado ULO.

T6. AC de ultra bajo oxígeno + DPA a 0 °C por 8 meses, seguido de almacenamiento en aire a 0 ± 1 °C por hasta 12 días; en lo sucesivo denominado ULO + DPA.

Los tratamientos T3 y T4 fueron aplicados en cuartos de almacenamiento comercial de AC en la empresa Frigoríficos La Norteña ubicada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua el día 5 de septiembre. Los demás tratamientos se desarrollaron en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD - Cuauhtémoc) entre el 5 y 6 de septiembre.

Una vez cosechada, la fruta se trasladó a las instalaciones del CIAD para organizarla en lotes y aplicar el tratamiento de DPA (2000 ppm, durante 1 minuto) en los tratamientos que lo requerían. Posteriormente se ubicó en el lugar que correspondía a cada lote a la temperatura indicada.

Se retiraron 36 frutas por tratamiento cada mes y 20 de ellas recibieron un segundo almacenamiento (con excepción de los tratamientos 1 y 2) en refrigeración (0 ± 1 °C). Se realizaron análisis al momento de cosechar y posteriormente a los 0, 4, 8 y 12 días del periodo de refrigeración utilizando 5 frutas por día de evaluación para las pruebas de calidad y para la determinación de etanol y acetaldehído. El resto de la fruta se utilizó para evaluar diariamente (a partir del primer día después del retiro mensual) a 20 °C y durante 7 días la velocidad de respiración y la producción de etileno.

Para el sistema de bajo oxígeno se utilizaron 24 frascos de vidrio (20 L) con capacidad para 55 a 60 frutas acondicionados con tapas herméticas y tubos

de cobre (entrada y salida) que facilitaron el movimiento del aire; la baja concentración de oxígeno se mantuvo por medio de la combinación de nitrógeno industrial y aire con un flujo continuo de 500 mL/min. El sistema estaba incluido dentro de un tablero de respiración (76 x 60 cm) acondicionado con 12 varillas de vidrio de 40 cm de longitud y 0.6 cm de diámetro interno unidas a dos tubos de cobre de 0.45 m de largo (con salidas espaciadas cada 3.5 cm) a través de manguera de hule látex modelo 2020. La mezcla de gases era alimentada primeramente a un humidificador para luego entrar en el sistema y posteriormente en los frascos. Se hicieron evaluaciones diarias de las concentraciones de gases durante los primeros dos meses y posteriormente cada semana utilizando un analizador de O₂/CO₂ modelo GCS-150 (Gas control systems, Sparta Michigan) conectado a la salida de aire de los frascos. La producción de CO₂ por parte de la fruta se eliminó por completo del interior de los frascos con la introducción de sacos de tela conteniendo 1.5 kg de cal en cada uno y la concentración de etileno se mantuvo en niveles bajos a través de trampas de permanganato de potasio. El sistema ULO se estableció 2 días después de haber cerrado los frascos utilizando en un inicio flujos elevados de la mezcla de gases para desplazar el aire del interior de los frascos. Una vez alcanzada la concentración de O₂ deseada se disminuyó el flujo a un nivel continuo de 500 mL/min. Sin embargo, durante los primeros días se requirió un cuidado especial para evitar que los niveles de O₂ descendieran mucho.

C. MÉTODOS

La metodología utilizada durante el desarrollo de este trabajo fue la siguiente:

1. Presencia e intensidad del escaldado y mancha amarga

Se realizó visualmente de acuerdo al porcentaje de superficie dañada en una escala de 0 a 4, donde: **0** = ausente, **1** = < 10 % de la superficie, **2** = 11 – 25 % de la superficie, **3** = 26 – 50 % de la superficie y **4** = > 50 % de la superficie.

2. Calidad externa

Se utilizó un sistema subjetivo de evaluación en una escala de 1 a 5, donde: **1** = excelente, **2** = aceptable, **3** = moderadamente aceptable, **4** = poco aceptable y **5** = no aceptable.

3. Textura

Se empleó un medidor de textura modelo TA-XT2i (Stable microsystems, Surrey Inglaterra) y se midió la fuerza de penetración en libras (punta de 11 mm) en los extremos y en la parte central de la mitad de cada fruta.

4. Daños debido a la baja concentración de O₂

La severidad del daño interno se determinó visualmente utilizando un sistema subjetivo de evaluación en una escala de 0 a 4 de acuerdo al porcentaje de área oscura de una sección longitudinal de la fruta: **0** = sin daño, **1** = daño ligero, 1 – 25 % de área oscura; **2** = daño moderado, 26 – 50 % de área oscura; **3** = muy dañada, 51 – 75 % de área oscura y **4** = extremadamente dañada, > 75 % de área oscura.

5. Índice de almidón

Se utilizó una solución de yodo - yoduro de potasio aplicada como spray con un atomizador sobre una sección longitudinal de la fruta y se reportó como porcentaje de área sin teñir.

6. Efecto del sistema de bajo oxígeno sobre la respiración anaeróbica

Este análisis se realizó midiendo la concentración de los productos de la respiración anaeróbica con el fin de conocer la tolerancia del fruto a las bajas concentraciones de oxígeno utilizadas y que favorecen la fermentación. Se evaluó acetaldehído y etanol utilizando una modificación de la metodología reportada por Kato-Noguchi y Watada (1997) que utiliza cromatografía de gases para el análisis de las muestras. Una porción de 10 g de pulpa fresca del fruto fue homogenizada con 25 mL de una solución fría de HCl 0.1 M. El homogenado se filtró a través de 2 capas de tela y una alícuota de 5 mL del extracto se transfirió a un tubo de prueba con tapa enroscable y septa que facilita la toma de la muestra.

Después de incubar el tubo en un baño (Precision, Winchester Virginia) a 70 °C por 20 min, una muestra de 1 mL de los gases del espacio de cabeza fue inyectada en un cromatógrafo de gases Varian 3800 (Walnut Creek California, Estados Unidos) equipado con un detector de ionización de flama (a 160 °C) y una columna empacada Hayesep Q (1.8 m x 1.8 " x 2 mm de diámetro interno). La velocidad de flujo del gas acarreador (Helio) fue de 25 mL/min, la temperatura del inyector de 110 ° C y el horno trabajó con un programa que inició en 90 ° C e incrementó a 190 ° C (a 10 ° C/min) para mantenerse en esa temperatura durante 10 min. La concentración de etanol y acetaldehído en la muestra fue calculada del área correspondiente de cada pico utilizando estándares certificados (Chem Service) y se reporta en partes por millón (ppm).

7. Producción de etileno y velocidad de respiración

Para medir la velocidad de respiración (como producción de CO₂) y la producción de etileno, 16 frutas divididas en cuatro lotes fueron pesadas y colocadas en frascos de vidrio de 5 L que fueron cerrados herméticamente y mantenidos dentro de un cuarto a temperatura constante de 20 °C. Un flujo

continuo de aire húmedo (40 mL/min) circuló por el interior de los frascos durante 7 días. La producción de etileno se midió directamente de cada frasco tomando una muestra de 1 mL de gas de la salida correspondiente para inyectarla en el puerto de un cromatógrafo de gases (Varian 3800) equipado con un detector de ionización de flama y una columna empacada Hayesep Q (1.8 m x 1.8 " x 2 mm de diámetro interno). El horno funcionaba con un programa que inició en 40 °C por 1 min para subir a 100 °C con una velocidad de 100 °C/min manteniéndose durante 2.9 min a esa temperatura. Los flujos del gas acarreador (Helio), del aire y del hidrógeno fueron de 50, 300 y 30 mL/min respectivamente. El inyector y el detector fueron mantenidos a 60 y 150 °C. Los resultados se obtuvieron con base a una curva de calibración previamente elaborada con un estándar certificado y fueron correlacionados con el flujo y el peso de la fruta mediante la siguiente ecuación para flujo continuo:

$$\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{Kgh} = \mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{L} \times [(F/P) \times (60 \text{ min/h}) (L/1000 \text{ mL})]$$

donde:

F = velocidad de flujo del aire en mL/min

P = peso de la fruta en Kg

La producción de bióxido de carbono se midió directamente de cada frasco conectando un analizador de gases a la salida del mismo y, al igual que para etileno, los resultados se correlacionaron con el peso de la fruta y el flujo del aire de la siguiente manera:

$$\text{mL CO}_2/\text{Kgh} = ([\text{CO}_2] \text{ entrada} - [\text{CO}_2] \text{ salida}) (F \times 60 \text{ min})/100 P$$

para convertir a mg CO₂/Kgh se utilizó el factor de conversión de 1.84 que se obtiene al calcular el volumen de 1 mol de CO₂ a una temperatura de 20 °C

tomando como base el valor de 1 mol de este gas a 0 °C (22.4 L) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Vol a T} = 22.4 (1 + \text{Temperatura del producto en } ^\circ\text{C} / 273 \text{ } ^\circ\text{Kelvin})$$

correspondiendo un valor de 24.04 L para T = 20 °C que divididos sobre el peso molecular del CO₂ (44 g) resultan en una relación volumen/peso de 0.546 L/g; así, la ecuación para convertir a mg quedaría como sigue:

$$\text{mg CO}_2/\text{Kgh} = \text{mL CO}_2/\text{Kgh} (1 / 0.546)$$

ó

$$\text{mg CO}_2/\text{Kgh} = \text{mL CO}_2/\text{Kgh} (1.84)$$

D. ANÁLISIS SENSORIAL

Las evaluaciones sensoriales se realizaron después de cuatro meses de almacenamiento en las diferentes condiciones utilizando un panel no entrenado, pero conocedor de la manzana, compuesto por 45 personas. Cada panelista evaluó los tratamientos T1 (Refrigeración), T3 (AC convencional) y T5 (ULO) para ambas variedades. El análisis se realizó en cuartos a temperatura ambiente y sin permitir interacción entre panelistas. Cada evaluador recibió todos los tratamientos al mismo tiempo en orden aleatorio. Se utilizó una fruta por tratamiento por variedad por panelista, y se les pidió evaluar la presencia o ausencia de olores desagradables en fruta entera y en fruta partida; la crujibilidad al morder en una escala de 1 a 3 donde 1 = muy crujiente, 2 = medio crujiente y 3 = blanda; y el sabor en una escala de 1 a 3 donde 1 = sabrosa, 2 = buena y 3 = regular. Se proporcionó agua y galletas saladas a cada panelista

para que se enjuagara y consumiera antes de cada evaluación y así evitar que la prueba anterior influyera sobre la actual.

E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las evaluaciones de calidad y las determinaciones de etileno, etanol y acetaldehído fueron analizadas utilizando análisis de varianza (ANOVA) con el paquete estadístico SAS (1990). Se realizaron comparaciones de medias con la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 5 %. Los resultados del análisis sensorial fueron arreglados en un diseño de bloques completamente al azar donde cada juez constituía un bloque y analizados por la prueba de Friedman que se basa en el análisis de los rangos de datos de cada bloque. Esta prueba no paramétrica se utiliza en presencia de k muestras relacionadas que corresponden a k tratamientos referentes a los mismos bloques, con el fin de demostrar una diferencia entre los tratamientos. En ella se pretende probar la igualdad de medias entre los tratamientos ($H_0: \mu_1 = \dots = \mu_n$), utilizando observaciones, tales como el orden o las medianas de los valores, para probar las hipótesis bajo estudio.

La prueba de comparación de Bonferroni a un nivel de 5 % fue utilizada para obtener información acerca de las magnitudes comparativas de las medias, tomando en cuenta que es una prueba que permite analizar datos no paramétricos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. COSECHA

Para definir la fecha de cosecha adecuada para el almacenamiento, se realizaron evaluaciones de la fruta cada tres días iniciando desde el 20 de agosto de 2002, midiendo textura, índice de almidón, días transcurridos después de la floración completa (DPFC), velocidad de respiración y producción de etileno.

Los valores obtenidos al momento de la cosecha para cada una de las variedades se muestran en el Cuadro 14. Para el caso de RD, la calidad de la fruta fue "aceptable" según la escala utilizada y la firmeza se encontraba con valores por debajo de los reportados para esta variedad (80 N) según el Departamento de Agricultura y Alimentos de California (Kader, 1992); sin embargo, en esta región de Chihuahua los valores de textura siempre han resultado menores a los recomendados para ambas variedades. El porcentaje de área libre de almidón representaba arriba del 25 % de la pulpa correspondiendo este valor al área del corazón, lo cual cumple con las especificaciones establecidas; de la misma manera que los días transcurridos después de la floración completa.

La textura de GD promediaba 65 N encontrándose más de 8 N por debajo de la sugerida por el Departamento de Agricultura y Alimentos de California y con un porcentaje de área de la pulpa libre de almidón por arriba del sugerido (40 %), ambos valores son diferentes a los reportados por Gherghi y col. (1994) en fruta evaluada al momento de la cosecha y utilizada para un almacenamiento de 230 días en condiciones de ULO (74.8 N y 50 % de área sin almidón). La calidad externa se consideró "aceptable" y transcurrieron 146 días después de la floración completa.

No se encontró presencia de etanol en GD y la concentración fue baja en el caso de RD, los valores de acetaldehído fueron muy similares en ambas variedades. En el comportamiento respiratorio (Figura 1A) se observó un ascenso en ambas variedades desde el inicio de las evaluaciones antes de la cosecha, es decir desde el día 20 de agosto, pero la máxima velocidad de respiración se presentó el día 23 para GD y el día 27 para RD; datos que se corroboraron posteriormente al continuar las evaluaciones mensuales debido a que no se encontraron valores de CO₂ al utilizar el analizador directamente ni al analizar las muestras por cromatografía de gases lo que podría deberse a que el flujo de aire húmedo utilizado en este sistema era elevado o a que la fruta ya no aportaba una cantidad de CO₂ detectable debido a su madurez.

En la producción de etileno (Figura 1B) se observó un ascenso desde el primer día a 20 °C que alcanzó el máximo (pico climatérico) en el día 3 para el caso de RD y en el día 4 para GD, para luego disminuir con el avance en el tiempo de almacenamiento a 20 °C, comportamiento que es característico de las frutas climatéricas. La cantidad de etileno producido por kg de fruta fue mayor en el caso de RD (14.2 vs 8.2 µL/kg h) que en el caso de GD.

Cuadro 14. Evaluación de manzana Red y Golden Delicious recién cosechada

Análisis	Red Delicious	Golden Delicious
Días transcurridos después de la floración completa	151	146
Calidad externa^a	2.2 ± 0.4	1.8 ± 0.8
Textura (N)	72.2 ± 5.9	65 ± 7.8
Almidón (% área libre)	27.3 ± 8.7	60 ± 10
Etanol (ppm)	0.5 ± 0.3	0
Acetaldehído (ppm)	11.8 ± 0.7	11.9 ± 0.5

^a evaluada utilizando una escala hedónica
Los valores son medias ± desviación estándar

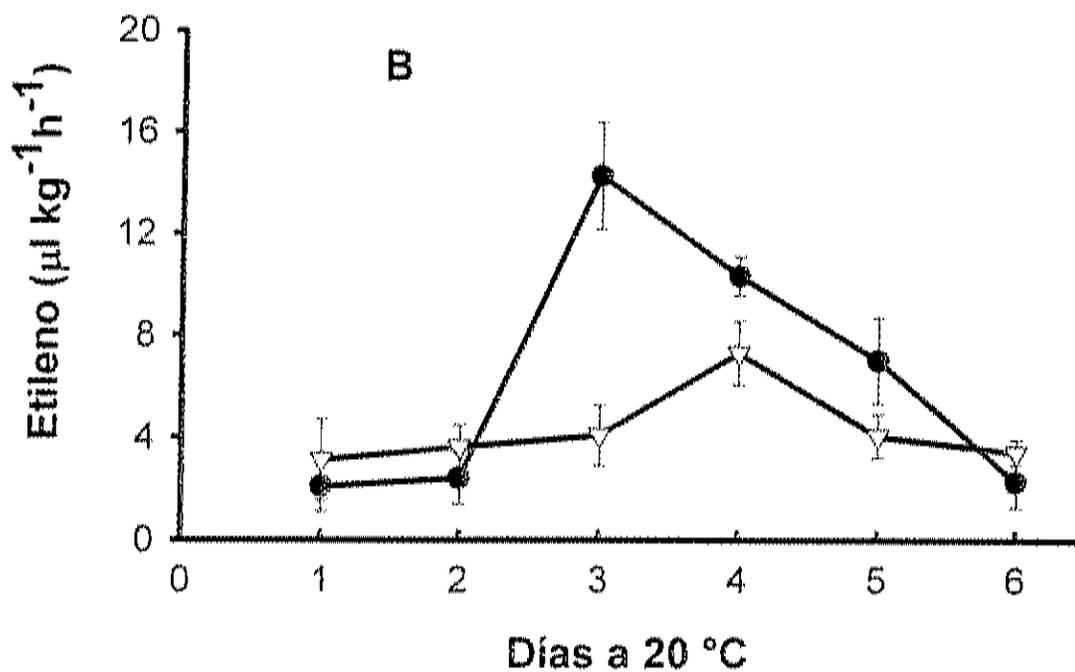
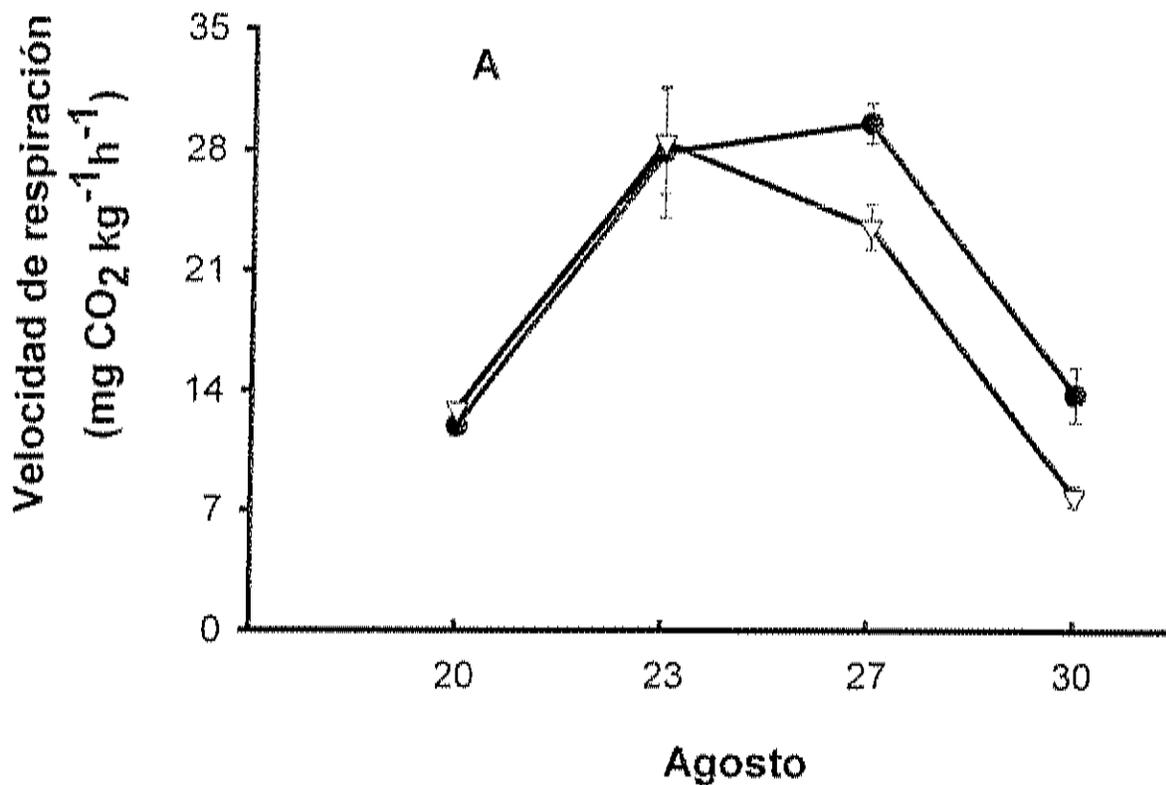


Figura 1. Velocidad de respiración (A) evaluada en agosto antes de la cosecha (6 de septiembre) y velocidad de producción de etileno (B) evaluada a 20 °C iniciando un día después de la cosecha de manzanas Red Delicious (●) y Golden Delicious (▽).

Los resultados de textura y velocidad de respiración obtenidos para ambas variedades antes y después de cosechar reconocen que la madurez de la fruta ya se encontraba avanzada para un almacenamiento en condiciones de atmósfera controlada de ultra bajo oxígeno, más no así para una atmósfera controlada tradicional. Cabe mencionar que el grado de madurez debe ser el adecuado al momento de cosechar; sin embargo, en nuestro caso los resultados de velocidad de respiración y producción de etileno no presentaron una cercanía en cuanto a su comportamiento climatérico, situación que no nos permitió tomar una decisión a tiempo y retrasó nuestra cosecha. La experiencia de los productores locales para definir el momento adecuado para la cosecha de la fruta destinada al almacenamiento en AC tradicional tampoco fue de ayuda ya que para condiciones de ULO el grado de madurez debe ser mucho menor al usado para AC y ellos cosecharon después de nosotros.

B. EVALUACIONES MENSUALES

No se observaron síntomas de la presencia de escaldado y mancha amarga en ningún tratamiento durante los meses evaluados lo que impidió observar el efecto de las atmósferas de ultra bajo oxígeno sobre el escaldado. No se observó oscurecimiento en el tejido de la fruta coincidiendo con lo reportado por otros autores (Lidster y col., 1987; Patterson y Nichols, 1988; Lau, 1989; Zanella, 2003) en diversos cultivares de manzana almacenados en ambientes de ultra bajo oxígeno.

1. Primer mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Los resultados encontrados para los diferentes tratamientos de la variedad RD fueron similares el día cero del periodo de refrigeración comercial con un valor de 2 y sólo ULO presentó un valor mayor (2.4) (Figura 2A). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los días de evaluación y los valores más bajos en la escala utilizada correspondieron a los tratamientos AC+DPA (1.2) y AC (1.4) en el día 12 de refrigeración a 0 °C, ubicándose entre el rango de "excelente y aceptable". El promedio general de los datos se mantuvo cercano a 2.

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para la variedad GD, el promedio de datos estuvo por encima de los correspondientes a RD con valores cercanos a 2.2. La calificación más baja (1.6) se otorgó a la fruta almacenada en Ref después de 12 días (Figura 2B) y la más alta (2.6) correspondió al tratamiento ULO en los días 0, 4 y 12 del periodo a 0 °C.

Utilizando una escala similar y después de un almacenamiento de 35 días en condiciones de 0.25 % de O₂, Ke y col. (1991) otorgaron una calificación de "buena" a manzanas Granny Smith y Yellow Newton.

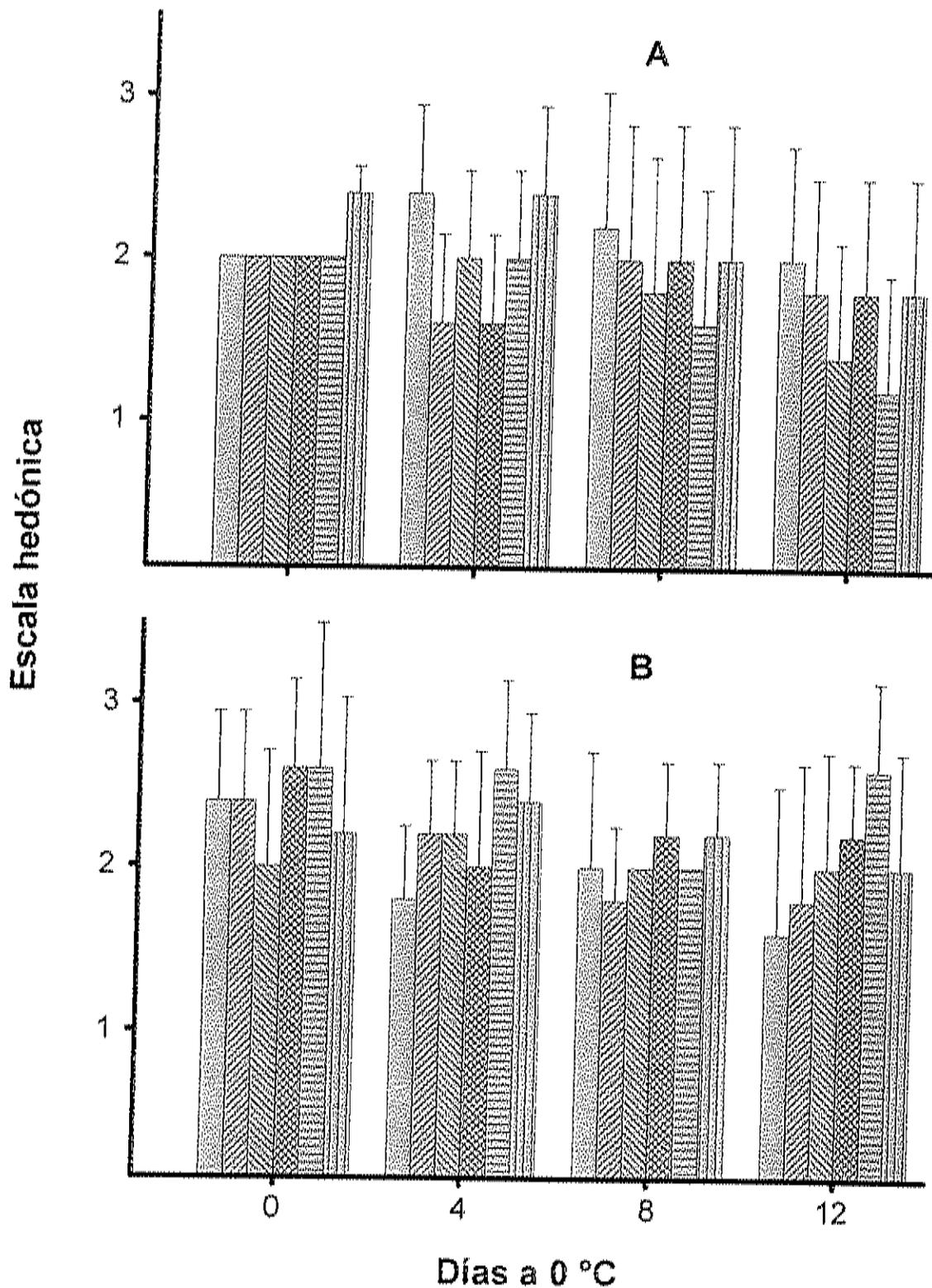


Figura 2. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (□), Ref+DPA (▣), AC (▤), AC+DPA (▥), ULO (▧) y ULO+DPA (▨). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

b. Textura

Después de un mes de almacenamiento los tratamientos Ref, Ref+DPA, ULO y ULO+DPA presentaron los valores más altos de firmeza para RD oscilando entre 67.2 y 71.6 N, no encontrándose diferencia significativa entre ellos durante todo el periodo de evaluación y sí existiendo con respecto a AC y AC+DPA (Figura 3A). La fruta almacenada en Ref tuvo una tendencia a disminuir a medida que transcurría el tiempo a 0 °C desde un valor de 69.8 hasta 64.5 N, mientras que Ref+DPA mantuvo un comportamiento constante con un promedio un poco arriba de 67.2 N. Para el caso de AC, los datos mostraron un comportamiento sostenido durante los primeros 4 días que aumentó un poco el resto del tiempo con valores de 64.5 a 65.8 N, mientras que AC+DPA se mostró ascendente los primeros 4 días para luego disminuir el día 8 y volver a aumentar el día 12 con valores de 68, 63.1 y 65.4 N respectivamente. ULO disminuyó los primeros 4 días de 70.3 a 64 retomando un valor alto el día 8 (71.6 N) y volviendo a caer el día 12 hasta 68.5 y ULO+DPA presentó una tendencia constante los primeros 8 días (aproximadamente 67.2 N) para luego bajar un poco hasta 65.8 N.

La firmeza en manzana GD tuvo un comportamiento más ordenado que en el caso de RD (Figura 3B); el valor más bajo al momento del retiro correspondió al tratamiento Ref+DPA que se mantuvo constante el resto del tiempo a 0 °C con un valor promedio de 64.9 N seguido por AC y ULO. Solo se observaron diferencias significativas para los tratamientos Ref, Ref+DPA y AC los días 4 y 8 del periodo a 0 °C con respecto a los demás. La fruta mantenida en Ref mostró una tendencia a disminuir de 71.6 a 60.9 N al igual que la fruta de AC (de 67.6 a 64 N) y la fruta de ULO+DPA (de 68.9 a 64.5). AC+DPA disminuyó los primeros 8 días para aumentar a un valor cercano a 71.6 N y ULO se mantuvo constante durante 8 días para disminuir el último día de evaluación.

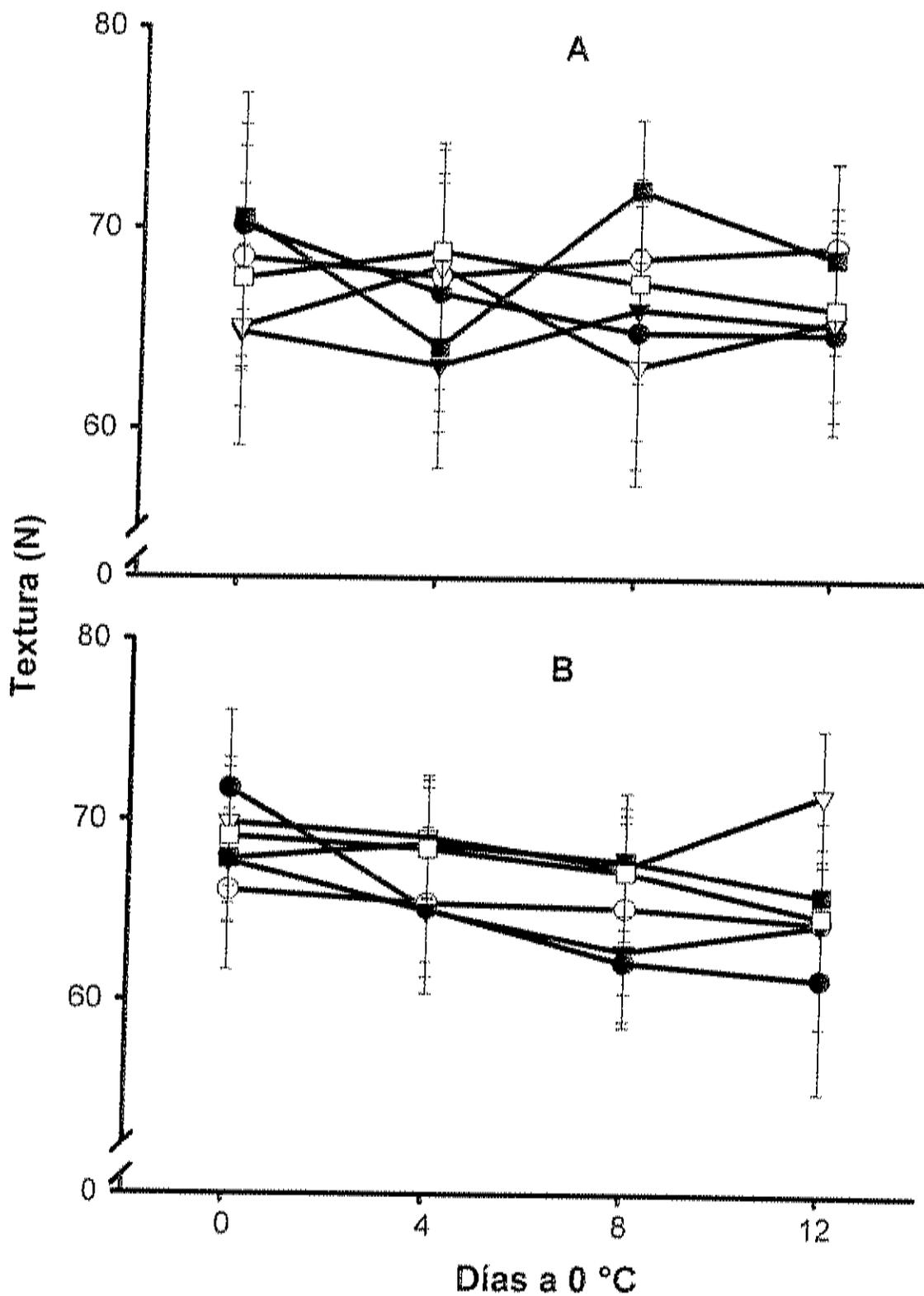


Figura 3. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Para ambas variedades se observó una disminución en los valores de textura obtenidos para el tratamiento Ref a medida que avanzaba el almacenamiento a 0 °C, misma que resultó más acentuada en GD quizás porque su contenido natural de cera protectora es más bajo que en RD lo que le impide mantener la firmeza por más tiempo; además de que presentaba mayor madurez al momento de la cosecha. Se pudo apreciar que la combinación Ref+DPA mantenía en mejor medida la textura en ambos frutos; situación que no siempre se apreció de igual manera en el resto de los tratamientos al combinarlos con DPA.

c. Índice de almidón

El porcentaje de área libre de color para cada una de las variedades evaluadas se puede observar en la Figura 4. En RD se encontraron diferencias significativas para ULO con respecto a los demás tratamientos en el día del retiro, no presentándose entre ULO y Ref+DPA el día 4 ni en Ref+DPA el día 8 con respecto a los demás. Se observó una tendencia marcada para perder almidón de parte de todos los tratamientos, el porcentaje de área sin color aumentó de manera natural con el transcurso de las evaluaciones presentando valores que alcanzaron el 63 % en Ref, AC y AC+DPA el día 12, sin embargo el resto de los tratamientos tuvieron por lo menos la mitad de la pulpa libre de almidón en la última evaluación.

En GD el valor más bajo (75 %) se ubicó por arriba del máximo en RD, comportamiento que se presenta siempre entre estas variedades. En esta fruta los tratamientos AC, Ref+DPA y AC+DPA se ubicaron como los más altos en promedio con cantidades que oscilaban entre 89 y 95 % de pulpa libre de almidón; les siguen en orden Ref, ULO+DPA y ULO. Solo los tratamientos AC y ULO alcanzaron el 100 % del área sin color en el día 12, sin embargo, la tendencia al incremento no fue tan marcada como en RD y se presentaron comportamientos no uniformes en la mayoría de los tratamientos.

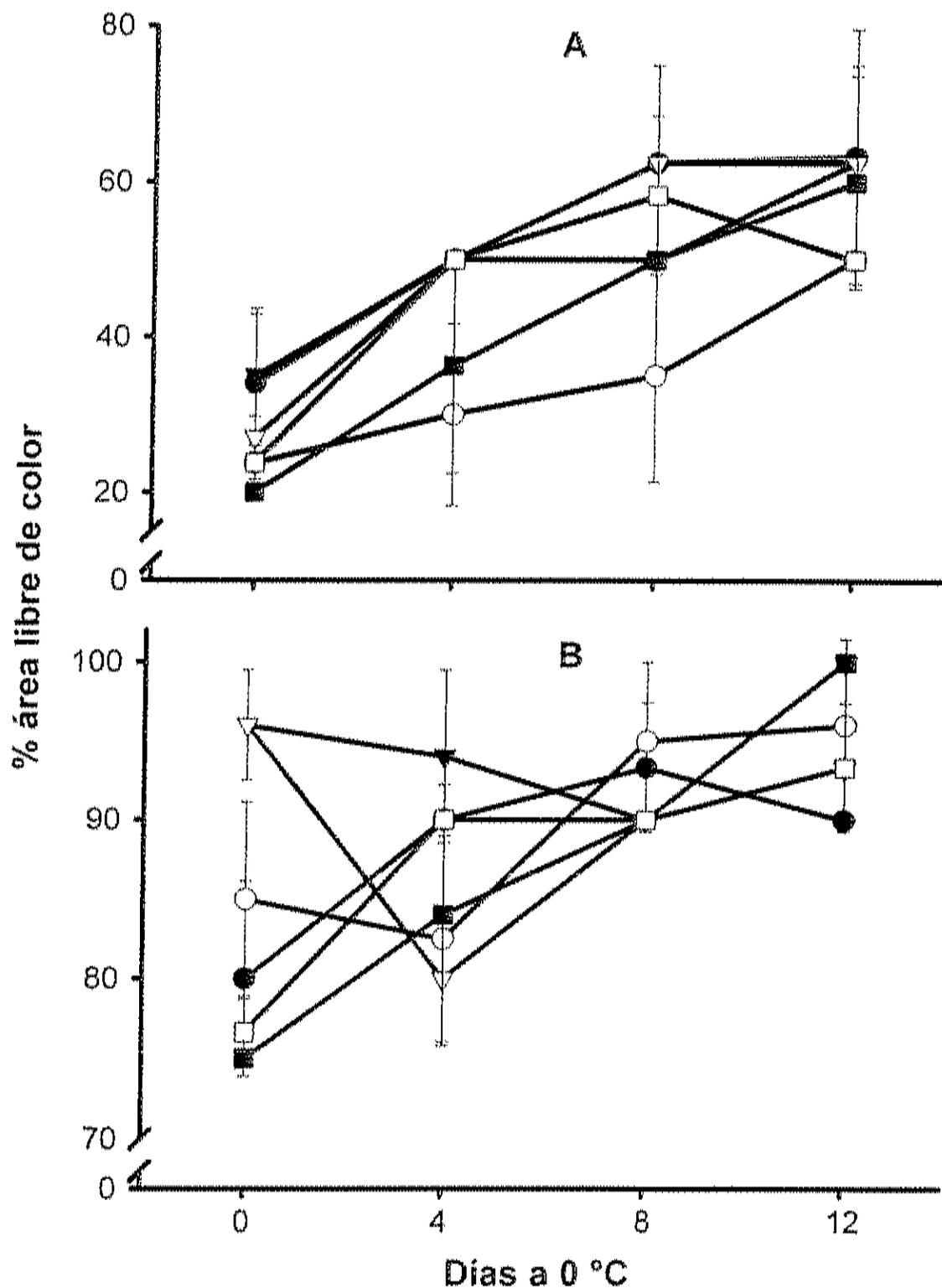


Figura 4. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Con base en los resultados se pudo observar un desarrollo normal de ambas variedades que resultó más acelerado en GD lo que ratifica la importancia de cosechar con un adecuado índice que nos ayude a evitar sobremadurez durante el almacenamiento y cualquier problema relacionado con una mala cosecha; situación que se presentó en nuestro trabajo y que será una desventaja que habrá que considerar.

d. Metabolitos de fermentación

Los valores más altos en concentración de etanol para RD (Figura 5A) pertenecieron a ULO+DPA con cantidades iniciales de 350 ppm que alcanzaron hasta 445 ppm después de 12 días a 0 °C. El tratamiento ULO presentó valores que variaban desde 60, 307, 293 y 232 ppm los días 0, 4, 8 y 12 respectivamente. El resto de los tratamientos obtuvo valores bajos (con excepción de Ref en el día 0) durante el transcurso de las evaluaciones y se observó solo un ligero aumento comparado con los datos de la cosecha. No se encontraron diferencias significativas entre Ref+DPA, AC y AC+DPA.

El comportamiento fue similar para GD (Figura 5B), mientras que ULO+DPA obtuvo los valores más altos, seguido de ULO, el resto de los tratamientos tuvieron concentraciones bajas y no presentaron diferencias entre ellos. No obstante, esta variedad resultó con concentraciones más bajas que RD lo que podría indicar que es menos sensible al bajo oxígeno.

Los tratamientos ULO y ULO+DPA obtuvieron los valores más altos en partes por millón de acetaldehído para RD (Figura 6A), se pudo observar una diferencia significativa en concentración entre éstos y el resto de los tratamientos. Este comportamiento también demostró el efecto del bajo oxígeno sobre el metabolismo de la fruta al inducir el desarrollo de anaerobiosis; si bien la AC utiliza bajas concentraciones de O₂, la diferencia en cantidades promedio que se encontró entre ésta y ULO es grande y varía de 9 ppm hasta 77 ppm aún cuando el tiempo de almacenamiento de la fruta no es

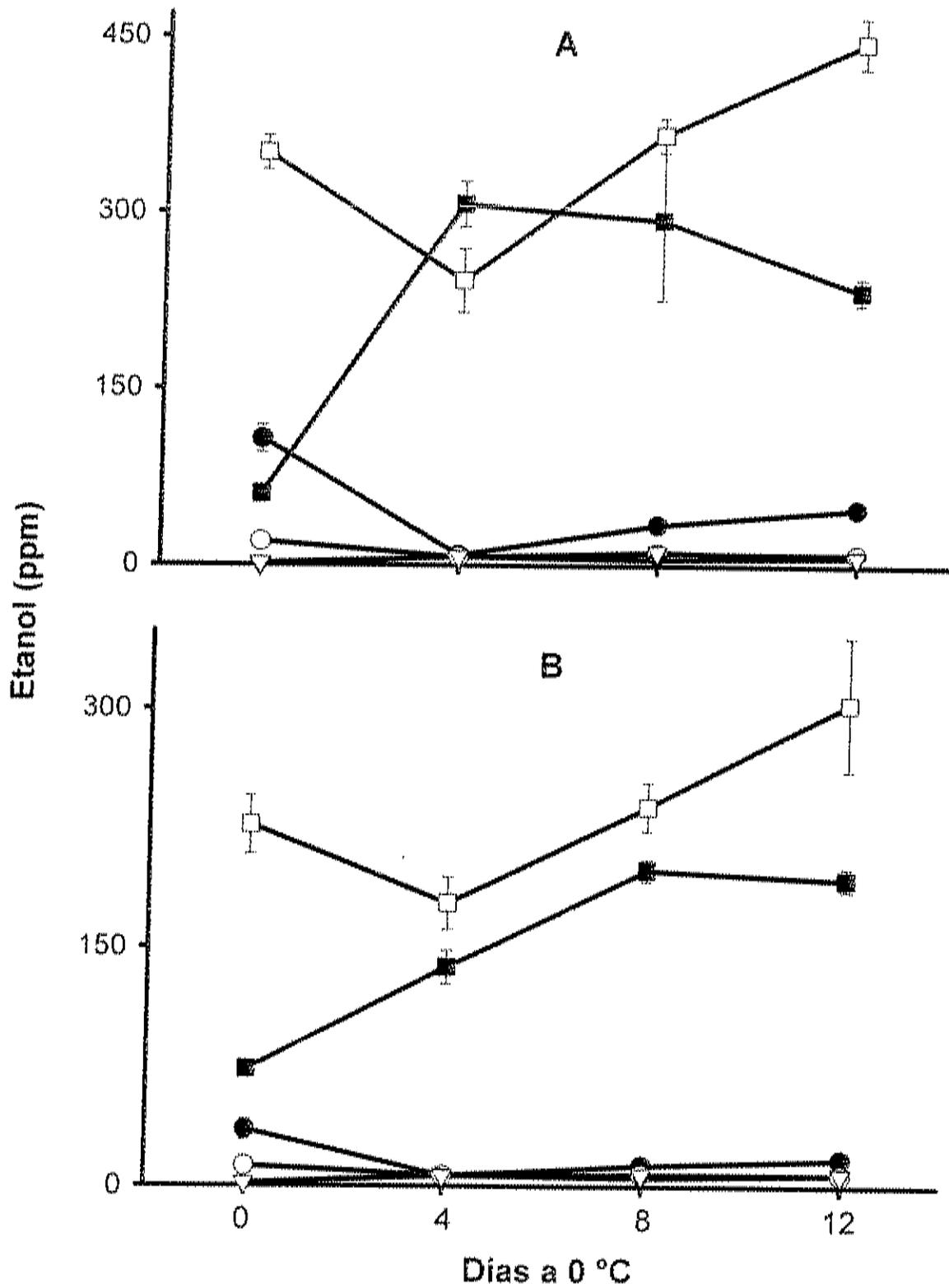


Figura 5. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

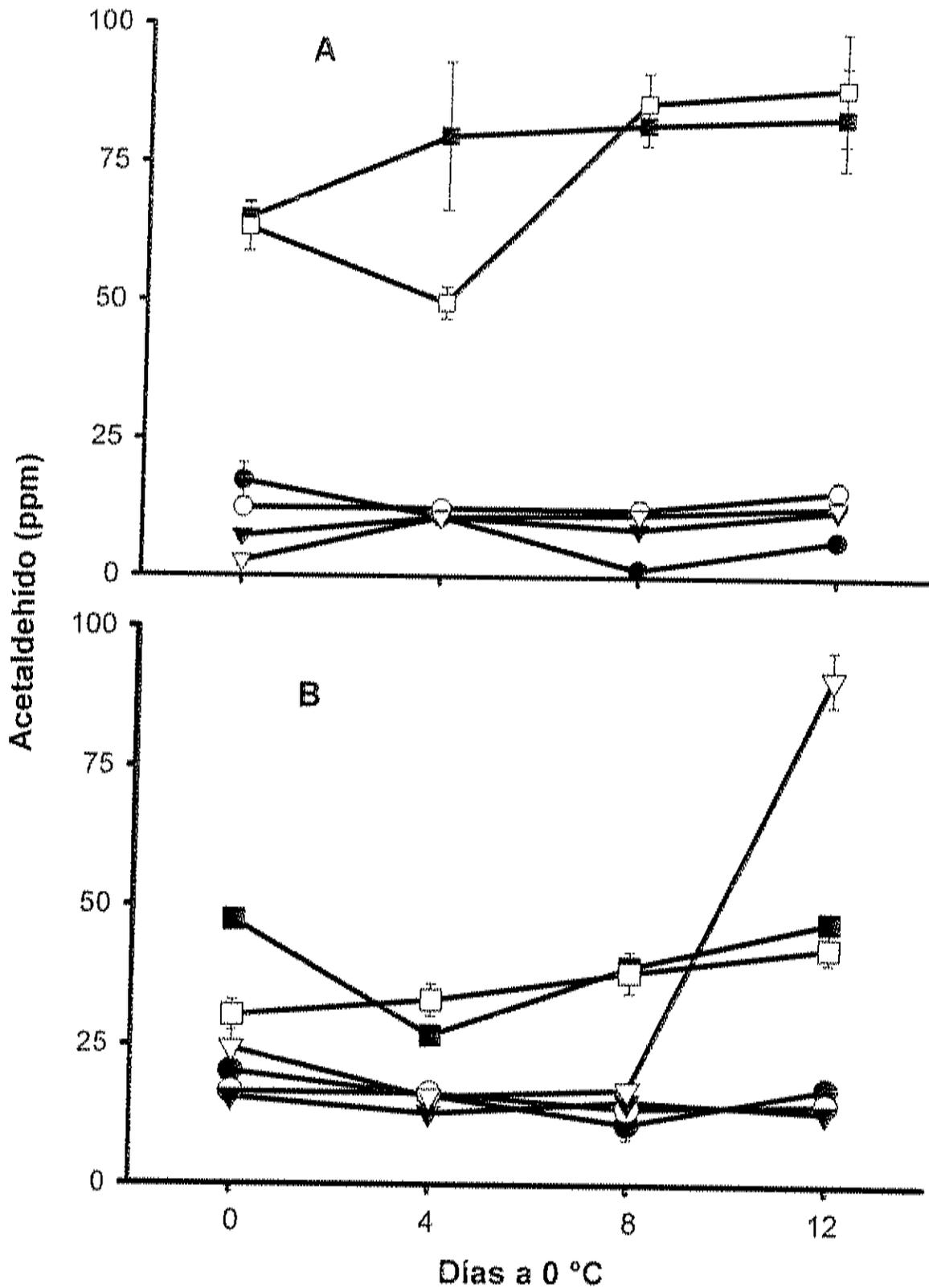


Figura 6. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

muy prolongado todavía, a pesar de esto no se observaron daños en la pulpa ni aromas o sabores desagradables como consecuencia de este almacenamiento.

Al igual que en el caso de RD, ULO presentó los valores más altos en concentración de acetaldehído en GD con valores que oscilaban entre 26.8 y 47.4 con un promedio cercano a 40 ppm seguido de AC+DPA con un promedio de 37.1, ULO+DPA con 36.1 y el resto con valores entre 16.1 y 14.1 (Figura 6B). No hubo diferencias entre Ref, Ref+DPA y AC que se comportaron muy estables durante todo el período de evaluación, AC+DPA presentó valores constantes los primeros 8 días a 0 °C y aumentó bastante el día 12 (91.2 ppm) incluso por encima de los tratamientos de ultra bajo oxígeno, comportamiento no esperado y que podría deberse a una acumulación como consecuencia de una elevada actividad de la enzima piruvato descarboxilasa (PDC) que pudo verse favorecida en las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, los valores promedios de acetaldehído en esta variedad resultaron menores por tratamiento que los encontrados en RD, corroborando una menor sensibilidad al almacenamiento en bajo oxígeno.

La respiración anaeróbica inicia cuando la concentración de oxígeno en la atmósfera se reduce hasta el punto de extinción propiciando la acumulación de acetaldehído y etanol, en nuestro caso, los resultados encontrados para estos metabolitos indican que este punto se alcanzó durante el primer mes de almacenamiento en condiciones por debajo de 1,3 % de oxígeno.

e. Producción de etileno

Las cantidades de etileno producido en ambas variedades fueron mucho menores que las encontradas al momento de la cosecha lo que era de esperarse debido a que el almacenamiento provoca una disminución en la actividad metabólica de la fruta. En Ref se pudo observar que el primer dato a 20 °C se obtuvo cuando la fruta se encontraba en el ascenso climatérico alcanzando su máximo al día siguiente con un valor de 4.8 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ que fue el

más alto para la variedad RD (Figura 7A). Ref+DPA alcanzó el pico climatérico el día 3 con un valor de 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$, AC el día 5 con 2.2, AC+DPA el día 3 con 1.3, ULO el día 5 con 1.9 y ULO+DPA el día 6 con 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$. Con excepción de Ref, todos los tratamientos presentaron valores muy similares durante el periodo a 20 °C, pero en aquellos correspondientes al uso de ultra bajo oxígeno la línea de ascenso antes del climaterio fue menos pronunciada observándose un claro efecto de las condiciones de almacenamiento en la producción, hecho que se confirmó con la baja cantidad obtenida como valor máximo.

En la Figura 7B se puede observar que la tendencia seguida por ULO y ULO+DPA fue muy inestable, es decir, presentó valores que subían y bajaban sin un comportamiento equilibrado lo que nos lleva a pensar que hay un efecto del almacenamiento que no se ha mostrado por completo todavía quizás por el corto tiempo de exposición. El resto de los tratamientos presentaron un comportamiento característico de las frutas climatéricas y todos coincidieron en alcanzar el máximo el día 3 a 20 °C; sin embargo, los valores de Ref y Ref+DPA resultaron menores y los de AC y AC+DPA fueron mayores que los correspondientes a la variedad RD lo que sugiere diversos efectos por tratamiento y variedad que se podrán soportar en evaluaciones posteriores.

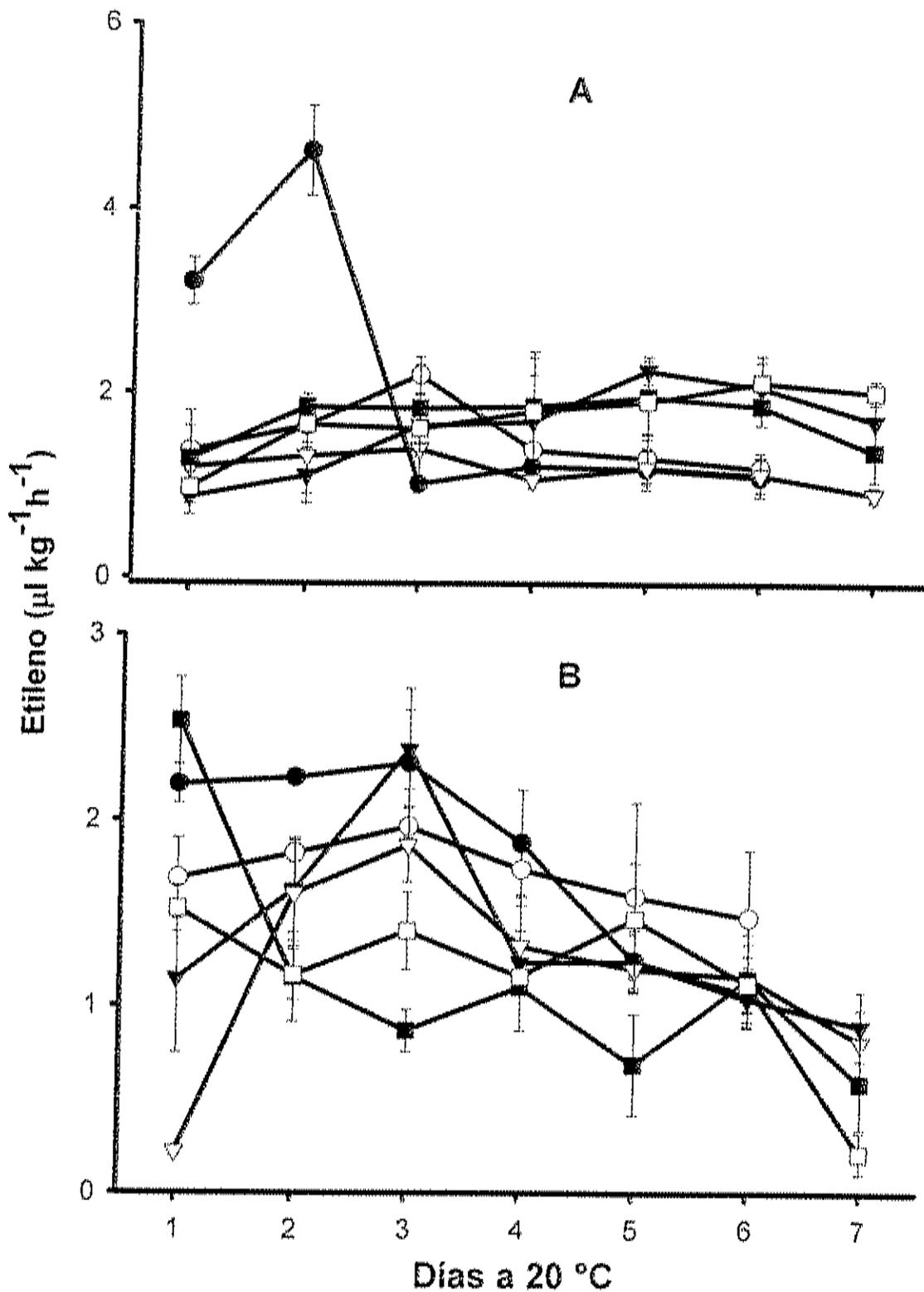


Figura 7. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante un mes en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

2. Segundo mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Los resultados de esta evaluación se pueden observar para ambas variedades en la Figura 8. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos durante el periodo de refrigeración a 0 °C para la variedad RD. El día del retiro los tratamientos Ref y Ref+DPA presentaron los valores más bajos en calidad (1.4) que correspondieron a una calificación entre "aceptable y excelente" de la escala utilizada seguidos por ULO (1.8), AC (2), AC+DPA y ULO+DPA (2.2 cada uno). Los valores más altos en la escala pertenecieron a AC y ULO+DPA con 2.4 (calificados entre "aceptable y moderadamente aceptable") el día 4 a 0 °C mientras que el resto se ubicó por debajo de 2 = "aceptable". Ref+DPA fue el más alto el día 8 con 2.4 seguido de AC+DPA con 2.2 y el resto se ubicó por debajo de 2 mientras que el día 12 todos se situaron por debajo de 2 siendo ULO+DPA el mejor y el más bajo durante todo el periodo. Los resultados de este mes fueron muy similares a los encontrados el mes anterior para esta variedad lo que nos indica que la apariencia externa de la fruta se mantiene aceptablemente.

En GD los valores encontrados resultaron mayores que en RD y en algunas ocasiones alcanzaron cantidades hasta de 2.8 (AC+DPA) ubicándose cerca de "moderadamente aceptable" en la escala hedónica. Otros valores elevados pertenecieron a AC+DPA (2.6) el día 4 y AC+DPA, ULO y ULO+DPA (2.4) el día 0; el resto de los tratamientos en los días correspondientes presentaron valores por debajo de 2 mostrando un comportamiento más constante en calidad. El promedio general de los datos se ubicó entre 1.7 (AC) y 2.5 (AC+DPA) que son valores parecidos a los obtenidos en la evaluación del mes anterior y, al igual que en esa ocasión, por arriba de los pertenecientes a la variedad RD.

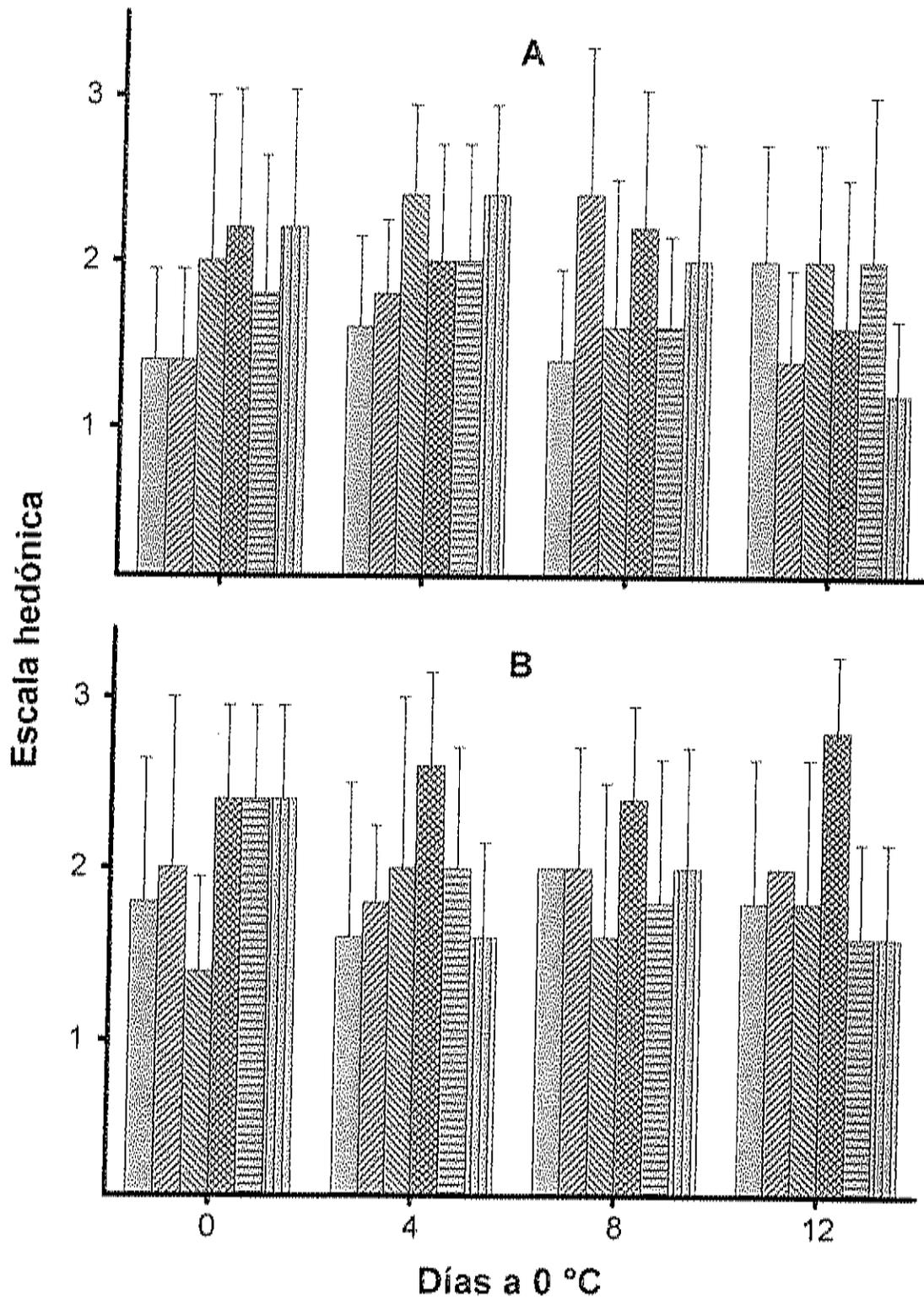


Figura 8. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (□), Ref+DPA (■), AC (▣), AC+DPA (▤), ULO (▥) y ULO+DPA (▦). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

b. Textura

Los tratamientos Ref y Ref+DPA de la variedad RD presentaron los valores más bajos en fuerza de penetración durante el período de evaluación con un promedio de 63.6 y 65.4 N, respectivamente (Figura 9A). Todos los tratamientos mostraron una tendencia a mantener su textura con valores entre 62.7 y 67.2 N que se consideran aceptables a dos meses de su cosecha. No hubo diferencias significativas y comparado con el mes anterior se encontró una pérdida aproximada de 4.4 newtons. Ref se mantuvo constante durante el almacenamiento a 0 °C mientras que Ref+DPA sufrió una caída el día 4 desde 67.6 hasta 62.7 N recuperándose los últimos dos días del período. AC y AC+DPA se manejaron con valores muy similares y ULO presentó altibajos mostrando una tendencia inestable que resultó contraria en ULO+DPA durante los 12 días situación que no era tan marcada el mes anterior y que podría empezar a mostrar una conducta como resultado de la combinación con DPA.

Los datos obtenidos para GD en los tratamientos Ref y Ref+DPA fueron más bajos que los del mes anterior con valores promedio de 53.7 N, esto es, una pérdida aproximada de 8.8 N (Figura 9B). Solo estos tratamientos presentaron diferencias con respecto a los demás; mientras que el primero se mantuvo constante durante 8 días para caer el último día de evaluación el segundo disminuyó a los cuatro días para permanecer en ese nivel el resto del tiempo. Los demás tratamientos mostraron una tendencia a mantener su firmeza comparados con el mes anterior. AC inició en un valor de 62.7, subió a 67.6, bajó de nuevo a 64.5 y finalizó en 67.2 N; mientras que AC+DPA se comportó al revés con valores de 68.9, 64, 69.8 y 66.3 N, sin embargo no se encontró diferencia entre ellos. Los resultados más altos y constantes en firmeza fueron cercanos a 71.6 N y correspondieron a ULO+DPA que mantuvo estos valores durante 8 días del almacenamiento a 0 °C, este comportamiento también se había observado el mes anterior para este tratamiento.

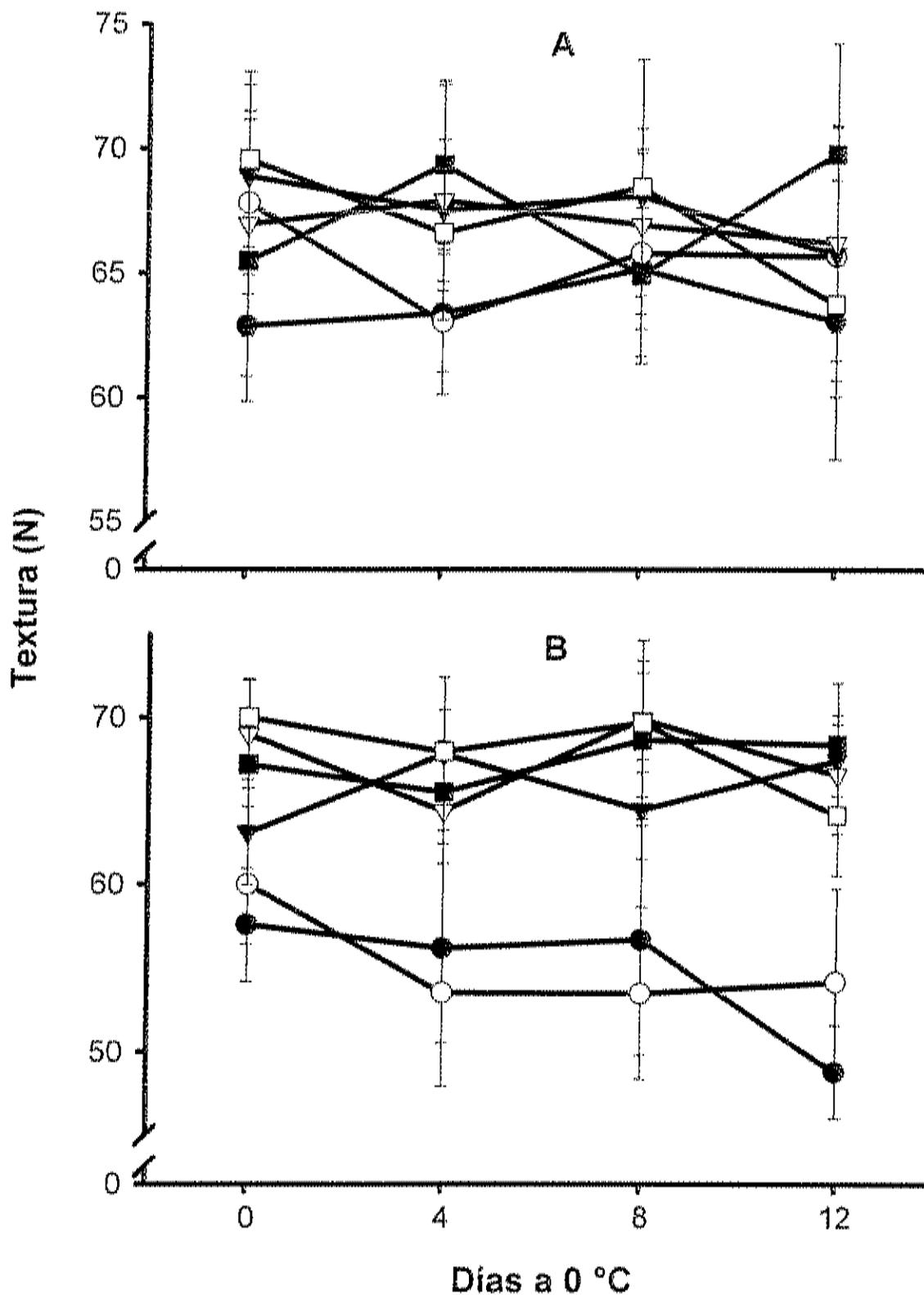


Figura 9. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

La disminución en textura fue mayor en la variedad GD tal y como se observó desde el mes anterior. Para estas fechas la calidad de la fruta almacenada en refrigeración comercial todavía era aceptada por el mercado consumidor, sin embargo el efecto en la retención de la textura que proporciona el uso de AC tradicional o de AC de ultra bajo oxígeno fue muy notorio en ambas variedades coincidiendo con lo reportado por Antunes y Sfakiotakis (2002).

c. Índice de almidón

Después de dos meses de almacenamiento en las diferentes condiciones el porcentaje de área libre de almidón presente en la variedad RD alcanzó su máximo en el tratamiento Ref+DPA durante los primeros 4 días del periodo de evaluación con valores de 66 y 75 %. El día 8 la mayoría de los tratamientos (con excepción de Ref y AC+DPA) resultaron con 75 % del área libre de color pero cayeron el día 12 a valores por debajo de 62 % (Figura 10A). En comparación con el mes anterior existió un aumento aproximado de 15 a 40 % de área sin color entre los tratamientos el día del retiro, además no se pudo apreciar una tendencia al aumento tan marcada (durante el periodo a 0 °C) como en el primer mes, situación que debe ser más estable a medida que transcurre el tiempo en el almacenamiento y que nos indica una disminución en la velocidad de maduración de la fruta. Solo se encontraron diferencias significativas para el tratamiento Ref con respecto a los demás.

La variedad GD continuó presentando valores promedio arriba de 90 %, que resultaron más altos en porcentaje que lo que se alcanzó en RD. No se observó una tendencia estable por parte de los tratamientos Ref, Ref+DPA, AC y AC+DPA mostrando valores de 100 % al inicio que disminuyeron los primeros 4 días y volvieron a aumentar el resto del tiempo; ULO conservó siempre su valor de 90 % durante el período y ULO+DPA aumentó un poco las primeras

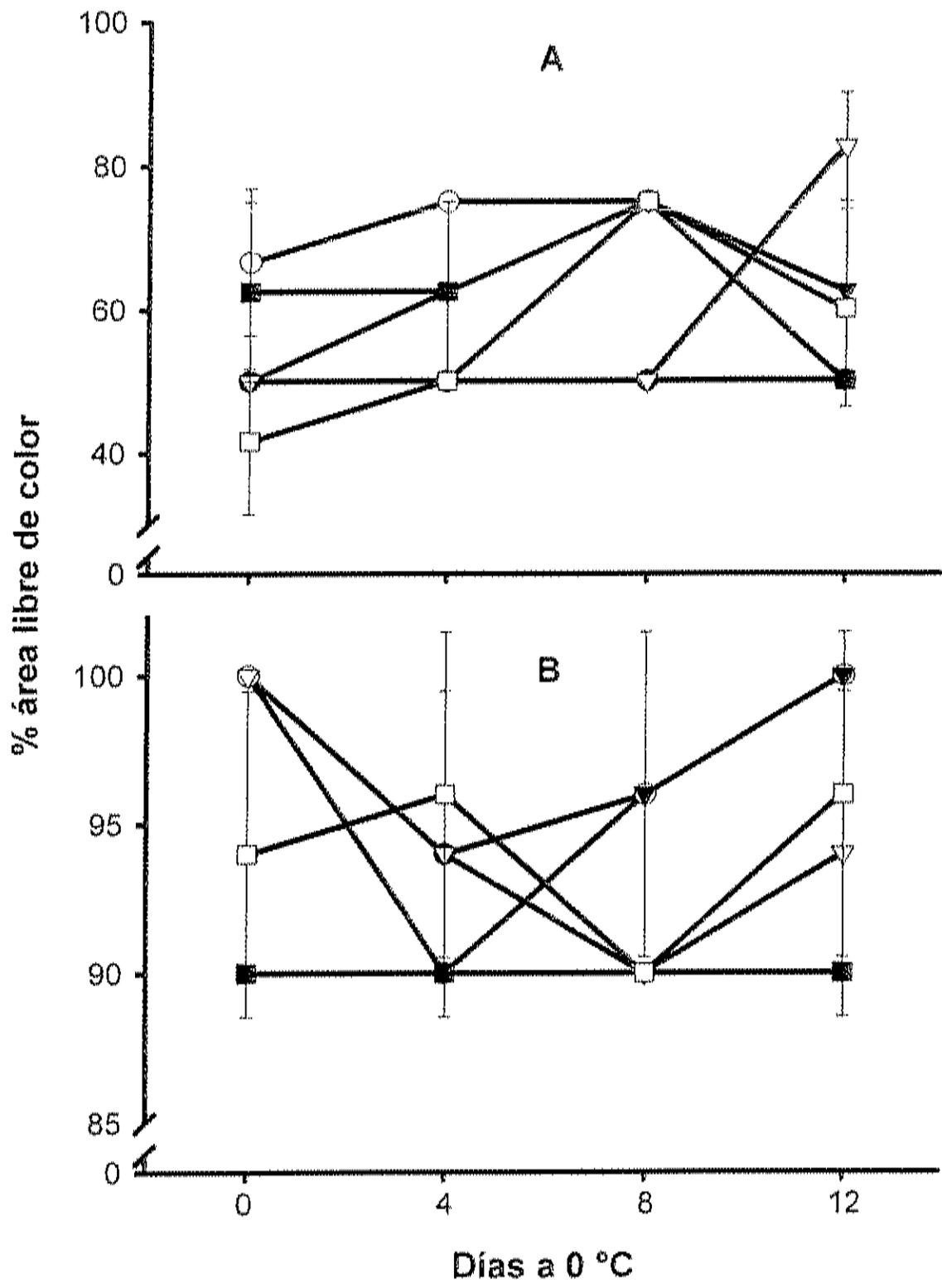


Figura 10. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

dos evaluaciones cayendo en la tercera y recuperándose en la última (Figura 10B). Solo el tratamiento ULO fue significativamente diferente del resto. Para esta variedad se pudo observar un aumento rápido en la velocidad de maduración; sin embargo, el uso de AC de ultra bajo oxígeno demostró que puede retardar esta velocidad en mayor medida que el resto de los tratamientos si se compara con el mes anterior; ya que el día 12 de ese mes presentaba un valor de 90 % que se mantuvo durante todo el periodo de este mes.

Los cambios en la concentración de almidón son muy importantes en el periodo postcosecha debido a que la degradación de almidón a azúcar (glucosa) en la fruta durante la maduración le brinda un sabor dulce característico y provee precursores de algunos compuestos aromáticos, además de energía. En el caso de los tratamientos que involucran atmósferas controladas, el uso de concentraciones bajas de O_2 no parece influir en la velocidad de degradación del almidón.

d. Metabolitos de fermentación

La concentración de etanol obtenida durante el periodo de almacenamiento a 0 °C para cada variedad por tratamiento se muestra en la Figura 11. No se encontraron diferencias entre AC y AC+DPA con valores promedio de 9 y 4.3 ppm respectivamente, encontrándose para el resto de los tratamientos. Ref aumentó durante los primeros 4 días manteniéndose casi constante hasta el día 8 para subir un poco más el día 12 con valores de 2, 122.2, 94.9 y 141.9 ppm cada día. Ref+DPA subió de 2.4 en el retiro a 27.6 ppm el día 4 para mantenerse con valores cercanos el resto del tiempo. Estos tratamientos deberían presentar valores menores a los obtenidos y muy parecidos a los correspondientes a AC; sin embargo, dado que fueron almacenados en la cámara donde se encontraba el sistema ULO las condiciones ambientales internas podrían haber favorecido la producción de etanol a pesar de que se realizaban ventilaciones diariamente, situación que se

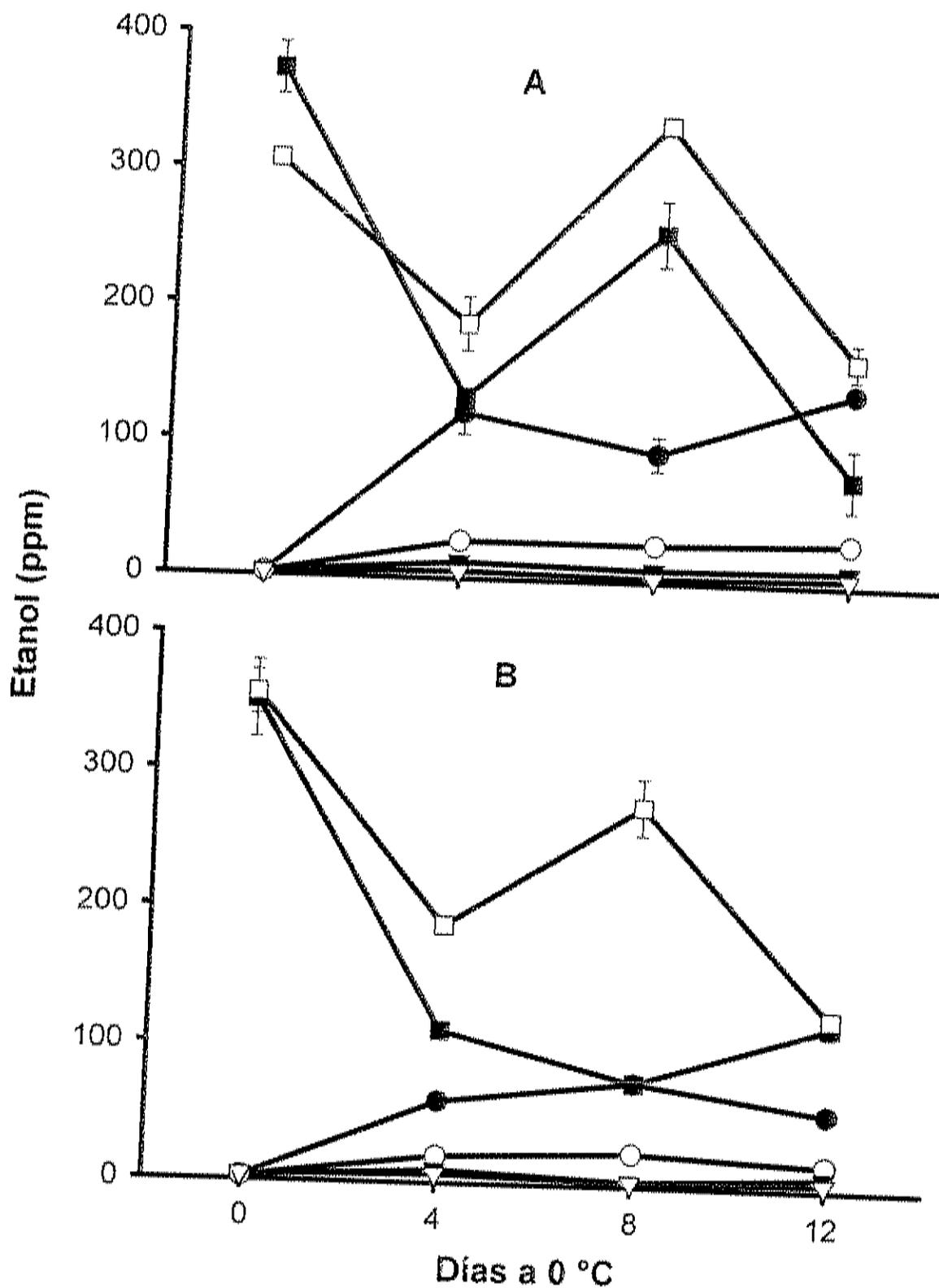


Figura 11. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

confirma debido a que este mes los valores son mayores que el mes anterior. El comportamiento de ULO inició en un valor alto (373.8 ppm) que disminuyó el día 4 (133.8), volviendo a aumentar a 257.1 y finalmente bajando a 78.8 ppm que comparado con el mes anterior resultó con valores menores y una mayor tendencia a disminuir. ULO+DPA se comportó muy similar al tratamiento anterior solo que con datos más elevados los días 4, 8 y 12; aún así sus valores fueron menores que los del mes de octubre. La diferencia en producción de etanol entre tratamientos fue más marcada para los que usaron ultra bajo oxígeno tal y como se observó desde el primer mes evaluado, a pesar de ello, durante este lapso de almacenamiento no se encontró un repunte en la producción.

Los resultados en concentración de etanol para GD fueron menores que los de RD pero su comportamiento entre tratamientos fue muy similar, es decir, de nueva cuenta no se encontraron diferencias significativas entre AC y AC+DPA que además presentaron los valores más bajos seguidos por Ref+DPA y Ref. En comparación con el mes de octubre ULO y ULO+DPA presentaron valores más altos al momento del retiro y mostraron una tendencia a disminuir a medida que avanzaba el tiempo de almacenamiento a 0 °C, situación que contrastó con la tendencia a aumentar mostrada anteriormente.

La Figura 12 muestra los resultados obtenidos para la producción de acetaldehído en ambas variedades. En el caso de RD, las cantidades encontradas en los tratamientos Ref, Ref+DPA, AC y AC+DPA no presentaron diferencias significativas y fueron muy similares a las del mes anterior. ULO inició con valores altos que disminuyeron durante los primeros 8 días y tomaron un repunte el día 12, sus datos promediaron alrededor de 70 ppm indicando un comportamiento sostenido desde octubre pero con tendencia a la baja. Por su parte ULO+DPA incrementó desde 54 hasta 115 ppm durante los primeros 8 días para disminuir luego hasta un valor de 74 el día 12 que resultó un poco menor que el del mes anterior en este mismo día.

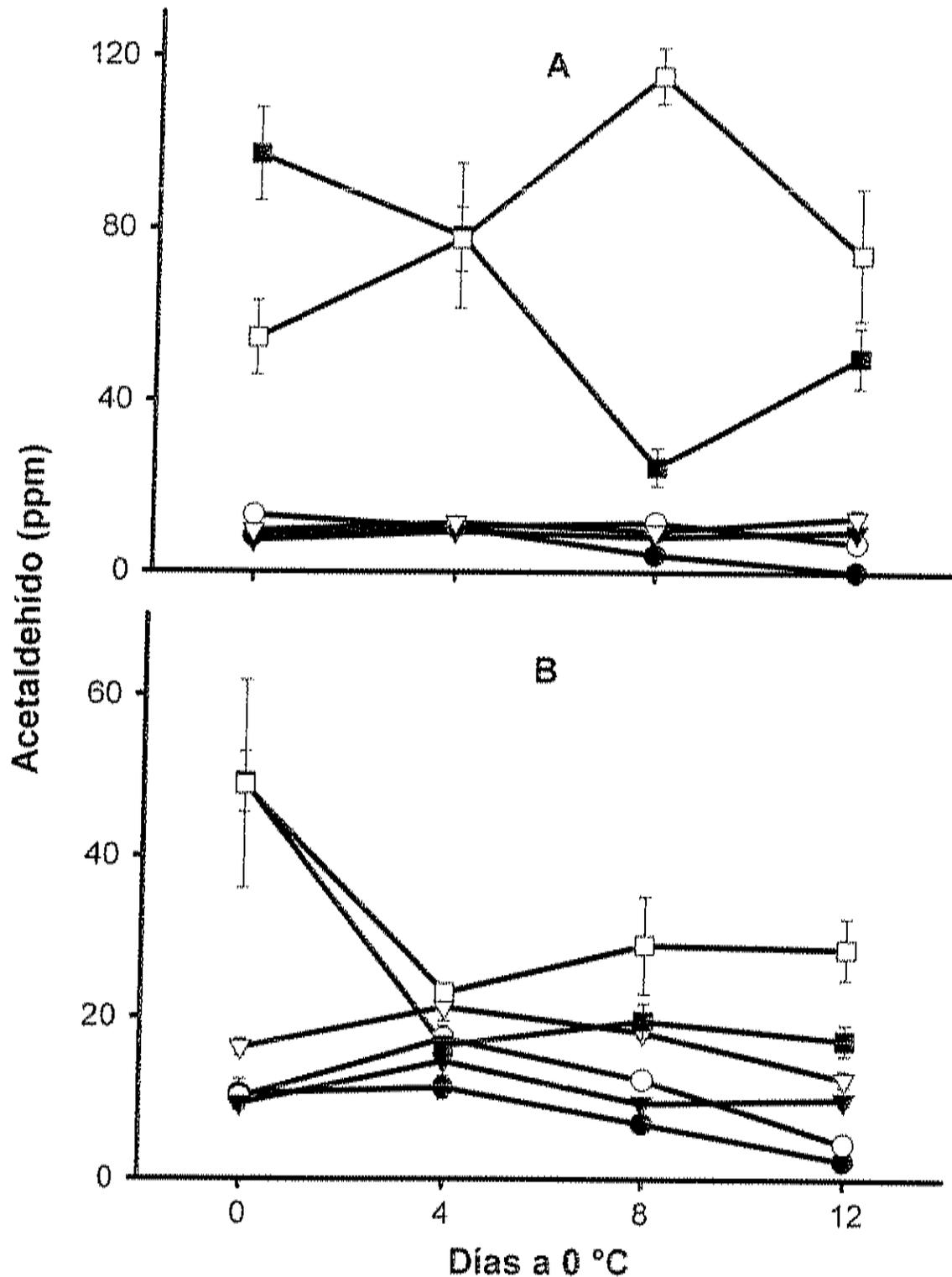


Figura 12. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Para GD la situación varió bastante, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre Ref, Ref+DPA y AC al momento del retiro, si existió mucha cercanía entre los valores de todos los tratamientos el día 4 mostrando en los correspondientes a ultra bajo oxígeno una tendencia a disminuir desde 50 ppm hasta 20 ppm aproximadamente y en el resto un ligero aumento que disminuyó un poco el día 8 y cayó un poco más el día 12.

A partir del día 4 y durante el resto del período ULO y ULO+DPA mantuvieron su concentración sin alcanzar valores por arriba de 30 ppm. Para este mes no se observó un aumento en la concentración de acetaldehído el último día de evaluación en el tratamiento AC+DPA como se vio en octubre lo que presupone que no existe una relación con las condiciones de almacenamiento, además los datos promedios fueron muy parecidos a los obtenidos en ese entonces.

e. Producción de etileno

De manera general para la variedad RD se observaron valores más altos en concentración de etileno que los mostrados en el mes anterior mientras que en GD solo hubo aumentos muy notorios en el tratamiento Ref (Figura 13).

El ascenso climatérico mostrado por Ref en RD se prolongó durante 4 días a 20 °C para alcanzar su máximo al día siguiente con un valor de 3.2 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ que contrastó con el alcanzado en octubre con un valor de 4.8 el día 2, Ref+DPA alcanzó el climatérico el día 4 con 2.5, AC el día 5 con 2.09, AC+DPA el día 6 con 1.02, ULO y ULO+DPA el día 9 con 2.06 y 3.2, respectivamente. También se puede observar en la Figura 13A que AC+DPA y ULO obtuvieron los valores más bajos en promedio durante el período de evaluación no existiendo diferencia entre ellos, AC y ULO+DPA tuvieron resultados muy similares los primeros 5 días separándose posteriormente como consecuencia del descenso de AC mientras que Ref y Ref+DPA presentaron los valores más altos encontrados durante este mes. Los tratamientos de ultra bajo oxígeno

Para GD la situación varió bastante, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre Ref, Ref+DPA y AC al momento del retiro, si existió mucha cercanía entre los valores de todos los tratamientos el día 4 mostrando en los correspondientes a ultra bajo oxígeno una tendencia a disminuir desde 50 ppm hasta 20 ppm aproximadamente y en el resto un ligero aumento que disminuyó un poco el día 8 y cayó un poco más el día 12.

A partir del día 4 y durante el resto del período ULO y ULO+DPA mantuvieron su concentración sin alcanzar valores por arriba de 30 ppm. Para este mes no se observó un aumento en la concentración de acetaldehído el último día de evaluación en el tratamiento AC+DPA como se vio en octubre lo que presupone que no existe una relación con las condiciones de almacenamiento, además los datos promedios fueron muy parecidos a los obtenidos en ese entonces.

e. Producción de etileno

De manera general para la variedad RD se observaron valores más altos en concentración de etileno que los mostrados en el mes anterior mientras que en GD solo hubo aumentos muy notorios en el tratamiento Ref (Figura 13).

El ascenso climatérico mostrado por Ref en RD se prolongó durante 4 días a 20 °C para alcanzar su máximo al día siguiente con un valor de 3.2 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ que contrastó con el alcanzado en octubre con un valor de 4.8 el día 2, Ref+DPA alcanzó el climatérico el día 4 con 2.5, AC el día 5 con 2.09, AC+DPA el día 6 con 1.02, ULO y ULO+DPA el día 9 con 2.06 y 3.2, respectivamente. También se puede observar en la Figura 13A que AC+DPA y ULO obtuvieron los valores más bajos en promedio durante el período de evaluación no existiendo diferencia entre ellos, AC y ULO+DPA tuvieron resultados muy similares los primeros 5 días separándose posteriormente como consecuencia del descenso de AC mientras que Ref y Ref+DPA presentaron los valores más altos encontrados durante este mes. Los tratamientos de ultra bajo oxígeno

coincidieron en comportamiento durante la maduración de la fruta a 20 °C pero los valores alcanzados fueron diferentes siendo mayor el que se combina con DPA, situación que también observó Whitaker (2000) en manzana Empire después de 8 semanas de almacenamiento en condiciones de 1.5 % O₂ a 0 °C. Todos los tratamientos mostraron una disminución en la producción de etileno y un retraso para alcanzar el pico climatérico comparados con el mes anterior, pero esta situación fue más marcada en ULO y ULO+DPA ya que utilizan concentraciones más bajas de oxígeno que las que usan las AC tradicionales limitando en mayor medida la síntesis de etileno debido a una baja actividad de ACC oxidasa.

En la variedad GD los valores más altos correspondieron a Ref el día 4 y a ULO el día 9 con 5.9 y 3.5 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ respectivamente; siendo incluso más elevados que el mes anterior. AC y AC+DPA permanecieron muy unidos durante los primeros 4 días en que se alcanzó el climatérico para el segundo, tardándose hasta el día 6 el primero con valores menores que los encontrados en octubre. Ref+DPA mostró un ascenso durante los primeros 4 días, donde alcanzó su máximo (2.5) para luego caer, mientras que ULO+DPA no se comportó de una manera estable teniendo ascensos y descensos con valores muy pequeños que nunca alcanzaron 1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ y, que de la misma manera que en octubre, podrían deberse a las condiciones de almacenamiento o bien a la combinación con DPA ya que ULO se recuperó durante este mes. Otra alternativa podría ser que este tratamiento requiera un mayor tiempo para adaptarse a las condiciones de almacenamiento prolongado en ultra bajo oxígeno, pero esto se corroborará en evaluaciones posteriores.

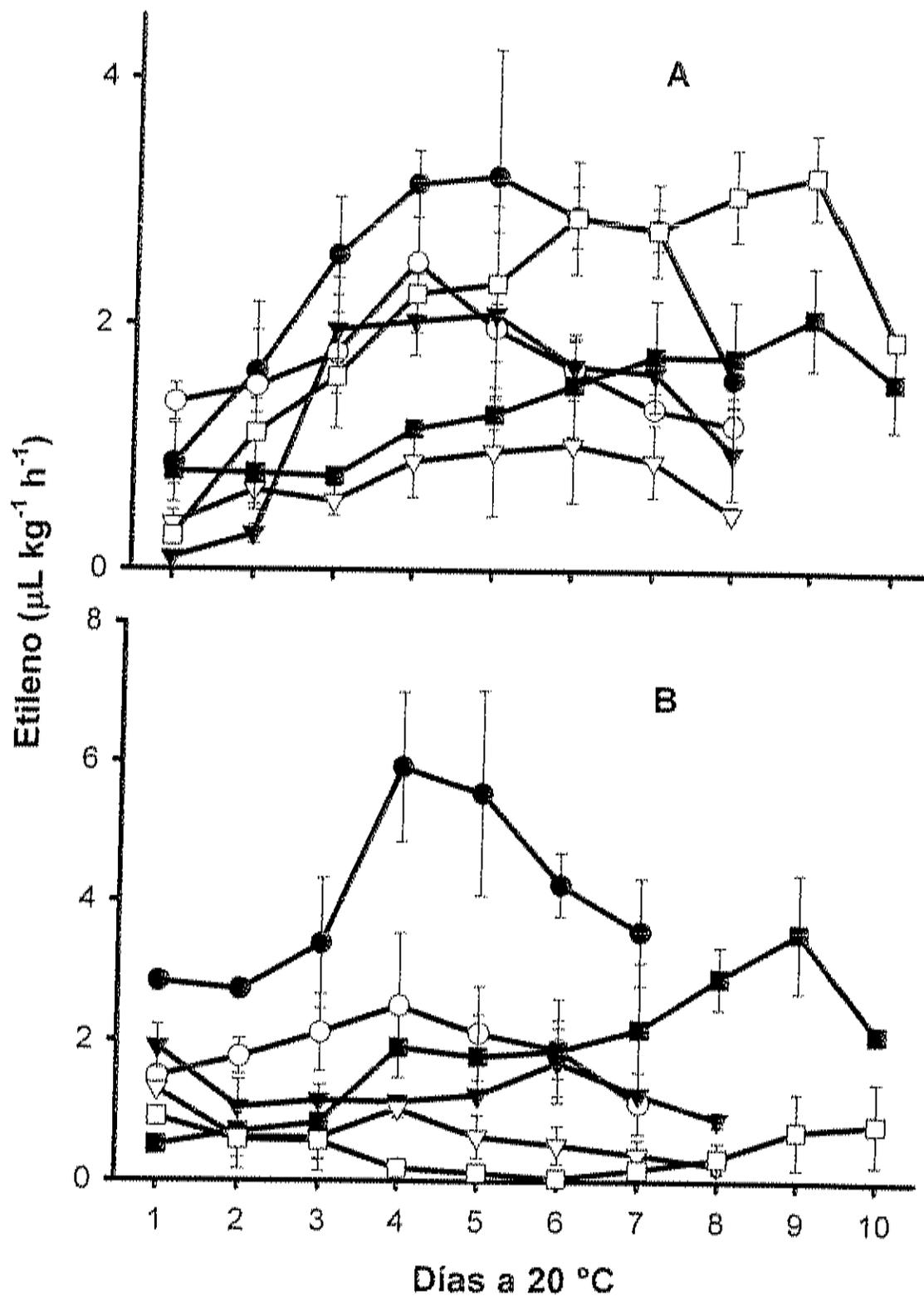


Figura 13. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante dos meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

3. Tercer mes de almacenamiento

a. Calidad externa

En la Figura 14A se puede observar que la mayoría de los tratamientos de la variedad RD promediaron valores entre 1 y 2 de la escala hedónica usada, es decir se calificaron entre "excelente y aceptable", comportamiento que se mantuvo desde el mes anterior sólo que con valores un poco mayores en esta ocasión. Los datos revelaron que las cantidades mayores se obtuvieron en la fruta recién retirada del almacenamiento y las menores en el último día de evaluación con 2.1 y 1.6 respectivamente. Asimismo, AC+DPA, ULO y Ref+DPA obtuvieron las calificaciones más altas el primer día del período a 0 °C mientras que Ref+DPA y AC+DPA el día 4, Ref y Ref+DPA el día 8 y AC+DPA el día 12 obtuvieron las máximas el resto del tiempo. El tratamiento más estable durante la evaluación fue AC que a partir del día 4 mantuvo un valor constante de 1.5 hasta el día 12 mientras que ULO resultó el más bajo (1) en el último día. No se observaron diferencias entre los tratamientos y de manera general en comparación con meses anteriores se consideró que la fruta mantuvo una calidad aceptable.

Los valores más elevados de la escala durante el período de evaluación de la variedad GD correspondieron a Ref y Ref+DPA (Figura 14B) con una calificación intermedia entre "aceptable y moderadamente aceptable" (2.5) los días 0 y 12 a 0 °C. El día del retiro el resto de los tratamientos se ubicaron por debajo de 2 en la escala, comportamiento que mantuvieron hasta el final y que representó una calificación entre "excelente y aceptable". Al igual que la variedad anterior, los valores de este mes resultaron un poco menores a los de noviembre; sin embargo, GD fue más constante en calidad como se puede corroborar en la gráfica. No existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

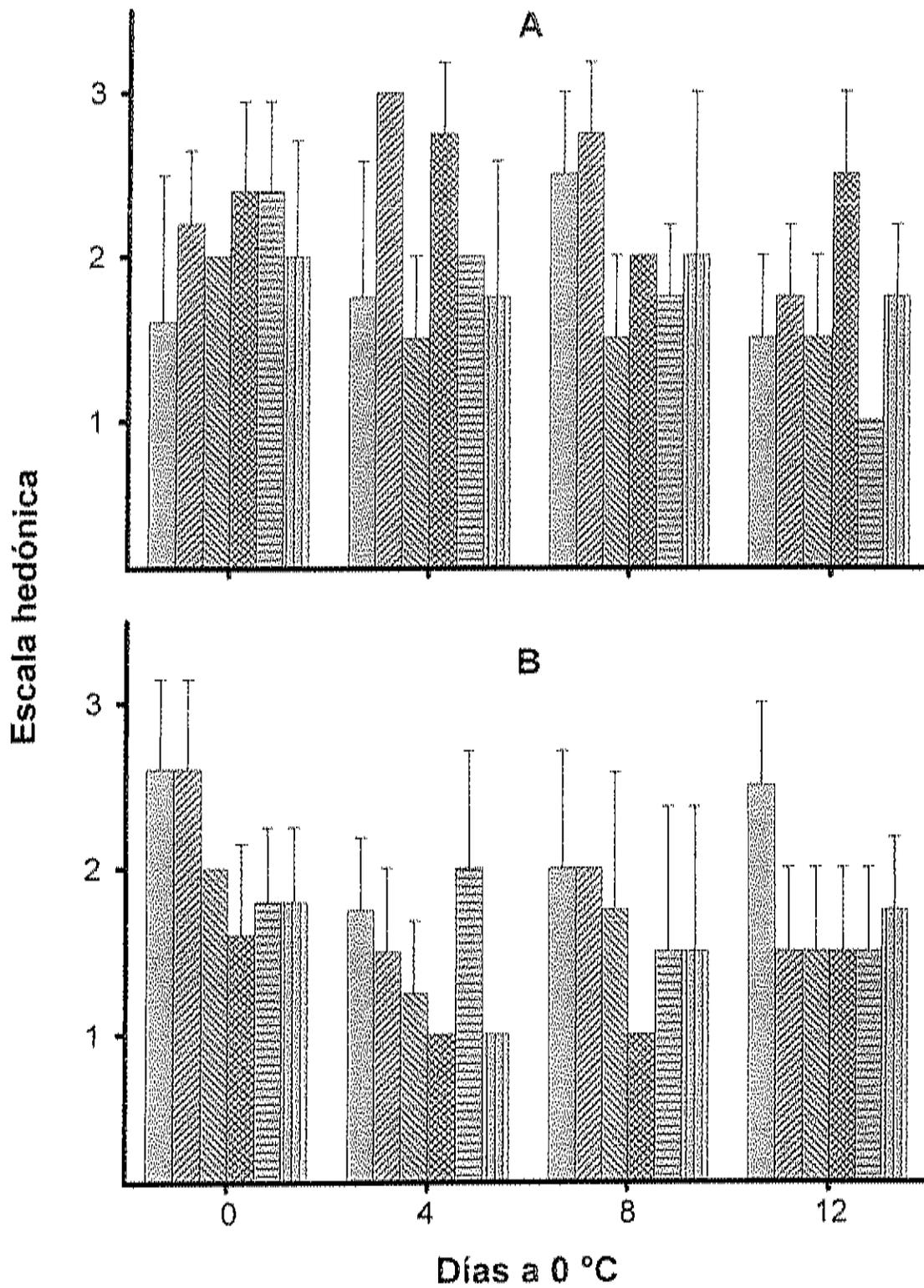


Figura 14. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (□), Ref+DPA (▨), AC (▩), AC+DPA (▧), ULO (▦) y ULO+DPA (▣). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

b. Textura

Durante este mes se empezó a observar la ventaja que representa el uso de AC tradicional o del tipo ULO en la firmeza de la fruta (Figura 15), ya que a pesar de que el tiempo en almacén puede considerarse corto todavía (3 meses) los tratamientos Ref y Ref+DPA han perdido alrededor de 20.1 y 13.4 newtons respecto al valor con que fueron cosechados, mientras que AC, AC+DPA, ULO y ULO+DPA han perdido solo 6.7, 4.4, 7.1 y 4.4 N respectivamente. Estos resultados coincidieron con lo observado para manzana Gala después de 3 meses de almacenamiento en 1 % de O₂ (Boylston y col., 1994). No se observaron diferencias entre Ref y Ref+DPA para RD el día 0 más si existieron con el resto de los tratamientos pero no entre ellos en los demás días de evaluación. AC perdió aproximadamente dos newtons con respecto al mes anterior y en esta ocasión mantuvo un valor constante los primeros 8 días (65.8) que cayó un poco el día 12 (63.1); AC+DPA disminuyó de 71.6 N al momento del retiro a 66.7 el día 4 para mantenerse muy cerca el resto del tiempo promediando una cantidad similar a la obtenida el mes de noviembre. ULO se mantuvo estable los primeros 8 días (alrededor de 67.2 N) para disminuir hasta 57.3 el último día de evaluación y ULO+DPA tuvo un ligero ascenso el día 4 de 65.8 a 70.7 sosteniéndose hasta el día 8 para regresar a su valor inicial el día 12; ambos tratamientos promediaron valores similares al mes anterior conservando su calidad en textura.

La situación desfavorable de los tratamientos Ref y Ref+DPA para GD (Figura 15B) se había observado desde noviembre solo que ahora es más notoria. Ambos presentaron casi 18 newtons menos de textura que al momento de la cosecha y 6.7 menos que el mes anterior, sin embargo su calidad se vio más afectada debido a sus bajos valores iniciales. Su promedio se encontró cercano a los 49 newtons que en estas fechas no es un valor muy bajo para el mercado, pero presenta una apariencia masuda y con poco jugo. AC, AC+DPA y ULO tuvieron comportamientos muy similares durante todo el

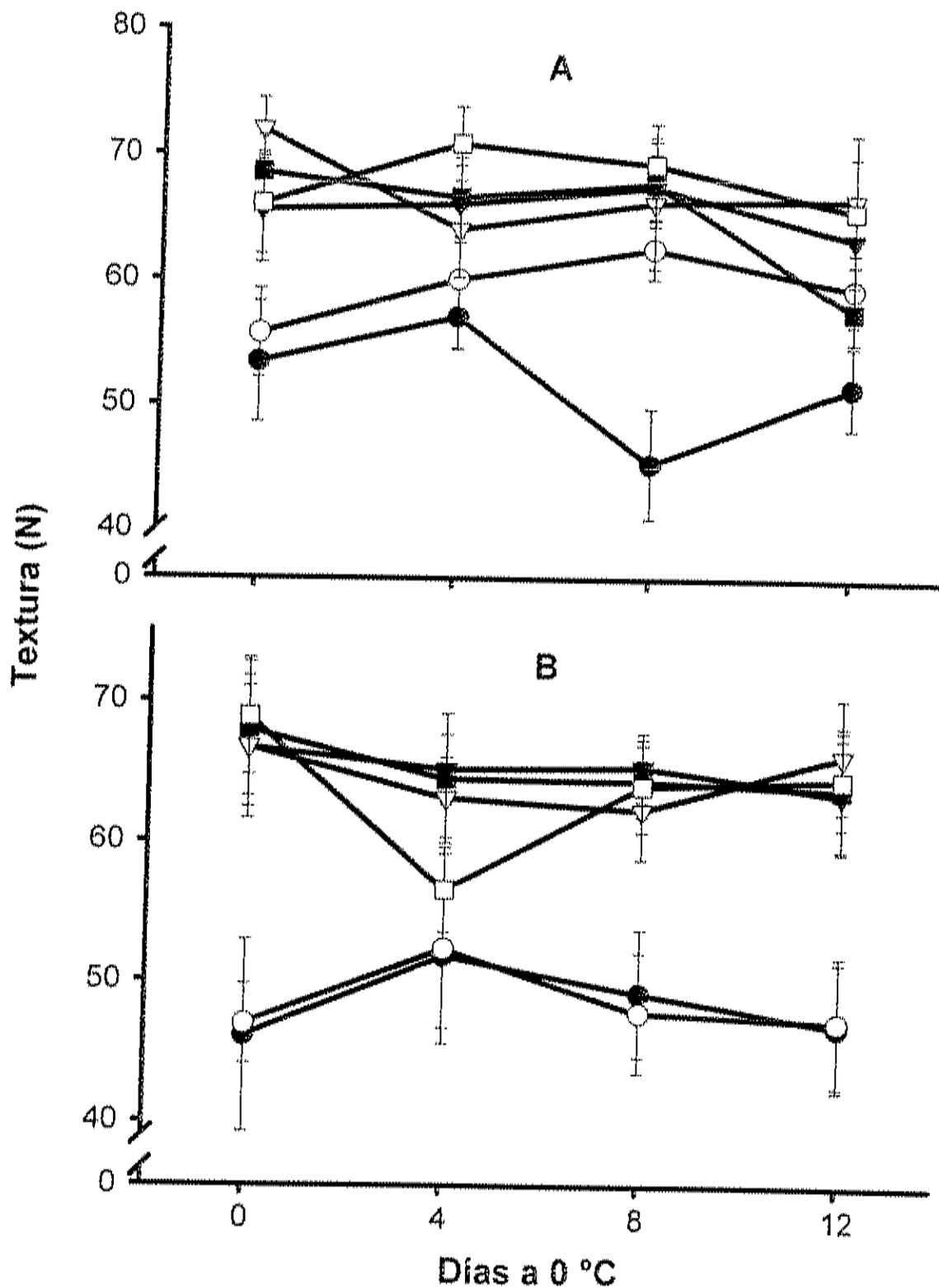


Figura 15. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

periodo de evaluación con valores promedio de 64.9 N que es alrededor de dos newtons menor que el mes anterior. ULO+DPA presentó el valor más alto al momento de la cosecha (68.5) pero sufrió una caída considerable el día 4 hasta 56.4 para recuperarse el resto del tiempo con valores de 64 y 64.5 N. Este comportamiento descendente en el segundo día de evaluación fue consecuencia de una descalibración en el equipo que por desgracia no se pudo detectar y corregir a tiempo y sin tomar este resultado en cuenta el promedio se colocaría por arriba de los demás tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre la fruta almacenada en AC y ULO.

c. Índice de almidón

El porcentaje de área libre de color para cada variedad se observa en la Figura 16. En la gráfica A se puede observar que el día del retiro de RD los tratamientos Ref+DPA y AC presentaron los valores más altos con 84 y 75 % respectivamente, mientras que el resto se comportó por debajo de 60 %. Curiosamente y con excepción de Ref, todos alcanzaron un porcentaje de 50 el segundo día de evaluación, valor que mantuvieron durante 4 días más para luego incrementar el día 12. Las cantidades mayores pertenecieron a Ref durante casi todo el periodo de evaluación y su promedio general se ubicó cercano al 80 % de área sin almidón seguido de AC (64.7 %), Ref+DPA (62.5 %), ULO+DPA (57 %), ULO (57 %) y AC+DPA (52.5 %). Existieron diferencias entre Ref, Ref+DPA y AC el día 0 con respecto a los demás más no entre ellos y para el resto del tiempo a 0 °C solo Ref fue diferente. El comportamiento mostrado por los tratamientos durante los primeros 8 días nos indica que existe un efecto remanente del almacenamiento que empieza a perderse entre los días 8 y 12; sin embargo, esta situación no aplica de la misma forma para todos ya que mientras unos disminuyen en valor con respecto al retiro otros suben. Esto podría deberse a que el efecto transitorio creado por cada condición de almacenamiento fue diferente y más acentuado en los tratamientos que

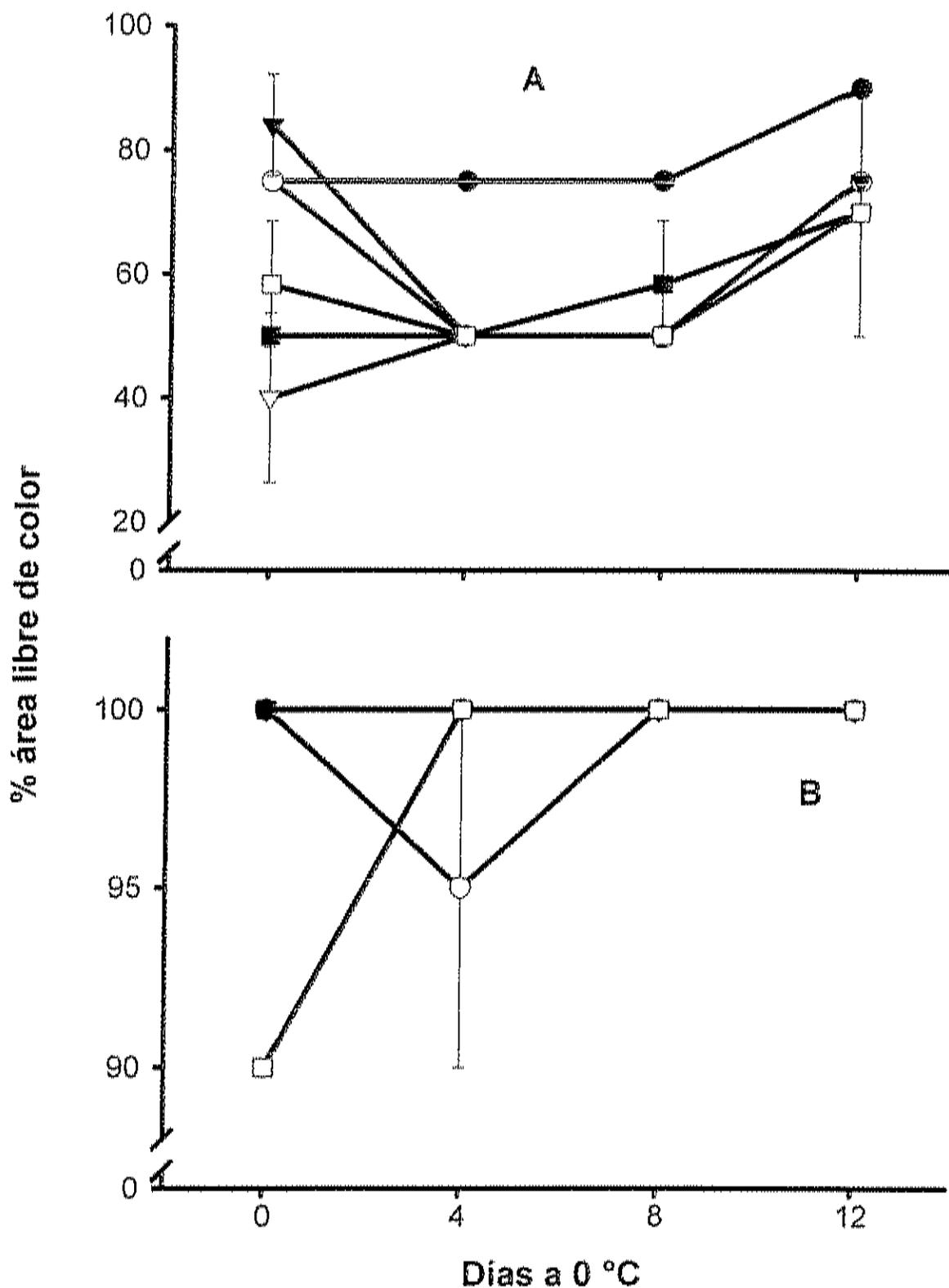


Figura 16. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

utilizaban ultra bajo oxígeno que son los que presentan menos variación con respecto al valor en que coinciden todos el día 4. Al comparar con el mes anterior se encontró una diferencia que variaba entre 4 y 28 % dependiendo del tratamiento analizado lo que demuestra un aumento esperado en la cantidad de área libre de color o de almidón resultante cada mes que se traduce en una mayor madurez.

Durante esta evaluación la situación en GD fue más estable que en el mes anterior. Solo ULO+DPA no alcanzó la totalidad de su pulpa libre de color el día del retiro presentando un 90 % de área libre y alcanzando el 100 % a partir de la siguiente evaluación. Ref+DPA cayó desde 100 % al inicio hasta 95 % el día 4 y se recuperó a partir de ese día volviendo a su valor inicial. Estos resultados mostraron que esta variedad alcanzó su madurez total después de 3 meses de almacenamiento lo cual no es del todo favorable pues si bien sus valores de textura de este mes resultaron muy buenos todavía para los tratamientos de AC tradicional y del tipo ULO el tiempo que debe transcurrir para que esta textura se pierda debe ser menor que el deseado y si se toma en cuenta que GD sale al mercado más tarde que RD esta situación es una desventaja grande, por lo que a partir de este momento el interés se centra en ver qué tratamiento es más efectivo en la retención de esa firmeza.

d. Metabolitos de fermentación

Tanto la concentración de etanol como la de acetaldehído sufrieron un aumento en los valores obtenidos este mes con respecto al anterior en todos los tratamientos pero con mayor énfasis en los de ULO. En condiciones de almacenamiento carentes de O_2 la glucólisis sirve como mecanismo para proveer energía. Las frutas y hortalizas utilizan esta vía anaeróbica de degradación de glucosa como fuente principal de obtención de ATP (adenosin trifosfato) cuando la concentración de O_2 empieza a ser crítica. En estas condiciones y debido a que no se cuenta con el último aceptor de electrones del

proceso aeróbico, los electrones pasan desde un intermediario orgánico de la degradación del azúcar a otros metabolitos orgánicos para producir compuestos de fermentación como acetaldehído y etanol que se acumulan en el tejido causando olores desagradables. Esta acumulación se debe a la actividad enzimática de piruvato descarboxilasa (PDC) que cataliza la descarboxilación de piruvato a acetaldehído iniciando el proceso de fermentación para que alcohol deshidrogenasa (ADH) termine produciendo etanol, tal y como se ha reportado en estudios previos (Ke y col., 1995; Chervin y col., 1996; Kato-Noguchi y Watada, 1997); además, la actividad de ADH es mayor que la de PDC (Imahori y col., 2002) favoreciendo mayores concentraciones de etanol.

El comportamiento fue muy similar al mostrado en noviembre, los valores más altos en RD correspondieron a los tratamientos del tipo ULO seguidos de los que utilizan refrigeración comercial y de los de AC (Figura 17A). Ref inició con cantidades cercanas a 20 ppm de etanol y aumentó rápidamente a un valor por arriba de 300 partes para descender el día 8 a 120 y volver a aumentar hasta 253 ppm tendencia ya observada el mes anterior y que se puede atribuir a las condiciones de almacenamiento o a la madurez de la fruta. Esto también se observó en el resto de los tratamientos con valores bajos pero sin tanto efecto como en Ref, además siempre aquellos que utilizaron la combinación con DPA se ubicaron por debajo de su similar quizás porque el uso del antioxidante retardó la velocidad de maduración y con ello la producción de etanol como constituyente natural del fruto. Se observó una contradicción en la manera de comportarse entre los tratamientos ULO y ULO+DPA, ya que mientras el primero subió durante los primeros 4 días a 0 °C desde 341 hasta 570 ppm para luego bajar continuamente hasta el día 12 (125 ppm), el segundo bajó de 587 a 165 para luego subir hasta 664 partes situación que no se había observado antes y que podría marcar el inicio de un efecto atribuido a la combinación ultra bajo oxígeno - DPA. Se encontraron diferencias significativas para todos los tratamientos a partir del día 4 de evaluación.

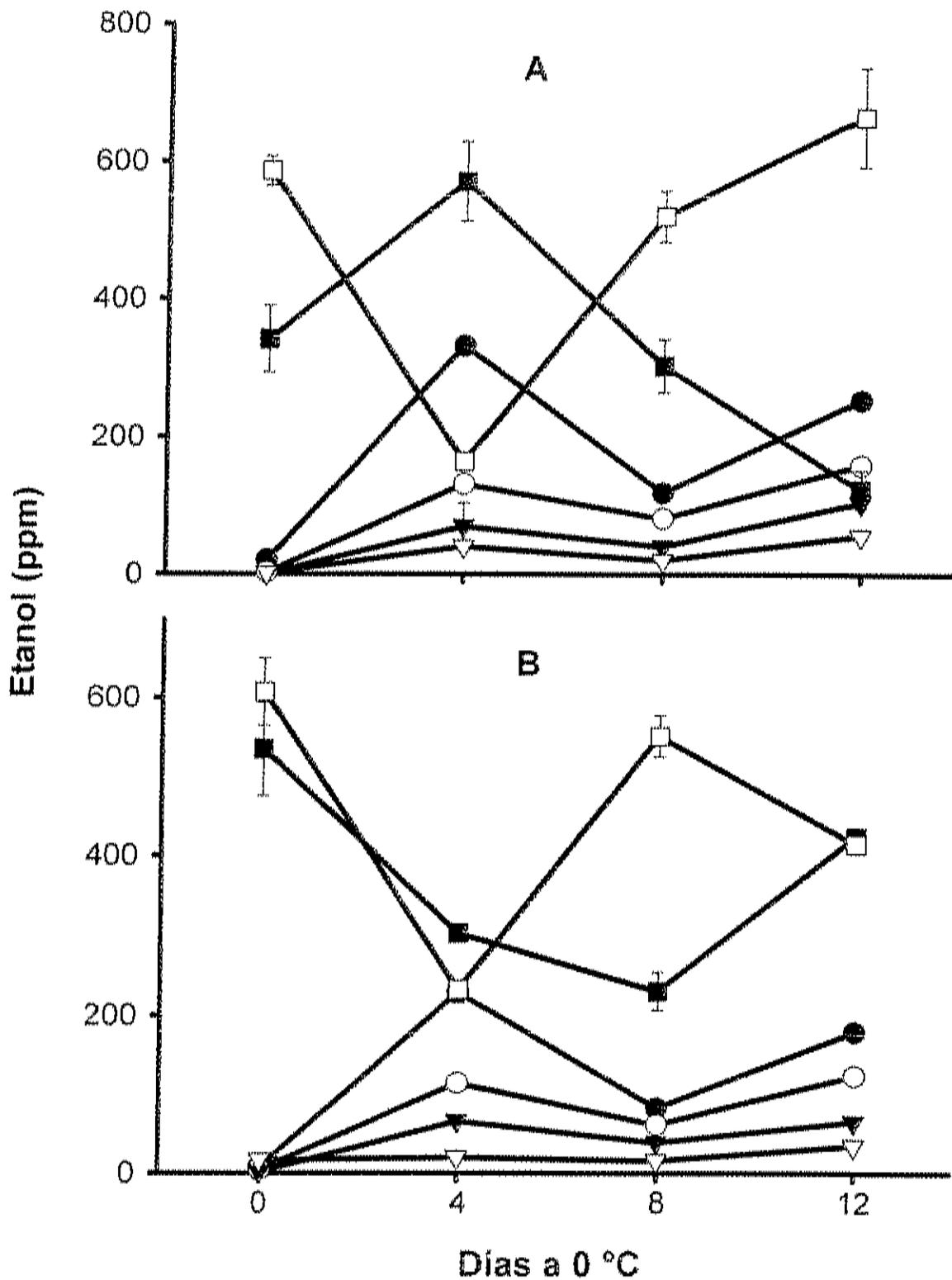


Figura 17. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Para la variedad GD se encontró una producción de etanol casi del doble comparada al mes de noviembre para los tratamientos del tipo ULO; el resto conservó el orden que se marcó en RD pero sus proporciones de aumento variaron alrededor de 7 veces para los de atmósfera controlada comercial y de 3 a 5 veces para refrigeración (Figura 17B). También se pudo observar la situación comentada en el párrafo anterior con los tratamientos que obtuvieron valores bajos, es decir un aumento en un principio que disminuyó y volvió a incrementar, lo que confirmó una elevada actividad de las enzimas responsables de producir metabolitos de fermentación. Los valores obtenidos para AC+DPA fueron los más constantes del periodo a 0 °C y los más bajos, y al igual que en RD, existieron diferencias entre todos los tratamientos. Los tratamientos de ULO mostraron una tendencia esperada a la disminución los primeros 4 días del periodo a 0 °C como consecuencia del cambio en condiciones de almacenamiento de un sistema que se mantuvo entre 0.7 – 1.2 % O₂ a uno con condiciones normales de aire. Sin embargo, después de un tiempo aumentó de nuevo la producción significando un avance mayor en madurez con un aroma más acentuado que antes.

En la Figura 18 se pueden observar los resultados obtenidos en la producción de acetaldehído para RD y GD. De nueva cuenta, los tratamientos de ultra bajo oxígeno obtuvieron los valores más altos seguidos por los de atmósfera controlada y refrigeración; observándose también una tendencia estable que carece de diferencias entre los primeros cuatro tratamientos para ambas variedades con resultados por debajo de 12 ppm en general (Figuras A y B). Para el caso de RD, se encontraron diferencias significativas entre ULO y ULO+DPA durante todo el periodo de almacenamiento a 0 °C; ULO mantuvo un comportamiento estable los primeros 4 días con valores de 159 y 165 ppm para luego descender a 84 y 75 ppm el resto del tiempo, mientras que ULO+DPA disminuyó de 117 a 38 para aumentar a 174 ppm y mantenerse muy cerca al concluir la evaluación. GD no presentó diferencias significativas entre

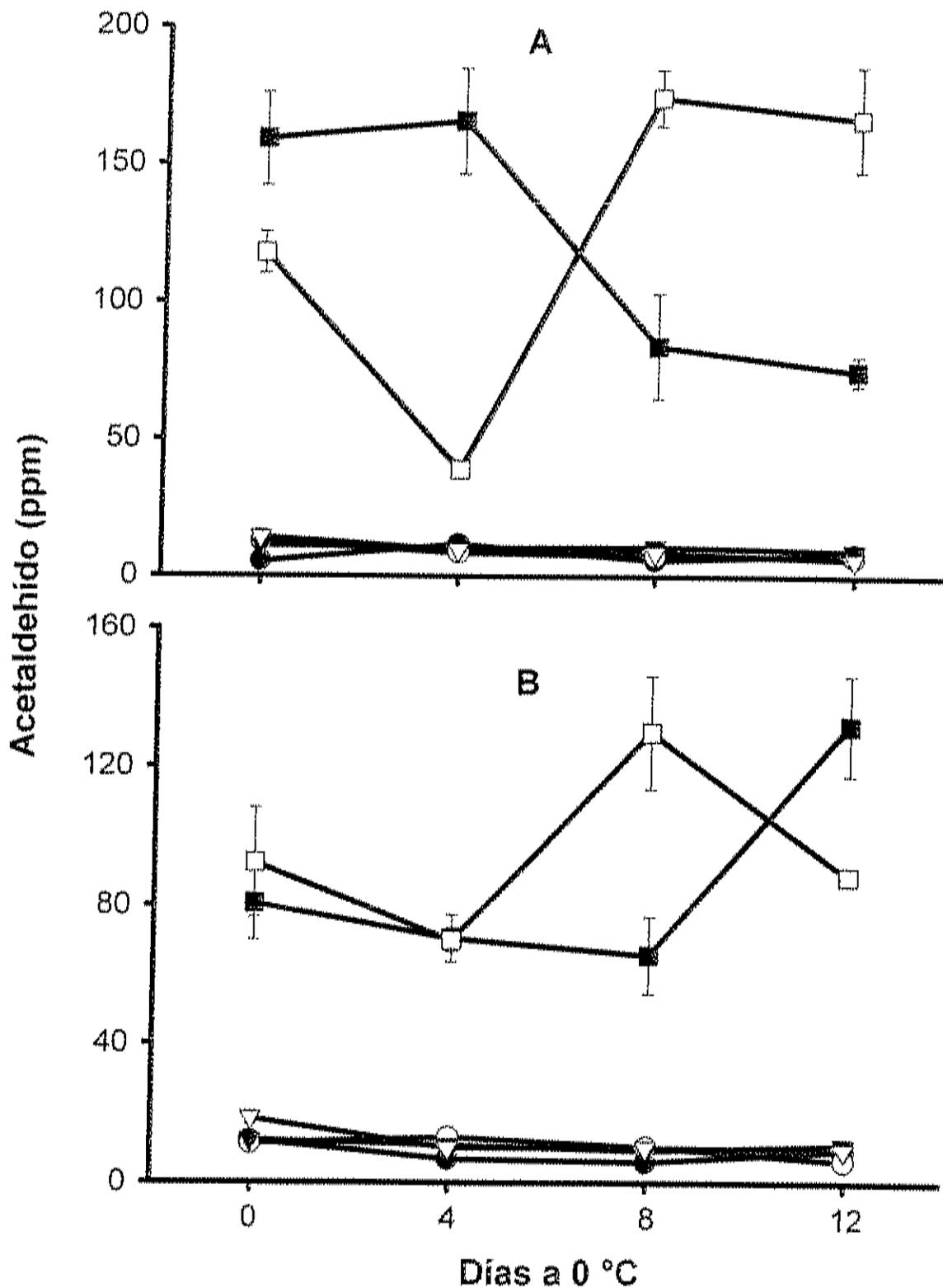


Figura 18. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

ULO y ULO+DPA durante las primeras dos evaluaciones; ULO se mantuvo constante durante 8 días con un valor cercano a 70 partes para aumentar hasta 132 ppm el día 12 mientras que ULO+DPA bajó de 92 a 70 para luego subir a 130 y bajar de nuevo a 89 ppm. El comportamiento de ambos fue muy diferente al mostrado el mes anterior indicando una falta de estabilidad que podría ser consecuencia de una desorganización metabólica motivada por el aumento en horas de almacenamiento en condiciones de bajo oxígeno.

Durante el desarrollo de las evaluaciones de este mes se observó un aroma y sabor diferente entre las frutas que se almacenaron en Ref, AC y ULO. Las primeras dos presentaron características propias del fruto mientras que las últimas tenían un sabor a " piña madura " que era también muy parecido al sabor del tepache (bebida fermentada elaborada con piña). Esta situación no se presentó antes por lo que se deduce que la concentración de etanol requerida para el desarrollo de este aroma y sabor debe estar por arriba de 300 ppm que es menor a la reportada por otros autores (Ke y col., 1991). A pesar de esto, no se observaron daños u oscurecimientos en el tejido de la fruta y el aroma y sabor " extraños " desaparecieron después de un tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (aproximadamente 7 días). La disminución en los niveles de etanol y acetaldehído una vez que la fruta es transferida a temperaturas más elevadas ya se había observado antes en manzana Delicious (Patterson y Nichols, 1988) y en brócoli (Hansen y col., 2001).

e. Producción de etileno

Para la variedad RD se encontraron valores más altos en casi todos los tratamientos comparados con el mes anterior (Figura 19A). Ref alcanzó el climatérico después de 4 días de maduración a 20 °C con un valor de 4.6 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ que contrastó con 3.2 alcanzados el día 5 en noviembre mientras que Ref+DPA lo alcanzó el día 4 con 1.9, AC y AC+DPA el día 5 con 2.5 y 1.4 respectivamente. Los tratamientos de ultra bajo oxígeno tardaron más en

alcanzar el climaterio con 3.3 el día 9 para ULO y 2.9 el día 8 para su combinación con DPA; además, éstos y AC+DPA presentaron los valores más bajos en promedio durante el período de evaluación coincidiendo con el mes anterior. A pesar de esto y solo descartando a Ref, sus valores máximos fueron mayores que los del resto de los tratamientos, es decir producen más etileno pero a más largo plazo lo que puede atribuirse a que la síntesis de ACC puede realizarse en ausencia de O₂ mientras que la fragmentación de ACC para producir etileno requiere la presencia de este gas; lo que representa una acumulación de ACC durante el primer almacenamiento que es convertido posteriormente a etileno en condiciones normales de aire a 20 °C. En esta ocasión los valores observados para ULO+DPA no fueron tan diferentes de los de ULO como en el mes anterior lo que podría indicar que no existe efecto de la combinación de estas condiciones de almacenamiento con el antioxidante.

Ref y Ref+DPA obtuvieron los valores más altos al inicio de la evaluación de GD (3.1 y 3.2 µL/kg h respectivamente) mientras que los mayores en climaterio correspondieron a ULO y ULO+DPA después de 9 días a 20 °C (3.8 y 3.4), el resto presentó cantidades por debajo de 0.5 µL/kg h con climaterios cortos (Figura 19B). Los primeros dos tratamientos mostraron un descenso el segundo día del período recuperándose para alcanzar su máximo sin problemas, situación que se observó por primera vez para ambos. ULO se comportó muy similar al mes anterior solo que ahora con valores mayores en el climaterio y ULO+DPA mostró una estabilidad de ascenso que no había mostrado antes y que puede ser producto de su adaptación por completo a las condiciones de almacenamiento. Ambos tratamientos alcanzaron valores muy parecidos en el pico climatérico aun después de haberse comportado muy separados antes de este punto. Llama la atención que ULO presentó valores bajos durante 7 días confirmando que la capacidad para generar etileno disminuye a medida que incrementa la duración del almacenamiento en bajo

oxígeno (Lidster y col., 1987; Gherghi y col., 1994), sin embargo se recuperó y terminó promediando un valor máximo muy similar al del mes anterior lo que parece indicar que el efecto del almacenamiento es temporal.

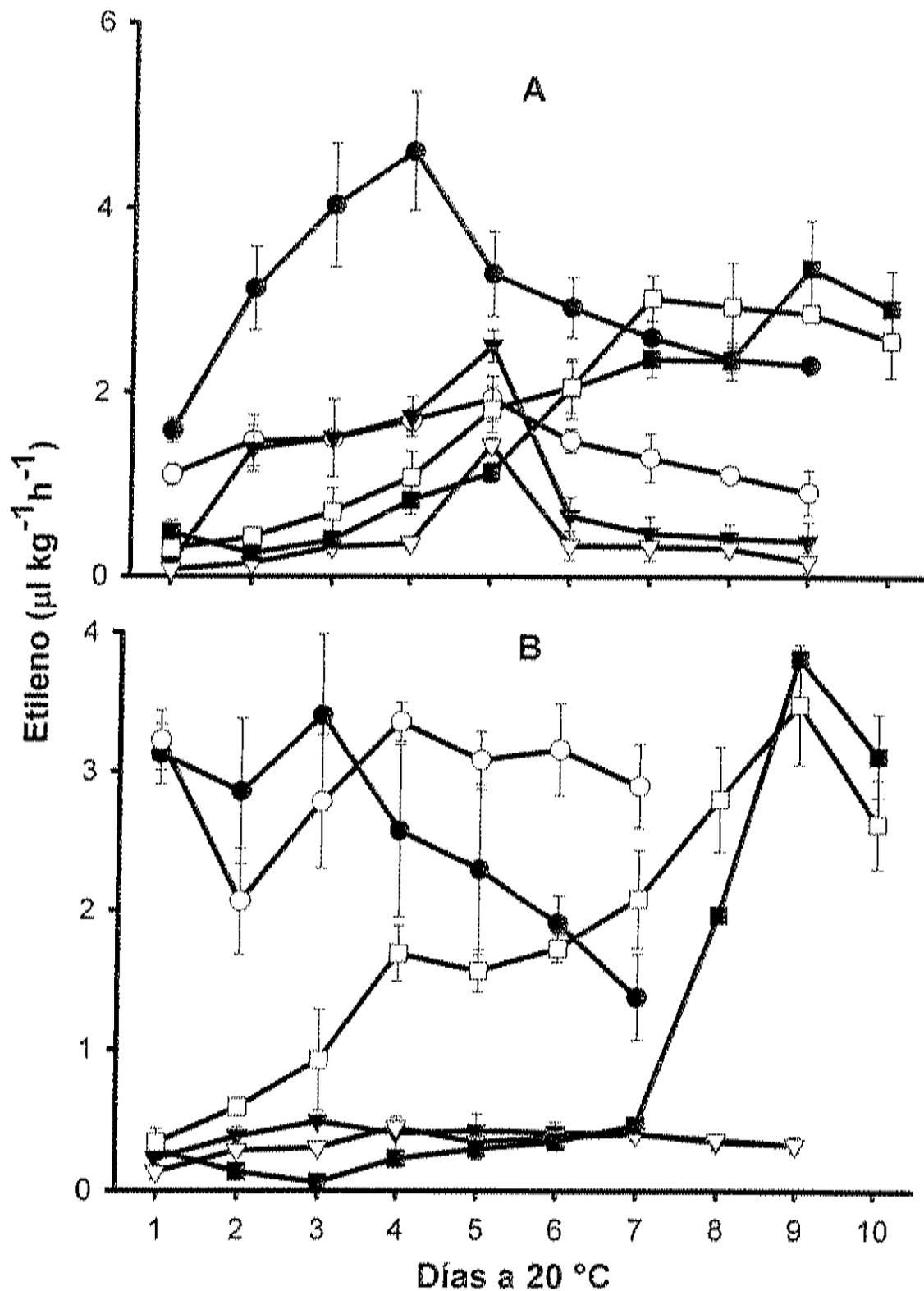


Figura 19. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante tres meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

4. Cuarto mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Los valores más altos de la escala hedónica para la variedad RD correspondieron al tratamiento Ref con un promedio de 1.9 que se ubicó cercano a "aceptable", pero de manera general todos se ubicaron entre 1 y 2 es decir, entre "excelente y aceptable" con valores menores a los reportados el mes anterior indicando una mejor calidad en la fruta evaluada durante este mes (Figura 20A). El tratamiento ULO presentó la mejor calificación (1) al momento del retiro seguido por AC y ULO+DPA con 1.5 cada uno. El promedio más bajo de datos se obtuvo el día 4 del período de evaluación a 0 °C con 1.3 y la mayoría de los tratamientos obtuvieron su mejor calificación en este día. Los últimos dos días de evaluación los promedios fueron muy similares (1.7), pero el día 12 el comportamiento fue más homogéneo al menos en cuatro de los seis tratamientos. Puede considerarse ULO el tratamiento más estable durante todo el proceso con valores de 1.5, 1.2, 1.2 y 1.7 por cada día de evaluación. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

En la Figura 20B se puede observar que los resultados obtenidos durante este mes fueron menores que los reportados el mes de diciembre confirmando una mejor calidad de fruta al igual que en RD. También, los valores más elevados y que conllevan una menor calidad correspondieron a Ref (promedio = 1.9) mientras que los menores y de mejor calidad fueron de AC+DPA (1.12) y los más estables de ULO (1.2, 1.2, 1.2 y 1 por cada día evaluado) no existiendo diferencias entre estos últimos. El mejor día de evaluación, en cuanto a resultados, fue el día 4 del período con valores promedio de 1.3 que se colocan muy cerca de la "excelencia" en calidad. Al igual que sucedió el mes anterior, GD presentó mejores valores de calidad que RD siendo más estable en los tratamientos que utilizaban AC convencional o del tipo ULO.

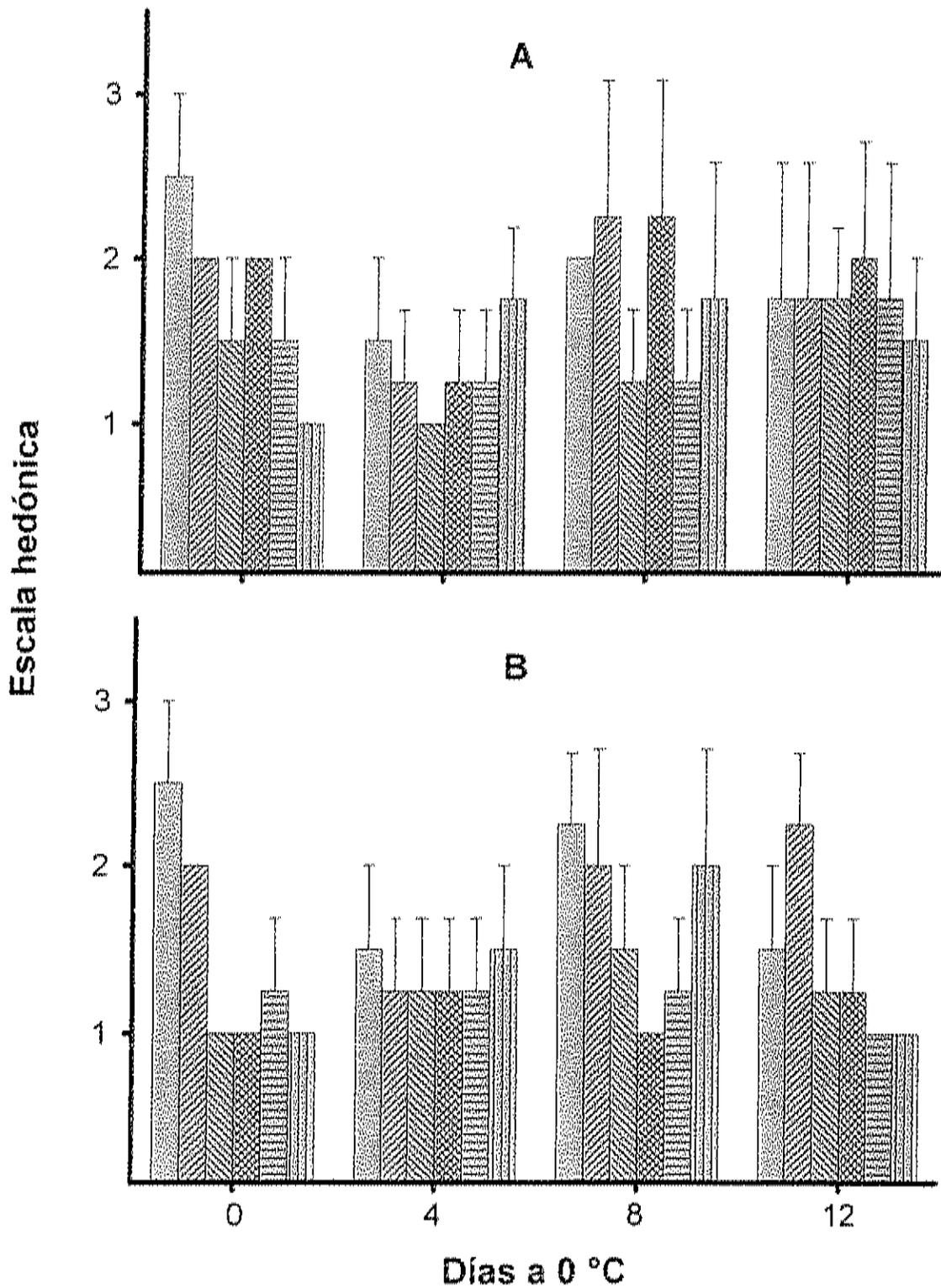


Figura 20. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (□), Ref+DPA (▨), AC (▩), AC+DPA (▧), ULO (▦) y ULO+DPA (▣). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

b. Textura

En este mes se realizó la última evaluación para los tratamientos Ref y Ref+DPA ubicándose sus valores de firmeza muy por debajo del resto de los tratamientos con promedios cercanos a 44.8 N en ambas variedades (Figura 21) perdiendo alrededor de 4.4 a 13.2 newtons para RD y de 4.4 a 6.6 para GD comparados con el mes anterior; el total de pérdida de textura respecto a la cosecha y después de 4 meses de almacenamiento alcanzó los 26.9 newtons para RD y alrededor de 22.4 N para GD, valores que se ubicaron por encima de 11.6 N reportadas por Saftner y col. (2002) para manzana Gala después de 4 meses de almacenamiento en aire a 0 °C. Como ya se mencionó, la variedad GD resultó la más afectada en su apariencia y aún cuando perdió en general menos textura que RD, este aspecto de marchitez y falta de jugosidad (también conocido como fruta masuda) son un impedimento para su adecuada comercialización. Esta situación se puede explicar si consideramos que las manzanas frescas de baja madurez tienden a mantener una adhesión celular fuerte y presentan paredes celulares débiles por lo que una fractura a través de las células (como la conseguida por la penetración de la punta del texturómetro) libera los líquidos que contienen dando como resultado una alta jugosidad, sin embargo a medida que la fruta madura sucede lo contrario propiciando que menos jugo extraíble pueda ser detectado (Tu y col., 1997) tal y como ocurrió en los tratamientos de refrigeración comercial. El grado de madurez de la fruta al momento de la cosecha también influyó en la vida de almacenamiento conseguida, si bien en la región para la refrigeración comercial la fruta se mantiene en buena calidad por 4 meses, este tiempo se podría incrementar si la cosecha fuera más temprana de lo que se acostumbra, en este aspecto es muy importante manejar índices de madurez adecuados que permitan definir adecuadamente la fecha de corte.

El resto de los tratamientos en RD no presentaron diferencias significativas en ningún día de evaluación correspondiendo a AC+DPA la fruta

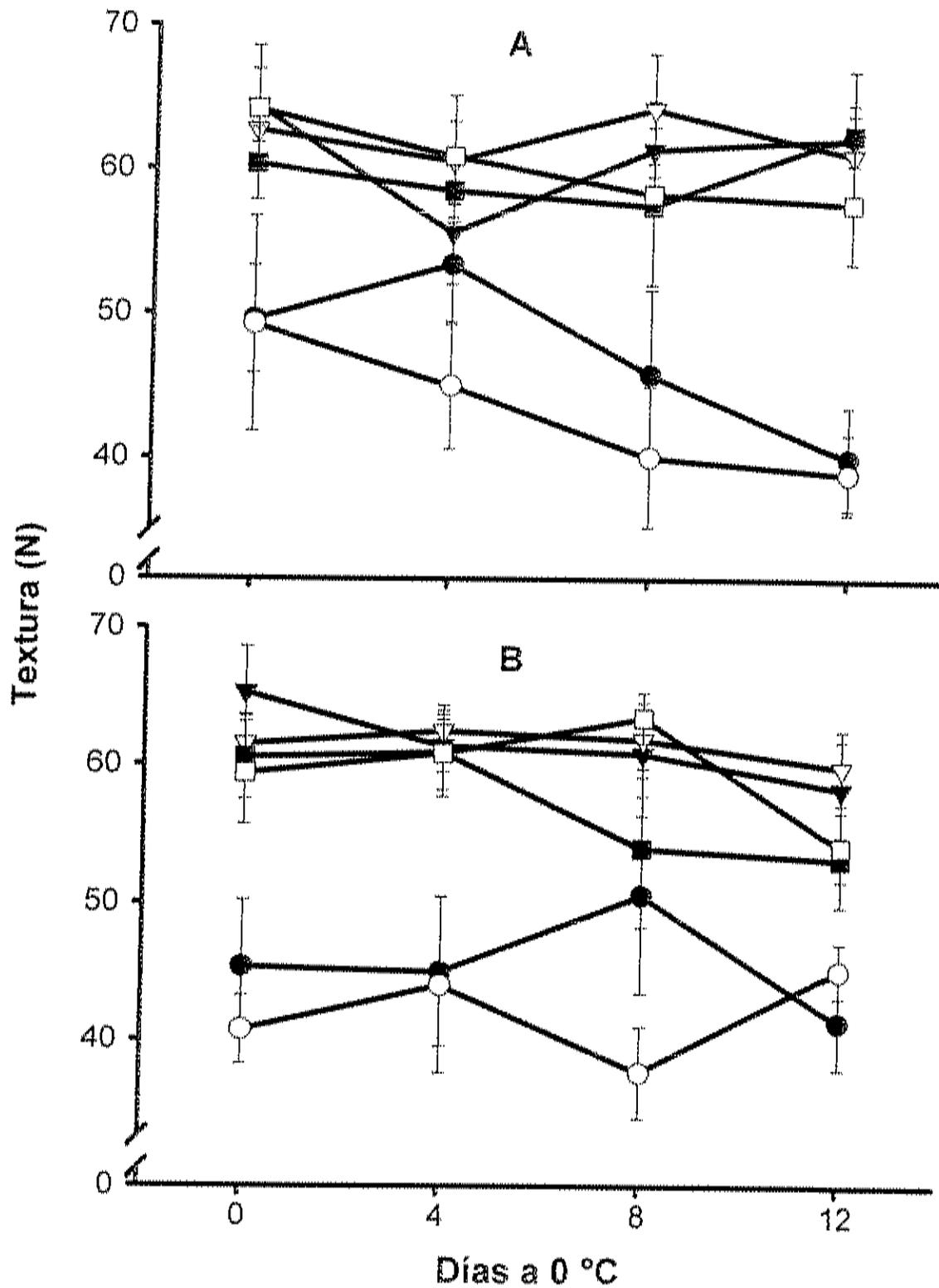


Figura 21. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

más firme seguido de AC, ULO+DPA y ULO todos con valores entre 59.5 y 61.8 N que significan una pérdida aproximada de 6.2 newtons con respecto al mes anterior. AC+DPA fue el tratamiento más estable durante la evaluación con valores que iniciaron en 62.7 N y se mantuvieron muy cerca hasta bajar a 60.9 el día 12; mientras que AC cayó de 64 a 55.5 durante los primeros cuatro días para luego subir de nuevo hasta 61.3, valor que todavía sostuvo el día 12. ULO se mostró estable durante los primeros 8 días (cerca de 58.2 N) pero aumentó bastante el último día de evaluación a un valor cercano a 62.7 N; por su parte ULO+DPA presentó una tendencia a disminuir desde 64 hasta 57.3. En general, estos tratamientos observaron una buena retención de firmeza que será clave en la comercialización de la fruta; sin embargo, hasta este momento no se puede determinar si los tratamientos de ULO aportan un efecto más favorable en la textura de la fruta que los de AC.

Para la variedad GD (Figura 21B) la pérdida de textura fue mayor en ULO con respecto al mes anterior, estamos hablando de aproximadamente 8 N menos que se vieron influidos por los últimos dos días del periodo de evaluación con valores muy bajos, sin embargo sus resultados fueron similares a los reportados por Siddiqui y col. en 1996; el resto se ubicó entre 3.1 y 4 newtons de pérdida. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos solos (AC y ULO) o combinados con DPA durante los primeros 4 días, pero sí existieron para ULO con respecto a los demás el día 8 volviendo a ser similares el día 12. El tratamiento más estable fue AC+DPA con valores muy cercanos a 60.4 newtons, mientras que ULO y ULO+DPA coincidieron durante 4 días para luego despegarse el día 8 y volver a encontrarse el día 12 por lo que podemos descartar que exista un efecto de la combinación con DPA sobre el comportamiento mostrado en esta ocasión por este tratamiento. AC presentó una tendencia a disminuir con valores que iniciaban en 64.9 para terminar en 58.2 N. Los valores obtenidos este mes para esta variedad fueron muy similares a los de RD.

La fruta almacenada en cualquier tipo de AC fue más firme que la almacenada en condiciones de refrigeración comercial a 0 °C por el mismo tiempo de duración como se ha reportado en otros estudios para manzanas Cox's Orange Pippin (Tu y col., 1997), Golden Delicious (Skrzynski, 1994; Siddiqui y col., 1996), Granny Smith y Yellow Newton (Ke y col., 1991), y Gala (Boylston y col., 1994; Saftner y col., 2002).

El ablandamiento de la fruta durante la maduración es considerado como una importante alteración de la calidad que afecta su vida postcosecha y su comercialización. La textura de las frutas es afectada por la composición de su pared celular, por los constituyentes celulares y por su grado de hidratación. Entre células vecinas, las paredes están separadas por la lamela media que es rica en sustancias pécticas. Durante la maduración el contenido de péctinas insolubles (protopéctinas) disminuye incrementando el contenido de péctinas solubles; la hidrólisis de éstas trae como consecuencia que se debilite la pared celular y disminuya la cohesión entre células lo que resulta en el ablandamiento del fruto. El aumento en la velocidad de degradación de las sustancias pécticas aumenta la velocidad de ablandamiento del fruto y este fenómeno es regulado por la actividad de las enzimas pectinmetilesterasa y poligalacturonasa (PME y PG). El uso de AC disminuye el incremento en la actividad de estas enzimas durante la maduración ya que reduce la pérdida de acidez manteniendo un pH bajo que inhibe la actividad de PME, la cual aporta poco sustrato para la acción de PG. Esta reducción en la pérdida de acidez es debido a que existe una inhibición en el metabolismo respiratorio y la utilización de los ácidos como sustratos respiratorios es limitada. Además, el CO₂ se disuelve en agua a bajas temperaturas formando ácido carbónico con lo que se favorece el mantener un pH ácido.

c. Índice de almidón

El comportamiento mostrado por todos los tratamientos al momento del retiro y durante los primeros 8 días del periodo (con excepción de Ref+DPA) nos indica una madurez avanzada con porcentajes de área libre de color que varían entre 14 y 40 % más que el mes anterior (Figura 22). Sólo Ref alcanzó la totalidad de su área libre de color (es decir sin almidón) el último día de evaluación, mientras que Ref+DPA, AC, AC+DPA y ULO llegaron hasta un valor de 95 %. ULO+DPA quedó colocado como el tratamiento con fruta menos madura con valores de 92 %, sin embargo no se presentaron diferencias entre ellos.

Como se había observado durante las últimas fechas del mes anterior, la variedad GD alcanzó por completo su madurez, situación que se confirmó en esta evaluación con valores del 100 % de área libre de color desde el día del retiro.

Estos resultados indican que no existe un efecto del uso de atmósferas de bajo oxígeno sobre la inhibición de la degradación del almidón y la subsecuente formación de azúcar y que el comportamiento en GD es más atribuible al avanzado estado de madurez que presentó al inicio del almacenamiento que a las condiciones en que se almacenó.

d. Metabolitos de fermentación

La producción de etanol durante este mes se favoreció en diferentes proporciones para todos los tratamientos en ambas variedades. En el caso de RD (Figura 23A) el orden de producción fue similar al mes anterior ubicando a ULO+DPA como el tratamiento con valores más elevados (promedio = 886 ppm) seguido de ULO (444), Ref (425), Ref+DPA (286), AC (166) y AC+DPA (110). Sólo se observaron diferencias para ULO y ULO+DPA con respecto al resto el día del retiro, mientras que entre ellos no existió. El día 4 AC y AC+DPA fueron similares lo mismo que Ref+DPA y ULO siendo el resto diferentes, para

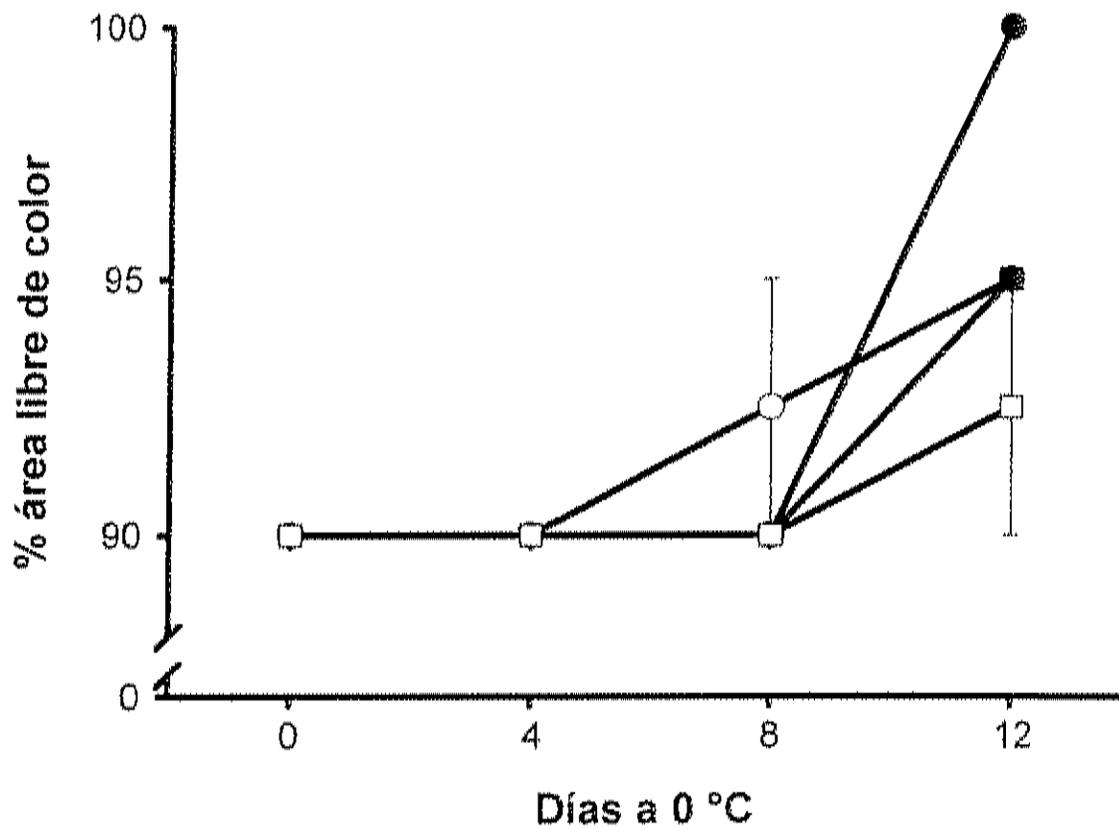


Figura 22. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

que el día 8, AC, AC+DPA y ULO no presentaran diferencias y el día 12 sólo Ref y Ref+DPA difieran del resto. A partir de este mes el contenido de etanol aumentó bastante en los tratamientos del tipo ULO además ninguno de ellos presentó un comportamiento estable o predecible comparado con el mes anterior ya que se comportaron exactamente al revés, situación producto de las condiciones de almacenamiento y que difícilmente podría marcar una tendencia a seguir sino más bien un desbalance en producción ya que habría de esperarse un aumento en concentración al momento del retiro que iría desapareciendo a medida que la fruta madurara en la cámara a 0 °C y que se pudo apreciar en esta fecha más no en la anterior. No se pudo observar ningún efecto de estos tratamientos combinados con DPA durante estas evaluaciones por lo que no se le puede atribuir al antioxidante algún resultado en específico. De nueva cuenta, las condiciones de almacenamiento y el avanzado estado de madurez de la fruta provocaron que Ref y Ref+DPA presentaran valores mayores que los de AC y AC+DPA como se ha venido observando desde noviembre. Al estar preparando las muestras para las evaluaciones se pudo apreciar un aumento en la producción de aroma a fermentación y un sabor a piña madura más intenso que la evaluación anterior; a pesar de esto, no se observó daño en pulpa y estos "atributos" desaparecieron después de un tiempo de mantener la fruta a temperatura ambiente.

Los resultados para la variedad GD se muestran en la Figura 23B. Sólo presentaron diferencias los tratamientos ULO y ULO+DPA el día del retiro con respecto a los demás, mientras que el día 4 Ref y Ref+DPA lo mismo que AC y AC+DPA fueron similares entre sí más no con respecto a los demás y los días 8 y 12 sólo Ref y ULO+DPA fueron diferentes del resto. Los valores alcanzados por ULO+DPA fueron los más altos (comportamiento que coincidió con el mes anterior) promediando alrededor de 1216 ppm que representan un aumento de casi 2.5 veces más que en diciembre lo que nos indica una mayor sensibilidad a

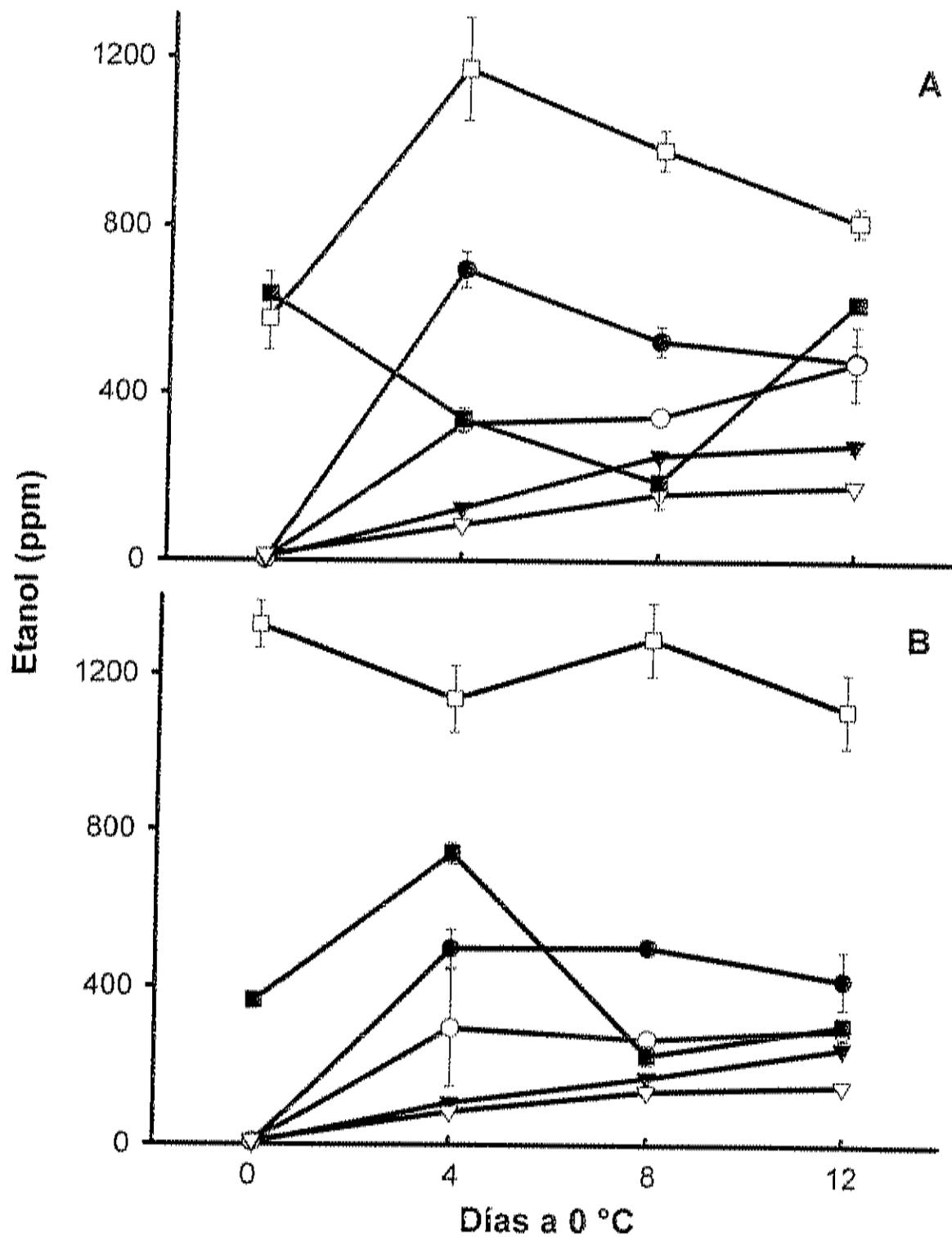


Figura 23. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

las condiciones de almacenamiento que la variedad RD, además ahora su tendencia fue más estable y a la baja. ULO sufrió un ligero aumento en su promedio este mes con respecto al anterior de 373 a 410 ppm y se desempeñó en un incremento al inicio que se perdió los últimos dos días del periodo para quedar con 306 ppm, situación que se observa normal. AC y AC+DPA presentaron valores cercanos a 150 ppm durante 8 días para que luego AC incrementara a 250 partes y AC+DPA se sostuviera en el valor anterior lo que se tradujo en un incremento en producción de alrededor de 2 a 3 veces más en este mes para cada uno. Ref y Ref+DPA mostraron la misma tendencia pero con valores distanciados entre sí y menores para la combinación con DPA con proporciones del doble en aumento de producción para ambos. La observación en aroma y sabor hecha para RD también se incluye para esta variedad, más no se pudo apreciar un aroma más intenso en GD aún cuando sus concentraciones de etanol fueron más elevadas.

La producción de acetaldehído en RD no mostró diferencias entre los tratamientos de refrigeración y los de atmósfera controlada durante las primeras tres evaluaciones (ya observado en diciembre), el comportamiento se mantuvo sin diferencias para los de AC el último día de evaluación a 0 °C pero sí existieron diferencias para con el resto de los tratamientos. ULO y ULO+DPA fueron diferentes del resto en todo el período evaluado (Figura 24A). Los primeros cuatro tratamientos manejaron un promedio de 20 ppm de acetaldehído durante 8 días a 0 °C manteniéndose solamente los correspondientes a AC en ese valor el día 12 y subiendo a 53 y 73 ppm Ref y Ref+DPA ese mismo día. ULO y ULO+DPA se comportaron de manera diferente ya que mientras el primero incrementó durante las evaluaciones desde 80 hasta 207 ppm, el segundo disminuyó sus valores desde 262 hasta 27 ppm de acetaldehído producido que era lo que debería esperarse a medida que transcurriera el tiempo después de que la fruta fue retirada del almacenamiento original; esta situación fue completamente diferente a lo observado en

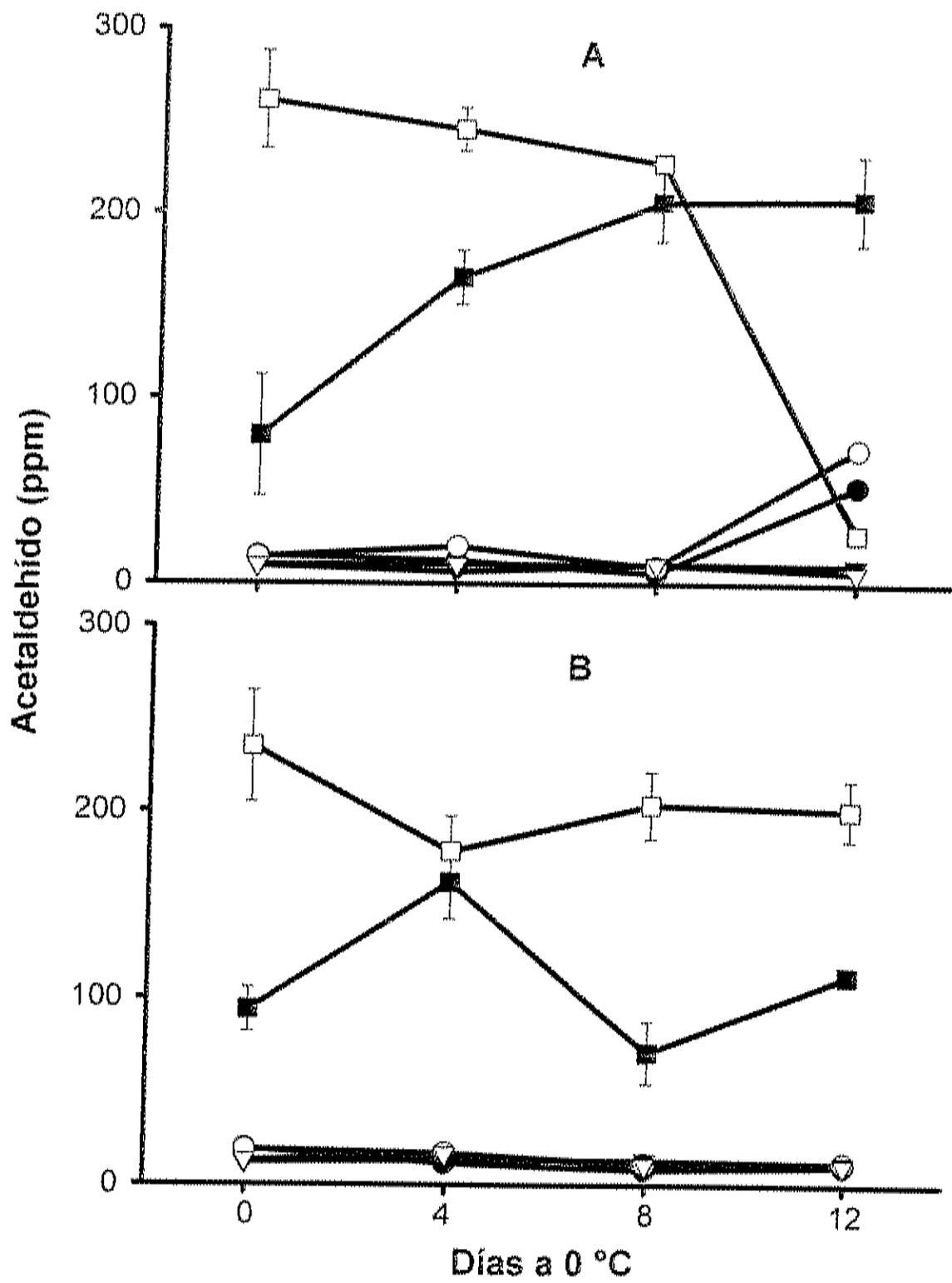


Figura 24. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

diciembre por lo que a estas alturas resulta difícil tratar de predecir qué sucederá en evaluaciones futuras, lo que sí es un hecho es que la fruta produce más metabolitos en todos los tratamientos a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento.

Los tratamientos Ref, Ref+DPA, AC y AC+DPA se comportaron de manera similar durante todas las evaluaciones coincidiendo con RD y con lo observado en diciembre para ambos (Figura 24B). El aumento en producción de estos tratamientos fue muy bajo y promediaba entre 4.6 y 1.7 ppm más que el mes anterior mientras que en el resto el aumento se ubicó alrededor de 26 ppm para ULO y de 109 para su combinación con DPA. Mostrando una tendencia de altibajos, ULO alcanzó su máximo valor el día 4 (162 ppm) para disminuir a 70 ppm el día 8 y volver a aumentar hasta 113 el día 12; mientras que ULO+DPA se conservó estable los últimos tres días de evaluación con un valor aproximado de 200 ppm después de venir de un valor cercano a 240 ppm, siendo esta la primera ocasión en que sucede esto. Para ULO el promedio de resultados entre variedades fue diferente siendo mayor en RD lo que coincidió con una menor producción de etanol y una mayor producción en GD (que se mencionó antes), pero para ULO+DPA el promedio fue casi el mismo.

e. Producción de etileno

Durante estas evaluaciones se pudo observar una mayor producción de etileno en ambas variedades para los tratamientos que utilizaron refrigeración. En el caso de RD, el pico climatérico se alcanzó el día 3 para el tratamiento Ref y el día 2 para Ref+DPA con valores de 6 y 5.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ que superaron en valor los del mes anterior y se adelantaron en tiempo (Figura 25A). AC presentó el climatérico el día 5 a 20 °C con 1.5 mientras que AC+DPA lo alcanzó el día 3 con una producción que resultó la más baja del período (0.5 $\mu\text{L}/\text{kg h}$), para éstos solo AC+DPA se adelantó dos días en el tiempo necesario para alcanzar el pico climatérico comparado con el mes de diciembre. De nuevo, los tratamientos de

ultra bajo oxígeno tardaron más en alcanzar el climatérico que el resto pero se adelantaron en tiempo comparados con el mes anterior, ULO presentó un valor de 2.4 el día 7 a 20 °C y ULO+DPA obtuvo 1.4 el día 6 que son más bajos que los correspondientes a Ref y Ref+DPA, pero más altos que los de AC y AC+DPA. Este adelanto en tiempo para alcanzar el valor máximo para cada tratamiento es normal pues debe recordarse que aún cuando la fruta se encuentra en condiciones de baja temperatura y concentraciones de oxígeno y CO₂ controladas su actividad metabólica solo se encuentra retardada y no suprimida por completo de tal manera que se sigue presentando lentamente y los cambios consecuencia de ello se siguen realizando.

La producción de etileno fue mayor en la variedad GD con valores cercanos a 12 µL/kg h en Ref y 7 µL/kg h en Ref+DPA ambos producidos el día 4 a 20 °C (Figura 25B); siendo mayores que los observados el mes anterior. Para AC se pudo observar que su climatérico se retrasó 5 días comparado con el mes anterior y presentó un valor de 4.1 que resultó mucho mayor que el obtenido en diciembre (0.49) situación también observada para AC+DPA pero con diferencia de 1 día lo que nos indica que los resultados de este mes se alargan quizás como consecuencia de las condiciones de almacenamiento. ULO obtuvo casi tres veces más producción que el mes anterior y con excepción de Ref se colocó por arriba de todos los tratamientos sin adelantar su climatérico mientras que ULO+DPA obtuvo menos y su climatérico se presentó el día 5 contrastando con los 9 días que requirió el mes de diciembre para presentarse; asimismo, no observó un comportamiento climatérico tan característico como lo había mostrado antes ya que su tendencia fue muy inestable y de altibajos los primeros 4 días de evaluación. Según Gorny y Kader (1996) el almacenamiento de la fruta en condiciones de bajo oxígeno tiene un efecto dual sobre la actividad de las enzimas ACC oxidasa y ACC sintetasa lo que propicia una reducción en la biosíntesis de etileno que no se aprecia en el almacenamiento en aire frío, argumento que soporta lo encontrado en este

estudio. Sin embargo, Suzuki y col. (2004) reportaron que la exposición de brócoli a vapores de etanol prolonga su vida de anaquel debido a que suprime la producción de etileno por la inhibición de la actividad de ACC oxidasa. En nuestros resultados, las concentraciones más elevadas de etanol se presentaron en la fruta almacenada en ULO y ULO+DPA, y la menor producción de etileno se observó en los tratamientos AC, AC+DPA, ULO y ULO+DPA, lo que sugiere que la disminución en la producción de etileno se debe preferentemente a las condiciones de almacenamiento que a la cantidad de etanol presente en el tejido del fruto; más aún, valores intermedios en producción de etanol del tratamiento Ref presentaron la máxima producción de etileno para este mes.

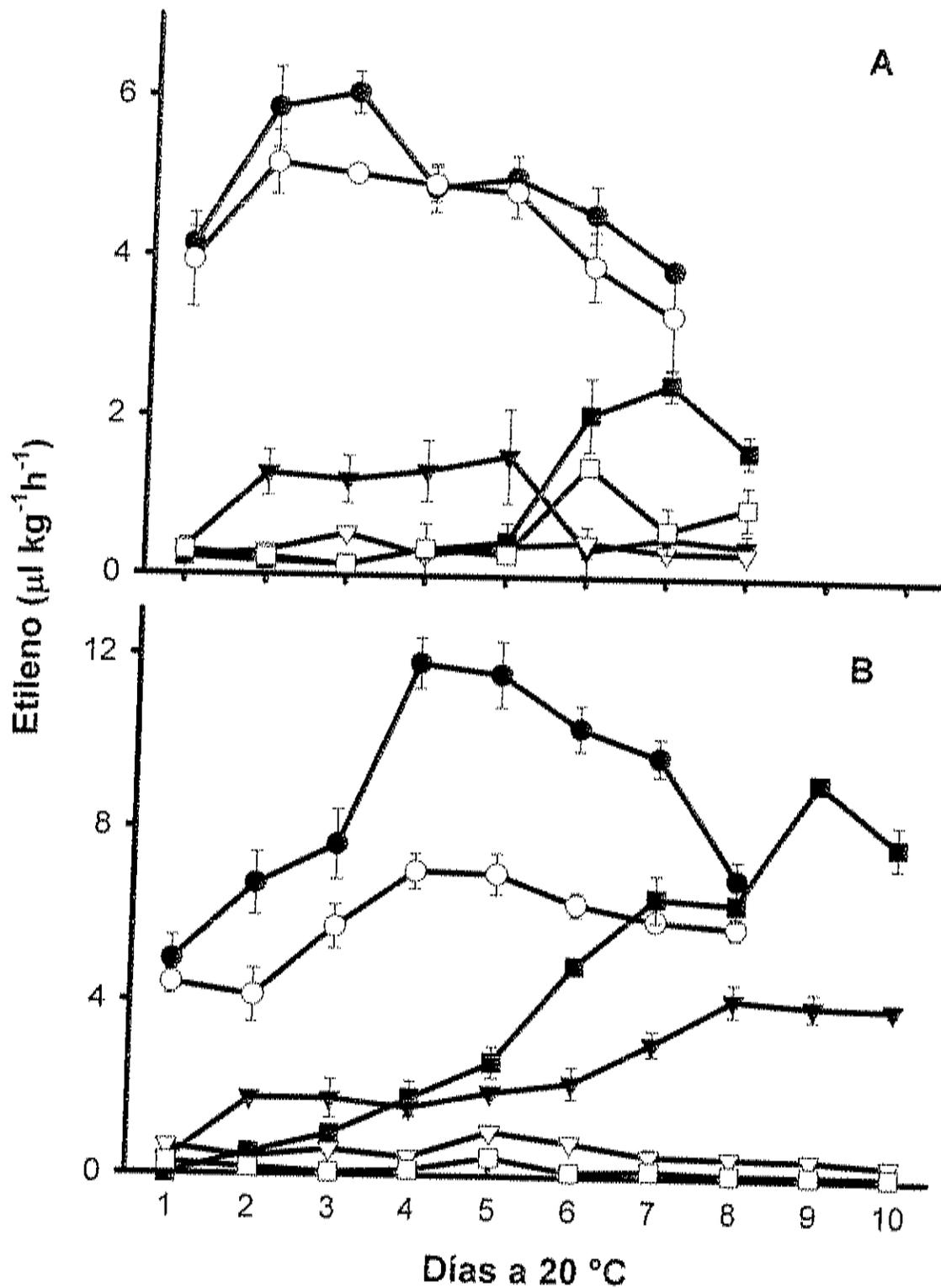


Figura 25. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cuatro meses en Ref (●), Ref+DPA (○), AC (▼), AC+DPA (▽), ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

5. Quinto mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Los valores obtenidos para RD revelaron que el tratamiento AC obtuvo los datos más altos en la escala durante casi todo el período con un promedio general de 2.3; el día del retiro inició con 2.6 manteniéndose en ese valor el día 4 y disminuyendo a 1.6 el día 8 para subir de nuevo a 2.4 el último día evaluado; el resultado obtenido el día 4 fue el mejor y se ubicó con una calificación entre "excelente y aceptable" en la escala utilizada mientras que el resto se colocó entre "aceptable y moderadamente aceptable" (Figura 26A), sin embargo la calidad observada este mes fue mucho menor que la del anterior. AC+DPA presentó valores cercanos a 2 ("aceptable", en la escala) durante toda la evaluación y su mejor resultado lo obtuvo el día del retiro de la atmósfera con 1.8, además su promedio se ubicó muy cercano al del mes anterior (2.0 contra 1.87). Los tratamientos de ultra bajo oxígeno presentaron los promedios más bajos de la escala y los mejores en calidad con 1.8 para ULO+DPA y 1.75 para ULO no existiendo diferencia significativa entre ellos y siendo muy similares a los obtenidos en enero. El primero obtuvo su mejor resultado el día 8 con 1.2 mientras que el segundo lo presentó el día 4 con 1.4, pero ambos cerraron la evaluación con valores por arriba de 2 indicando una pérdida de calidad al final del período a 0 °C.

En la variedad GD todos los tratamientos presentaron valores mayores que el mes anterior lo que se tradujo en una menor calidad. AC obtuvo los mayores resultados durante cada día del período con un promedio cercano a 2.2 que lo ubicaron con una calificación cercana a "aceptable" en la escala usada (Figura 26B). El día del retiro el menor valor correspondió a AC+DPA con una calificación de "excelente" seguido por ULO y ULO+DPA con 1.4 y 1.6 respectivamente. El segundo día de evaluación los valores fueron muy cercanos siendo el menor para ULO seguido de AC+DPA y ULO+DPA mientras que el día 8 a 0 °C no hubo mucha diferencia pero los del tipo ultra

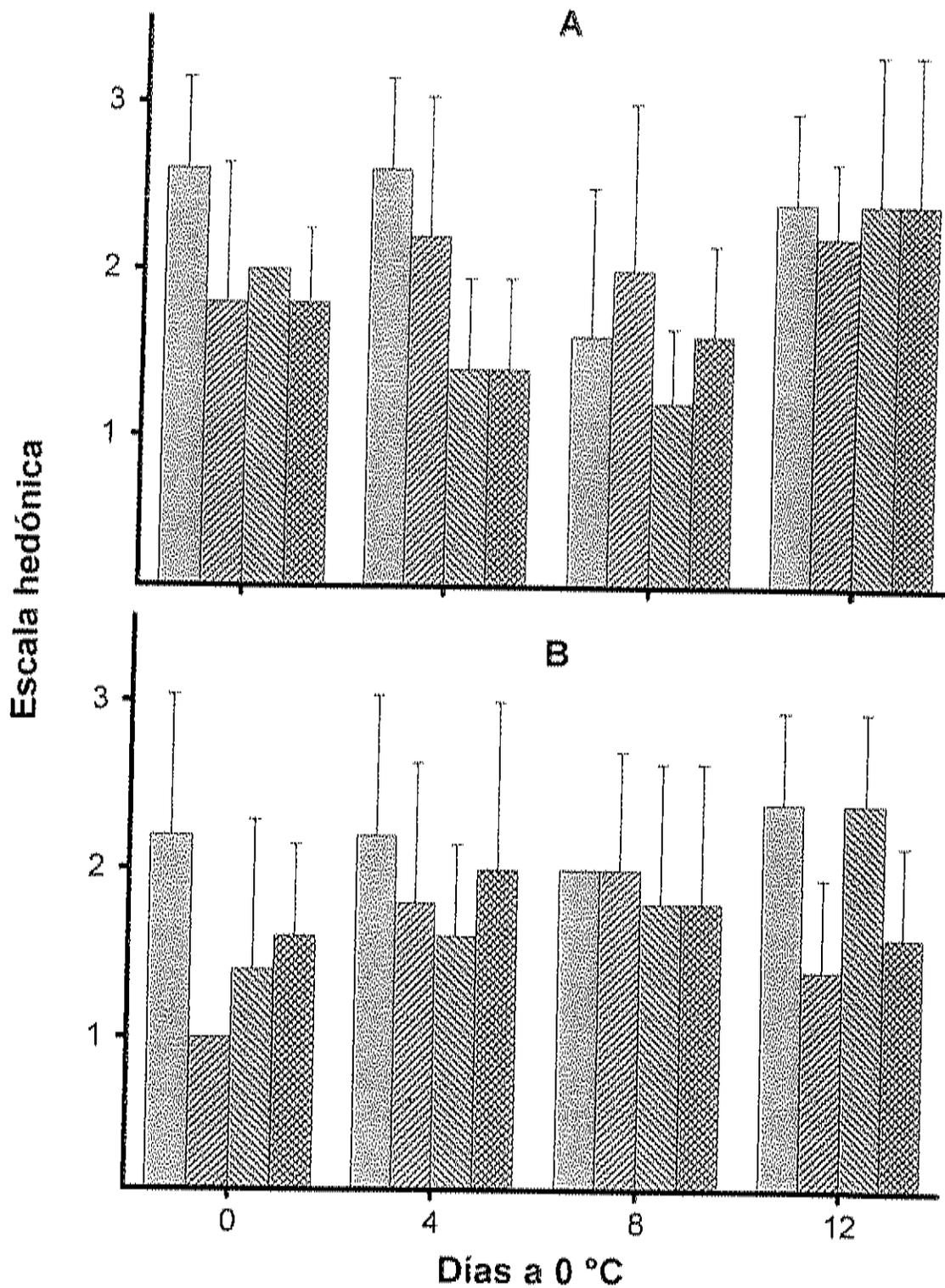


Figura 26. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (□), AC+DPA (▨), ULO (▩) y ULO+DPA (▧). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

bajo oxígeno resultaron menores (1.8) mientras que para el día 12 AC+DPA y ULO+DPA resultaron los más bajos con 1.4 y 1.6 respectivamente. El mejor día en evaluación fue el día del retiro con un promedio de 1.55 que se ubicó intermedio entre "excelente y aceptable".

b. Textura

No se encontraron diferencias entre los tratamientos durante las evaluaciones de la variedad RD y los promedios en sus valores fueron similares o ligeramente mayores que los del mes anterior demostrando que la firmeza se mantuvo sin cambios (Figura 27A). AC mostró un comportamiento estable durante los primeros 4 días de evaluación con un valor de 62.7 newtons para aumentar y mantenerse el resto del tiempo en 64.9 mientras que AC+DPA subió de 60.9 a 63.6 para regresar a su valor original y subir de nuevo a 62.2 el día 12. ULO y ULO+DPA manejaron valores promedio muy similares (61.3 y 62.2 cada uno) y su tendencia fue muy parecida aumentando los primeros 4 días para disminuir el resto del tiempo. Para estas fechas y con base en los resultados obtenidos de calidad y textura se puede considerar que la fruta de esta variedad presentó características adecuadas para su comercialización, sin embargo todavía no se ha podido apreciar un efecto más favorable del uso de ultra bajo oxígeno.

La Figura 27B presenta las condiciones de textura encontradas para la variedad GD. Al igual que en RD, los valores promedio fueron ligeramente mayores que los correspondientes al mes de enero demostrando una retención de firmeza en todos los tratamientos, sin embargo el comportamiento no fue tan estable y existieron diferencias entre AC y el resto de los tratamientos el día 8 del período y entre AC y AC+DPA con respecto a los demás el día 12 a 0 °C. AC disminuyó de 64.9 a 62.2 N para luego subir a 68.5 y terminar en 65.4

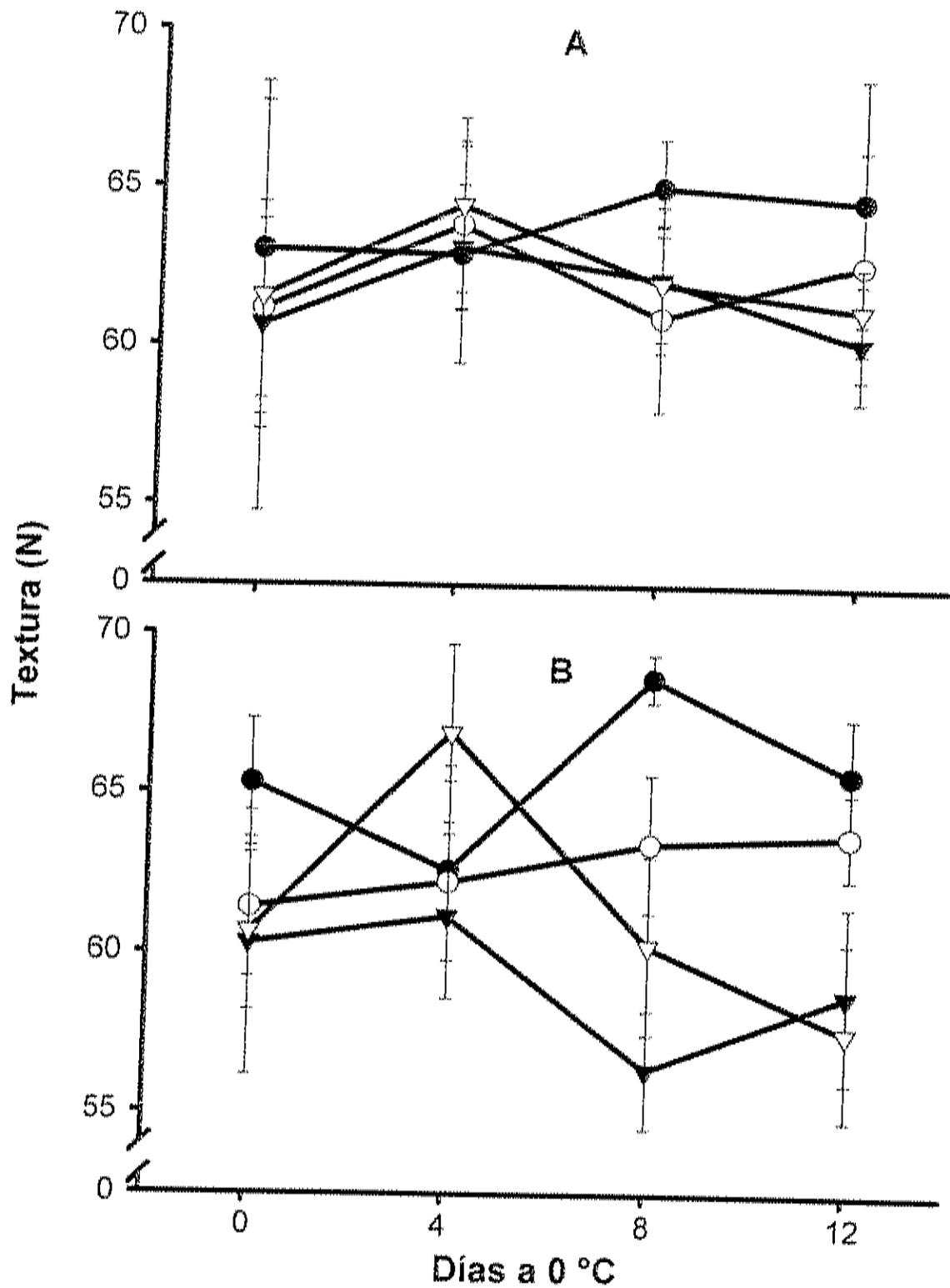


Figura 27. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

mientras que AC+DPA se mantuvo constante durante los primeros 4 días con 61.3 newtons para luego aumentar un poco a 63.1 N. Los tratamientos ULO y ULO+DPA disminuyeron sus valores aproximadamente 4 newtons durante el día 8 de evaluación pero se recuperaron el día 12 cerrando con 58.6 y 57.3 respectivamente. El promedio más alto resultó para AC seguido de AC+DPA, ULO+DPA y ULO, entre el primero y el último existió una diferencia de 6.2 newtons.

c. Índice de almidón

Los valores encontrados durante esta evaluación mostraron un aumento aproximado de 5 % en la cantidad de área libre de color de los tratamientos correspondientes a la variedad RD comparados con el mes anterior (Figura 28A) indicando un mayor avance en maduración. AC mantuvo un comportamiento estable durante los últimos ocho días de evaluación con un valor de 97 % mientras que AC+DPA cayó desde 97 a 95 % durante las primeras 3 evaluaciones para recuperarse el día 12 con 97 %. ULO ascendió desde 95 hasta 97 % de área libre al transcurrir ocho días de almacenamiento a 0 °C disminuyendo un poco el último día evaluado. ULO+DPA presentó el promedio más bajo en valor con 95.5 % basado principalmente en los días 0, 4 y 12 del período lo que lo colocó como el más estable. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Todos los tratamientos de la variedad GD presentaron su totalidad de área libre de color, es decir libre de almidón, confirmando la observación hecha el mes anterior e indicando una madurez total.

d. Metabolitos de fermentación

Las evaluaciones realizadas para RD durante su almacenamiento a 0 °C (Figura 29A) mostraron que los tratamientos AC y AC+DPA se comportaron

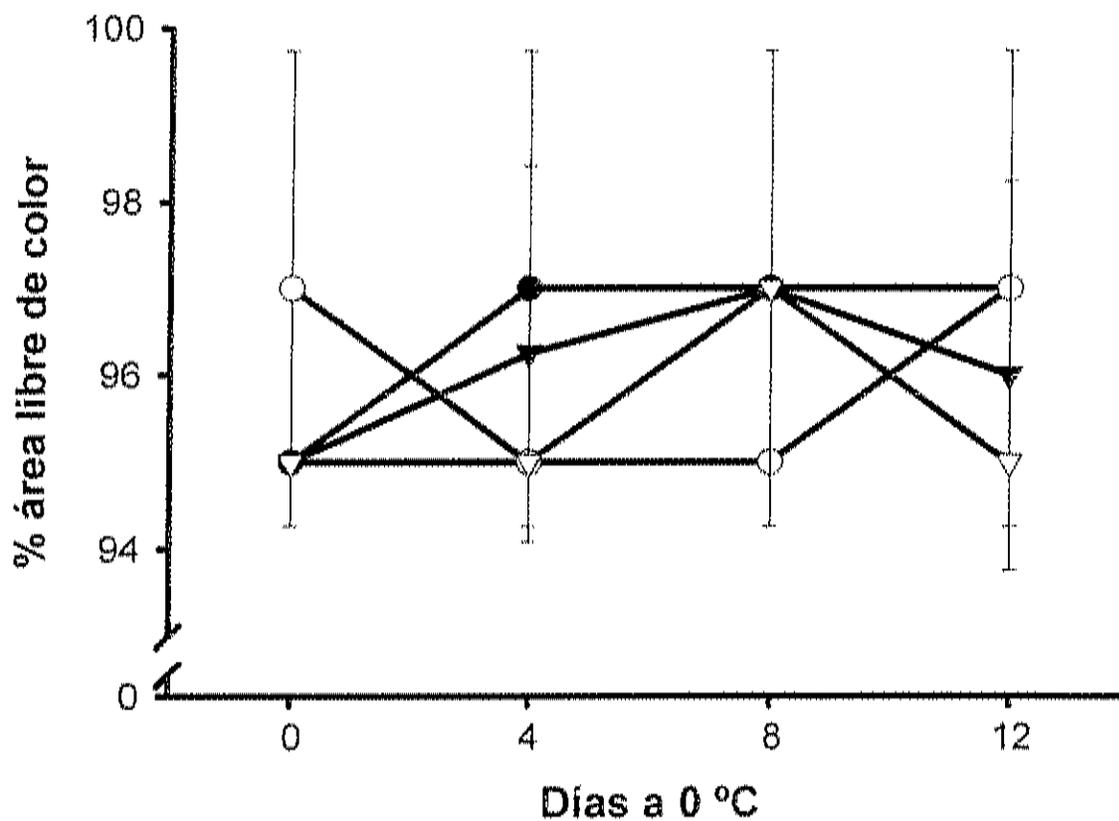


Figura 28. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

muy similares durante los primeros 4 días del periodo para luego incrementar y separarse el día 8 con valores de 811 y 349 para cada uno, disminuyendo al final con 334 y 153 ppm. Por su parte los tratamientos de ultra bajo oxígeno presentaron los valores más altos en producción con diferencias entre ellos durante todas las evaluaciones y atribuyéndose a ULO el promedio de datos mayor con 1145 ppm seguido de 773 partes de ULO+DPA. Los aumentos en producción para este mes variaron aproximadamente entre 0.5 y 2 veces más que el mes anterior pero el orden de acomodo en la gráfica fue el mismo más no así la tendencia en el comportamiento mostrado. AC y AC+DPA observaron una disminución natural en los primeros días que aumentó un poco en la siguiente evaluación para regresar a sus valores originales el último día evaluado lo que se considera normal e indica que no existió ningún efecto del DPA combinado con estas condiciones de atmósfera. De nueva cuenta los comportamientos entre ULO y su combinación con el antioxidante no observaron una tendencia estable ya que mientras el primero subió para luego caer y posteriormente volver a subir, el segundo cayó para luego subir hasta el final del periodo.

Para el caso de GD (Figura 29B), la situación fue más estable en los tratamientos AC y AC+DPA que no mostraron diferencias las primeras dos evaluaciones pero que el resto del tiempo a pesar de tenerlas no se alejaron tanto entre sí con valores que oscilaron entre 2.7 y 330 ppm. ULO inició en un valor intermedio (635 ppm) entre los de AC y ULO+DPA para aumentar hasta 1048 el día 4 y disminuir de nuevo hasta 829 partes que mantuvo el último día evaluado; mientras que ULO+DPA subió de 1117 ppm hasta 2225 al principio para luego caer a un valor cercano al original y posteriormente subir hasta 1939 ppm. El promedio de aumento en producción para GD osciló alrededor de 50 % más que el mes anterior y con respecto a RD los tratamientos ULO y ULO+DPA fueron mayores y los de atmósfera controlada resultaron menores. Ambas

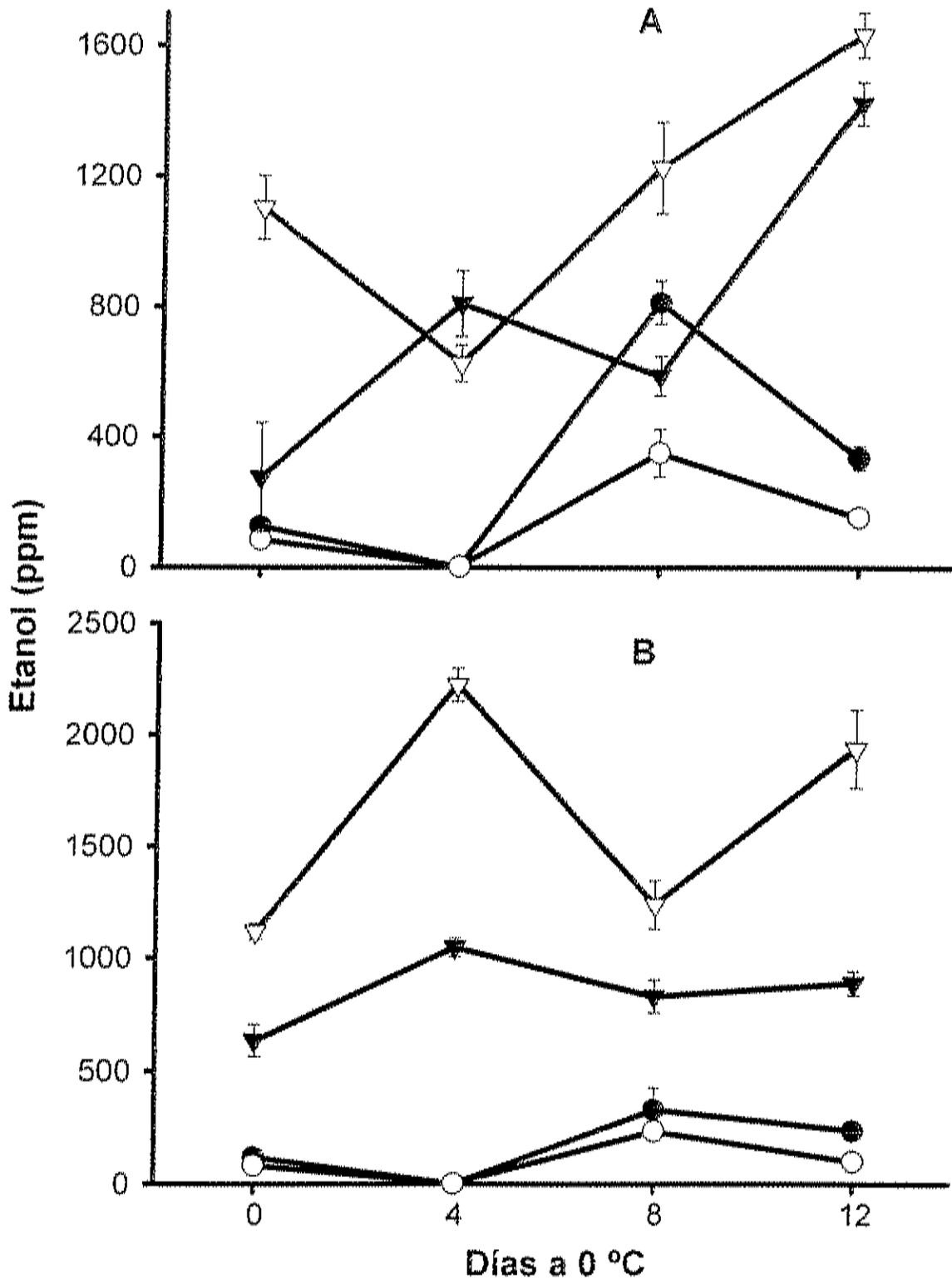


Figura 29. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

variedades presentaron un aroma a fermento (alcohol) que resultó más intenso en RD aún cuando sus valores de concentración de etanol fueron menores; sin embargo, este aroma se perdió después de 7 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

Los valores más altos en producción de acetaldehído en la variedad RD correspondieron a los tratamientos de ultra bajo oxígeno (Figura 30A) (con promedios de 194 y 178 ppm para ULO y ULO+DPA respectivamente) que se comportaron sin diferencias los días 8 y 12 a 0 °C. No existieron diferencias entre AC y AC+DPA durante las evaluaciones y sus promedios fueron muy similares a los mostrados en enero. ULO aumentó desde 59 hasta 280 ppm durante el almacenamiento a 0 °C siguiendo la misma tendencia del mes anterior mientras que ULO+DPA inició en 106 partes disminuyendo el día 4 y volviendo a subir el resto del tiempo hasta alcanzar 307 ppm que no coincidieron con lo observado el mes anterior demostrando una vez más que no existe una tendencia de comportamiento predecible entre estos tratamientos.

En la Figura 30B se puede observar que los tratamientos AC y AC+DPA no presentaron diferencias durante los primeros 4 días de evaluación con valores promedio de 10 ppm mientras que el resto del tiempo se comportaron diferente. AC se ubicó por encima de AC+DPA con valores de 19 y 8 ppm para cada uno, situación que coincidió con lo encontrado el mes anterior solo que ahora con un ligero despegue por parte de AC. Lo que no coincidió en comportamiento fue lo observado por ULO y ULO+DPA con respecto al mes anterior ya que resultó completamente al revés, sin embargo, en esta ocasión los valores de ULO fueron más constantes y alrededor de 45 partes más altos que en enero, no siendo así los de ULO+DPA que fueron aproximadamente 20 ppm más bajos. Para ULO+DPA el promedio entre variedades fue similar y para ULO se mostró diferente siendo mayor en RD (al igual que el mes anterior), además GD obtuvo más etanol que RD a pesar de la diferencia en aroma.

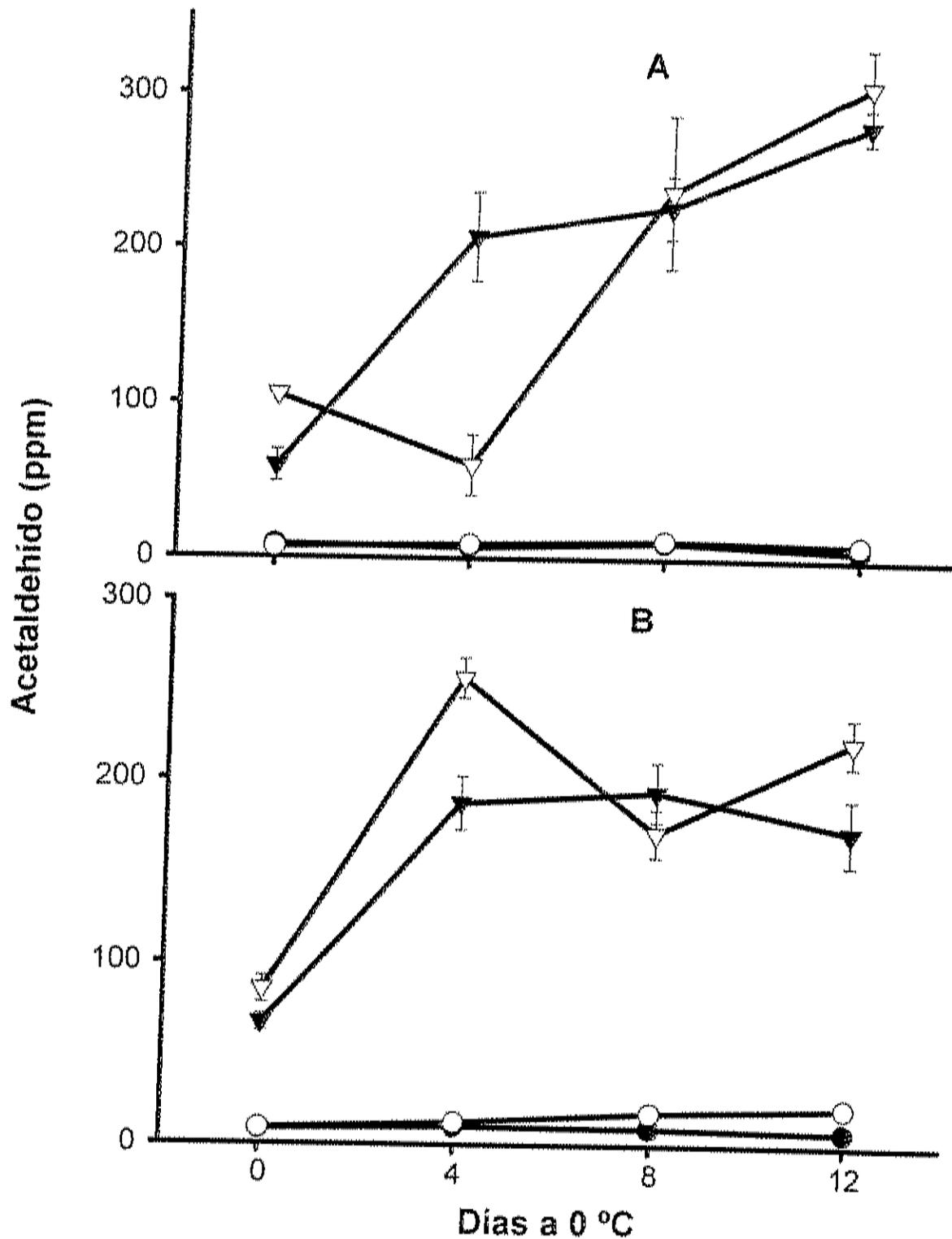


Figura 30. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

e. Producción de etileno

El comportamiento característico de las frutas climatéricas se observó más acentuado en todos los tratamientos de la variedad GD mientras que en RD solo AC y AC+DPA lo mostraron adecuadamente lo mismo que ULO pero con ligeros incrementos (Figuras 31 B y A, respectivamente). Comparado con el mes anterior, la producción de etileno obtenida para RD fue mayor en los tratamientos AC y AC+DPA y menor en los del tipo ULO; por su parte GD no mostró una tendencia estable comparable con lo encontrado el mes anterior ya que sus valores resultaron mayores en los tratamientos solos y menores en los correspondientes a la combinación con DPA; esta observación confirmó el efecto de las condiciones de almacenamiento ULO sobre la síntesis de etileno en RD y mostró un probable efecto del uso de DPA en la variedad GD.

Los tiempos requeridos para alcanzar el pico climatérico no coincidieron con los observados antes; para RD, AC y AC+DPA alcanzaron el máximo el día 7 a 20 °C con valores distanciados entre sí (2.6 y 1.4 respectivamente) que se presentaron más tarde que en el mes anterior, mientras que ULO y ULO+DPA difirieron con un día de maduración a 20 °C ya sea adelantándose o retrasándose. En GD, AC se adelantó 4 días, AC+DPA se retrasó el mismo tiempo, ULO se adelantó dos días y ULO+DPA se conservó.

La producción mayor de etileno correspondió al tratamiento ULO en la variedad GD con 4.7 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ seguido por AC en RD con 2.6 y por ULO+DPA en GD con 2.5. En la Figura A se muestra que el tratamiento ULO presentó los valores más constantes durante su maduración con un promedio de 1.7 $\mu\text{L}/\text{kg h}$; sin embargo fue el dato más alto de todos indicando que el efecto del almacenamiento no fue tan marcado como en el resto de los tratamientos o bien que las condiciones de maduración no afectaron tanto su producción de etileno. Para los demás, el comportamiento fue característico y presentó un orden de acomodo y valores muy similares a los obtenidos el mes anterior pero ULO+DPA se manejó con altibajos durante los primeros 5 días aunque alcanzó

su climatérico de manera natural el día 7. Este comportamiento se había observado meses atrás y todo parece indicar que es producto del efecto del bajo oxígeno empleado sobre la ruta de producción de etileno.

La escala fue mayor en la Figura B confirmando que GD produjo más etileno que RD. Todos los tratamientos presentaron una tendencia ascendente durante el inicio de las evaluaciones para alcanzar su máximo posteriormente demostrando un comportamiento que se ha obtenido desde meses atrás y que resulta característico de esta variedad; el orden de producción ubicó a los tratamientos de la misma forma que en el mes anterior con valores muy similares.

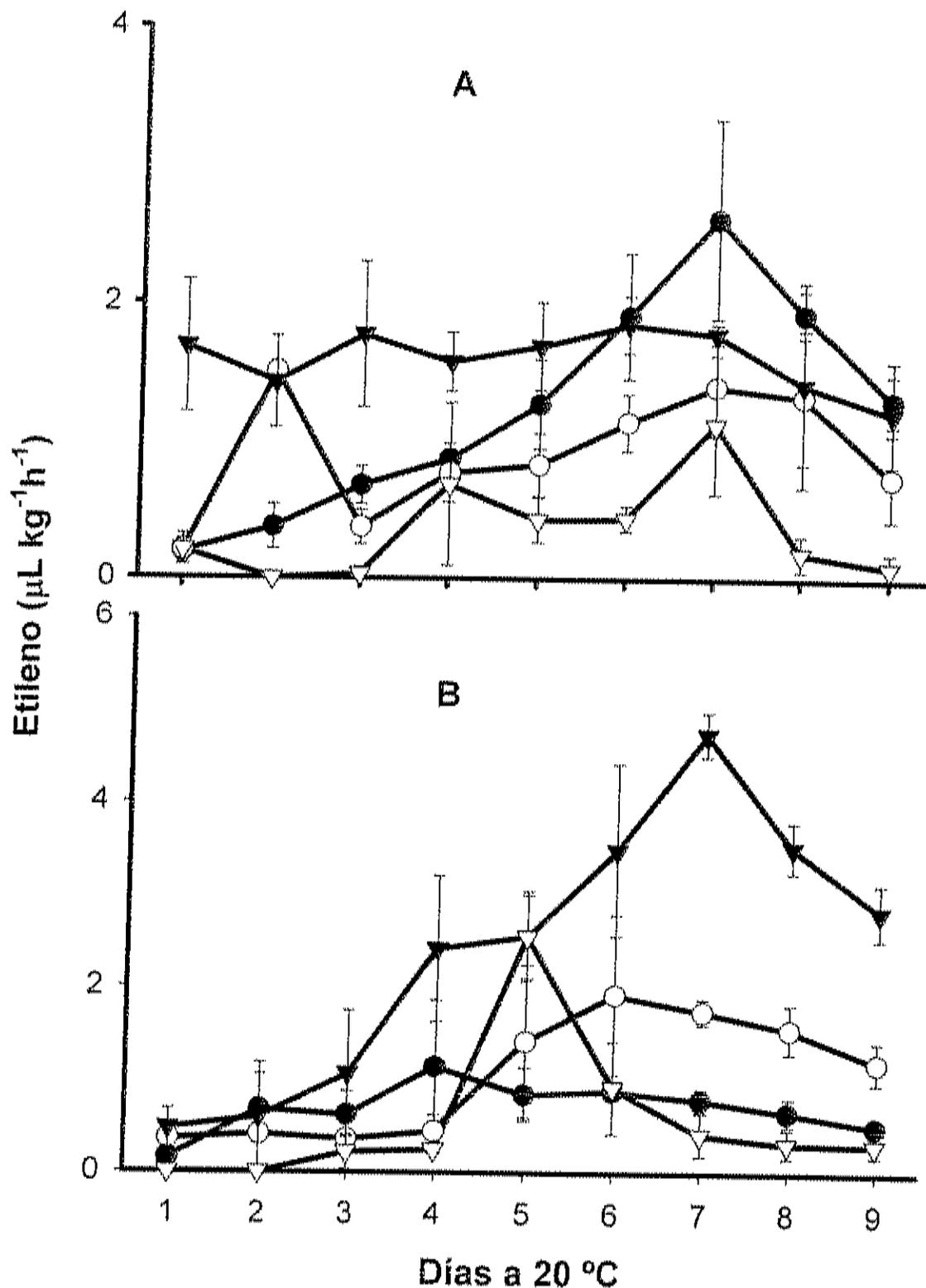


Figura 31. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante cinco meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

6. Sexto mes de almacenamiento

a. Calidad externa

En la variedad RD (Figura 32A) los mejores resultados en calidad correspondieron al tratamiento AC+DPA el día 4 del período a 0 °C con un valor de 1 que se ubicó en la escala con una calificación de "excelente" mientras que el día del retiro de la atmósfera este tratamiento y ULO presentaron la mejor calidad. Con excepción de ULO+DPA, todos los tratamientos presentaron valores promedio menores a los mostrados el mes anterior (o sea una mejor calidad) y su tendencia se presentó como sigue: AC inició en 2.2 para bajar a 1.4 luego subir a 1.6 y terminar en 1.8 es decir calificado entre "excelente y aceptable" con más inclinación hacia la segunda calificación; AC+DPA comenzó en 1.2 para subir a 1.4 y luego bajar de nuevo a 1 y cerrar en 1.6, es decir siempre cerca del mejor valor en la escala ("excelente"); ULO en su primer evaluación obtuvo el valor más bajo del período con 1.2 que perdió el día 4 al subir a 2 tendiendo a recuperar terreno al disminuir a 1.8 pero obteniendo su valor más elevado al cierre con 2.2 ubicándose en la escala con una calificación cercana a "aceptable"; por último, ULO+DPA inició calificado en "aceptable" = 2 para subir a 2.2 y 2.4 en las siguientes evaluaciones y disminuir el día 12 a 1.4 lo que lo mantuvo en el rango de "aceptable" y como el tratamiento con menor calidad durante las evaluaciones. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Los valores obtenidos para GD mostraron que esta variedad presentó mejor calidad que RD. Los tratamientos de ultra bajo oxígeno obtuvieron los mejores promedios de la evaluación con valores de 1.4 para ULO y 1.35 para ULO+DPA es decir calificados cerca de "excelente" en la escala utilizada. El promedio más alto lo mantuvo AC con una calificación de 1.6 que se ubicó entre "aceptable y excelente" pero con muy poca diferencia con respecto a los anteriores. El tratamiento más estable durante el período a 0 °C fue ULO+DPA

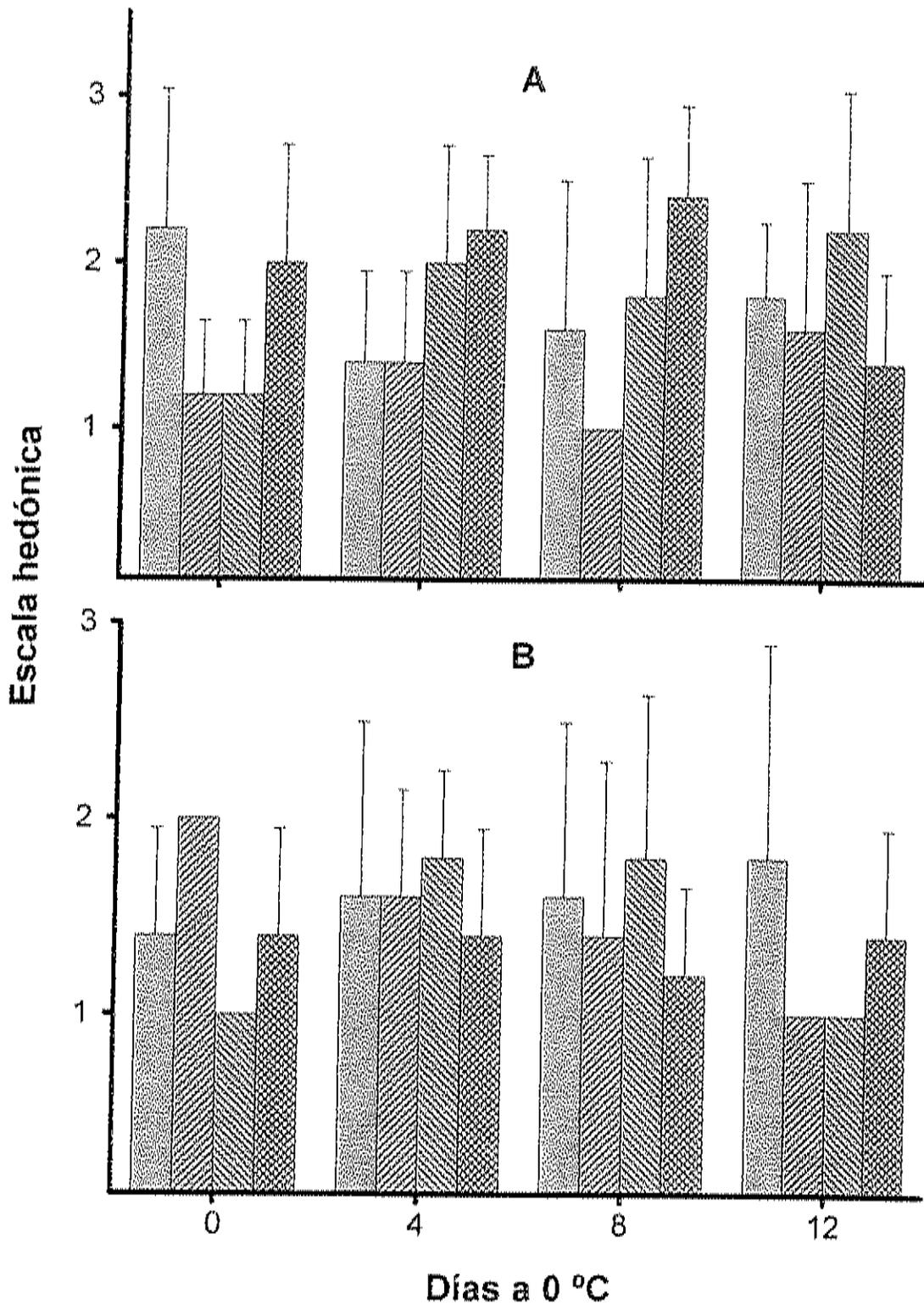


Figura 32. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (□), AC+DPA (▨), ULO (▩) y ULO+DPA (▧). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

que se mantuvo en 1.4 los primeros 4 días para bajar a 1.2 el día 8 y volver a su valor original el día 12, lo siguió AC con valores de 1.4, 1.6, 1.6 y 1.8; luego se ubicó ULO con 1, 1.8, 1.8 y 1. Los tratamientos AC, ULO y ULO+DPA presentaron mejor calidad que el mes anterior (2.2 contra 1.6, 1.8 contra 1.4 y 1.7 contra 1.3, respectivamente) mientras que AC+DPA se mantuvo en el mismo valor (1.5).

Los resultados observados nos permiten estimar que, en cualquiera de las dos variedades, una vez retirada la fruta de la atmósfera se requerirán más de 12 días de almacenamiento a 0 °C para que pierda en gran medida su calidad, pero debería esperarse, sobre todo en GD, que la correspondiente a ULO presente una mayor resistencia a perderla. Para manzana de cultivares Delicious, Chen y col. (1985) reportaron los mejores valores de calidad para una atmósfera que combinaba 1 % de O₂ + 1 % de CO₂ que los que se obtenían con una atmósfera de 1.5 % de O₂ + 1 % de CO₂.

b. Textura

Las evaluaciones de este mes no arrojaron una diferencia entre los tratamientos de ULO y los de atmósfera controlada convencional para la variedad RD (Figura 33A); a pesar de esto, existieron alrededor de 1.3 N más para los primeros que podrían ser muy significativos para meses posteriores pues este pudiera ser el inicio de un despegue entre tratamientos que favorecería a la fruta almacenada en ULO; además, con respecto al mes anterior los tratamientos de ULO perdieron en promedio entre 3.1 y 4.4 N mientras que los de AC perdieron alrededor de 4 a 8 N confirmando una menor tendencia a retener su firmeza; Lau (1985) reportó que el uso de concentraciones de 1 + 1.9 % (O₂ y CO₂) retardaban la pérdida de firmeza en manzanas Delicious comparada con la obtenida usando una AC convencional. Sin embargo, este mes fue la última evaluación realizada para AC lo que impedirá observar si esta leve diferencia aumenta con el tiempo. El tratamiento

AC obtuvo los valores más bajos del período iniciando en 56.8 N que mantuvo durante 4 días para luego caer a 52.8 y recuperarse al final con su valor de inicio promediando 55.5 N, observando el mayor impacto en pérdida de firmeza al comparar sus valores con el mes anterior; por su parte AC+DPA obtuvo 59.1 newtons el día del retiro para alcanzar un ligero incremento el día 4 hasta 61.8 y caer drásticamente a 52.8, es decir 9 newtons menos, y volver a subir hasta 56.8 el día de la última evaluación, su promedio se ubicó en 57.7 N. ULO se mantuvo constante durante los primeros 4 días de evaluación con un valor de 58.6 para disminuir hasta 55.5 y 54.2 N el resto del tiempo mientras que ULO+DPA sufrió un ligero aumento a 4 días del retiro para pasar de 59.5 a 61.8 pero al igual que los demás tratamientos perdió firmeza el día 8 a 0 °C obteniendo un valor de 58.6 que bajó hasta 56.4 en la última evaluación, sin embargo su promedio fue el más alto de este mes con 59.1 newtons que significan una pérdida de textura de solo 3.1 N comparada con el mes anterior.

En la variedad GD no se observaron diferencias entre los tratamientos del tipo ULO y si existieron entre éstos y los de AC los días 0, 4 y 8 del período a 0 °C. AC presentó los valores más altos (Figura 33B) durante cada día de evaluación con 65.4, 66.7, 62.2 y 59.5 N respectivamente mostrando una tendencia normal a disminuir a medida que avanza su maduración mientras que AC+DPA se manejó con 59.1, 57.7, 59.5 y 60.9 N observando una tendencia casi constante. Sus promedios generales los ubicaron con una pérdida aproximada de 2.2 y 3.1 newtons para cada uno comparados con el mes anterior. ULO y ULO+DPA observaron este mes una pérdida de firmeza de alrededor de 9 N que no se había encontrado antes y que pudiera ser el inicio de una caída en textura por parte de esta variedad lo que también denotaría que el uso de atmósferas de ultra bajo oxígeno no tiene un efecto tan favorable como en RD ya que la fruta almacenada en AC retuvo aproximadamente 9 newtons más que la correspondiente a ULO; sin embargo, esta diferencia también podría atribuirse a que el estado de madurez de esta variedad al inicio

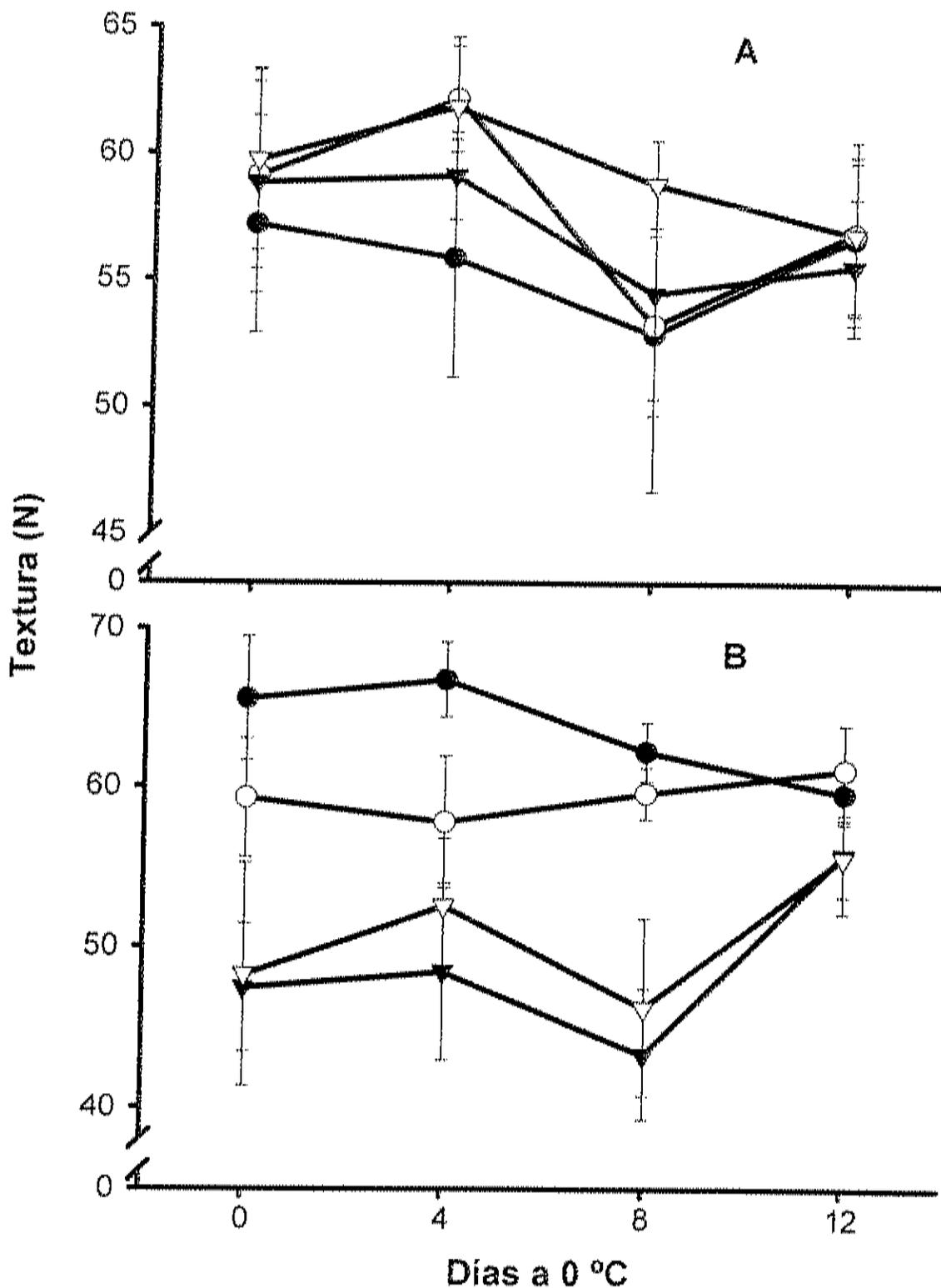


Figura 33. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

del almacenamiento era avanzado para el uso de AC de ultra bajo oxígeno. Para las variedades McIntosh (Lidster y col., 1981), Gala (Saftner y col., 2002) y Golden Delicious (Lau, 1985; Siddiqui y col., 1996) se ha reportado que después de un tiempo similar de almacenamiento existen diferencias en textura entre la fruta mantenida en AC convencional y la mantenida en ULO siendo mejores los resultados en la última. Sin embargo, las condiciones de desarrollo y crecimiento de la fruta en distintas regiones del mundo provee diferencias en respuesta a condiciones similares de almacenamiento lo que indicaría que algunas condiciones adecuadas para una región podrían no ser favorables para otras.

c. Índice de almidón

Para este mes sólo se realizó esta evaluación en la variedad RD (Figura 34). Todos los tratamientos mostraron porcentajes de área libre de color por arriba de 96 % el día del retiro del almacenamiento y alcanzaron su valor más alto (es decir su madurez total) después de 12 días a 0 °C. AC inició en 96 % para subir a 98 % a los 4 días y alcanzar 100 % a partir del día 8, AC+DPA se mantuvo en 96 % durante 4 días y, al igual que el anterior, llegó a 100 % a partir del día 8 mientras que ULO empezó en 97 y alcanzó 100 % desde el día 4 hasta el final; ULO+DPA lo consiguió a partir del día 8. Esta variedad observó una tendencia a madurar más lentamente que GD pero a partir de este mes (el sexto en almacenamiento en AC o ULO) la totalidad de su pulpa se mostró libre de almidón.

d. Metabolitos de fermentación

Los resultados obtenidos para RD revelaron que la fruta almacenada en ULO y ULO+DPA tuvo una producción de etanol menor que la del mes anterior. Como se aprecia en la Figura 35A, estos tratamientos presentaron una

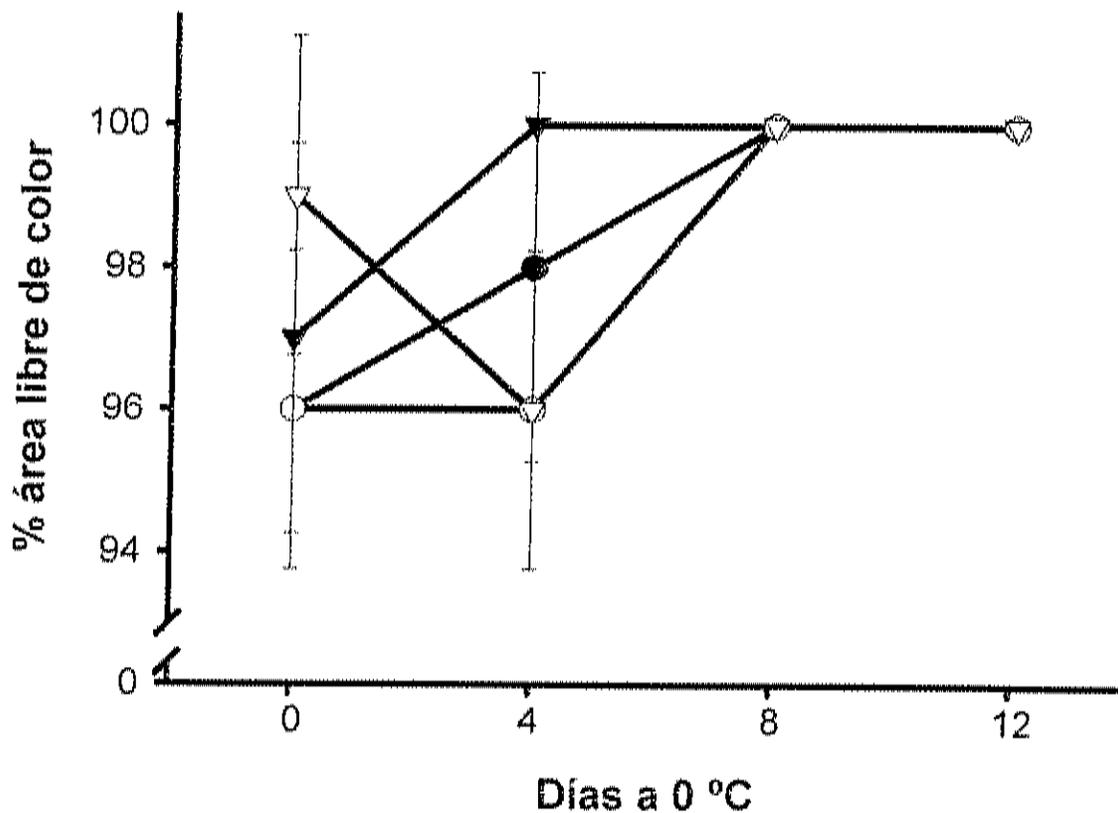


Figura 34. Índice de almidón durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

tendencia a disminuir en su contenido de etanol a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento a 0 °C con valores desde 683 hasta 185 ppm y desde 1693 hasta 335 ppm. Cabe resaltar que el aroma a fermento que la fruta presentaba al momento del retiro y que se debe en gran parte a este metabolito desapareció después de un tiempo corto de almacenamiento a temperatura ambiente, sin embargo los datos anteriores confirman que una vez terminado el almacenamiento en condiciones de ULO y continuando la fruta almacenada a baja temperatura en condiciones de aire normal esta característica indeseable se eliminaría por completo sin afectar la calidad de la misma. Para el caso de AC la situación fue diferente puesto que la fruta aumentó su producción de etanol con respecto al mes anterior y su tendencia a la baja una vez terminado el almacenamiento no resultó tan marcada como en ULO. Existieron diferencias significativas entre todos los tratamientos el día del retiro correspondiendo a ULO+DPA el valor más alto y a AC+DPA el más bajo, el día 4 sólo AC+DPA fue diferente de los demás y el resto del período AC y ULO+DPA fueron similares lo mismo que AC+DPA y ULO.

Al igual que el mes anterior, la situación fue más estable en la variedad GD (Figura 35B) para los tratamientos AC y AC+DPA que se comportaron poco variables en producción durante todo el período de almacenamiento a 0 °C con valores que oscilaban por debajo de 500 ppm pero que observaron diferencias entre ellos y con los demás siempre. Para ambos, la producción de este mes fue mayor que la del anterior y su tendencia a disminuir no fue muy marcada. ULO presentó una línea que disminuye claramente pero su promedio de producción fue casi 70 % más que antes (850 contra 1496) mientras que ULO+DPA cayó los primeros 8 días desde 1471 hasta 781 ppm para aumentar un poco el día 12 (911 ppm) con un promedio general de 1010 ppm que resultó mucho menor en este mes. En esta ocasión todos los tratamientos se comportaron más estables en producción que los meses anteriores quizás

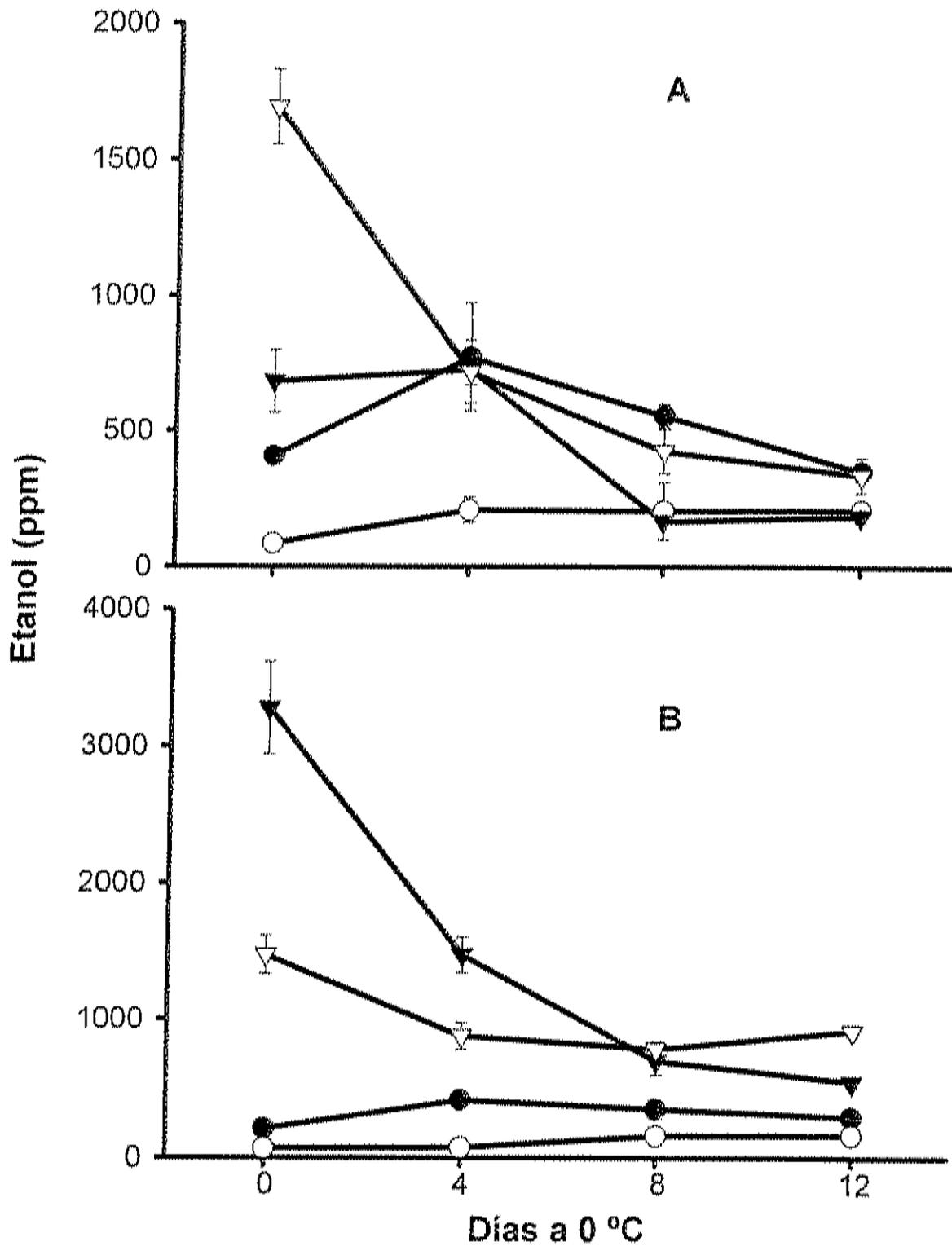


Figura 35. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

porque el tiempo y las condiciones de almacenamiento han conseguido que la fruta se adapte mejor y su actividad metabólica se vea regulada satisfactoriamente, sin embargo el efecto en el uso del sistema ULO fue mucho mayor en GD que en RD lo que confirmaron sus datos de concentración de etanol; a pesar de ello, el aroma a fermento fue más intenso en el segundo (según observaciones propias).

En la Figura 36 se puede observar la producción de acetaldehído para ambas variedades. En RD, AC y AC+DPA presentaron valores bajos de producción sin existir diferencias entre ellos y existiendo con respecto a ULO y ULO+DPA, su promedio se ubicó cercano a 7 y 11 ppm respectivamente. ULO sufrió altibajos y mostró los valores más altos del período iniciando en 167 y terminando en 83 ppm mientras que ULO+DPA se mantuvo constante con valores que oscilaron entre 40 y 47 ppm situación que no se observó durante el mes anterior y que nos hace pensar en una adaptación de esta variedad a las condiciones del tratamiento. Existió una menor producción de acetaldehído en los tratamientos ULO y ULO+DPA con respecto al mes anterior, dicha diferencia fue mucho mayor en la combinación con DPA (alrededor de 4 veces menos) que en el tratamiento sólo (0.4 veces menos) lo que confirmó lo observado en la producción de etanol para estos mismos tratamientos y nos indica una pérdida rápida de metabolitos producidos por las condiciones de anaerobiosis, situación que resulta muy favorable.

En el caso de GD todos los tratamientos aumentaron su producción de acetaldehído en este mes, AC y AC+DPA subieron alrededor de 5 ppm mientras que ULO subió 70 partes y ULO+DPA 8 ppm. Los primeros mostraron una tendencia estable durante las evaluaciones con promedios generales de 13.6 y 20.4 ppm respectivamente; ULO inició en 189 ppm para subir hasta 254 el día 4 y alcanzar 268 como su máximo valor el día 8 cayendo a 187 el día del cierre lo que promedió 225 partes, a su vez, ULO+DPA se mantuvo un poco

porque el tiempo y las condiciones de almacenamiento han conseguido que la fruta se adapte mejor y su actividad metabólica se vea regulada satisfactoriamente, sin embargo el efecto en el uso del sistema ULO fue mucho mayor en GD que en RD lo que confirmaron sus datos de concentración de etanol; a pesar de ello, el aroma a fermento fue más intenso en el segundo (según observaciones propias).

En la Figura 36 se puede observar la producción de acetaldehído para ambas variedades. En RD, AC y AC+DPA presentaron valores bajos de producción sin existir diferencias entre ellos y existiendo con respecto a ULO y ULO+DPA, su promedio se ubicó cercano a 7 y 11 ppm respectivamente. ULO sufrió altibajos y mostró los valores más altos del periodo iniciando en 167 y terminando en 83 ppm mientras que ULO+DPA se mantuvo constante con valores que oscilaron entre 40 y 47 ppm situación que no se observó durante el mes anterior y que nos hace pensar en una adaptación de esta variedad a las condiciones del tratamiento. Existió una menor producción de acetaldehído en los tratamientos ULO y ULO+DPA con respecto al mes anterior, dicha diferencia fue mucho mayor en la combinación con DPA (alrededor de 4 veces menos) que en el tratamiento sólo (0.4 veces menos) lo que confirmó lo observado en la producción de etanol para estos mismos tratamientos y nos indica una pérdida rápida de metabolitos producidos por las condiciones de anaerobiosis, situación que resulta muy favorable.

En el caso de GD todos los tratamientos aumentaron su producción de acetaldehído en este mes, AC y AC+DPA subieron alrededor de 5 ppm mientras que ULO subió 70 partes y ULO+DPA 8 ppm. Los primeros mostraron una tendencia estable durante las evaluaciones con promedios generales de 13.6 y 20.4 ppm respectivamente; ULO inició en 189 ppm para subir hasta 254 el día 4 y alcanzar 268 como su máximo valor el día 8 cayendo a 187 el día del cierre lo que promedió 225 partes, a su vez, ULO+DPA se mantuvo un poco

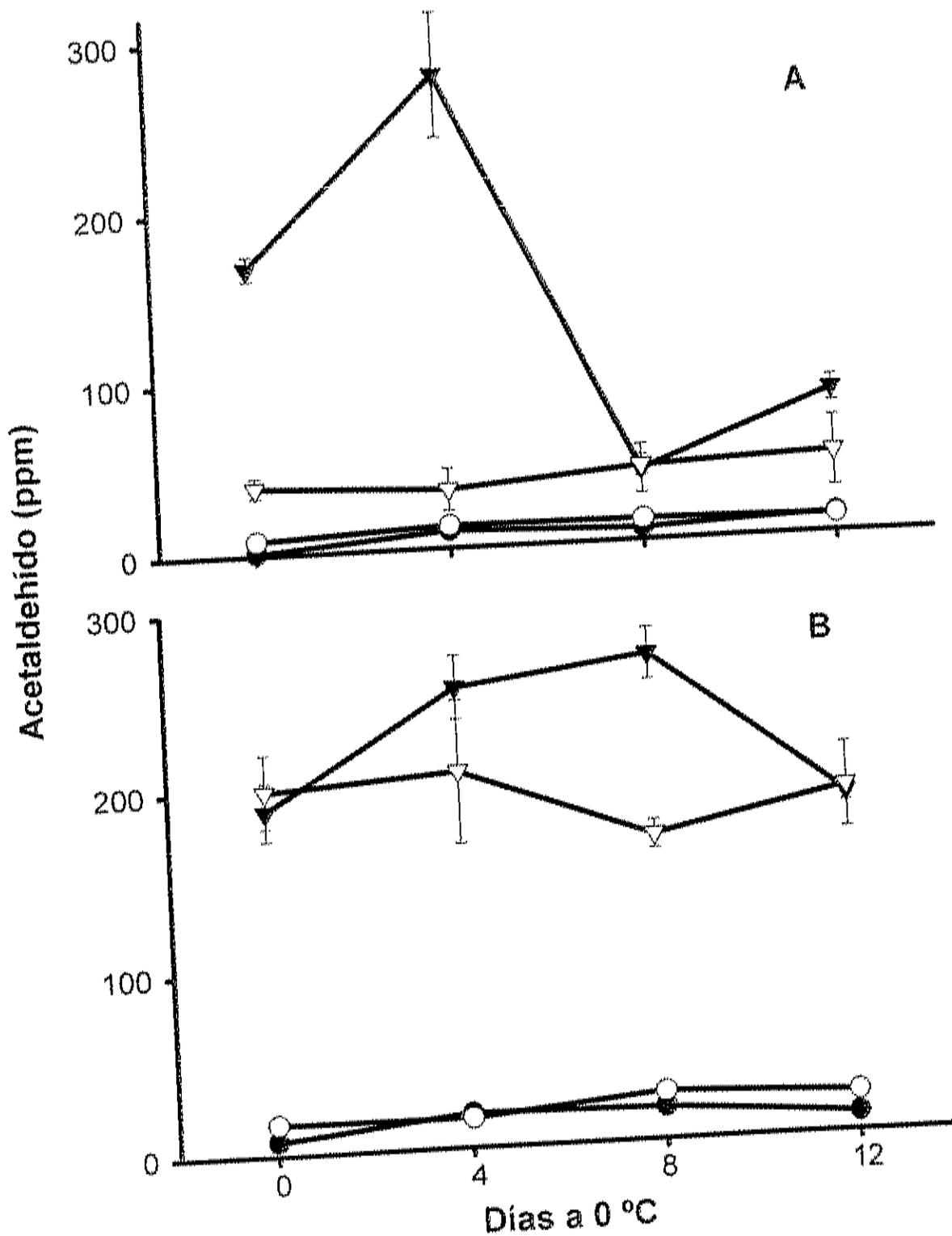


Figura 36. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

arriba de 200 ppm los primeros 4 días del período para bajar a 167 y subir de nuevo a 190 ppm. La fruta almacenada en condiciones de ultra bajo oxígeno sólo mostró diferencias el día 8 a 0 °C y se comportó más estable que en febrero pero aún resulta difícil predecir su tipo de comportamiento futuro.

e. Producción de etileno

El tiempo requerido por la variedad RD para alcanzar el pico climatérico fue menor que el del mes anterior en los tratamientos AC, ULO y ULO+DPA demostrando que el efecto del almacenamiento sobre la producción de etileno empieza a perderse gradualmente (Figura 37A). AC alcanzó 1.88 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ después de mantenerse en circulación continua de aire húmedo durante 4 días, AC+DPA presentó su máximo el día 7 a 20 °C con un valor de 5.5 y después de obtener valores muy bajos durante 5 días; ULO inició con 0.03 para subir a 1.5 hasta lograr 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ el día 4 mientras que ULO+DPA alcanzó 0.7 el mismo día después de pasar por 0.06 y 0.08. Comparada con el mes anterior, la producción de etileno fue mayor en los tratamientos AC+DPA (2.6 contra 5.5) y ULO (1.8 contra 2.1) y menor en el resto. El promedio de producción más consistente y el más bajo correspondió a ULO+DPA y fue AC+DPA el que alcanzó la mayor producción en este mes coincidiendo estos datos con lo reportado por Safftner y col. (2002) para la variedad Gala almacenada en 1 % O_2 + 1 % CO_2 durante el mismo tiempo.

En la Figura 37B se puede observar que, al igual que en el mes anterior, los tratamientos de ultra bajo oxígeno presentaron la mayor producción de etileno en la variedad GD, correspondiendo a ULO+DPA el valor más alto con 6.2 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ después de 5 días a 20 °C mientras que ULO obtuvo 4.4 a los 8 días de maduración. AC alcanzó 0.68 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ después de 2 días y AC+DPA logró 2.4 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ al transcurrir 5 días del período. Para ULO y ULO+DPA la producción de GD fue mayor que la de RD tal y como se había venido observando durante las diferentes evaluaciones mensuales lo que nos permite

manifestar que las condiciones de almacenamiento tuvieron un menor impacto sobre GD o que la elevada cantidad mostrada durante todas las evaluaciones se debió a que presentaba mayor madurez. El pico climatérico se adelantó 2 y 1 día para AC y AC+DPA comparados con el mes anterior mientras que para ULO se adelantó 1 día y para ULO+DPA se mantuvo igual, se descarta por completo un posible efecto de la combinación con DPA. Todos los tratamientos mostraron la curva característica de las frutas climatéricas pero el ascenso fue más marcado en ULO y más pronunciado en AC+DPA y ULO+DPA demostrando un efecto residual de las condiciones de almacenamiento más amplio en el primero y una pérdida más rápida de este efecto en los segundos.

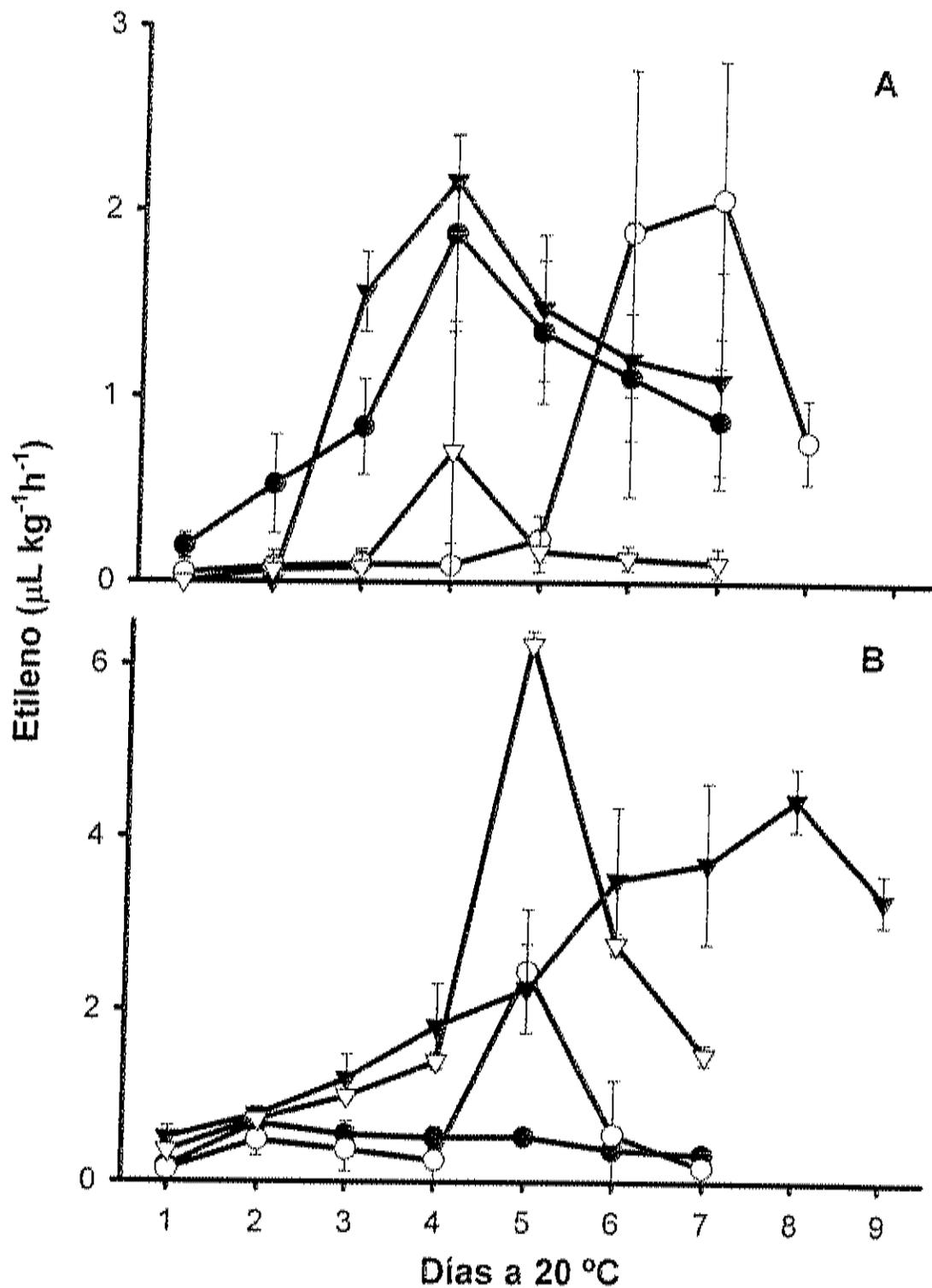


Figura 37. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante seis meses en AC (●), AC+DPA (○), ULO (▼) y ULO+DPA (▽). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

7. Séptimo mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Los valores obtenidos por la variedad RD resultaron altos en el tratamiento ULO con respecto a los del mes anterior mientras que ULO+DPA se mantuvo con un promedio muy similar demostrando que la calidad se pierde más rápido en el primero y se conserva en el segundo; más no existió un efecto de la combinación con DPA puesto que el mes anterior los resultados fueron inversos. La Figura 38A mostró que la calidad de ULO se pierde a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento a 0 ° C con valores que iniciaron en 2 y alcanzaron hasta 2.6 (calificados entre "aceptable y moderadamente aceptable") lo cual es normal mientras que ULO+DPA inició en 2.2 (es decir calificado cercano a "aceptable" en la escala) para bajar a 1.6 y volver a subir a 2.2 terminando en 1.8, lo que promedia 1.95 que se ubicó con una calificación de "aceptable". No existieron diferencias entre tratamientos.

En la variedad GD (Figura 38B) los mejores resultados en calidad el día del retiro correspondieron a ULO con 1.4 mientras que ULO+DPA obtuvo 1.8, ambos ubicados por debajo de "aceptable" en la escala utilizada; el día 4 los valores fueron muy similares con 1.8 y 1.6 para cada uno siguiendo el mismo orden para que el día 8 ambos obtuvieran 1.8 y terminaran cerrando con 2 y 1.8. Los promedios (1.75) no favorecieron a ningún tratamiento y se ubicaron por arriba de los obtenidos el mes anterior demostrando una pérdida de calidad también para esta variedad pero con mejores valores que RD. No hubo diferencias entre tratamientos.

b. Textura

Los tratamientos mostraron una pérdida aproximada de 3.1 N comparados con el mes anterior y ULO+DPA se ubicó como el mejor con 56.4 N de promedio seguido por ULO con 52.8 N para la variedad RD (Figura 39A).

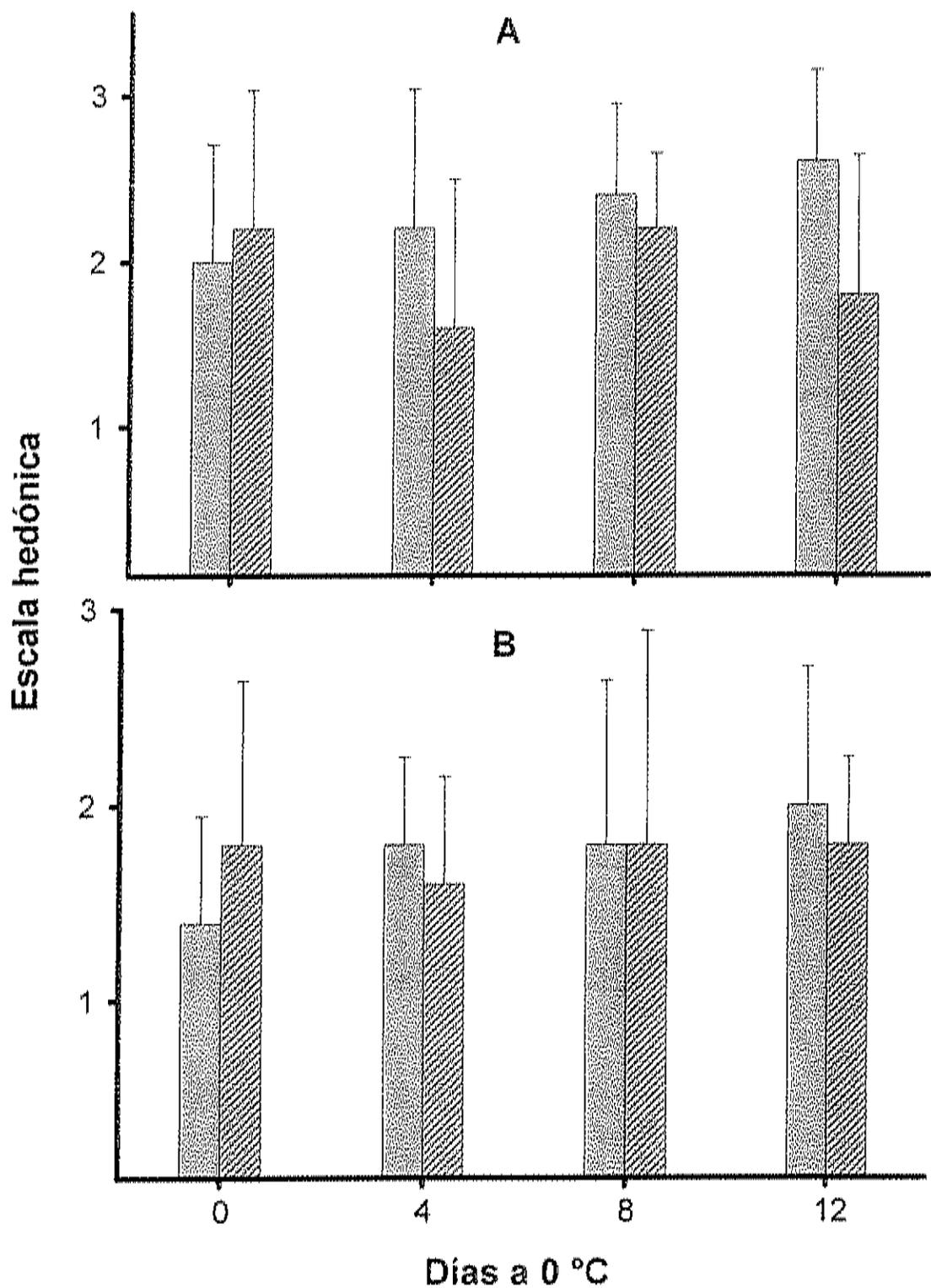


Figura 38. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (□) y ULO+DPA (▨). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

ULO+DPA fue el tratamiento más constante del período e incluso sus valores se ubicaron ligeramente por encima de los obtenidos por AC el mes anterior mientras que ULO mostró un valor bajo al inicio que aumentó y se mantuvo las siguientes dos evaluaciones para caer drásticamente el último día de la evaluación confirmando una marcada pérdida de firmeza. El almacenamiento de RD en condiciones de 1 % de O₂ ha demostrado ser más efectivo en la retención de firmeza que el uso de 1.5 ó 2 % (Lau, 1989).

Cabe señalar que a estas alturas de la temporada (después de 7 meses de iniciada) no existe fruta de esta variedad en la región y estos resultados pueden confirmar que el almacenamiento en ULO permite mantener características de calidad aceptables para su comercio a un precio más redituable.

Las evaluaciones de este mes para GD (Figura 39B) mostraron una ganancia de 5.3 N para ULO+DPA con respecto al mes anterior mientras que ULO se mantuvo constante con 48.8 N. Este valor de firmeza del primero permitió recuperar la tendencia que había mostrado meses atrás y que parecía perder en el mes anterior pues en esta ocasión obtuvo un promedio de 56 que contrasta con 50.6 N obtenidos antes pero que se apoya en 60.9 del mes de febrero; estos promedios fueron muy cercanos a los 53.7 N reportados por Skrzynski (1994) para esta variedad después de 215 días de almacenamiento en condiciones de 1.3 % O₂ y en ausencia de CO₂, pero resultaron alrededor de 7.6 N menores a los reportados por Lau (1989) después de 204 días de almacenamiento en 1 % de O₂. No existieron diferencias entre tratamientos y su comportamiento fue muy estable durante todo el período de maduración a 0 °C no mostrando nunca tendencias a la baja por lo que se presupone que se requerirán mucho más de 12 días a 0 °C para que disminuya su textura. Más aún, según Lau (1985) los altos valores de firmeza de esta variedad asociados con las atmósferas de bajo oxígeno persisten durante 7 días en aire a 20 °C.

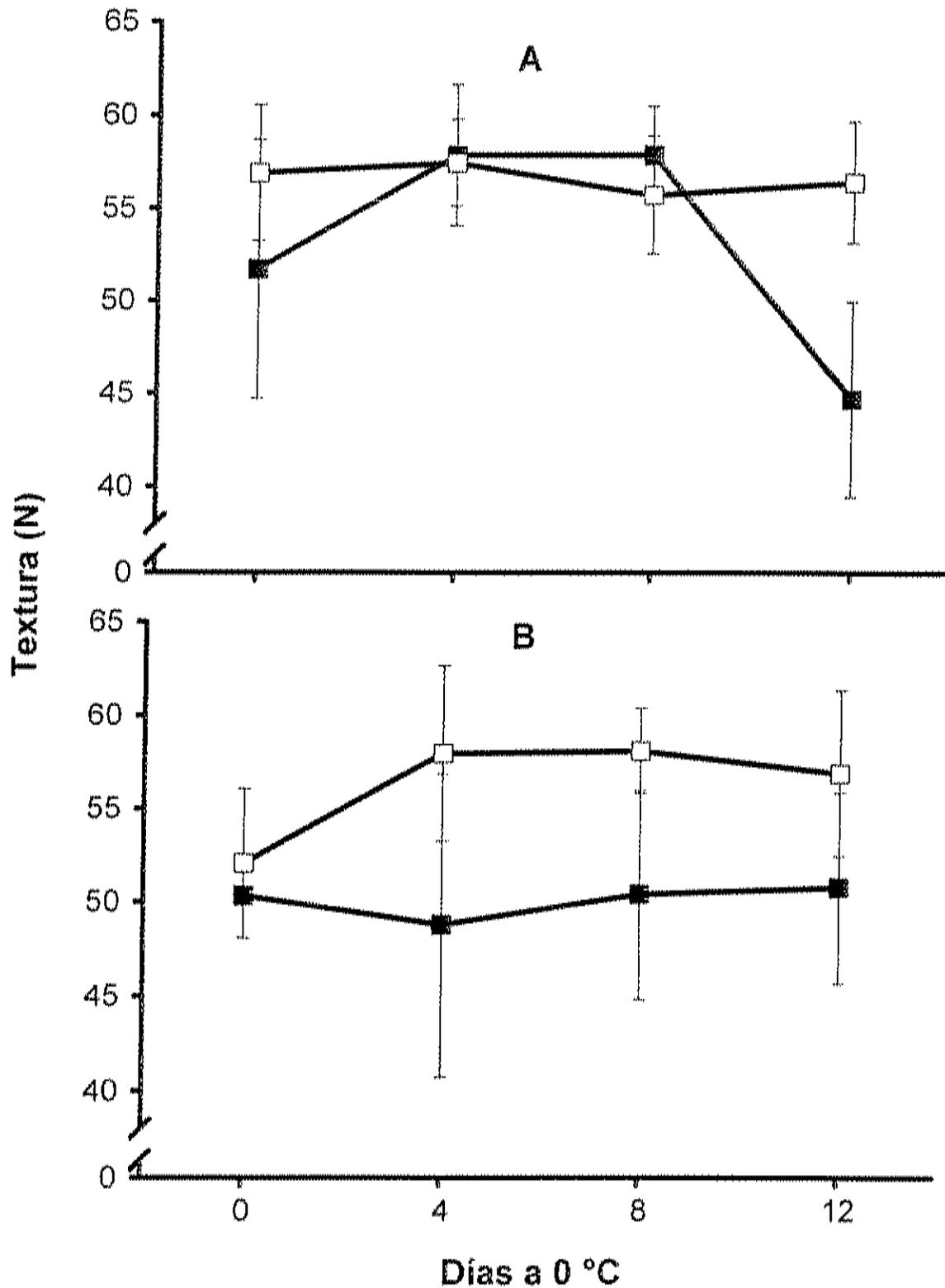


Figura 39. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

Al hacer una comparación de textura de esta fruta con la obtenida de una empacadora comercial de Cd. Cuauhtémoc que utiliza AC convencional se pudo observar una diferencia aproximada de 9 a 13 newtons de presión (49.2 para ULO contra 35.8 – 40.3 N para AC convencional); además, la diferencia en color externo fue muy marcada ya que mientras la fruta del sistema ULO todavía presentaba un color verde con ligeros cambios a amarillo, la fruta de la AC comercial tenía un color amarillo muy fuerte indicando un estado de madurez avanzado y una apariencia en calidad muy baja.

c. Metabolitos de fermentación

Los promedios de producción de etanol de este mes fueron muy superiores a los del mes anterior para ambas variedades (Figura 40). En el caso de RD, el comportamiento de ULO tendió a descender después de 4 días de almacenamiento a 0 °C desde 1905 hasta 632 ppm para aumentar después a 1842 el día 8 y alcanzar 1170 ppm en el cierre mostrando altibajos al igual que antes. ULO+DPA descendió en valor el día 4 y luego subió desde 1575 hasta 2461 el día 12 del período de almacenamiento a 0 °C. Existió alrededor de 3 veces más producción de etanol este mes y a diferencia del anterior el comportamiento fue a la alza lo que indicaría una producción promovida por el avance en maduración de la fruta una vez que transcurre el tiempo del segundo almacenamiento. Los tratamientos no fueron diferentes entre sí solo el día del retiro de la atmósfera y el aroma a fermento encontrado con anterioridad no se presentó tan intenso en esta ocasión.

La producción de etanol fue mayor en la variedad GD, pero su comportamiento fue más estable que en RD; ULO cayó desde 1850 hasta 940 ppm el día 4 para aumentar de nuevo a 1600 y mantenerse cerca el resto del tiempo mientras que ULO+DPA cayó desde 2889 hasta 2497 recuperándose de nuevo hasta 2463 para cerrar en 3124 ppm mostrando una tendencia muy similar a ULO sólo que con valores más altos. ULO aumentó cerca de 30 ppm

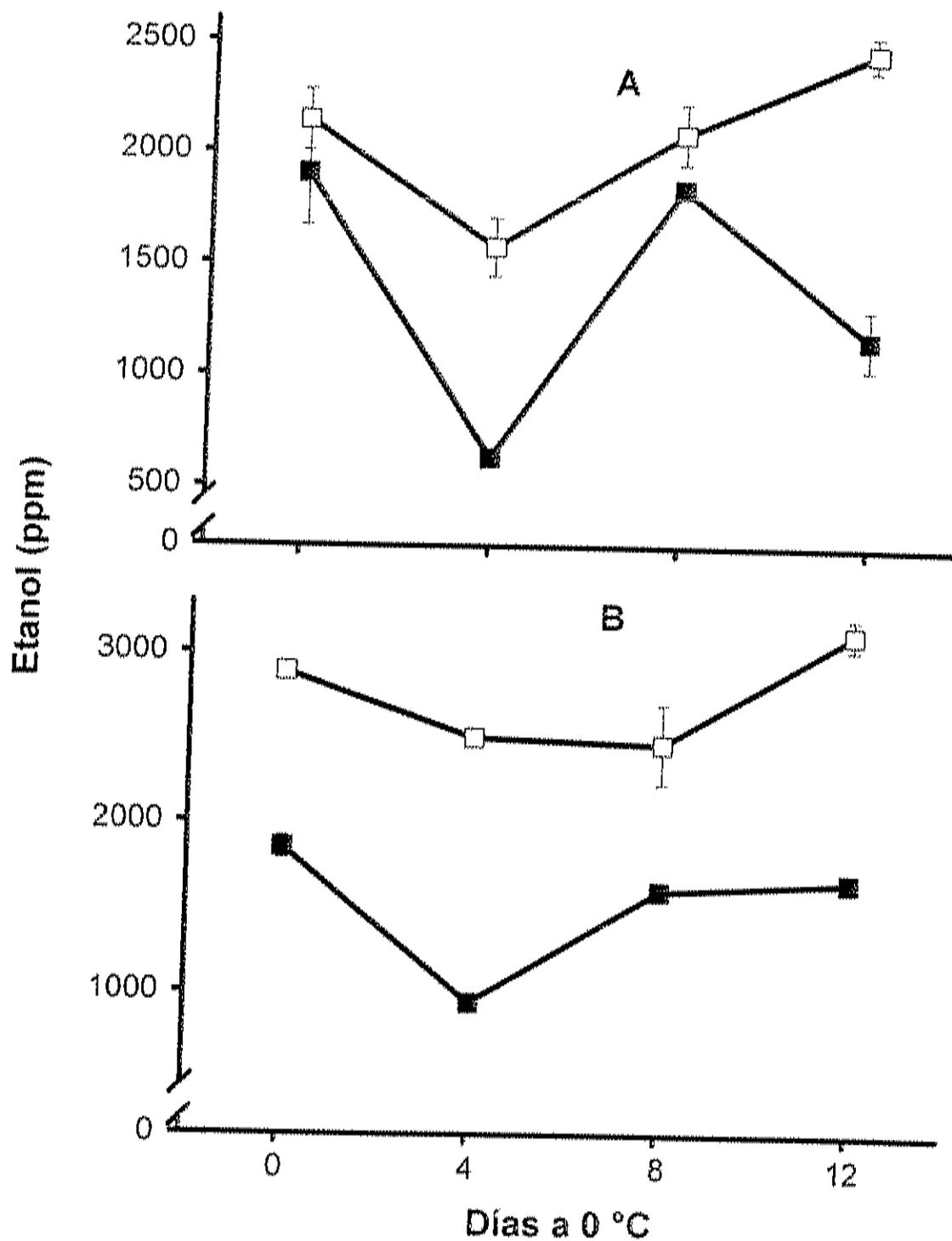


Figura 40. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

su producción en este mes y ULO+DPA produjo 2.7 veces más que en marzo. Para ambos la tendencia en comportamiento fue diferente a la mostrada el mes anterior y resultó muy similar a la observada en otras ocasiones, es decir con altas y bajas. El aroma a fermento continuó siendo más intenso en RD que en GD a pesar de la diferencia en valores.

La pérdida de acetaldehído que se observó el mes anterior en RD no fue tan acentuada en esta ocasión y sólo ULO perdió 17 ppm mientras que ULO+DPA aumentó desde 40.9 en el mes anterior hasta 247 en este, es decir 200 ppm más que rompieron con el esquema mostrado anteriormente y que hubiera sido lo más benéfico para la fruta de RD dado su intenso aroma a alcohol. Los tratamientos no mostraron diferencias el día del retiro (Figura 41A) y si existieron durante el resto del periodo; ULO se comportó con altibajos al igual que antes y ULO+DPA siempre a la alza demostrando que su comportamiento es impredecible pues el mes anterior era muy estable y casi constante.

En la variedad GD la situación fue diferente (Figura 41B), ULO inició con un valor de 95 partes que aumentó a 203 el día 4 para subir a 219 el día 8 y caer hasta 166 el día 12 del periodo a 0 °C; por su parte ULO+DPA ascendió 100 ppm desde 194 hasta 293 los primeros 2 días de evaluación para bajar un poco hasta 284 y volver a subir a 301 ppm al momento del cierre de evaluaciones. Existieron diferencias entre los tratamientos durante todo el periodo a 0 °C y su orden de acomodo al igual que su comportamiento fueron inversos a lo mostrado en el mes anterior. La producción fue ligeramente mayor en ambos casos con valores promedio de 170 contra 155 ppm para ULO y 268 contra 183 ppm para ULO+DPA con respecto al mes anterior.

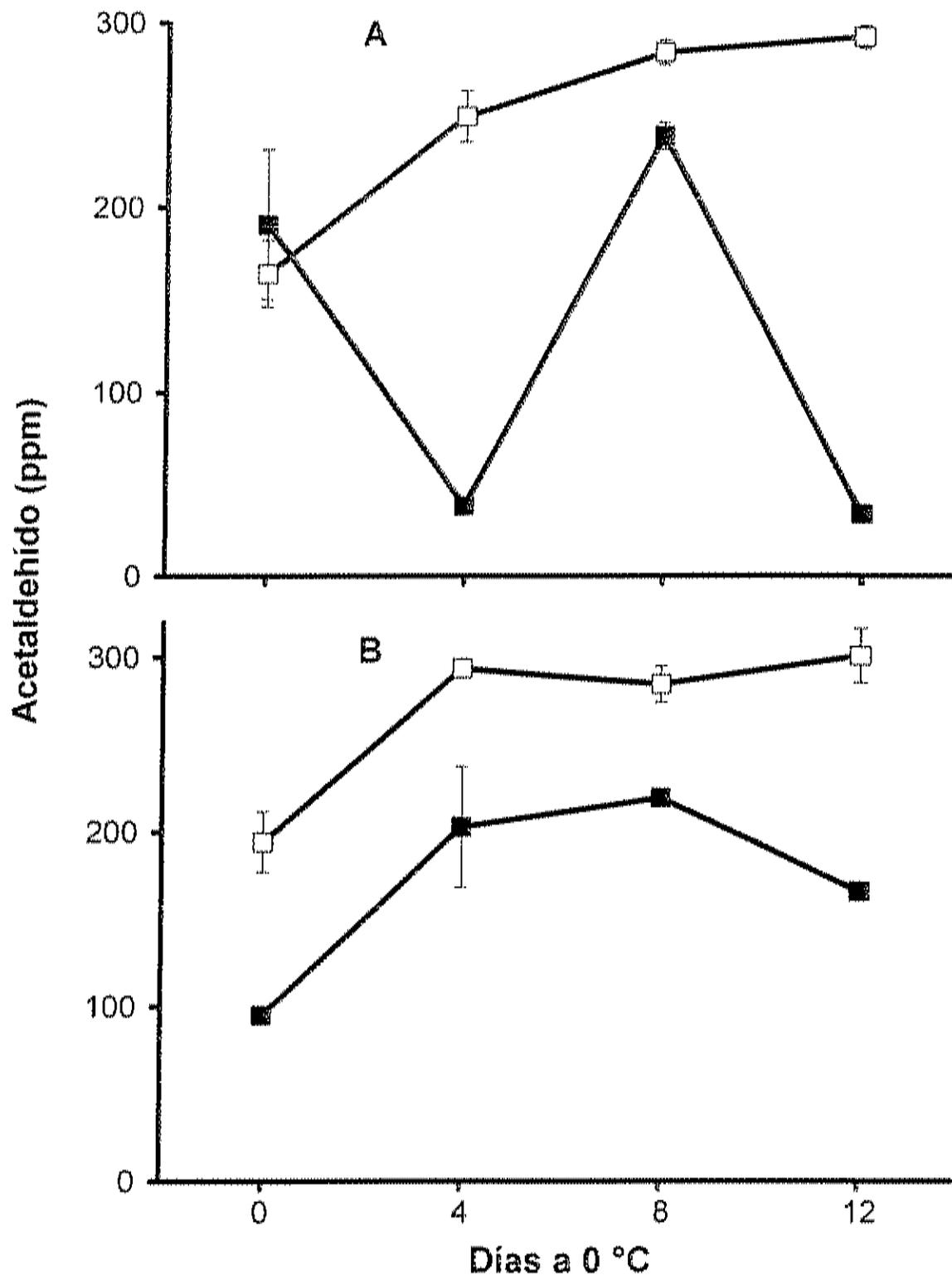


Figura 41. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

d. Producción de etileno

Ambos tratamientos iniciaron con valores muy similares los primeros dos días del período de maduración a 20 °C en la variedad RD (Figura 42A) y alcanzaron juntos su máximo el día 3 con 0.6 y 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ para ULO y ULO+DPA respectivamente, para luego descender mostrando un comportamiento característico de frutas climatéricas. El pico climatérico se adelantó un día demostrando lo que se observó desde el mes anterior con respecto a la pérdida del efecto residual de la atmósfera de almacenamiento; sin embargo, no hubo una consistencia en cuanto a producción se refiere puesto que ULO produjo menos etileno este mes (0.6 contra 2.1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$) y ULO+DPA produjo más (0.7 contra 2.1) lo que no nos permite deducir un efecto favorable o desfavorable de las condiciones de almacenamiento. Además, estos resultados fueron inestables pues el ascenso climatérico se presentó de improviso y no nos permitió anticipar un comportamiento esperado, de seguir en estas circunstancias deberemos esperar que el climatérico ya no pueda ser retenido por las condiciones de ULO y se presente durante el almacenamiento de la fruta en el mismo, cosa que pudiera suceder en uno o dos meses más.

La situación fue muy diferente en GD que parece haberse adaptado mejor a las condiciones de ULO que la variedad RD, por lo menos en cuanto a producción de etileno se refiere. En la Figura 42B se puede observar claramente el ascenso climatérico en ambos tratamientos siendo menor la producción en ULO+DPA que alcanzó su máximo el día 7 con 1 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ mientras que ULO lo consiguió después de 6 días de almacenamiento a 20 °C con 4.9 $\mu\text{L}/\text{kg h}$. Estos valores fueron diferentes a los mostrados el mes anterior, en cuanto al tiempo requerido para alcanzar el climatérico, siendo 2 días menos en ULO y 2 más en ULO+DPA. Las líneas de comportamiento se mostraron separadas desde el inicio de las evaluaciones (no observado en marzo) y la combinación con DPA fue más estable que el tratamiento sólo. De nuevo, GD produjo más etileno que RD.

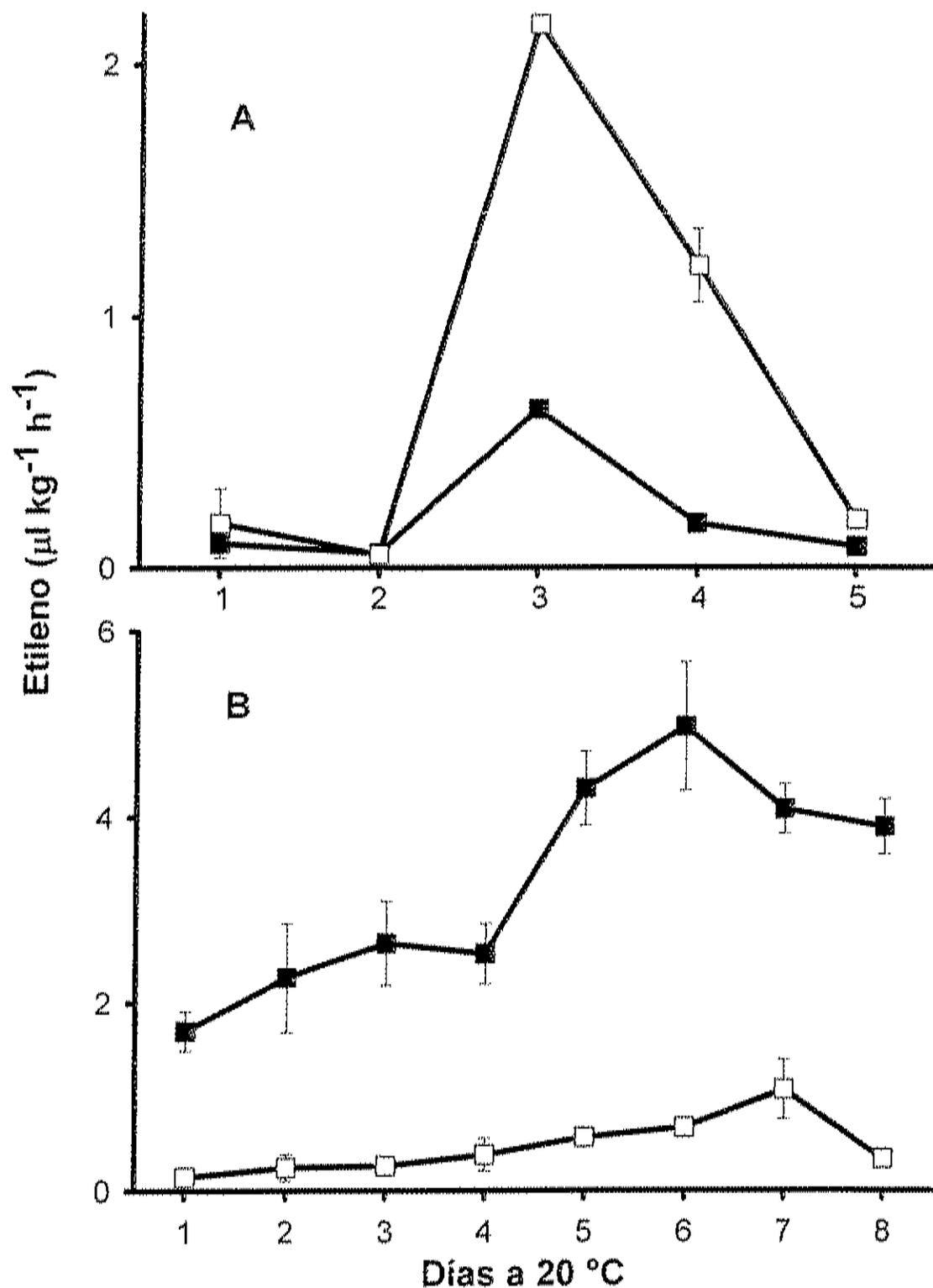


Figura 42. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante siete meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

8. Octavo mes de almacenamiento

a. Calidad externa

Las evaluaciones de este mes se realizaron por 8 días de almacenamiento a 0 °C debido a limitaciones de fruta. Para RD (Figura 43A) los valores obtenidos fueron muy similares el día del retiro con 2.4 y 2.2 para ULO y ULO+DPA que los ubicaron con una calificación cercana a "aceptable" en la escala utilizada; a partir del día 4 ULO se mantuvo estable mientras que ULO+DPA disminuyó a un valor de 1.4 que lo ubicó cerca de la "excelencia" en calidad para cerrar con 1.8 que lo regresó muy cerca de su valor inicial. La tendencia a perder calidad mostrada por ULO durante el mes anterior no se observó en este mes ya que sus valores se presentaron constantes. Los promedios (ULO = 2.2 y ULO+DPA = 1.8) demostraron que la calidad se sostuvo en comparación con el mes anterior y no se encontraron diferencias entre tratamientos. La fruta de ambos tratamientos se observó agradable a la vista y todavía mantenía su color característico sin denotar muchos cambios, pero empezó a perder su sabor y su consistencia al paladar no era muy apreciable, además no se sentía tan crujiente al morder lo que pudiera atribuirse a la variedad pues Lidster y col. (1985) reportaron que los valores en calidad para manzana McIntosh eran más altos después de un almacenamiento de 7.5 meses en condiciones de 1 % de O₂ que en un almacenamiento en 3 % de O₂.

En la variedad GD los resultados mostraron una ligera diferencia con los datos observados en el mes anterior que se podría interpretar como un sostenimiento de su calidad con valores que ubicaron a los tratamientos en una posición intermedia calificada entre "excelente y aceptable" de la escala utilizada (Figura 43B). Al inicio ULO presentó un valor de 1.4 mientras que ULO+DPA obtuvo 1.2, pero a partir de la segunda evaluación ambos obtuvieron 1.6 que fue el valor con el que cerraron demostrando que no existieron

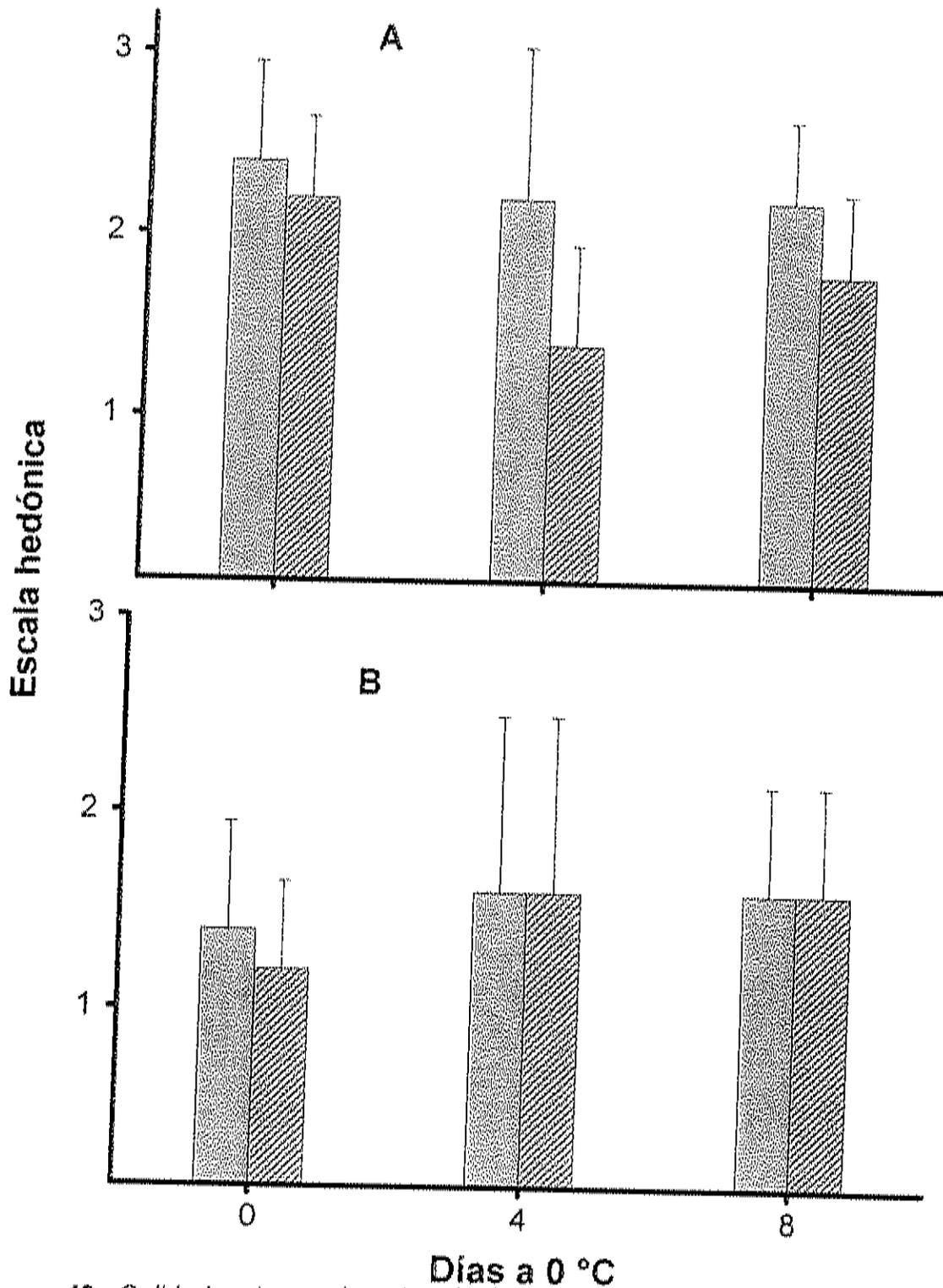


Figura 43. Calidad externa durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (□) y ULO+DPA (▨). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

diferencias y que el uso de DPA no aportó un efecto extra sobre la calidad de la fruta, situación también observada por Lidster y col. (1985). En esta variedad se pudo observar una fruta agradable al tacto y con un color amarillo característico sin llegar a mostrarse demasiado intenso.

b. Textura

En esta ocasión los tratamientos presentaron una tendencia a incrementar su firmeza durante el transcurso del almacenamiento a 0 °C, aunque la diferencia entre sus valores con respecto a cada día evaluado fue muy poca pudiéndose considerar que la textura se mantuvo constante. Para RD, ULO inició en 45.6 N que pasaron a 47.4 y 51.5 el resto del tiempo mientras que ULO+DPA obtuvo un valor original de 50.6 que pasó a 53.3 y cerró en 54.2 N demostrando una menor pérdida comparada con el mes anterior que se tradujo en 3.5 newtons que contrastan con 4.5 newtons correspondientes a ULO (Figura 44A). Estos resultados son similares a los reportados por Lunardi y col. (2004) para manzana variedad Gala después de 8 meses de almacenamiento en condiciones de 1 % de O₂ y 2.5 % de CO₂ a 0.5 °C y 90 % de humedad relativa.

Para GD no existieron diferencias entre tratamientos y la tendencia fue similar solo que con valores menores. ULO inició en 45.2 para subir un poco el día 4 a 46.1 aumentando el día 8 hasta un valor de 54.6 que fue el más alto de este mes y que sale bastante de lo esperado pudiendo deberse a que la fruta presentaba una textura elástica y oponía cierta resistencia a la penetración de la punta (Figura 44B). La situación fue más estable en ULO+DPA que obtuvo valores de 50.6, 50.6 y 51.5 N mostrando un comportamiento observado desde antes y que nos permite apreciar las bondades del almacenamiento en estas concentraciones de oxígeno. Hoehn y col. (2003) realizaron pruebas con consumidores confirmando que la aceptación de manzana GD puede predecirse por mediciones instrumentales y reportaron que se requería una

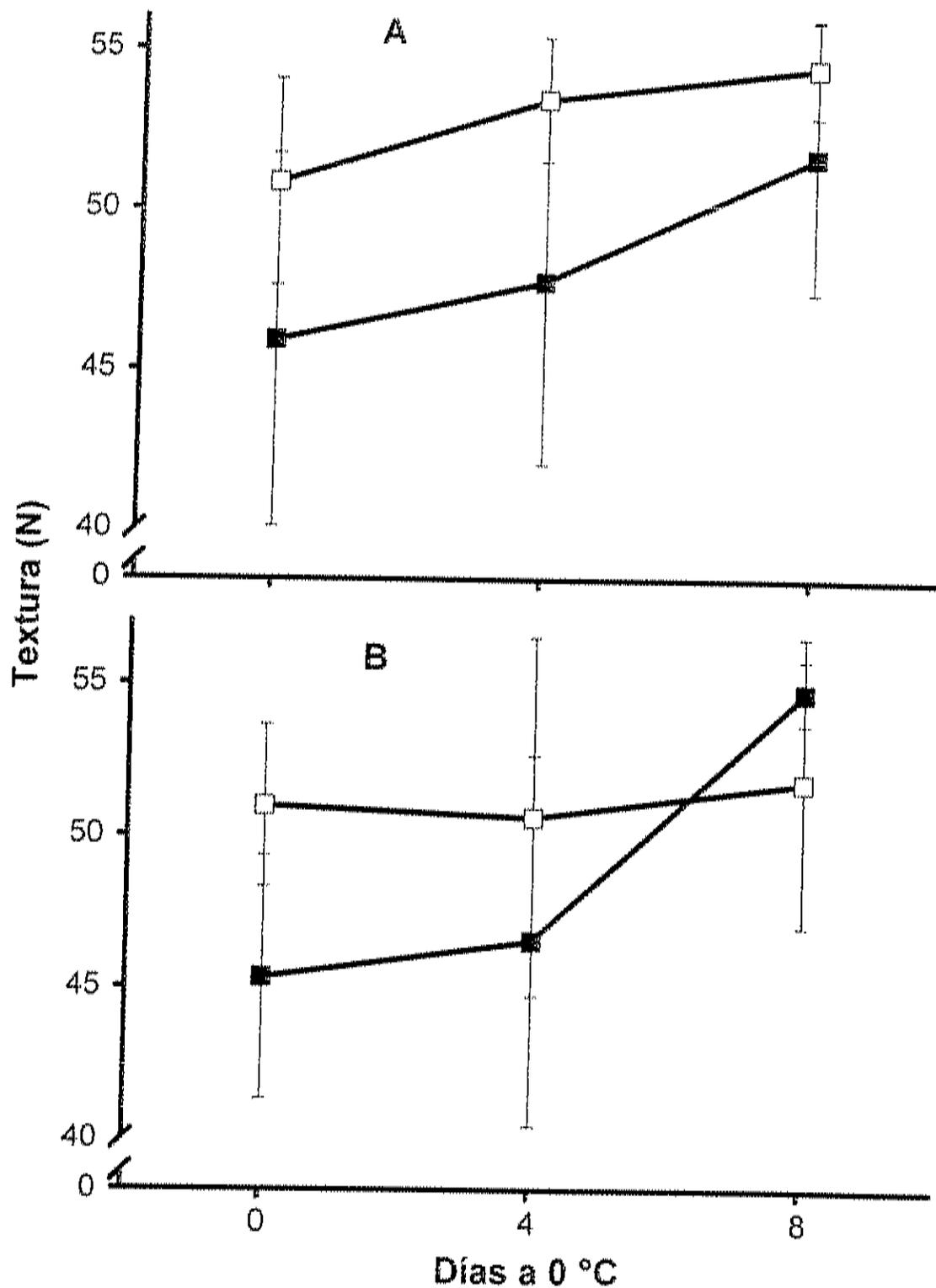


Figura 44. Textura durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

firmeza mínima de 44 N para que la fruta sea considerada con una calidad comestible aceptable. En nuestro trabajo, los valores de firmeza obtenidos después de 8 meses de almacenamiento se encuentran por arriba de este valor sugiriendo una gran probabilidad de aceptación.

Después de un almacenamiento de 8 meses en condiciones de ULO se pudo observar que la fruta mantenía una firmeza alta reteniendo alrededor de 70 y 77 % de la firmeza inicial en RD y GD respectivamente. Sin embargo, no se pudo comparar con la firmeza y calidad que presentaría la fruta de AC comercial, lo que no permite sugerir un efecto más favorable de las condiciones de ULO sobre estos parámetros.

c. Metabolitos de fermentación

La producción de etanol de la variedad RD aumentó este mes en ambos tratamientos indicando una elevada actividad enzimática de alcohol deshidrogenasa que es uno de los cambios adaptativos más importantes durante la falta de oxígeno (Chervin y col., 1996). ULO subió de 1387 a 2845 ppm, es decir más de 1400 ppm, mientras que ULO+DPA lo hizo desde 2068 hasta 2264 ppm lo que significa una ganancia de 200 partes. La tendencia mostrada por los tratamientos fue diferente entre sí ya que se comportaron distinto lo que impidió predecir lo que sucederá en un futuro. ULO bajó de 3227 a 2443 y volvió a subir hasta 2865 ppm; por su parte ULO+DPA subió de 1873 a 2601 y bajó de nuevo a 2317 partes. Existieron diferencias entre tratamientos los días 0 y 8 del período a 0 °C (Figura 45A). A pesar de la controversia existente en cuanto a la cantidad de etanol requerido para ejercer un efecto tóxico sobre el tejido de la fruta, en este estudio se encontraron niveles superiores a 3000 ppm sin observar síntomas de daños internos o externos pero teniendo un impacto directo sobre el sabor y aroma de la fruta.

Los resultados de la variedad GD mostraron una tendencia a disminuir por parte de ambos tratamientos que se tradujo en una pérdida de etanol a

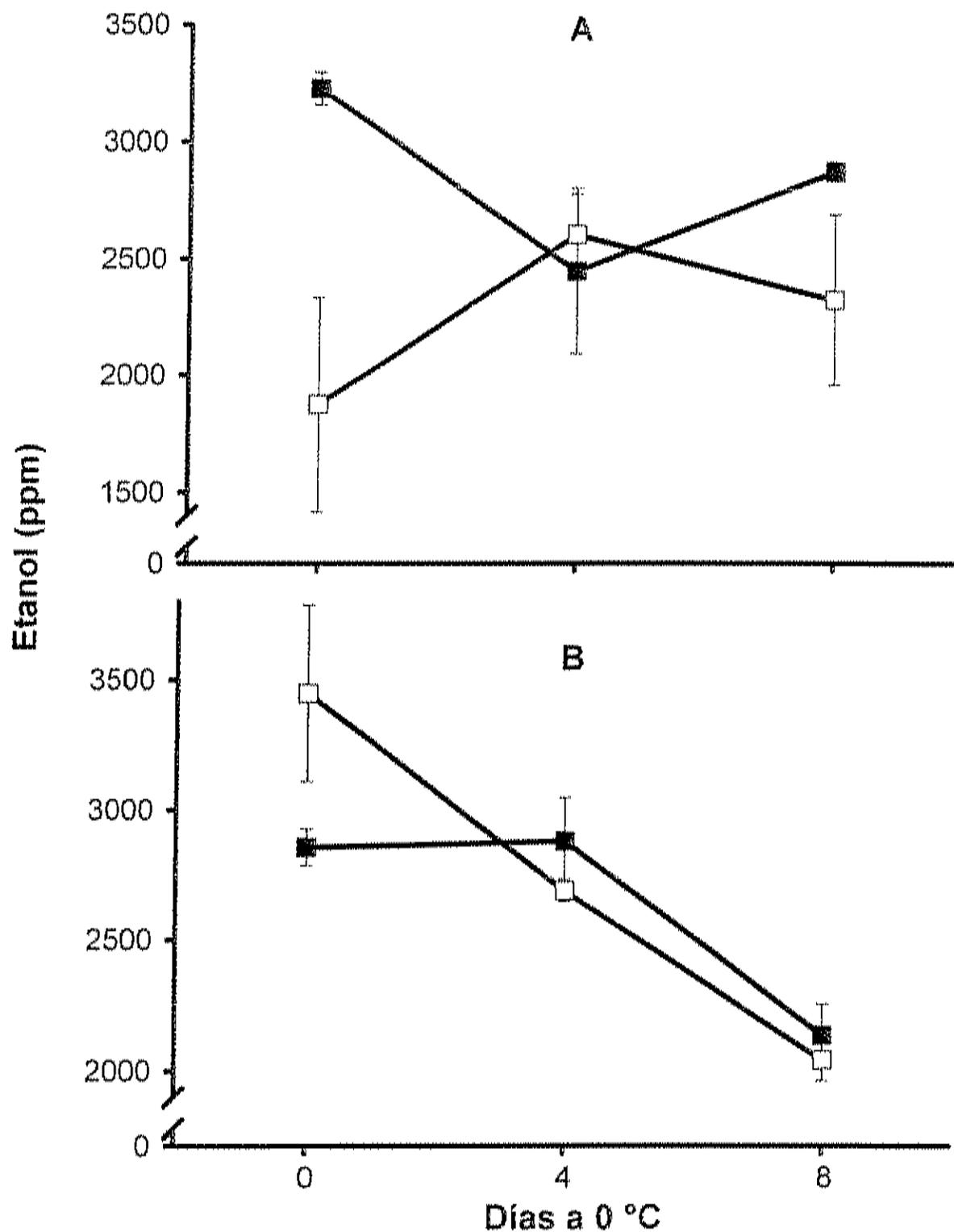


Figura 45. Concentración de etanol durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

medida que transcurría el tiempo de almacenamiento a 0 °C situación que es normal ya que puede ser producto de una difusión y que no siempre se observó sobre todo en esta variedad (Figura 45B). Sólo se presentaron diferencias el día del retiro y los valores fueron muy similares el resto del tiempo. ULO disminuyó desde 2855 hasta 2137 mientras que ULO+DPA lo hizo desde 3448 hasta 2043 ppm. La producción promedio mostró un aumento de 1000 ppm para ULO y una cantidad similar para ULO+DPA con respecto al mes anterior. Considerando una pérdida cercana a 1400 ppm en un lapso de 8 días de almacenamiento a 0 °C y tomando en cuenta que la fruta pierde su sabor y aroma a fermento después de 7 días a temperatura ambiente se puede predecir que un almacenamiento prolongado en condiciones de refrigeración una vez que la fruta es retirada del almacenamiento en ULO podría recuperar en parte el aroma característico de la manzana sin perder el efecto benéfico que ULO ha conseguido sobre la textura.

Con respecto al mes anterior, el promedio en la producción de acetaldehído en RD se mantuvo para ULO+DPA y subió alrededor de 120 ppm para ULO (125 contra 246 partes) (Figura 46A); sin embargo, no observaron diferencias entre sí y su comportamiento resultó idéntico durante todo el período, situación que no siempre se cumple y que podría mostrar la falta de efecto del uso de DPA combinado con ULO.

La Figura 46B muestra que las condiciones de almacenamiento repercutieron menos sobre ULO+DPA ya que se mantuvo constante durante 4 días a 0 °C con un valor de 257 para caer el último día de evaluación de GD a 209 ppm mientras que ULO subió desde 99 hasta 262 ppm para caer de nuevo a 186 partes el día del cierre. Este comportamiento se había observado desde el mes anterior con valores promedio muy parecidos para ambos tratamientos. Solo hubo diferencias el día del retiro del almacenamiento en ULO.

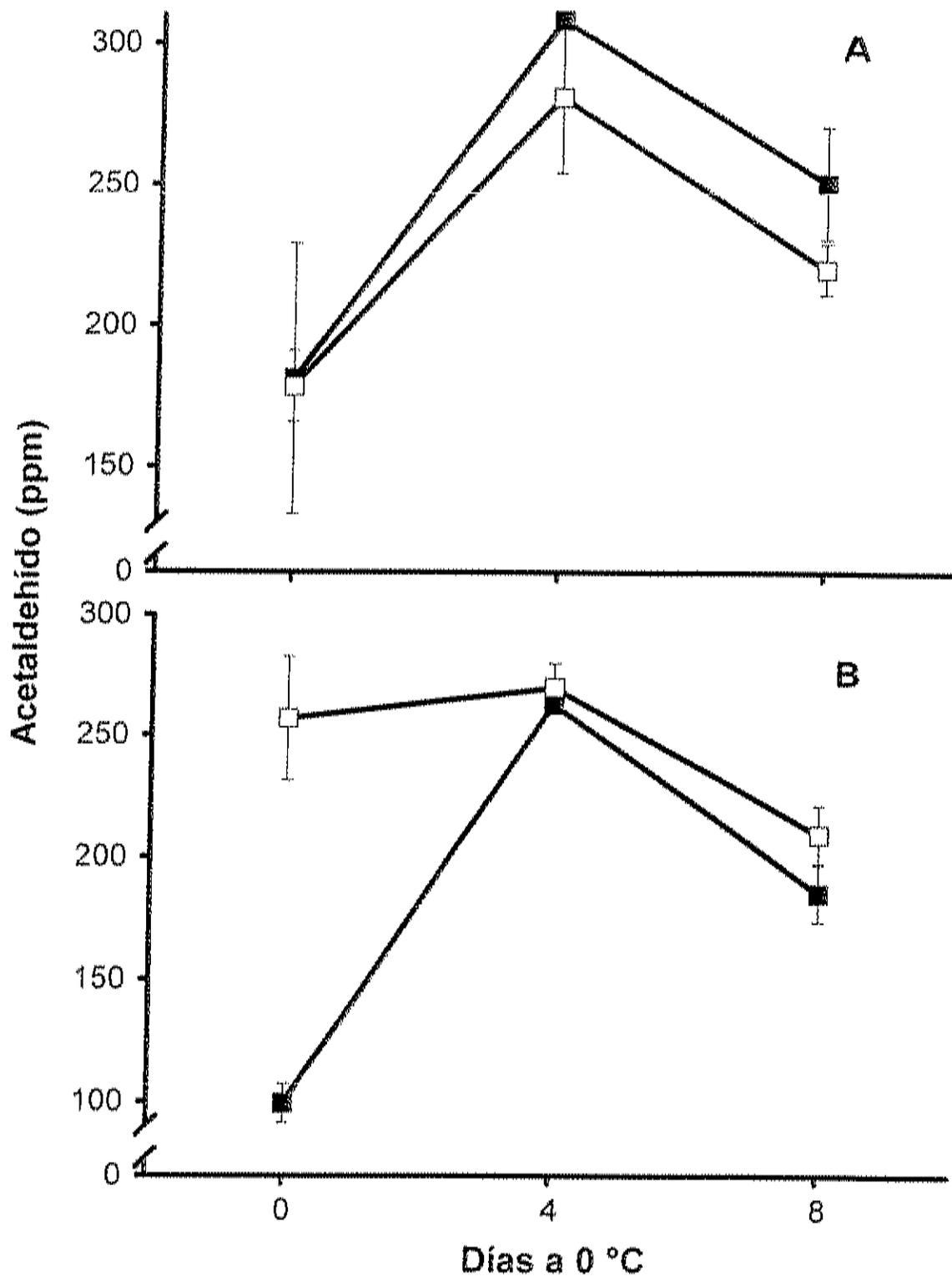


Figura 46. Concentración de acetaldehído durante el almacenamiento en aire a 0 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

d. Producción de etileno

Durante este último mes de evaluación sólo se pudo observar una ligera producción de etileno en RD para los dos tratamientos (Figura 47A). El primer día de almacenamiento a 20 °C ULO mostró un valor de 0.54 y ULO+DPA obtuvo 0.13 $\mu\text{L}/\text{kg h}$. Estos resultados mostraron que el climatérico y su máxima producción se llevaron a cabo mientras la fruta se encontraba almacenada en el sistema ULO, lo que coincidió con lo observado en el mes anterior cuando los picos se presentaron muy próximos al día del retiro y con lo encontrado con anterioridad cuando se venían presentando en un menor tiempo de residencia a 20 °C.

La situación también se adelantó en la variedad GD, pero en la Figura 47B se alcanza a observar la producción en ascenso y el pico máximo a los 4 días de almacenamiento con valores de 3.7 y 3 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ para ULO y ULO+DPA respectivamente. Con esto se confirma el mayor efecto del sistema ULO sobre la producción de etileno en la variedad GD. Un estudio realizado por Gherghi y col., en 1994 reportó concentraciones de etileno de 131.4 ppm al retirar la fruta del almacenamiento por 230 días (casi 8 meses) en 0.5 % de O_2 y 3 % de CO_2 contrastando con lo encontrado por nosotros pues el valor obtenido en partes por millón fue de 0.4 al momento del retiro y como máximo alcanzó 3.8 el día 4 a 20 °C; lo que podría demostrar una gran diferencia en respuesta a las condiciones de almacenamiento aún para una misma variedad. En otros estudios, Lidster y col. (1987) reportaron valores de 0.7 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ de etileno después de 7.5 meses de almacenamiento en 1 % de O_2 y Brackman y col. (2001) encontraron 0.06 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ al retirar manzana Fuji de un almacenamiento por 9 meses en condiciones de 1 % de O_2 que incrementó a 1.02 $\mu\text{L}/\text{kg h}$ después de 7 días a 25 ° C coincidiendo con el comportamiento observado en nuestro estudio.

Estas condiciones de almacenamiento redujeron mucho más la producción de etileno que las AC comerciales propiciando con ello una mayor

vida de la fruta sin perder sus características de calidad como consecuencia de una maduración más retardada. Esta aseveración se complementa con los resultados favorables, y muy parecidos a los de AC, que la fruta de ULO presentó durante todos los meses evaluados, y si bien la producción de aroma y sabor desagradables es un hecho de esperarse por las bajas concentraciones de oxígeno utilizadas, también es cierto que estas características ganadas durante el almacenamiento se eliminaron fácilmente después del retiro del mismo como lo demuestran los resultados reportados sobre todo en los últimos meses.

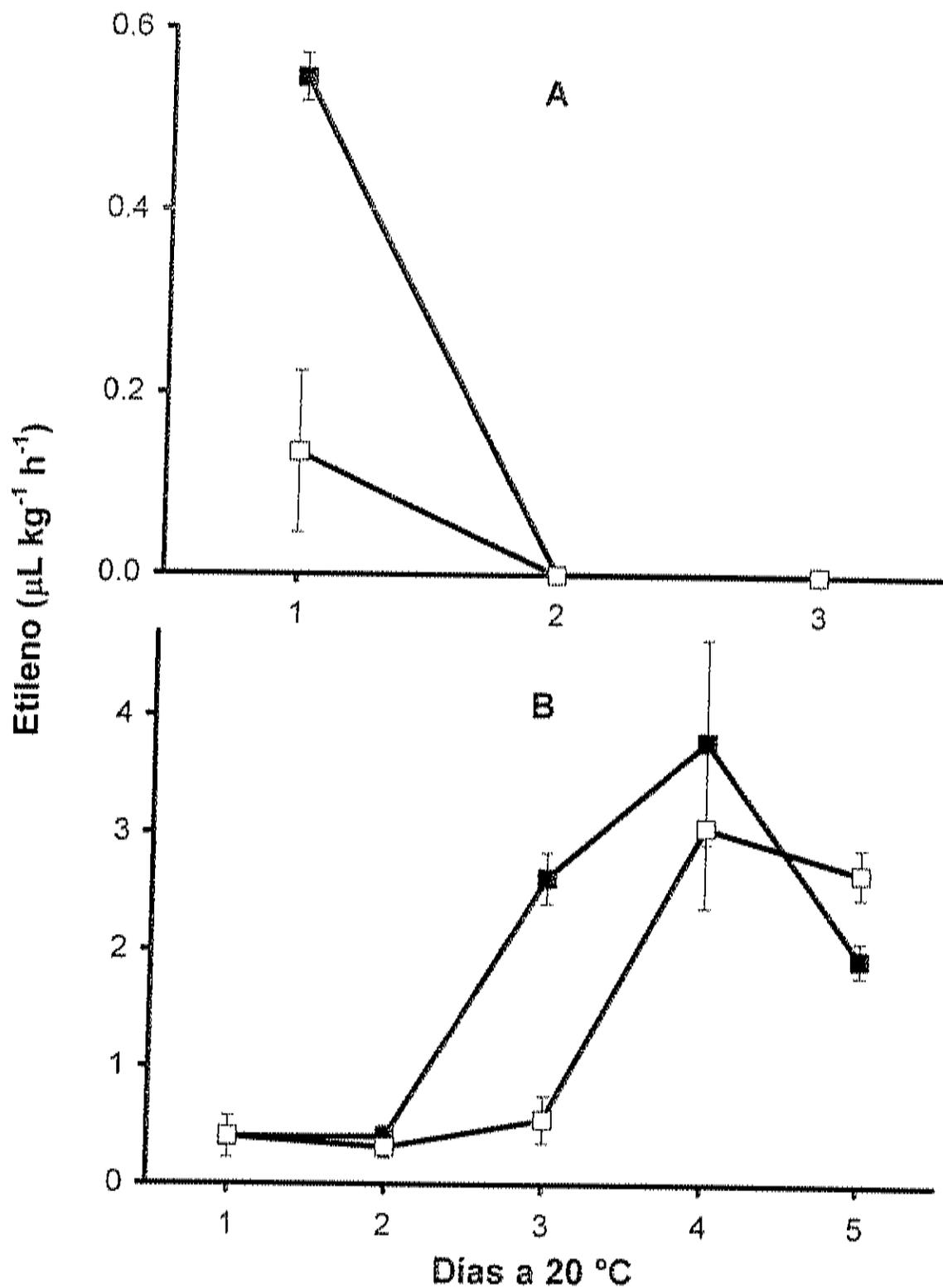


Figura 47. Producción de etileno durante el almacenamiento en aire a 20 °C de manzanas Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) previamente almacenadas durante ocho meses en ULO (■) y ULO+DPA (□). Las barras verticales indican la desviación estándar de la media.

C. ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados del análisis sensorial para ambas variedades se muestran en el cuadro 15. Las evaluaciones correspondientes a la presencia de olores desagradables en fruta entera de la variedad RD fueron favorables al tratamiento ULO seguido por Ref y AC. Un total de 18 panelistas detectaron aromas desagradables en ULO, mientras que para la fruta almacenada en refrigeración 17 panelistas dieron una respuesta positiva y solo 6 panelistas se inclinaron por AC. Esto es, 37 % del total detectaron la presencia de olores desagradables en la fruta almacenada en Ref, mientras que 40 % los detectaron en ULO y 13 % los encontraron en AC. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos de la concentración de etanol en el tejido de la fruta en el mismo mes en donde la cantidad encontrada fue muy alta. Debido a que el objetivo era evaluar la fruta en el tiempo más corto posible después de removerla del almacenamiento en las diferentes condiciones no hubo oportunidad de que el metabolito se perdiera al ambiente y fue detectado por los panelistas. Para GD, la fruta almacenada en Ref recibió el promedio más alto (20 panelistas detectaron olores desagradables) seguido por los tratamientos ULO y AC (19 y 7 panelistas dieron respuesta positiva, respectivamente). Solo el tratamiento AC fue estadísticamente diferente del resto. Estos resultados soportan el hecho de que el desarrollo de la anaerobiósisis ocurrió desde el primer mes de almacenamiento pero la presencia de los metabolitos fue sensorialmente detectable después de 3 ó 4 meses de almacenamiento en condiciones de 0.7 – 1.2 % O₂ + 0 % de CO₂ para ambas variedades, sin embargo, no se encontraron síntomas visuales de daño por bajo oxígeno en la pulpa lo cual podría indicar que para éstos se requieren concentraciones mayores de etanol y acetaldehído.

En la fruta cortada a la mitad, los resultados de RD fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos. Los jueces observaron la

presencia de olores desagradables en todos los tratamientos, pero ULO promedió 22 respuestas positivas seguido por Ref y AC con 18 y 11 respuestas positivas cada uno, respectivamente. En el caso de GD, el análisis estadístico mostró diferencias entre ULO y el resto de los tratamientos. Esta situación puede ser atribuida al elevado contenido de etanol que presentó esta variedad, además de que GD parece ser más sensible que RD al almacenamiento en condiciones de bajo oxígeno. Los tratamientos Ref y AC no mostraron diferencias en respuesta de acuerdo a la opinión de los panelistas. En general, los olores desagradables fueron detectados en la fruta entera y en la fruta a la mitad y la diferencia en respuesta fue más acentuada en GD pero esta variedad tiende a perder el aroma desagradable en un tiempo más corto que RD de acuerdo a nuestras observaciones.

La fruta de la variedad RD perteneciente al tratamiento Ref fue considerada 'blanda' por los panelistas mientras que la perteneciente al tratamiento ULO obtuvo valores intermedios (2.3 y 1.9, respectivamente). Todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes, pero la diferencia fue mayor cuando se compararon los tratamientos AC y ULO contra el tratamiento Ref. En manzana GD, las opiniones fueron similares pero promediaron valores más bajos para los tratamientos AC y ULO (1.5 y 1.6, respectivamente) que los correspondientes a la variedad RD, lo que significa una mejor retención de firmeza. Sin embargo, el tratamiento Ref obtuvo un valor mayor que el obtenido en RD y ningún panelista seleccionó este tratamiento como el más crujiente. Todos los tratamientos presentaron diferencias estadísticas pero AC y ULO obtuvieron resultados similares. Esta determinación mostró muy poca diferencia en crujibilidad entre los tratamientos AC y ULO lo cual fue corroborado por los resultados obtenidos con el medidor de textura, sin embargo el verdadero impacto de las condiciones de ULO fue observado posteriormente a medida que el tiempo de almacenamiento transcurría. Según Harker y col. (2002) se

Cuadro 15. Determinación sensorial de la calidad de manzanas Red y Golden Delicious

Tratamiento	Presencia de olores desagradables en fruta entera ^x	Presencia de olores desagradables en fruta a la mitad ^x	Crujibilidad ^y	Sabor ^z
Red Delicious				
Ref	1.62 ^a	1.60 ^b	2.37 ^c	2.22 ^b
AC	1.86 ^b	1.75 ^c	1.68 ^a	1.68 ^a
ULO	1.60 ^a	1.51 ^a	1.93 ^b	2.08 ^b
Golden Delicious				
Ref	1.55 ^a	1.68 ^b	2.93 ^c	2.15 ^b
AC	1.84 ^b	1.68 ^b	1.46 ^a	1.62 ^a
ULO	1.57 ^a	1.40 ^a	1.60 ^b	2.22 ^b

^x1 = sí; 2 = no

^y1 = muy crujiente; 3 = blanda

^z1 = sabrosa; 3 = regular

Medias con diferente letra son significativamente diferentes a un nivel de 5 %

requiere una diferencia de 6 N en la firmeza de manzana (obtenida con una punta de 11 mm) antes de que un panel entrenado pueda detectar una diferencia en textura; en las fechas en que realizamos nuestra evaluación sensorial no existió tal valor de diferencia pero nuestro panel no era entrenado lo que podría marcar la diferencia entre lo observado por estos investigadores y lo encontrado por nosotros.

Del total de panelistas, 12 encontraron que, para manzana RD, la fruta proveniente del tratamiento Ref tenía el mejor sabor, mientras que 22 panelistas decidieron que aquella perteneciente al tratamiento AC tenía el mejor sabor y solo 11 se decidieron por el tratamiento ULO. El promedio para el tratamiento AC estuvo cercano a 1.7 de la escala utilizada y mostró diferencias con respecto a los tratamientos Ref y ULO que obtuvieron 2.1 y 2.2 respectivamente. En manzana GD, las preferencias en sabor fueron favorables para el tratamiento AC con el voto de 23 panelistas seguido por los tratamientos Ref y ULO con 11 panelistas cada uno. El tratamiento AC fue estadísticamente diferente con respecto al resto. Estas observaciones fueron predecibles debido a que el alto contenido de etanol fue percibido por los panelistas durante la masticación del tejido y dado que no están familiarizados con este sabor, evaluaron buscando el sabor típico de la manzana o el sabor menos alejado de éste. Además, el uso de AC disminuye la producción de volátiles aromáticos de la manzana y esto tiene un impacto directo en la percepción del sabor de la fruta lo que propició que fuera más detectable el aroma a etanol.

El análisis sensorial reveló que la fruta correspondiente a los tratamientos AC y ULO fue más aceptada por los panelistas que la fruta correspondiente al tratamiento Ref, sin embargo y a pesar de su aceptación en crujibilidad, el tratamiento ULO promedió valores bajos en sabor, quizás como una consecuencia de sus altos contenidos de etanol y acetaldehído. Esta situación puede solucionarse rápidamente si la fruta es mantenida por corto tiempo a temperatura ambiente antes de comercializarse.

VI. CONCLUSIONES

La tecnología de ultra bajo oxígeno desarrollada y aplicada para el almacenamiento de manzana resultó favorable para prolongar la vida de anaquel de las variedades Red y Golden Delicious cosechadas en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua.

El uso de cualquiera de los dos sistemas de atmósfera controlada (AC convencional o ULO) retiene las características de calidad de la fruta por más tiempo que la refrigeración comercial.

Las condiciones de almacenamiento en ULO no tienen un efecto adicional sobre el índice de almidón pero favorecen más la retención de firmeza en Red Delicious que en Golden Delicious, aun cuando ambas presentan resultados favorables.

Debido a la falta de síntomas, no se pudo comprobar algún efecto del sistema ULO sobre el control del escaldado en manzana.

La velocidad de producción de etileno se reprime con el uso de AC de ultra bajo oxígeno propiciando un retraso que alarga el período de ascenso climatérico y el tiempo requerido para alcanzar el pico climatérico comparado con la AC convencional.

La producción de acetaldehído y etanol se favorece en gran medida con las condiciones de almacenamiento de 0.7 – 1.25 % de O₂ sin provocar oscurecimiento en la pulpa, pero generando un aroma a fermento que desaparece después de un almacenamiento corto a temperatura ambiente.

Este estudio indica que el efecto favorable del uso de atmósferas controladas es muy dependiente del grado de madurez con que se coseche la fruta, razón por la que no pudo verse favorecido el sistema ULO en nuestro caso.

Los resultados del análisis sensorial permiten concluir que a pesar de los resultados favorables del sistema ULO en la retención de firmeza y disminución en la producción de etileno, no puede considerarse una alternativa viable para sustituir el uso de AC tradicional debido al impacto negativo que genera en el sabor y aroma de la fruta.

VII. SUGERENCIAS

El uso de la tecnología de ultra bajo oxígeno requiere de mucha precisión en los niveles de gases manejados; por lo que se sugiere un adecuado control sobre los mismos. Para realizar experimentación es muy importante considerar la posibilidad de automatizar el sistema para evitar fluctuaciones que impidan obtener resultados favorables.

La fecha ideal para la cosecha debe ser cuando la fruta presente una madurez que inicia en el ascenso climatérico, parte de los resultados desfavorables encontrados en este trabajo pueden atribuirse a una mala decisión para definir la fecha de cosecha.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten considerar la posibilidad de que se realicen ensayos utilizando concentraciones no muy bajas de oxígeno (alrededor de 1.2 %) para evitar al máximo la acumulación de etanol y los posibles inconvenientes que este causa en el sabor de la manzana. Más aún, valdría la pena tratar de establecer condiciones de almacenamiento intermitente usando concentraciones bajas de O_2 al inicio que después de cierto tiempo pudieran elevarse sin sobrepasar los valores que tradicionalmente se emplean.

Considerar la posibilidad de realizar un estudio durante más de una temporada ayudaría a obtener resultados y conclusiones más concretas ya que la fruta puede comportarse de forma diferente debido a las condiciones climáticas y de crecimiento o al propio manejo de la huerta.

VIII. LITERATURA CITADA

Aaby, K.; Haffner, K. y Skrede, G. 2002. Aroma quality of Gravenstein apples influenced by regular and controlled atmosphere storage. *Lebens. Wiss. u Technol.*, 35(3): 254 - 259

Antunes, M. D. y Sfakiotakis, E. M. 2002. Ethylene biosynthesis and ripening behaviour of Hayward kiwifruit subjected to some controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 26: 167 - 179

Argenta, L.; Fan, X. y Mattheis, J. 2000. Delaying establishment of controlled atmosphere or CO₂ exposure reduces 'Fuji' apple CO₂ injury without excessive fruit quality loss. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 221 - 229

Awad, M. A. y de Jager, A. 2000. Flavonoid and chlorogenic acid concentrations in skin of Jonagold and Elstar apples during and after regular and ultra low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 15 - 24

Awad, M. A. y de Jager, A. 2003. Influences of air and controlled atmosphere storage on the concentration of potentially healthful phenolics in apples and other fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 53 - 58

Beaudry, R. M. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 293 - 303

Beaudry, R. M. 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. *HortTechnology*, 10(3): 491 - 500

- Brody, A. L. 2000. Smart packaging becomes Intellipac™. *Food Technology*, 54(6): 104 - 108
- Chávez, G. C. 2000. Cosecha de la manzana, manejo, transporte, selección y comercialización. *Variedad Frutícola. Asociación de Manzaneros de Cuauhtémoc, A. C.* Octubre, vol. 5: 4 - 7
- Chen, P. M.; Olsen, K. L. y Meheriuk, M. 1985. Effect of low-oxygen atmosphere on storage scald and quality preservation of Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (110)1: 16 - 20
- Chervin, C.; Brady, C. J.; Patterson, B. D. y Faragher, J. D. 1996. Could studies on cell responses to low oxygen levels provide improved options for fruit storage and disinfestation?. *Postharvest Biology and Technology*, 7: 289 - 299
- Chervin, C.; Speirs, J.; Loveys, B. y Patterson, B. D. 2000. Influence of low oxygen storage on aroma compounds of whole pears and crushed pear flesh. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 279 - 285
- Chervin, C.; Raynal, J.; André, N.; Bonneau, A. y Westercamp, P. 2001. Combining controlled atmosphere storage and ethanol vapors to control superficial scald of apple. *HortScience*, 36(5): 951 - 952
- Church, I. J. y Parsons, A. L. 1995. Modified atmosphere packaging technology: A review. *J. Sci. Food Agric.* 67: 143 - 152
- Colinas, L. M. 1992. Desórdenes fisiológicos de productos hortícolas. En: Yahia, E. M. y Higuera, C. I. (Eds). *Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas en México*. Editorial Limusa. México. pp: 65 – 69

- Dadzie, B. K.; Banks, N. H.; Cleland, D. J. y Hewett, E. W. 1996. Changes in respiration and ethylene production of apples in response to internal and external oxygen partial pressures. *Postharvest Biology and Technology*, 9: 297 - 309
- DeEll, J. R. y Prange, R. K. 1992. Postharvest quality and sensory attributes of organically and conventionally grown apples. *HortScience* 27(10): 1096 - 1099
- DeEll, J. R. y Prange, R. K. 1998. Disorders in Cortland apple fruit are induced by storage at 0 °C in controlled atmosphere. *HortScience* 33(1): 121 - 122
- DeLong, J. M.; Prange, R. K.; Harrison, P. A.; Schofield, R. A. y DeEll, J. R. 1999. Using the streif index as a final harvest window for controlled-atmosphere storage of apples. *HortScience* 34(7): 1251 - 1255
- DeLong, J. M.; Prange, R. K.; Harrison, P. A. 2004. The influence of pre-storage delayed on quality and disorder incidence in Honeycrisp apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 33: 175 - 180
- Dilley, D. R. 1990. Historical aspects and perspectives of controlled atmosphere storage. En: Calderon, M. y Barkai-Golan, R. (Eds). *Food preservation by modified atmospheres*. CRC press, Inc. Boca Raton, Florida pp: 193 – 195
- Echeverría, G.; Graell, J.; López, M. L. y Lara, I. 2004a. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 31: 217 - 227
- Echeverría, G.; Fuentes, T.; Graell, J.; Lara, I. y López, M. L. 2004b. Aroma volatiles compounds of Fuji apples in relation to harvest date and cold storage

technology: A comparison of two seasons. *Postharvest Biology and Technology*, 32: 29 – 44

Escalona, V. H.; Aguayo, E.; Gómez, P. y Artés, F. 2004. Modified atmosphere packaging inhibits browning in fennel. *Lebens. Wiss. u Technol.*, 37: 115 - 121

FAO. 2004. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma Italia. <http://www.fao.org>

Fellman, J. K.; Rudell, D. R.; Mattison, D. S. y Mattheis, J. P. 2003. Relationship of harvest maturity to flavor regeneration after CA storage of Delicious apples. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 39 - 51

Fernández-Maculet, J. C. y Yang, S. F. 1992. Extraction and partial characterization of the ethylene-forming enzyme from apple fruit. *Plant Physiol.* 99: 751 - 754

Gherghi, A.; Margineanu, L. y Bibicu, M. 1994. The influence of low oxygen concentration during storage on metabolical processes in apples. *Acta Horticulturae*, 368: 608 - 613

Gorny, J. R. y Kader, A. A. 1996. Controlled-atmosphere suppression of ACC synthase and ACC oxidase in Golden Delicious apples during long-term cold storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(4): 751 - 755

Gorny, J. R. y Kader, A. A. 1997. Low oxygen and elevated carbon dioxide atmospheres inhibit ethylene biosynthesis in preclimateric and climateric apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(4): 542 - 546

Guyot, S.; Le Bourvellec, C.; Marnet, N. y Drilleau, J. F. 2002. Procyanidins are the most abundant polyphenols in dessert apples at maturity. *Lebens. Wiss. u Technol.*, 35(3): 289 - 291

Hansen, M. E.; Sorensen, H. y Cantwell, M. 2001. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 22: 227 - 237

Hardenburg, R. E.; Watada, A. E. y Wang, C. Y. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florists and nursery stocks. USDA, Hd. No. 66: 29 - 35

Harker, F. R.; Maindonald, J.; Murray, S. H.; Gunson, F. A.; Hallet, I. C. y Walker, S. B. 2002. Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 225 - 239

Herregods, M. y Goffings, G. 1993. The storage of Jonagold apples in U.L.O. circumstances. *Acta Horticulturae*, 343: 148 – 154

Hoehn, E.; Gasser, F.; Guggenbühl, B. y Künsch, U. 2003. Efficacy of instrumental measurements for determination of minimum requirements of firmness, soluble solids, and acidity of several apple varieties in comparison to consumer expectations. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 27 - 37

<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/red.html>

<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/grannysmith.html>

<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/fuji.html>

<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/golden.html>

<http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefact/fruit/apple.html>

Ilinski, A. y Goudkovski, V. 1998. Low oxygen atmosphere for apple fruit quality in storage. *Acta Horticulturae*, 466: 169 - 170

Imahori, Y.; Kota, M.; Ueda, Y. Ishimaru, M. y Cachin, K. 2002. Regulation of ethanolic fermentation in bell pepper fruit under low oxygen stress. *Postharvest Biology and Technology*, 25: 159 - 167

Ingle, M.; D'Souza, M. C. y Townsend, E. C. 2000. Fruit characteristics of York apples during development and after storage. *HortScience*, 35(1): 95 - 98

Ippolito, A.; El Ghaouth, A.; Wilson, C. L. y Wisniewski, M. 2000. Control of postharvest decay of apple fruit by *Aureobasidium pullulans* and induction of defense responses. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 265 - 272

Ju, Z.; Yuan, Y.; Liu, C.; Zhan, S. y Wang, M. 1996. Relationship among simple phenol, flavonoid and anthocyanin in apple fruit peel at harvest and scald susceptibility. *Postharvest Biology and Technology*, 8: 83 - 93

Ju, Z. y Curry, E. A. 2000. Stripped corn oil emulsion alters ripening, reduces superficial scald, and reduces core flush in 'Granny Smith' apples and decay in 'd'Anjou' pears. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 185 - 193

Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 5: 99 - 104

Kader, A. A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California. Special publication 3311. pp: 15 – 19, 86 - 88

Kader, A. A. y Watkins, C. B. 2000. Modified atmosphere packaging – toward 2000 and beyond. HortTechnology, 10(3): 483 - 486

Kato-Noguchi, H. y Watada, A. E. 1997. Effects of low-oxygen atmosphere on ethanolic fermentation in fresh-cut carrots. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122(1): 107 - 111

Kays, S. J. 1991. Postharvest physiology of perishable plant products. AVI Van Nostrand Reinhold. New York. pp: 30 -

Ke, D.; Rodriguez-Sinobas, L. y Kader, A. A. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116(2): 253 - 260

Ke, D.; Yahia, E.; Hess, B.; Zhou, L. y Kader, A. 1995. Regulation of fermentative metabolism in avocado fruit under oxygen and carbon dioxide stresses. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120(3): 481 – 490

Kim, J.; Solomos, T. y Gross, K. C. 1999. Changes in cell wall galactosyl and soluble galactose content in tomato fruit stored in low oxygen atmospheres. Postharvest Biology and Technology, 17: 33 - 38

Klein, J. D. y Lurie, S. 1992. Prestorage heating of apple fruit for enhanced postharvest quality: interaction of time and temperature. HortScience, 27(4): 326 - 328

- Knee, M. y Srivastava, P. 1995. Binding of calcium by cell walls and estimation of calcium in apple fruit tissue with an ion selective electrode. *Postharvest Biology and Technology*, 5: 19 - 27
- Kupferman, E. 2001. Storage scald of apples. Postharvest information network. Washington State University – Tree Fruit Research and Extension Center
- Lal, K. B. y Sharma, P. C. 1995. Apple. En: Salunkhe, D. K. y Kadam, S. S. (Eds). *Handbook of fruit science and technology*. Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 91 – 112
- Larrigaudiere, C.; Lenthéric, I. y Vendrell, M. 1998. Relationship between enzymatic browning and internal disorders in controlled-atmosphere stored pears. *J. Sci. Food Agric.*, 78: 232 - 236
- Larsen, M. y Watkins, C. B. 1995. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 5: 39 - 50
- Lau, O. L. 1985. Storage procedures, low oxygen, and low carbon dioxide atmospheres on storage quality of Golden Delicious and Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort Sci.*, 110(4): 541 - 547
- Lau, O. L. 1989. Responses of British Columbia-grown apples to low-oxygen and low-ethylene controlled atmosphere storage. *Acta Horticulturae*, 258: 107 - 114

- Lau, O. L. 1990. Efficacy of Diphenylamine, ultra-low oxygen, and ethylene scrubbing on scald control in Delicious apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115(6): 959 - 961
- Lau, O. L. 1997. The effectiveness of 0.7 % oxygen to attenuate scald symptoms in Delicious apples is influenced by harvest maturity and cultivar strain. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 122(5): 691 - 697
- Lau, O. L.; Barden, C. L.; Blankenship, S. M.; Chen, P. M.; Curry, E. A.; DeEll, J. R.; Lehman-Salada, L.; Mitcham, E. J.; Prange, R. K. y Watkins, C. B. 1998. A North American cooperative survey of Starkrimson Delicious apple responses to 0.7 % O₂ storage on superficial scald and other disorders. *Postharvest Biology and Technology*, 13: 19 - 26
- Lee, S. K. y Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 207 - 220
- Lidster, P. D.; McRae, K. B. y Sanford, K. A. 1981. Responses of McIntosh apples to low oxygen storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(2): 159 - 162
- Lidster, P. D. McRae, K. B. y Johnston, E. M. 1985. Retention of apple quality in low-oxygen storage followed by standard controlled atmosphere regimens. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(6): 755 - 759
- Lidster, P. D.; Loughheed, E. C. y McRae, K. B. 1987. Effects of sequential low-oxygen and standard controlled atmosphere storage regimens on apple quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(5): 787 - 793

Little, C. R. y Peggie, I. D. 1987. Storage injury of pome fruit caused by stress levels of oxygen, carbon dioxide, temperature, and ethylene. *HortScience*, 22(5): 783 - 790

Lopez, M. L.; Lavilla, M. T.; Recasens, I.; Graell, J. y Vendrell, M. 2000. Changes in aroma quality of Golden Delicious apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentrations. *J. Sci. Food Agric.* 80: 311 - 324

Lunardi, R.; Brackman, A.; Sestari, I.; Zanatta, J. F.; da Silva, J. A. y Rombaldi, C. V. 2004. Juiciness and pectins solubilization in Gala apples, stored in controlled atmosphere, in two levels of relative humidity. *Ciencia Rural*, 34(3): 743 - 747

Lurie, S. y Klein, J. D. 1992. Calcium and heat treatments to improve storability of Anna apples. *HortScience*, 27(1): 36 - 39

Luo, Y. y Mikitzel, L. J. 1996. Extension of postharvest life of Bell peppers with low oxygen. *J. Sci. Food Agric.* 70: 115 - 119

Martinsen, P. y Schaare, P. 1998. Measuring soluble solids distribution in kiwifruit using Near-Infrared Imaging Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 14: 271 - 281

Mattheis, J. P.; Buchanan, D. A. y Fellman, J. K. 1998. Volatile compounds emitted by Gala apples following dynamic atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123(3): 426 - 432

Mathooko, F. M. 1996a. Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 7: 1 - 26

Mathooko, F. M. 1996b. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 9: 247 - 264

McGregor, B. M. 1987. Manual de transporte de productos tropicales. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Manual no. 668. Washington, D.C. pp: 6

Menniti, A. M.; Maccaferri, M. y Folchi, A. 1997. Physio-pathological responses of cabbage stored under controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, 10: 207 - 212

Mitchell, G. F. 1992. Postharvest handling systems: temperate zone tree fruits (pome fruits and stone fruits). En: Kader, A. A. (Ed). *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California. Special publication 3311. pp: 215 – 221

Pantastico, ER. B. 1984. Fisiología de la postrecolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial CECSA, México. pp: 111, 472

Patterson, M. E. y Nichols, W. C. 1988. Metabolic response of Delicious apples to carbon dioxide in anoxic and low-oxygen environments. *HortScience*, 23(5): 866 - 868

Renfu, L. 2004. Multispectral imaging for predicting firmness and soluble solids content of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31: 147 - 157

- Richardson, D. G. 1992. Manejo postcosecha de manzanas y peras. En: Yahia, E. M. y Higuera, C. I. (Eds). Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas en México. Editorial Limusa. México. pp: 149 – 156
- Rizzolo, A.; Visai, C. y Vanolli, M. 1997. Changes in some odour-active compounds in Paclobutrazol-treated Starkspur Golden apples at harvest and after cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 11: 39 - 46
- Ryall, A. L. y Pentzer, W. T. 1974. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. AVI Publishing Co. Westport Connecticut. pp: 436 – 439
- Saftner, R. A.; Abbott, J. A.; Conway, W. S.; Barden, C. L. y Vinyard, B. T. 2002. Instrumental and sensory quality characteristics of Gala apples in response to prestorage heat, controlled atmosphere, and air storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (127)6: 1006 - 1012
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2004. SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). Avances de siembras y cosechas de perennes. México. <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Salunkhe, D. K. y Desai, B. B. 1984. Postharvest biotechnology of fruits. Vol. I. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp: 123 – 125
- Salunkhe, D. K.; Bolin, H. R. y Reddy, N. R. 1991. Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables. Second edition, Vol. I. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp: 205
- SAS, 1990. SAS Institute Inc. Cary, NC.

Shewfelt, R. L. 1993. Measuring quality and maturity. In: Shewfelt, R. L. y Prussia, S. E. (Eds). Postharvest handling. A systems approach. Academic Press, Inc. pp: 100 – 103

Siddiqui, S.; Brackmann, A.; Streif, J. y Bangerth, F. 1996. Controlled atmosphere storage of apples: cell wall composition and fruit softening. *J. Hort. Sci*, 71(4): 613 - 620

Sitton, J. W. y Patterson, M. E. 1992. Effect of high-carbon dioxide and low-oxygen controlled atmospheres on postharvest decay of apples. *Plant Disease*, 76(10): 992 - 995

Skrzynski, J. 1994. The effect of low oxygen storage on Jonagold and Golden Delicious apples. *Acta Horticulturae*, 368: 558 - 565

Smith, L. G.; Hofman, P. J.; Jordan, R. A. y Lee, C. 1997. An inexpensive, low maintenance, multiple controlled atmosphere system for research on perishable products. *Postharvest Biology and Technology*, 11: 123 - 130

Smyth, A. B.; Tatasila, P. C. y Cameron, A. C. 1999. An ethanol biosensor can detect low-oxygen injury in modified atmosphere packages of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 127 - 134

Snowdon, A. L. 1990. A color atlas of postharvest diseases & disorders of fruits and vegetables. Vol. I. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp: 170 - 216

Sommer, N. F.; Fortlage, R. J. y Edwards, D. C. 1992. Postharvest diseases of selected commodities. En: Kader, A. A. (Ed). *Postharvest technology of*

horticultural crops. University of California. Special publication 3311. pp: 119 - 139

Song, J. y Bangerth, F. 1996. The effect of harvest date on aroma compound production from Golden Delicious apple fruit and relationship to respiration and ethylene production. *Postharvest Biology and Technology*, 8: 259 - 269

Suzuki, Y.; Uji, T. y Terai, H. 2004. Inhibition of senescence in broccoli florets with ethanol vapors from alcohol powder. *Postharvest Biology and Technology*, 31: 177 - 182

Truter, A. B.; Combrink, J. C. y Burger, S. A. 1994. Control of superficial scald in Granny Smith apples by ultra low and stress levels of oxygen as an alternative to Diphenylamine. *J. Horticultural Science*, 69 (3): 581 - 587

UNIFRUT. 2004. Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua, A. C. Comunicación personal.

USDA. 2004. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. www.ams.usda.gov/standards/apples

Volz, R. K.; Biasi, W. V.; Grant, J. A. y Mitcham, E. J. 1998. Prediction of controlled atmosphere-induced flesh browning in Fuji apple. *Postharvest Biology and Technology*, 13: 97 -107

Wang, C. Y. y Qi, L. 1997. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 10: 195 - 200

Watkins, C. B.; Nock, J. F.; Weis, S. A.; Jayanty, S. y Beaudry, R. 2004. Storage temperature, diphenylamine, and pre-storage delay effects on soft scald, soggy

breakdown and bitter pit of Honeycrisp apples. *Postharvest Biology and Technology*, 32: 213 - 221

Whitaker, B. D. 2000. DPA treatment alters α -farnesene metabolism in peel of Empire apples stored in air or 1.5 % O₂ atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 18: 91 - 97

Whitaker, B. D.; Nock, J. F. y Watkins, C. B. 2000. Peel tissue α -farnesene and conjugated trienol concentrations during storage of 'White Angel' x 'Rome Beauty' hybrid Apple selections susceptible and resistant to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 231 - 241

Wills, R. B. H; McGlasson, W. B.; Graham, D.; Lee, T. H. y Hall, E. G. 1989. *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. BSP Professional Books. London. pp: 9 - 15

Yahia, E. M.; Acree, T. E. y Liu, F. W. 1990. The evolution of some odour-active volatiles during the maturation and ripening of apples on the tree. *Lebens.Wiss. u Technol.*, 23: 488 – 493

Yahia, E. M. 1991. Production of some odour-active volatiles by McIntosh apples following low-ethylene controlled-atmosphere storage. *HortScience* 26(9): 1183 - 1185

Yahia, E. M.; Liu, F. W. y Acree, T. E. 1991. Changes of some odour-active volatiles in low-ethylene controlled atmosphere stored apples. *Lebens.Wiss. u Technol.*, 24: 145 – 151

- Yahia, E. M. 1992. Tecnología de atmósferas modificadas y controladas. I Reunión Latinoamericana de Tecnología Postcosecha. México, D.F. pp: 123 - 125
- Yahia, E. M. 1993. Modified/Controlled atmosphere storage in Mexico. Proceedings of the Sixth International Controlled Atmosphere Research Conference. Ithaca, NY, USA, Jun 15-17. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, NRAES-71, Vol. 2, pp: 570 - 578
- Yahia, E. M. 1994. Apple flavor. *Horticultural Review*, 16: 197 - 234
- Yahia, E. M. 1998. Modified/Controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticultural Review*, 22: 123 - 183
- Yearsley, C. W.; Banks, N. H.; Ganesh, S. y Cleland, D. J. 1996. Determination of lower oxygen limits for apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 8: 95 - 109
- Yearsley, C. W.; Banks, N. H. y Ganesh, S. 1997. Temperature effects on the internal lower oxygen limits of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 11: 73 – 83
- Zanella, A. 2003. Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra low oxygen storage. *Postharvest Biology and Technology*, 27: 69 - 78

Bender, R. J.; Brecht, J. K.; Sargent, S. A. y Huber, D. J. 2000a. Mango tolerance to reduced levels in controlled atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(6): 707 - 713

Bender, R. J.; Brecht, J. K.; Baldwin, E. A. y Malundo, T. M. 2000b. Aroma volatiles of mature-green and tree-ripe Tommy Atkins mangoes after controlled atmosphere vs. air storage. *HortScience*, 35(4): 684 - 686

Bonghi, C.; Ramina, A.; Ruperti, B.; Vidrih, R. y Tonutti, P. 1999. Peach fruit ripening and quality in relation to picking time, and hypoxic and high CO₂ short-term postharvest treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 16: 213 - 222

Bowen, J. H. y Watkins, C. B. 1997. Fruit maturity, carbohydrate and mineral content relationships with watercore in Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 11: 31 - 38

Boylston, T. D.; Kupferman, E. M.; Foss, J. D. y Buering, C. 1994. Sensory quality of Gala apples as influenced by controlled and regular atmosphere storage. *J. Food Quality*, 17: 477 - 494

Brackmann, A.; Streif, J. y Bangerth, F. 1993. Relationship between a reduced aroma production and lipid metabolism of apples after long-term controlled-atmosphere storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(2): 243 - 247

Brackman, A.; Waclawovsky, A. J. y Donazzolo, J. 2001. Response of Fuji apples to ethylene in controlled atmosphere storage. *Ciencia Rural*, 31(6): 953 - 956