

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE LA VIDA POSCOSECHA DE ARÁNDANOS
CONSERVADOS BAJO ATMÓSFERA COMÚN Y ATMÓSFERA
IONIZADA**

por

Joanna LADO LINDNER

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2007**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha: -----

Autor: -----
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente a la empresa Interozone por la prestación de los equipos y la fruta para realizar el ensayo, así como al Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), especialmente al Ing. Agr. Sergio Carballo por brindarme las cámaras en donde realizar este estudio y colaborar en forma activa con el mismo.

También quiero agradecer a la Unidad de Estadística y Cómputos y especialmente, a la Ing. Agr. Alejandra Borges por sus grandes aportes en el análisis de los datos que forman parte de esta Tesis.

Es importante destacar la colaboración del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Sección de análisis sensorial, Facultad de Química, especialmente al Ing. Alim. Gastón Ares, por la enorme colaboración que me ha brindado, permitiéndome trabajar en sus instalaciones, utilizando parte de sus equipos y aportando distintos conceptos fundamentales para el análisis de los resultados.

Me gustaría incluir también al Bach. Matías Manzi y a la Ing. Agr. Fernanda Zaccari, quienes me ayudaron en la realización del trabajo en forma activa, colaborando con los análisis de la fruta y con el aporte de conocimientos, así como al Ing. Quím. Giovanni Gallietta por la prestación de distintos materiales y conocimientos para la realización de este ensayo.

Por último, pero para nada menos importante, me gustaría agradecer a mi familia, por darme soporte y apoyo todos estos años de estudio que me permitieron alcanzar la realización de este trabajo final.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1. <u>CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO DEL ARÁNDANO</u>	4
2.1.1. <u>Características del crecimiento de la baya</u>	4
2.1.2. <u>Composición de la baya</u>	6
2.1.3. <u>Procesos metabólicos y cambios durante la maduración del fruto</u>	8
2.1.4. <u>Procesos metabólicos y cambios durante el almacenamiento de la fruta</u>	11
2.1.5. <u>Correlación entre distintos parámetros de calidad del fruto</u>	14
2.1.6. <u>Comportamiento respiratorio de la baya</u>	16
2.2. <u>COSECHA Y POSCOSECHA</u>	17
2.2.1. <u>Manejo de la cosecha del arándano</u>	17
2.2.2. <u>Manejo de la poscosecha del arándano</u>	20
2.1.2.1. <u>Procesos de enfriado rápido</u>	20
2.3. <u>ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LA FRUTA</u>	24
2.3.1. <u>Atmósfera Controlada (AC)</u>	26
2.3.2. <u>Atmósfera Modificada (AM)</u>	29
2.3.3. <u>Posibles limitantes o desventajas de ambas tecnologías</u> ..	30
2.3.4. <u>Atmósfera Ionizada(=Ozonizada)</u>	33
2.3.4.1. <u>Aspectos generales</u>	33
2.3.4.2. <u>Proceso de generación del ozono</u>	34
2.3.4.3. <u>Efectos del ionizado en la calidad de la fruta</u>	35
2.3.4.1. <u>Limitantes o desventajas de esta tecnología</u>	41
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	45

3.1. MATERIAL VEGETAL Y COSECHA.....	45
3.2. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.....	47
3.3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	48
3.3.1. <u>Propiedades físicas evaluadas</u>	48
3.3.1.1. Color de las bayas.....	48
3.3.1.2. Evaluación de propiedades texturales....	48
3.3.1.3. Pérdida de peso	49
3.3.1.4. Peso comercial por petaca	50
3.3.1.5. Número de frutos y peso promedio según calibre	50
3.3.2. <u>Propiedades químicas evaluadas</u>	51
3.3.2.1. Porcentaje de jugo.....	51
3.3.2.2. Sólidos solubles totales.....	51
3.3.2.3. Acidez Titulable y pH.....	51
3.4. ALTERACIONES PATOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS Y MECÁNICAS.....	53
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO....	54
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	55
4.1 CALIDAD EXTERNA Y PROPIEDADES TEXTURALES....	55
4.1.1. <u>Evolución del color de las bayas</u>	55
4.1.1.1. Evolución de los valores de a*, b* y L* (brillo).....	55
4.1.1.2. Evolución del ángulo hue y el chroma.....	58
4.1.2. <u>Propiedades texturales: firmeza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad</u>	61
4.1.3. <u>Principales causas de descarte de fruta</u>	66
4.1.3.1. Relación tamaño de fruta-causas de descarte.....	70
4.1.4. <u>Evolución del peso y peso comercial de la petaca</u>	74
4.2. CALIDAD INTERNA.....	79
4.2.1. <u>Calidad interna de la fruta en cosecha</u>	79
4.2.2. <u>Evolución del porcentaje de jugo, sólidos solubles totales, pH, acidez y ratio durante el período de almacenamiento</u>	79

4.3. CONDICIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y VIDA MOSTRADOR.....	86
5. <u>CONCLUSIONES</u>	89
6. <u>RESUMEN</u>	92
7. <u>SUMMARY</u>	94
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	96
9. <u>ANEXOS</u>	108

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Composición de la baya de arándano.....	6
2. Evolución de los sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT) para la variedad 'Climax' almacenada durante 3 semanas a 1°C.....	14
3. Valores de a*, b*, brillo (L*), tonalidad (hue) y saturación (chroma) en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.....	55
4. Valor de a* para cada tratamiento y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).....	56
5. L* (luminosidad o brillo) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días) según período de almacenamiento (días).....	57
6. L* (luminosidad o brillo) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días) según período de almacenamiento (días).....	58
7. Ángulo Hue por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador), según período de almacenamiento (días).....	59
8. Ángulo Hue para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).....	59
9. Propiedades texturales en el momento de la cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.....	61
10. Firmeza (N) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2	

días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).....	62
11. Firmeza (N) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).....	62
12. Masticabilidad (N) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador), según período de almacenamiento (días).....	66
13. Importancia relativa (%) de la deshidratación como causa de descarte sobre el total del descarte, para cada atmósfera y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).....	67
14. Importancia relativa (%) de las distintas causas de descarte, a los 35 días de almacenamiento, para cada tratamiento (atmósfera) y momento de evaluación.....	67
15. Porcentaje de deshidratación (%) relativo al total de frutos de la petaca, para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).....	68
16. Porcentaje de deshidratación por calibre (frutas deshidratadas/total de frutas de cada calibre) según período de almacenamiento (días) en salida de cámara.	70
17. Proporción de fruta comercializable y proporción de frutos deshidratados relativos al total por calibre, para cada atmósfera (ai: atmósfera ozonizada; an: atmósfera normal) en salida de cámara, según período de almacenamiento (días).....	71

18. Porcentaje (%) de deshidratación en el total por calibre para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	73
19. Porcentaje en peso total respecto al peso inicial de la petaca en cosecha, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	75
20. Porcentaje en peso comercial en relación al peso total de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	76
21. Calidad interna de la fruta en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.....	79
22. pH para cada atmósfera y momento de evaluación según período de almacenamiento (días).....	81
23. pH para cada atmósfera x momento de evaluación según período de almacenamiento (días).....	81
24. Acidez (% Ac. cítrico) para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	83
25. Acidez (% Ac. cítrico) para cada interacción atmósfera x momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	83
26. Ratio para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	85
27. Temperatura (°C) y humedad relativa (HR en %) registradas en almacenamiento y durante la vida mostrador.....	86

Figura No.

1. Curva de crecimiento de fruto en arándano.....	5
2. Enfriamiento de la fruta con aire forzado y directamente en cámara.....	21
3. Enfriamiento de cajas de arándano por aire forzado.....	21
4. Tasa respiratoria de arándanos y frutillas a distintas temperaturas.....	22
5. Efecto de la temperatura en el decaimiento de la fruta del arándano.....	23
6. Esquema de funcionamiento del equipo generador de oxígeno ionizado.....	35
7. Cámara con ionizador instalado.....	35
8. Porcentaje semanal de pérdida de peso en duraznos 'Zee Lady' almacenados durante 6 semanas a 5°C y 90%HR en aire (control) y bajo 0,3 ppm de ozono.....	42
9. Momento de la cosecha.....	45
10. Escala visual de maduración.....	46
11. Medidor del nivel de ozono en cámara.....	47
12. Puntero del texturómetro utilizado.....	49
13. Clasificación por calibre	50
14. Peachímetro, refractómetro y jugo en filtración.....	52

15. Deshidratado y pudrición.....	53
16. Escala de deshidratación.....	53

Gráfica No.

1. Firmeza (N) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador), según período de almacenamiento (días).....	63
2. Porcentaje de deshidratación (%) relativo al número total de frutos de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).....	69
3. Porcentaje (%) de deshidratación por calibre según período de almacenamiento (días) en salida de cámara.....	71
4. Porcentaje (%) en peso total, relativo al peso inicial de la petaca en cosecha, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	75
5. Porcentaje (%) en peso comercial en relación al peso total de la petaca, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	77
6. Sólidos solubles totales (°Brix) para cada tratamiento y momento según período de almacenamiento (días).....	80
7. pH del jugo para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).....	82
8. Acidez (% ácido cítrico) en los distintos momentos de análisis, según período de almacenamiento (días).....	84

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del arándano es un cultivo reciente en el país, registrando un crecimiento importante (500%) a partir del año 2001. La superficie plantada en Uruguay comenzó siendo de 4 ha en 2001, ya en 2004 era de 200 ha, alcanzándose las 280 ha en 2005 y las 600 ha a fines de otoño de 2006 (Furest, 2006). El 60% de las plantaciones corresponde a la variedad O'Neal, southern highbush o arándano alto del sur. Estos frutos tienen un interesante mercado para su comercialización en Estados Unidos de América y en Europa. En el año 2004 Uruguay exportó un total de 4000kg, aumentando los mismos a 21.000 kg en 2005 y 100.000 kg en 2006, estimándose un total de entre 400.000 y 500.000 kg para la zafra 2007 (Furest, 2006).

En Uruguay existen antecedentes de investigaciones recientes en las áreas de mejoramiento genético, adaptación de variedades, agregado de enmiendas al suelo, ecofisiología (Arias et al., 2006), propagación, sanidad de plantas y manejo general del cultivo. Existe información sobre este último punto, cosecha y poscosecha en distintas regiones del mundo, con experiencias similares a las de nuestro país, principalmente en la región. Sin embargo, nuestras condiciones edafoclimáticas, sociales y culturales, así como la infraestructura local requieren de adaptaciones e investigaciones también locales para ajustar tecnologías poscosecha pertinentes.

La vida poscosecha de arándanos está determinada por la variedad, el estado de madurez alcanzado en cosecha (así como las condiciones ambientales durante la misma) y las condiciones de conservación durante la poscosecha. En nuestras zonas de producción se detecta como problemas importantes en cosecha, la alta probabilidad de lluvias y alta humedad relativa durante la misma (setiembre, octubre y noviembre), incrementándose el riesgo de incidencia de patologías poscosecha debidas a hongos (*Botrytis cinerea*, *Colletotrichum* spp. y *Rhizopus* spp., principalmente) (Monteiro, 2006).

En el manejo poscosecha de arándanos se utiliza el preenfriado por aire forzado para prologar la vida poscosecha de la fruta, manteniendo la cadena de frío (Ceponis y Capellini 1983, Buzeta 1997, Yommi y Godoy, 2002), siendo las atmósferas modificadas o controladas, ricas en CO₂ (10-20%) y pobres en O₂ (5-10%), las más efectivas para disminuir el desarrollo de patologías poscosecha, especialmente *Botrytis cinerea*. (Nunes et al. 1995, Yommi y Godoy 2002).

El oxígeno ionizado (atmósfera ozonizada) se reporta como coadyuvante de las bajas temperaturas y alta humedad relativa en almacenamiento, con acción funguicida-funguistática, enlenteciendo los cambios que llevan a la senescencia del fruto, manteniendo su calidad externa, sobretodo el color y la firmeza, por un mayor período (Pérez et al. 1999, Guarinoni et al. 2001, Feippe y Mafio 2002), La conservación de la fruta en atmósfera ionizada (ozonizada) aumenta la vida poscosecha de los frutos al controlar el desarrollo de patologías en poscosecha y enlentecer el proceso de maduración de los frutos.

En 1997, en Estados Unidos de América, un panel de expertos analizó la seguridad y el potencial del ozono para su utilización en contacto con alimentos, incluyéndolo en la lista de sustancias reconocidas como seguras: “Generally Recognised as Safe” (GRAS) (Gram et al., US-FDA, citados por Palou et al. 2002, Palou et al. 2005).

En 2001 fue aceptado en Estados Unidos de América como aditivo alimentario por la United States Food and Drug Administration (US-FDA, 2001, citada por Palou et al., 2005).

1.1 OBJETIVOS

General

- Estudiar la vida útil en poscosecha de arándanos cosechados en condiciones nacionales de comercialización, conservados en atmósfera común y atmósfera ionizada.

Específicos

- Estudiar la evolución de algunas variables físico-químicas que hacen a la calidad de los frutos de la variedad de arándano O'Neal durante su conservación en dos tipos de atmósfera: normal e ionizada (ozonizada).
- Identificar y cuantificar las principales causas de deterioro de la calidad de frutos de arándano en las condiciones del país, almacenados en atmósfera normal y en atmósfera ionizada.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO DEL ARÁNDANO

El fruto del arándano (*Vaccinium* sp.) es una baya casi esférica, variando su diámetro entre 0,7 y 2,0 cm y su peso entre 0,5 y 2,5 g, de coloración desde azul claro hasta negro. La epidermis del fruto presenta secreciones cerosas (pruína), otorgándole un aspecto más atractivo y delicado, siendo ésta, un atributo de calidad. Generalmente, el grosor de la epidermis determina gran parte de la vida poscosecha del fruto.

Cada baya puede tener más de 100 semillas pequeñas (1,5 mm de largo x 0,8 mm de ancho), aunque generalmente poseen entre 20 y 70, ubicadas en el interior del endocarpio (Buzeta, 1997). Presenta una cicatriz que permanece al desprenderse del pedúnculo. También se ha encontrado una relación importante y positiva entre el tamaño de fruto y el grosor de la rama, al igual que ocurre entre el primero y el número de semillas presentes (Buzeta, 1997).

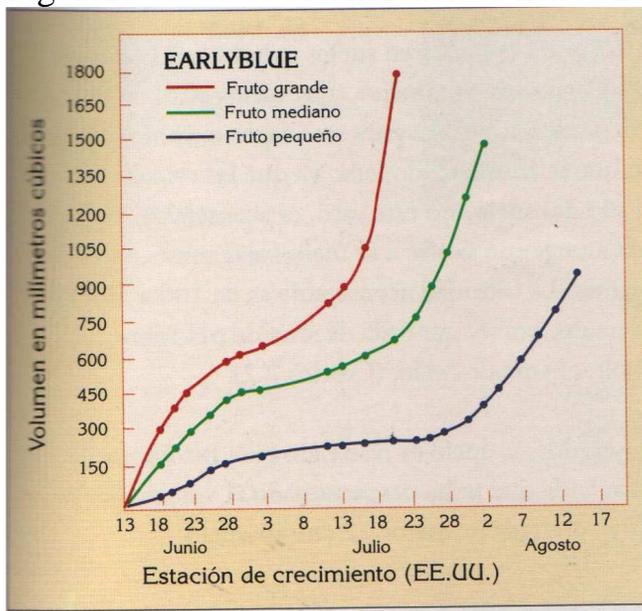
2.1.1. Características del crecimiento de la baya

El crecimiento del fruto se da según una curva doble sigmoide, al igual que ocurre en duraznero (*Prunus persica*), el cerezo (*Prunus avium*), la uva (*Vitis vinifera*) y la higuera (*Ficus carica*). En este tipo de crecimiento se identifican tres etapas (figura 1): I.-un rápido aumento de tamaño del pericarpio en seguida luego de la fecundación, generado por una etapa de división celular, II.-el desarrollo del pericarpio se detiene y comienza a desarrollarse el embrión, III.-segunda etapa de crecimiento del pericarpio, con alargamiento celular, translocación de sustancias y posterior maduración de la baya (Young, 1952). Este mismo autor reportó un período de entre 51 a 60 días desde plena floración hasta la primera cosecha,

estudiando un total de 15 variedades. Según Buzeta (1997), el fruto del arándano requiere entre 2 y 3 meses para madurar, dependiendo del clima, tipo de madera seleccionada en la poda y por supuesto, la variedad cultivada.

En un trabajo realizado por Young (1952) con la variedad Jersey (*V. corymbosum* L.), en el Estado de Michigan, Estados Unidos de América, la duración de cada etapa rondó los 28-30, 24 y 26 días, respectivamente para las etapas I, II y III.

Figura1. Curva de crecimiento de fruto en arándano



Fuente: Buzeta (1997).

A medida que crece y madura el fruto atraviesa distintas coloraciones: verde, verde translúcido con un matiz blancuzco, rosado-verdoso, azul-rojizo y finalmente completamente azul.

Más del 50% del aumento de tamaño se da entre el pasaje de rosado-verdoso a azul. En general, la fruta se encuentra madura entre 40 y 80 días después de la floración, dependiendo del cultivar y las condiciones climáticas.

A su vez, frutas que crecen expuestas a mayor cantidad de luz, cuando maduran son más grandes (10,9 mm de diámetro promedio) que aquellas que crecieron a la sombra (9,8 mm de diámetro promedio), lo mismo ocurre con las frutas expuestas al sur (10,2 mm promedio) comparadas con las expuestas al norte (9,5 mm promedio), trabajando en el hemisferio norte (Young, 1952).

2.1.2 Composición de la baya

Cuadro 1. Composición de la baya de arándano

Compuesto	%
Agua	85
Proteína	0,70
Grasas	0,50
Fibra	1,5
Carbohidratos	15,3
Celulosa	3,5
Pectinas solubles	0,70

Fuente: Hancock (1995).

Los azúcares reductores predominantes son la glucosa y la fructosa, representando el 8,2% del peso fresco de la fruta. La sacarosa representa el 2,4% (Hancock, 1995). En la variedad ‘Wolcott’ (*V. corymbosum* L.), el ácido orgánico que se encuentra en mayor concentración es el ácido cítrico, representando el 95 % de los ácidos presentes, existiendo también ácido málico y quínico (en un 6% según Ehlenfeldt et al., 1994), el cuál, según Kushman y Ballinger (1967) disminuye muy poco durante la maduración. Estos autores también detectaron la presencia de ácido succínico, aunque a muy bajas concentraciones, así como pequeñas cantidades aminoácidos, entre los cuales se destacan la citrullina y la prolina. En el estudio realizado por Ehlenfeldt et al. (1994), encontraron entre un 74 y un 90% de ácido cítrico, en 5 variedades de arándano alto (*V. corymbosum* L.) evaluadas. Según Kalt y McDonald (1996) el arándano bajo (*Vaccinium angustifolium* Aiton) presenta distintos tipos de ácidos, entre los cuales predominan el

cítrico (36%), málico (31%), quínico (20%) y el clorogénico (10%), existiendo un 3% de otros ácidos: acético, cafeico, para-coumárico, ferúlico y shikímico, en una relación de 66:20:6:3:5, respectivamente. El ácido succínico, que según estos autores representa un 17 y un 50% de los ácidos orgánicos presentes en el arándano alto (*V. corymbosum* L.) y en el “ojo de conejo” (*V. virgatum*, ex *V. ashei* Reade), respectivamente, no se encuentra presente en el arándano bajo (lowbush). El arándano “ojo de conejo” presenta un 33% de ácido málico y sólo un 10% de ácido cítrico promedio, no siendo nunca mayor a 22% la concentración de este último (Ehlenfeldt et al., 1994). Esta última especie contiene en promedio 16,4 mg de ácido/g de peso fresco, mientras que el arándano alto o highbush presenta 12,7 mg ácido/g en peso fresco (Ehlenfeldt et al., 1994). Debido a estas diferencias en el contenido de ácidos, el sabor de estas tres especies es diferente; el ácido succínico es amargo, mientras que el ácido málico, sólo o combinado con el cítrico otorgan a la fruta un sabor agrio (Rubico y McDaniel, citados por Kalt y McDonald, 1996). Las bayas contienen en promedio 22,1 mg de vitamina C cada 100 g de peso fresco.

Los compuestos fenólicos presentes en el arándano aún no se conocen en su totalidad, pero según Schuster y Herrmann, citados por Kalt et al. (2003), el ácido clorogénico, derivado del hidroxicianamato, es el mayor componente fenólico no-flavonoide presente, siendo las antocianinas los componentes fenólicos flavonoides por excelencia. Las antocianinas, dependiendo de la variedad y el estado de madurez de la fruta, representan entre el 1 y el 60% de los fenoles disueltos en la fruta (Kalt et al., 2003).

Las antocianinas presentes en la epidermis y en la hipodermis son las responsables de la coloración azulada. La concentración es de entre 85 y 270 mg cada 100 g de fruta fresca, siendo las predominantes delfinidina-monogalactósido, cianidina-monogalactósido, petunidina-monogalactósido, malvidina-monogalactósido y malvidina-monoarabinósido (Hancock, 1995). Las antocianinas, según Wang et al., citados por Kalt et al. (2003) presentan una gran capacidad antioxidante, muy buscada por los consumidores, la cual puede ser medida a través de la capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC: Oxygen Radical Absorbing Capacity). El ácido clorogénico también presenta una importante propiedad

antioxidante. La capacidad antioxidante, medida de esta forma, es mayor en frutas inmaduras que en las maduras (Kalt et al., 2003). En comparación con otras frutas y hortalizas, los arándanos presentan una alta capacidad antioxidante (ORAC) debido a su alto nivel de compuestos fenólicos, incluyendo las antocianinas (Kalt et al., 1999). Según Connor et al. (2002) existen varios factores que modifican o influyen en esta capacidad antioxidante, entre ellos: madurez de la fruta en cosecha, condiciones climáticas durante la maduración, diferencias genéticas entre cultivares, condiciones ambientales previas a la cosecha, condiciones de almacenamiento poscosecha y procesamiento.

En un trabajo realizado en Argentina, con la variedad 'Georgia Gem', se comprobó que los frutos más grandes (10-13 mm de diámetro) presentan menor concentración de polifenoles y antocianinas totales que los más chicos (hasta 7 mm), siendo los contenidos de 86 y 143 mg/100 g de fruta fresca respectivamente, para el caso de los antocianos totales y de 278 y 380 mg/100 g de fruta fresca en los polifenoles totales. Esto se explica porque la mayoría de estos compuestos se encuentran en la cáscara de la baya, existiendo una mayor relación superficie/volumen en los frutos pequeños (Divo de Sesar et al., 2005).

Woodruff et al. (1960) detectaron un alto contenido de almidón en la fruta, atribuyéndoselo al gran número de semillas presentes en cada baya.

2.1.3. Procesos metabólicos y cambios durante la maduración del fruto

A medida que la fruta madura, ocurren diversos cambios metabólicos en la misma, así como el ingreso de agua y azúcares, llevando a una disminución en el porcentaje de ácidos presentes (principalmente ácido cítrico), mientras que el pH, el porcentaje de sólidos solubles totales (SST), el azúcar (medida como porcentaje en base al peso fresco de la baya y en mg/baya), el ratio (SST/Acidez titulable), el contenido de antocianinas y el peso de la baya, aumentan (Kushman 1967, Ballinger y Kushman 1970). Woodruff (1960), manifiesta que los sólidos solubles aumentan durante 9

días cuando el fruto es de color rojo, decreciendo luego. Según estos autores, el contenido de antocianos en la variedad 'Wolcott' (highbush blueberry) se observan entre 0,14 y 3,21 mg/cm² de superficie de baya.

Existe un rápido aumento del contenido y concentración de antocianinas durante la maduración del arándano, siendo las mismas sintetizadas en la piel y responsables del cambio de color de la fruta. Durante la maduración, según Kalt y McDonald (1996), su concentración aumenta desde 0 a 11 mg/g de peso seco de la fruta.

Según Kalt et al. (2003), los polifenoles totales en la fruta disminuyen a medida que ésta madura, existiendo una gran variación en el contenido de los mismos según la variedad y el momento en que la fruta es cosechada. Por lo tanto, según estos autores, existe un cambio en el pool de polifenoles totales a favor de la síntesis de antocianos, llevando a una reducción en el contenido de otros compuestos fenólicos, como es el caso del ácido clorogénico (éster del hidroxicianamato) (Hermann, citado por Kalt et al., 2003).

Ballinger y Kushman (1970) comprobaron que a medida que aumentaba el nivel de ácidos en la solución utilizada, menor era la incidencia de *Alternaria* y *Botrytis* spp., siendo ambos los géneros más comunes en el almacenamiento de la fruta. Los mismos autores en 1967, trabajando con la misma variedad ('Wolcott'), midieron ratios de 3,1-3,8 en fruta inmadura, 10,5 y 9,5 para fruta madura y 17,6 y 28,5 en frutas sobremaduras. Según Ballinger et al. (1978), el 80% de la variabilidad en las pudriciones se encuentra explicado por las variaciones del ratio.

Según Hartman et al., citados por Proctor y Mielse (1991) la firmeza de las bayas se encuentra relacionada estrechamente a la vida poscosecha de la fruta, así como a la susceptibilidad de la misma al decaimiento. Generalmente, la reducción de la firmeza de la fruta durante la maduración se debe a la alteración de los polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, lignina) que componen la pared celular y la lámina media (Eskin, Huber, citados por Proctor y Mielse, 1991). La lámina media está compuesta en forma predominante por pectina, cuya solubilización está altamente correlacionada

con la pérdida de firmeza de la fruta. El aumento en la solubilidad de las sustancias pécticas ha sido asociado con una reducción en la firmeza de diversas frutas y vegetales. La solubilidad de las pectinas se calcula como el porcentaje de pectinas totales representado por el ácido péctico (Kertesz, citado por Smittle y Miller, 1988).

Durante el desarrollo de la fruta ocurre una reducción importante de los sólidos insolubles en alcohol y del contenido total de pectinas hasta que las bayas se encuentran maduras. Luego de esta etapa, existe muy poco cambio en el contenido total de pectinas (Proctor y Peng, 1989). Se ha reportado una pérdida de las pectinas solubles en álcali, con un aumento correspondiente en el contenido de pectina solubles en agua.

En diversas frutas, la degradación de la pectina es iniciada por la acción de la pectinmetilesterasa (PME), la cual cumple con la función de de-esterificar las pectinas solubles en álcali. Los compuestos generados en este proceso son sustratos para la acción de la enzima poligalactouronasa (PG) (Huber, citado por Proctor y Mielse, 1991). Woodruff et al. (1960) reportaron la actividad PME en el arándano alto.

Ballinger et al. (1973), afirman que los arándanos son extremadamente firmes cuando verdes, ablandándose en forma importante cuando alcanzan una coloración roja, pero muy poco luego de ésta. Proctor y Mielse (1991), reportaron que el mayor ablandamiento de las bayas ocurre entre los estados rojo y rojo-azulado de la baya, no existiendo un ablandamiento adicional marcado luego. También detectaron un aumento en la actividad PG hasta la etapa de rojo-azulado y una reducción significativa hasta la etapa azul. Según estos autores, la PME presenta un pico de actividad cuando la fruta presenta coloración roja, pero el máximo de ambas enzimas (PMG y PG) se da cuando la fruta ha adquirido una coloración roja y rojo-azulada, respectivamente. La aparición de ambas enzimas coincide con la solubilización de la pectina (Proctor y Peng, 1989) y la aparición de los antocianos (Ballinger y Kushman, 1970). Proctor y Mielse (1991), manifestaron que a pesar de haber detectado actividad PG en el arándano alto, no existe una relación causal entre el ablandamiento de la fruta y la actividad de la enzima.

Durante el proceso de maduración también se reduce el contenido de celulosa de la pared celular, así como la lignina (Woodruff et al., 1959). Este autor también detectó que la mayor parte de las antocianinas se forman durante los 6 días posteriores a la aparición del color rojo.

Otros autores, como es el caso de Shutak et al. (1956) reportan una disminución en el contenido de azúcares de cuatro variedades ('Dixi', 'Pemberton', 'Atlantic' y 'Pioneer') a medida que avanza la temporada de cosecha y que para una variedad dada, las frutas cosechadas primero eran más dulces que las más tardías de la estación. A su vez, este autor demostró que aquellas bayas que eran cosechadas habiendo madurado en la planta madre poseían un 3,6% más de sólidos solubles que aquellos que maduraban fuera de la misma. Ballinger et al., citados por Woodruff et al. (1960) reportaron una disminución en el contenido de sólidos solubles a medida que aumentaba el rendimiento de la mata.

2.1.4. Procesos metabólicos y cambios durante el almacenamiento de la fruta

Durante el almacenamiento de la fruta ocurren diversos cambios metabólicos que determinan la variación en el contenido de distintos compuestos en la fruta.

Luego de 28 días de almacenamiento refrigerado (1,5°C y 98 %HR), no existieron diferencias en el nivel de pruina (evaluado con escala visual) para las variedades 'Maru' y 'Centurión' (*V. ashei* R.)¹.

Se ha reportado, para las especies de género *Vaccinium*, un aumento en el contenido de antocianinas durante el almacenamiento de la fruta, tanto para el arándano bajo o lowbush, *V. angustifolium* Aiton (Kalt y McDonald, 1996), arándano "ojo de conejo" o rabbiteye, *V. ashei* Reade (Basiouny y

¹ SCHOTSMANS, W.; MOLAN, A.; MACKAY, B. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects. Posth. Biol. and Technol. (en prensa).

Chen, citados por Kalt et al., 2003) y para el arándano alto o highbush, *V. corymbosum* L. (Kalt et al., 1999). El nivel de antocianos sintetizados durante el almacenamiento de la fruta depende de la madurez de la misma, siendo menor la producción de estos compuestos, cuanto más madura se encuentre la fruta. Esto sugiere la existencia de un umbral de maduración necesario, luego del cual la síntesis de antocianinas puede continuar, aún fuera de la planta. Según Kalt et al. (2003) el mismo se ubica entre la coloración rosada y un 5 a 50% azul.

Según Kalt et al., citados por Connor et al. (2002), trabajando con arándano alto (*V. corymbosum* L.) cultivar 'Bluecrop', evaluaron un aumento importante en el contenido de antocianinas luego de un período de almacenamiento de 8 días a 20 °C, el cual fue acompañado por un aumento del ORAC en una magnitud similar. Cuando la fruta fue almacenada a 0, 10 o 30°C no fue detectado este incremento. Connor et al. (2002) no detectaron este aumento de la capacidad antioxidante luego de un período de almacenamiento de 8 días a 5°C. Estos mismos autores afirman que la capacidad antioxidante de la fruta de las variedades 'Bluecrop', 'Jersey', 'Elliot', 'Bluegold', 'Brigitta', 'Nelson', 'Legacy' y 'Little Giant', no disminuye luego de la cosecha, manteniéndose esta característica beneficiosa para la salud, aún luego del almacenamiento.

Este aumento en la concentración de antocianos y polifenoles totales, expresados en base al peso fresco, puede estar relacionado directamente con la pérdida de agua por deshidratación que ocurre durante el almacenamiento de la fruta (Connor et al., 2002). Estos mismos autores demostraron la estabilidad de la actividad antioxidante, el contenido de polifenoles totales y antocianos durante el almacenamiento en frío.

Según Millar et al. (1993), la pérdida de peso de las variedades 'Sharpblue' (*V. corymbosum*) y 'Climax' (*V. ashei*) fue de un 3,3% promedio, luego de 3 semanas a 1°C y 90% de HR. En un trabajo en el que se evaluó la conservación de dos variedades de arándano "ojo de conejo" (*V. ashei*), la pérdida de peso fue de un 20% luego de 28 días de almacenamiento (1,5°C y 98% HR) y 6 días de vida mostrador a 20°C, para 'Centurion' y de un 22% para 'Maru', en el mismo período¹. El porcentaje

de deshidratación registrado en dicho período fue de 38 y 80% para ambas variedades, respectivamente. Los mismos autores reportan un decaimiento de la fruta en el orden del 8% para ‘Centurion’ y del 5% para ‘Maru’, luego del período de almacenamiento mencionado, pero evaluando la fruta en salida de cámara.

Smittle y Miller (1988), reportan cambios erráticos en la concentración de sólidos solubles a lo largo del almacenamiento (5°C durante 42 días en aire y atmósfera controlada-AC) de las variedades ‘Climax’ y ‘Woodard’ (*V. ashei*). Según estos autores, la concentración de azúcares se reduce durante el almacenamiento y es más marcada dicha disminución para la fruta almacenada en aire que para aquella en AC. También reportan que, para a variedad ‘Climax’, la acidez titulable no varió en forma significativa luego de 42 días de almacenamiento, permaneciendo entre 0,49 y 0,52 %. Algo similar ocurrió con la evolución del ratio para dicha variedad. Los cambios erráticos en los SST también fueron registrados en las variedades ‘Maru’ y ‘Centurion’ (*V. ashei*), almacenadas durante 28 días (1,5°C y 98% HR)¹.

Basiouny y Chen (1988), reportaron una reducción significativa de la firmeza en bayas de las variedades ‘Tifblue’ y ‘Bluegem’ (*V. ashei*), luego de 30 días de almacenamiento a 5°C. Estos mismos autores reportan un aumento en el contenido de sólidos solubles y una disminución en el valor de la acidez, luego de 15, 30 y 45 días de almacenamiento a dicha temperatura. El ratio aumentó en forma significativa luego de 30 y 45 días. Miller et al. (1993), reportan la siguiente evolución de los sólidos solubles totales y acidez titulable (%) para la variedad ‘Climax’ a lo largo del almacenamiento, detectándose variaciones no significativas en dichos parámetros (cuadro 2).

Cuadro 2.-Evolución de los sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT) para la variedad ‘Climax’ almacenada durante 3 semanas a 1°C.

Período de almacenamiento	SST (°Brix)	AT (% ácido cítrico)
1 noche a 1°C	15,7	0,18
1 noche a 1°C y 2 días a 16°C	16,0	0,16
1 semana a 1°C	16,0	0,17
1 semana a 1°C y 2 días a 16°C	15,9	0,16
2 semanas a 1°C	16,0	0,18
2 semanas a 1°C y 2 días a 16°C	15,7	0,17
3 semanas a 1°C	16,0	0,18
3 semanas a 1°C y 2 días a 16°C	15,8	0,17

Fuente: Miller et al. (1993).

2.1.5. Correlación entre distintos parámetros de calidad del fruto

Kalt et al. (1995), trabajando con 72 clones silvestres de arándano bajo (*V. angustifolium*) reportó una relación inversa entre el peso y también el diámetro de la baya y la concentración de antocianinas (-0,53 y -0,48, respectivamente), indicando que las bayas más grandes presentan una menor concentración de antocianos. A su vez, detectaron una relación positiva y de alrededor de 0,6 entre el azulado de la fruta y la concentración de antocianinas en la misma. El contenido total de antocianos y polifenoles se relaciona en forma negativa con el pH de la baya (Connor et al., 2002).

Connor et al. (2002) detectaron relaciones altas y positivas ($r = 0,87-0,99$) entre la actividad antioxidante, el contenido de polifenoles totales y los antocianos. Kushman (1967), Ballinger y Kushman (1970) encontraron una alta correlación ($r = 0,948$) entre el contenido de antocianos en la variedad Wolcott y la relación SST/Acidez titulable. Kalt et al. (2003) encontraron una alta relación entre la capacidad antioxidante medida como ORAC y los fenoles totales disueltos ($R^2 = 0,78$). A su vez, estos tres factores no se encuentran correlacionados con la firmeza de la fruta o la pérdida de peso.

Kurshman y Ballinger (1975), trabajando con dos variedades de arándano alto (*V. corymbosum* L.) detectaron una correlación de 0,68 entre el color de la superficie de la fruta y los sólidos solubles presentes en la fruta. Woodruff et al. (1960) reportan una relación muy estrecha y positiva, entre la relación SST/Acidez titulable y la maduración de la fruta. A su vez, detectaron una alta, lineal y positiva correlación entre este parámetro y el deterioro de la fruta. La vida poscosecha del arándano se relaciona en forma directa y con la acidez (Ballinger y Kurhman, 1970) y el pH (Kurshman y Ballinger, 1963).

Según Woodruff et al. (1960) valores de ratio por debajo de 12,4 no son deseados, ya que este valor representa un umbral de sabor y dulzura (palatabilidad) aceptables por el consumidor. Según Basiouny (1994), un alto o un bajo ratio no significa mejor o peor calidad de fruta, ya que un alto ratio puede ser alcanzado por un jugo con poca acidez y pocos sólidos solubles, o una muy alta acidez y altos sólidos.

Basiouny (1994) detectó una relación inversa entre el contenido de calcio (Ca) en la fruta y los antocianos totales, así como una relación positiva entre el ratio y estos compuestos. Este autor, en el mismo trabajo, reportó que no existe correlación entre el porcentaje de sólidos solubles totales y la firmeza de las bayas, a pesar de que algunas de sus observaciones muestran cierta tendencia a que las bayas con menos sólidos solubles tienden a ser más firmes. Según este autor, la acidez total de las bayas se relaciona en forma inversa con el contenido de sólidos solubles totales.

Según Dekazos y Birth, citados por Kalt y McDonald (1996), trabajando con arándano bajo (lowbush) el color de la superficie de la fruta es un buen indicador del porcentaje de sólidos solubles y la acidez de la misma ($r= 0,7-0,9$).

2.1.6. Comportamiento respiratorio de la baya

Existen diversas opiniones científicas en torno al comportamiento respiratorio de la fruta durante la etapa de maduración. Algunos autores lo clasifican como un fruto climatérico, presentando un pico respiratorio y otro de etileno, característicos. Según Lipe (1978), trabajando con arándanos “ojo de conejo” (*V. ashei* R. var. ‘Tifblue’) la concentración de etileno pasa de 0,45 mg/l en frutos verdes a 3,7 mg/l cuando la baya adquiere una coloración rojiza, argumentando que frutas ya maduras reducen su producción de etileno en forma importante. Sin embargo, otros autores mencionan lo contrario (Buzeta 1997, Ehlenfeldt 2002), argumentando que los cambios en la respiración y la producción de CO₂ y etileno son muy bajas en comparación con el tomate y la pera (Frenkel, 1972), o que este tema se encuentra aún sin resolver (Hancock, 1995).

En un trabajo realizado por El-Agami et al. (1982), trabajando con la variedad ‘Delite’, clasifican al arándano “ojo de conejo” como un fruto climatérico, detectando dos picos característicos de producción de etileno, siendo representado su comportamiento por una curva doble sigmoide. El primer pico se detecta cuando la fruta pasa de verde a rosada y el segundo cuando la misma ha adquirido ya la tonalidad azulada. El aumento en la producción de etileno que se da cuando la fruta ya presenta un color azul oscuro, como ocurre 6 días luego de la cosecha, está relacionado a la pérdida de firmeza y sobre-maduración de las bayas. Según Kader, citado por Basiouny (1994), el arándano “ojo de conejo” es una fruta climatérica, pero con baja producción de etileno.

Tirmazi y Wills, citados por Basiouny (1994), reportaron que con aplicaciones de calcio (Ca²⁺) a fruta en maduración se puede suprimir tanto el pico de etileno como el climaterio (pico respiratorio característico de frutas climatéricas). Los mismos autores reportan al calcio como protector y endurecedor de las paredes celulares, convirtiéndolas en más resistentes a la acción de enzimas hidrolíticas, evitando la de-polimerización de la estructura de la lámina media.

Basiouny (1994), trabajando con arándano “ojo de conejo” (*V. ashei* R.) var. ‘Tifblue’, reportó una producción de etileno menor a 1ppm, aún luego de 2 semanas en almacenamiento a 5°C y 95% de humedad relativa. Bergman, citado por Windus et al. (1976), fue el primero en reportar un aumento en la producción de CO₂ en arándanos, siendo la mayor tasa de producción del mismo durante el inicio de la coloración rosada y roja, decreciendo a medida que el fruto adquiere una coloración azul.

Ismail y Kender, citados por Windus et al. (1976), utilizando como única herramienta la evolución de la producción de CO₂, clasificaron al arándano alto (highbush) y al bajo (lowbush) como climatéricos. Windus et al. (1976), detectaron un comportamiento respiratorio similar para 7 variedades distintas de arándano alto: ‘Early-blue’, ‘Blueray’, ‘Bluecrop’, ‘Herbert’, ‘Darrow’, ‘Coville’ y ‘Lateblue’. El mayor pico de etileno detectado por estos autores ocurre cuando el fruto pasa de verde a rosado (0,4-0,5 µL/kgPF/hora), habiendo detectado también un pico de CO₂ (70-80 mlCO₂/kg PF/hora).

2.2. COSECHA Y POSCOSECHA

2.2.1. Manejo de la cosecha del arándano

En Estados Unidos, donde el cultivo se encuentra más desarrollado, la mayoría de la cosecha se realiza en forma mecánica, cuando el 60-70% de la fruta presente en la planta presenta coloración azul, siendo un 50% de lo cosechado destinado a consumo en fresco (Hancock, 1995). La adaptabilidad de los cultivares a la cosecha mecánica es muy variable, dependiendo de la facilidad de desprendimiento de la baya, firmeza, concentración de la madurez y tipo de cicatriz del pedúnculo (Buzeta, 1997). Esta metodología en cosecha permite una reducción de los costos en un 30-45%, ya que una máquina cosechadora puede sustituir unos 100 trabajadores. Sin embargo, estas máquinas no son capaces de discriminar por calidad, por lo que cosechan fruta inmadura, sobremadura, enferma, dañada, etc., aumentando luego los costos de clasificación y empaque.

Los índices de cosecha no se encuentran aún claramente establecidos. El color es el índice más utilizado, cosechándose la fruta cuando ha alcanzado entre un 75 y un 100% de la coloración azul característica (Woodruff et al. 1960, Mitcham et al. 2006). Algunos autores (Ballinger et al., 1973) indican que la firmeza no es un buen parámetro para este fin, ya que los arándanos sufren un ablandamiento importante entre las coloraciones verde y azul, pero el mismo es muy leve luego de esta etapa. Woodruff et al. (1960) mencionan a la acidez titulable como el mejor parámetro a considerar para determinar la fecha de cosecha.

Para la realización de la cosecha manual se requiere gran cantidad de mano de obra, por ejemplo, para un cultivo de 7120 kg/ha se necesitan 1977 hr/ha, observándose en Chile, rendimientos de 2 a 8 kg/hora/cosechador y 4,5 kg/hr/persona, en Estados Unidos de América. El número de frutos es de 880 a 1760 bayas/kg promedio (Buzeta, 1997).

Si los frutos son cosechados con una coloración rosada, el proceso de maduración continúa, pero la calidad de la fruta será inferior (Buzeta, 1997). Según este autor, cuando la fruta aún se encuentra verde, presenta un 7% de azúcares, alcanzando el 15% si éste madura en la planta y sólo un 10% si es cosechado antes.

Debido a que no toda la fruta de un racimo madura en forma conjunta, e necesario cosechar por lo menos, una vez por semana, durante un período de aproximadamente 6 semanas, dependiendo del cultivar (Buzeta, 1997).

El arándano es un fruto que se deteriora fácilmente si no se toman las precauciones necesarias en el momento de la cosecha. Es importante realizar la recolección de un fruto por vez, tomándolo suavemente, sin apretarlo y depositarlo en un recipiente limpio, adosado a la cintura, el cual no debe sobrepasar los 10 cm de profundidad (Buzeta, 1997). La cosecha no debe realizarse si la temperatura ambiente supera los 32 °C y la fruta se encuentra húmeda. Con temperaturas de 30 °C es necesario transferir las bandejas al packing al menos, cada 30 minutos (Buzeta, 1997). Según este autor, un poco de rocío en la superficie de la fruta, como resultado de una

cosecha nocturna o muy temprana, es menos perjudicial que realizar la misma durante el día, con altas temperaturas.

Se debe reducir al máximo el manipuleo de la fruta para no afectar su apariencia, tratando de conservar la “pruina” (bloom) que lo recubre, ya que la misma es un atributo de calidad y limpieza para el consumidor. Es importante que la fruta para el mercado en fresco permanezca firme y de coloración uniforme, así como libre de defectos. También se exige calibración e identificación varietal (Buzeta, 1997). La fruta que posea un porcentaje muy bajo de defectos serios (daño por insecto, piel dañada o rota, decaimiento o pudrición, presencia de pedicelos o trozos de racimos, fruta sobremadura, inmadura, deshidratada o con falta de color) puede ser catalogada como U.S.1, en Estados Unidos de América. Esta categoría de calidad presenta ciertos requisitos como por ejemplo, que la fruta no presente más de 1% de defectos serios y no más de 13% de defectos totales. También se tiene en cuenta el tamaño, ya que la cantidad de bayas por petaca de ½ pint no puede exceder los 250 frutos (North Carolina State University, 1993). Algo similar ocurre en Canadá en donde las normas del Canada Agricultural Products Act, Fresh Fruit and Vegetable Regulations (efectivas en noviembre, 1992) estipulan un límite de no más de 3% en el peso de las bayas no comercializable para pertenecer a la categoría #1 de dicho país (Prange et al., 1995).

Se debe mantener la máxima higiene de todas las superficies que entran en contacto con la fruta antes del embarque o almacenamiento; esto incluye la desinfección de los recipientes de cosecha, las correas de selección y cualquier otra superficie donde permanezca la fruta. Es importante remover la pulpa y el jugo de frutas dañadas en el proceso (Buzeta, 1997).

Según Ballinger et al. (1973), Capellini y Ceponis (1977), la cicatriz del pedúnculo ha sido identificada como el sitio en donde se inician los ataques por hongos en la fruta cosechada manualmente.

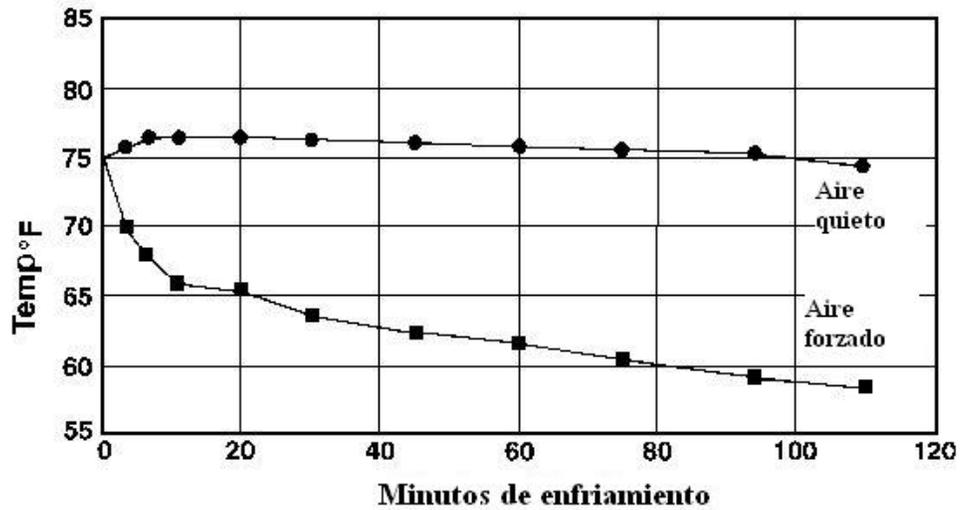
2.2.2. Manejo de la poscosecha del arándano

2.1.2.1. Procesos de enfriado rápido

Inmediatamente luego de la cosecha, lo ideal es que la fruta reciba un tratamiento de pre-enfriado para bajar la temperatura de campo más rápidamente, manteniéndola cercana a 12-15°C durante el empacado, antes de colocarlo en cámara de frío o embarcarlo (0 - 0,5 °C y 90-95% de humedad relativa) (Buzeta 1997, Yommi y Godoy 2002). Estas condiciones permiten mantener la calidad de la fruta durante unos 14 días, dependiendo de la variedad (Yommi y Godoy, 2002). Según Ceponis y Capellini (1983), el tratamiento de pre-enfriado es necesario para mantener una calidad adecuada de la fruta fresca durante su almacenamiento y transporte posteriores. Los frutos que serán posteriormente procesados, usualmente se congelan en grupo o en forma individual (IQF, Individually quick-frozen) (Hancock, 1995).

Utilizando aire forzado (figura 3), es posible bajar la temperatura de pulpa desde 20-25°C hasta 1,5 °C en 2 horas, mientras que se requieren 48 horas utilizando una cámara fría (Yommi y Godoy, 2002) Según investigadores de la Universidad de Oregon es posible remover el calor de campo 1 hora utilizando este método. La tasa de enfriamiento mediante este método es entre 16 y 20 veces más rápida que si la fruta es colocada directamente en la cámara (figura2) (North Carolina State University, 1993).

Figura 2. Enfriamiento de la fruta con aire forzado y directamente en cámara



Fuente: North Carolina State University (1993).

Figura 3. Enfriamiento de cajas de arándano por aire forzado



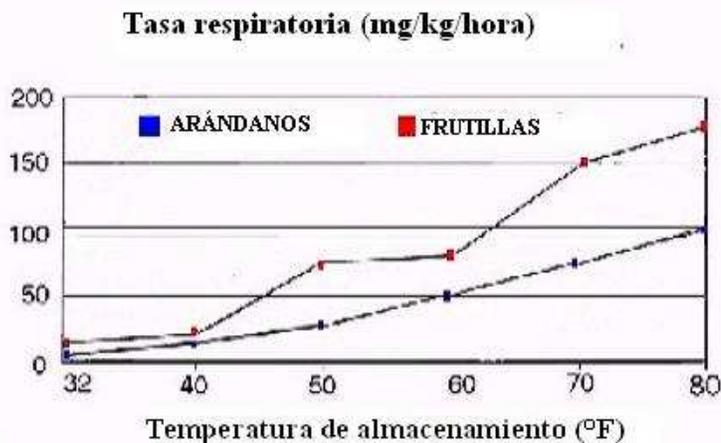
Fuente: Buzeta (1997).

La tasa respiratoria, como todos los procesos biológicos es mayor cuanto mayor es la temperatura de los frutos, debido a esto, es fundamental lograr un enfriamiento rápido, manteniendo la calidad de la fruta,

conservando los azúcares y retrasando la producción de etileno. Según Buzeta (1997), una tonelada de arándanos pierde entre 125 y 580 kcal por día a 0 °C. Cuando es colocada a 16 °C, esta pérdida asciende a 1875-3427 kcal. A 26,7°C, el arándano puede producir unos 22000 Btu (5544 kcal) por tonelada por día como calor de respiración. Los cálculos sugieren que las petacas ubicadas más hacia el centro del pallet demoran más de 36 horas en enfriarse a menos de 10°C cuando la temperatura inicial era de unos 27°C (North Carolina State University, 1993).

Como muestra la figura 4, la tasa respiratoria del arándano es tres veces mayor a 10°C que a 4,5°C y siete veces mayor cuando se mantienen a 21°C. Ensayos realizados en la Universidad de Oregon comprueban que, cuando los arándanos fueron pre-enfriados a 1,7°C por 2 horas, presentaron un 37% de decaimiento luego de 10 días de almacenamiento, mientras que aquellos que fueron enfriados a 1,7°C en cámara durante 48 horas, presentaron un 46% de decaimiento luego del mismo período.

Figura 4. Tasa respiratoria de arándanos y frutillas a distintas temperaturas

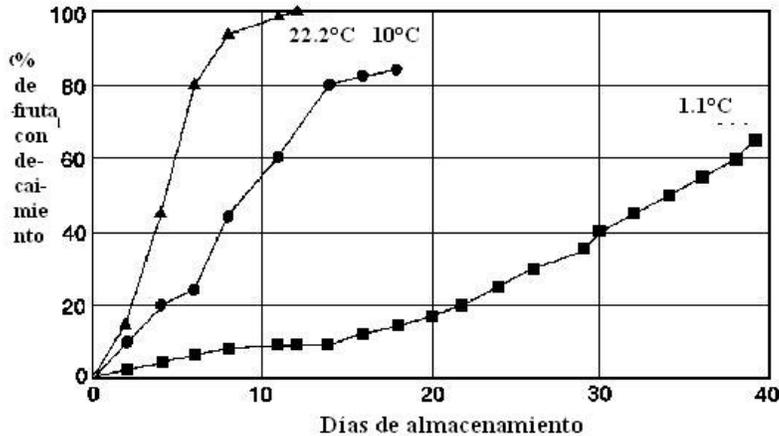


Fuente: Oregon State University (2000).

La temperatura es un factor muy importante a manejar para lograr mayores períodos de conservación (figura 5). El manejo del sombreado de la fruta, tanto en la cosecha como luego de la misma, es fundamental para lograr este objetivo. Los patógenos que atacan más comúnmente al arándano luego de la cosecha son *Botrytis cinerea*, *Alternaria* spp. y

Rizophus stolonifer; estos hongos son muy activos a altas temperaturas, reduciéndose en forma importante su actividad al ser colocados en frío.

Figura 5. Efecto de la temperatura en el decaimiento de la fruta del arándano.



Fuente: North Carolina State University (1993).

Algo similar ocurre con la humedad, cuyo control es crítico si se pretende almacenar la fruta por más de 3 días. El aumento de la misma puede ser provocado humedeciendo la cámara o colocando la fruta en bolsas de polietileno (Buzeta, 1997). Un tiempo excesivo de la fruta en el túnel de aire forzado, provoca gran deshidratación. Los arándanos son una fruta muy susceptible a la deshidratación, siendo 3% el valor de pérdida de peso máximo admisible (Yommi y Godoy, 2002).

Existe una alta correlación entre el desarrollo de pudriciones poscosecha y la relación SST/Acidez titulable de la fruta ($R^2 = 0,96$ a $1,1^\circ\text{C}$ y $R^2 = 0,985$ a $22,2^\circ\text{C}$), a su vez, a esta última temperatura, se produce un rápido deterioro de las bayas sin importar el cultivar ni el estado de madurez de la misma (Ballinger et al., 1978). Según estos autores, para fruta que se encuentra sobremadura (SST/Acidez titulable = 40) la exposición durante un día a $22,2^\circ\text{C}$ equivale a la permanencia durante 5 días a $1,1^\circ\text{C}$. En frutas maduras (SST/Acidez titulable = 10) ese día es equivalente a 14 días a $1,1^\circ\text{C}$. Si no se consideran temperaturas tan altas como $22,2^\circ\text{C}$, no existe efecto del ratio de la fruta y 1 día a 10°C es equivalente a 4 días a $1,1^\circ\text{C}$, sin importar el ratio en la misma. Estos autores

estiman que el ratio debe ser distinto según el destino de la fruta: para el caso de arándanos que se comercializarán entre Estados Unidos y Europa, proponen un máximo de 20. Para embarques que recorren distancias menores (4800 km) proponen un ratio no mayor a 27 y para distancias de alrededor de 1200 km no debe ser mayor a 30. Estudios realizados en la Universidad de Oregon manifiestan que fruta con una relación SST/Acidez titulable de 16:1 presentó un 8% de pudriciones al ser almacenados a 4,4 °C durante 18 días, mientras que aquellas frutas con una relación 32:1, presentaron un 28% de pudriciones en las mismas condiciones de almacenamiento.

Según Prange et al. (1995), la reducción en la firmeza fue el factor determinante de la pérdida de calidad comercial, superando incluso a la incidencia de patologías. Para Day et al. ¹, el factor determinante de la pérdida de calidad en *V. ashei* fue la incidencia de diversas patologías.

2.3. ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LA FRUTA.

Como se ha mencionado, es importante colocar la fruta en condiciones de baja temperatura (0-0,5°C) y alta humedad relativa (90-95%), para reducir la deshidratación y el deterioro de la calidad de la misma.

Existen diversas tecnologías que permiten prolongar el período de conservación de 3-4 semanas en atmósfera común, a 6-7 semanas, lográndose en algunos casos alcanzar incluso, las 10 semanas. Dichas tecnologías consisten en la modificación de la relación de gases presentes en el aire (atmósferas modificadas).

Como es ampliamente conocido, el contenido de gases del aire es un 0,03% de CO₂, 21% de O₂, 78% de N y otros gases en menor proporción (argón, neón, etc.) Existen diversas tecnologías que modifican estas relaciones de gases presentes en el aire, para lograr una mayor conservación de la fruta, modificando el proceso de respiración y el deterioro de la misma.

La disminución de la tasa respiratoria de algunas frutas se logra con altos niveles de CO₂ (10-20%) y niveles más bajos de O₂ (5-10%). Algunos resultados muestran que concentraciones de O₂ entre 8 y 10% y de CO₂ entre 10 y 13% han logrado mantener la calidad de los arándanos durante 5 a 8 semanas a 0-1°C, considerando un período posterior a salida de cámara de 3 días a 18-20 °C. A su vez, concentraciones de CO₂ de 15%, reducen la incidencia de podredumbres (Yommi y Godoy, 2002). Según Ehlenfeldt (2002), los parámetros aceptados en el manejo de arándanos son 1-2°C, 10-15% de CO₂ y O₂ no menor a 3-4%, con una humedad relativa de 95%.

Cuando la modificación de la atmósfera se realiza mantenido un control más o menos exacto, dentro de un rango, de las concentraciones de los gases presentes, recibe el nombre de Atmósfera Controlada (AC); si la modificación no es controlada activamente, sino que utiliza una mezcla de gases resultante del intercambio gaseoso del envase en equilibrio con la respiración del producto, la técnica se denomina Atmósfera Modificada (AM) (Yommi y Godoy, 2002), existiendo también otras formas de lograr dicha modificación, como lo es la generación de ozono en la misma.

El primer reporte de la utilización de atmósferas modificadas en agricultura fue en la era Romana (Varro, 1800), utilizando sistemas de almacenaje de granos bajo tierra, los cuales modificaban los gases presentes en el aire, siendo peligrosa la entrada a los establecimientos. Evidentemente, la respiración de los granos reducía el O₂ presente, aumentando el contenido de CO₂.

En 1763, Brookes propuso una técnica utilizada para preservar frutas maduras, pero no sobremaduras, encerrándolas en un recipiente de vidrio con una membrana aceitosa en la boca del mismo. Berard, en 1821 comprobó que las frutas utilizan O₂ y producen CO₂, por lo que, eliminando el O₂ presente en la atmósfera se podría enlentecer la maduración. Alrededor de 100 años después, Kidd y West, citados por Beaundry (1999), demostraron el efecto mencionado anteriormente en el almacenamiento de manzana. Dos años después, se construyó la primera cámara de atmósfera controlada en Inglaterra (Kays, citado por Beaundry, 1999).

Ehlenfeldt (2002), afirma que el arándano es un fruto no climatérico y por lo tanto, los beneficios de esta tecnología serán menores. Según él, el etileno no es un factor altamente significativo en el almacenamiento de este tipo de frutas, mencionando que la alta concentración de CO₂ (ya sea en AM o AC) para inhibir el crecimiento de patógenos y la baja concentración de O₂, que provoca una reducción en la respiración y también en la producción de etileno, no serían del todo efectivas en estos casos.

Burg y Burg (1967), demostraron que la reducción en la presión parcial de O₂ y el aumento de la presión parcial del CO₂, resultaban en una inhibición de la respuesta al etileno. Ambos autores comprobaron que esta molécula actuaba como inhibidor del ligamiento del etileno a sus sitios de acción, reduciendo en un 50% su acción, a 1,55 kPa. Según Philosoph-Hadas et al. (1993), el CO₂ también actúa en forma independiente del etileno, provocando una retención en el nivel original de poliaminas presentes en las células, las cuales tienen un efecto inhibitorio sobre la senescencia (Galston y Sawhney, citados por Philosoph-Hadas et al., 1993). Estas poliaminas provocan un enlentecimiento en la degradación de la clorofila presente en la célula (Philosoph-Hadas et al., 1993).

2.3.1. Atmósfera Controlada (AC)

Según Beaundry et al. (1992), Cameron et al. (1994), la utilización de AC es una realidad comercial, siendo las condiciones de almacenamiento del arándano entre 1.5 y 2.5 kPa de O₂ (1% O₂ = 1.013 kPa de O₂ a 1 atm) y 5 a 12 kPa de CO₂ a 0°C.

Algunos autores sugieren que el efecto benéfico de la AC se debe a la alta concentración de CO₂, más que al bajo nivel de O₂ en la atmósfera. Altos niveles de CO₂ disminuyen la tasa respiratoria, retrasando el ablandamiento, la solubilización de pectinas, la transformación de los ácidos orgánicos, pérdida de peso y la incidencia de podredumbres (Kader, citado por Prange et al., 1995). Sin embargo, el efecto del CO₂ se ve aumentado si la concentración de O₂ se mantiene por debajo de 5%.

Según Gallo et al. (2005), la vida poscosecha del arándano a 0°C en atmósfera controlada varía entre 10 y 18 días, aunque existen variedades que alcanzan períodos más largos. Los mismos autores, trabajando con los cvs. 'Misty' y 'Bluechip' en atmósfera controlada (5% de O₂ y 15 y 21% de CO₂), comprobaron que la fruta, en cualquiera de los dos tratamientos, presentaba una menor tasa respiratoria, menor incidencia de podredumbres y una mayor firmeza. El cultivar 'Misty' se comportó mejor luego de 35 días de almacenamiento en dicha atmósfera, recibiendo mayor calificación que 'Bluechip' en la evaluación sensorial realizada luego de dicho período. Esto confirma la gran diferencia de comportamiento existente entre distintos cultivares. Algunos resultados muestran que para el cultivar 'Brigitta', valores mayores a 15% de CO₂ ya provocan daño en almacenamiento (De Bueno et al., 2005).

Experimentos realizados en la Universidad de Oregon (2000), Estados Unidos de América, reportan como mejor tratamiento para la conservación de arándanos un 1,8% de O₂ y un 12% de CO₂. Según este estudio, luego de 46 días de almacenamiento en estas condiciones, el 97% de la fruta fue clasificada como de buena calidad.

En un trabajo realizado con frutillas almacenadas en AC (5% de O₂ y 15% CO₂ ó 10% O₂ y 20% CO₂ a 4 y 10°C), demostró que la atmósfera controlada es capaz de minimizar los cambios en firmeza, pérdida de peso, color y composición, siendo estos menores a 4 que a 10°C (Nunes et al., 1995).

Smittle y Millar (1988), registraron que la pérdida de peso en la variedad 'Climax' no variaba en relación al testigo, cuando la fruta era almacenada en AC (10, 15, 20% CO₂ y 5% O₂) durante 14, 28 y 42 días. En cambio, para la variedad 'Woodard' la pérdida de peso fue menor, cuanto mayor era el nivel de CO₂. Según ambos autores, el % de fruta comercial permaneció invariable aún luego de 42 días en los tratamientos con 15 y 20% de CO₂. Estos autores también visualizaron que la firmeza de la fruta de la variedad 'Climax' almacenada en aire a 5°C se reducía a una tasa de 7% por semana, siendo la misma constante durante todo el tiempo de

almacenamiento. En cambio, para la fruta almacenada bajo 10, 15 o 20% de CO₂, las mayores pérdidas se registraron en los primeros 14 días de almacenamiento a 5°C. Detectaron también que el pH no variaba durante el almacenamiento, en ninguno de los tratamientos. Según estos autores, los cambios en los sólidos solubles son muy erráticos, siendo generalmente mayor la reducción de los mismos en la fruta almacenada en atmósfera normal. En esta misma variedad, la acidez titulable tampoco varió entre tratamientos o tiempos de almacenamiento; lo mismo ocurrió con la relación SST/Acidez titulable y la concentración total de pectinas. En cambio, tanto en 'Climax' como en 'Woodard', el contenido de pectinas solubles aumentó durante el almacenamiento en aire a 5°C, permaneciendo constante en los tratamientos con CO₂, cualquiera fuera el nivel del mismo.

Existen ciertos estudios que reportan un efecto residual de la AC luego de permanecer la fruta 3 días a 20-21°C para arándanos highbush (Borecka et al., Ceponis y Capellini, citados por Prange et al., 1995), así como también en frutillas removidas de su almacenamiento en AC y colocadas a 2°C durante 7 días (Li y Kader, citados por Prange et al., 1995). Contrario a lo anterior, Prange et al. (1995), mencionan que los efectos benéficos del almacenamiento de arándano bajo o lowbush, no persisten luego de 7 días en condiciones ambientales, en los dos cultivares evaluados ('Blomidon' y 'Fundy'). De esta forma, determinan que el comportamiento de la fruta durante los 7 días de vida mostrador está influenciada, primariamente, por el cultivar, tiempo de almacenamiento y temperatura y no por la composición de la atmósfera durante el almacenamiento previo.

Prange et al. (1995) reportan un efecto positivo en el almacenamiento de arándanos lowbush (firmeza y fruta comercializable) de la reducción del O₂ presente en la atmósfera (1-5%), aunque éste recién es detectado luego de 28 días de almacenamiento.

2.3.2. Atmósfera Modificada (AM)

La AM es aplicable a cualquier tipo de envase, desde pallets completos a un pequeño envase individual. Sin embargo, es importante mantener los rangos de concentración de los gases dentro de valores que no provoquen daños a la fruta, como manifestación de aromas extraños y de daño fisiológico (Yommi y Godoy, 2002).

Ceponis y Capellini (1983), reportaron que un enfriado relativamente rápido de la fruta, combinado con almacenamiento en atmósferas enriquecidas con CO₂ (5-20%) redujeron el decaimiento de la fruta (*V. corymbosum* L.) en un 50% luego de 14 días de almacenamiento a 2°C y 1, 2 o 3 días de vida mostrador a 21°C. Según ambos autores, la atmósfera enriquecida en CO₂ puede compensar la falta de enfriamiento rápido, reduciendo el decaimiento de la fruta durante el período requerido para enfriarlas en la cámara. Sin embargo, manifiestan que ambos tratamientos deben complementarse, para lograr los mejores resultados.

Hoy en día, ha surgido una nueva tecnología llamada Modified-atmosphere Packaging (MAP), en la cual se utilizan films semipermeables para cubrir la fruta, obteniéndose niveles de O₂- CO₂ similares a los de una atmósfera controlada. Esta es una tecnología fácil de utilizar, ya que no se necesita trabajar con una cámara, sino que se puede lograr la atmósfera deseada, directamente dentro del envase, convirtiéndose un proceso más barato. Los niveles estáticos de O₂ y CO₂ dentro del envase dependen de la permeabilidad del film utilizado y de la tasa de respiración del producto. La que la dependencia de ambos factores de la temperatura, se encuentra determinada por el tipo de film y la fisiología del fruto (Beaundry et al., 1992).

2.3.3. Posibles limitantes o desventajas de ambas tecnologías

Es importante considerar que niveles de O₂ extremadamente bajos o niveles muy altos de CO₂ en la atmósfera, pueden provocar fermentación, generando aromas no deseables en la fruta (Cohen et al., 1990) y daños visibles en los distintos tejidos (Lidster et al., citado por Beaundry, 1999). Existe una interacción importante entre el O₂ y el CO₂, por lo que, a altos niveles de CO₂ el material vegetal se vuelve más sensible a la falta de O₂, siendo mayores los umbrales para que ocurra la fermentación (ocurre aún con niveles mayores de oxígeno en la atmósfera). El proceso fermentativo se inicia a presiones parciales de O₂ mayores, cuanto mayor es la presión parcial del CO₂ en la atmósfera (Beaundry et al., 1992). Para el caso del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), la mínima concentración de O₂ necesaria para evitar estos procesos fermentativos, aumenta de 1,8% a 4%, al pasar de 5 a 25°C. Los mismos autores formulan la hipótesis de que al aumentar la temperatura, la tasa de consumo de O₂ por los tejidos, aumenta más rápidamente que la permeabilidad de la epidermis al dicho gas. A su vez, según Cameron et al., citados por Bretch et al. (2003), la presencia de agua líquida dentro del paquete, debida en parte a la condensación, promueve el desarrollo de pudriciones y bloquea la difusión de O₂ hacia los tejidos y a través del film, favoreciendo procesos fermentativos. Por lo tanto, la fluctuación de temperaturas durante el manejo poscosecha, puede ser particularmente negativa en la tecnología del MAP.

Para evitar la formación de estos tipos de aromas (acetaldehídos, etanol) no deseados es importante conocer la mínima presión parcial de O₂ que no provoca respiración anaerobia. Esta respiración puede ser detectada por el aumento en el punto de quiebre del coeficiente respiratorio (RQ), que se considera como la relación entre la tasa de producción de CO₂ y la tasa de consumo de O₂ (Bretch et al., 2003), estando asociado dicho quiebre con la síntesis de acetaldehídos, etanol y CO₂ (Beaundry et al., 1992). Los valores máximos de RQ se encuentran entre 1,2 y 1,5 (Beaundry et al. 1992, Bretch et al. 2003). Beaundry, citado por Bretch et al. (2003), reportó que los valores de O₂ en el punto RQ para arándano se ubicaban en 6-7% a 15°C, con valores de CO₂ de 5 o 20%. Sin embargo, el punto RQ

aumentaba a 11% y 23% cuando los niveles de CO₂ eran de 40 y 60%, respectivamente.

En conclusión, las bajas concentraciones de O₂ en la atmósfera aumentan en forma importante la sensibilidad al daño por CO₂ de la fruta, causando también estrés respiratorio (si el nivel o la temperatura no se controlan adecuadamente), el cual conlleva a la producción de aromas no deseados (Ehlenfeldt, 2002). A su vez, este mismo autor cita a Prange et al., los cuales almacenaron arándanos durante 42 días a 0% de CO₂ y entre 1 y 5 % de O₂, concluyendo que este último provocaba un aumento importante en la firmeza de la fruta.

En adición al efecto de la temperatura, el CO₂ y el cultivar, la mínima concentración de oxígeno posible en el paquete sin que ocurra fermentación, es también dependiente del tiempo, pero este efecto no ha sido tan estudiado como los anteriores (Bretch et al., 2003).

La producción de ésteres volátiles, los cuales contribuyen a crear los aromas característicos de la fruta, incluyendo la banana, pera, manzana, duraznos, frutillas y arándanos, puede verse afectada por la modificación de la atmósfera (Shamaila et al., citados por Beaundry, 1999). Los compuestos aromáticos que confieren ciertas características a la fruta, son suprimidos por bajos niveles de O₂, en parte por la acción del O₂ sobre el etileno en frutas climatéricas, pero también por el papel del O₂ en procesos oxidativos, incluyendo la respiración.

Harb et al. (1994), demostraron que la producción de ésteres volátiles en manzanas almacenadas en Ultra Low Oxygen (ULO), durante 8 meses era sólo un 15% respecto del control. También detectaron esto en manzanas almacenadas en AC. Estos autores también citan a Hatfield y Patterson, quienes detectaron un 75% de reducción en la producción de compuestos volátiles cuando las manzanas 'Cox Orange' eran almacenadas con 2% de O₂ con o sin 5% de CO₂.

Pérez y Beaundry, citados por Beaundry (1999), reportan que la producción de ésteres en frutilla, un fruto no climatérico, está linealmente

relacionada con la presión parcial de O₂. En pera, existen reportes de una reducción en la producción de α -farmeceno (sesquiterpeno volátil) en atmósferas con poco O₂ y alto CO₂ (Chen et al., citados por Beaundry, 1999). El efecto del CO₂ en la producción de ésteres aún no está claro.

Existen algunos reportes de que el almacenamiento en AC no afecta el contenido de antocianinas de los tejidos externos de la fruta, pero sí provoca una reducción de los antocianos presentes en tejidos internos (Gil et al., citados por Zheng et al., 2003).

Forney et al., citados por Ehlenfeldt (2002), reportaron una incidencia negativa de altas concentraciones de CO₂ (15-25%) sobre la firmeza de frutos de arándano, aunque el control de patologías fue muy bueno. A su vez, la AC es muy cara y, para utilizarla en un contenedor es necesario alcanzar las 3 a 4 toneladas en el mismo, volumen que debe reunirse en un máximo de 2 días.

El MAP es una tecnología más barata y simple, pero presenta un gran problema, siendo incapaz de amortiguar o adaptarse a los cambios de temperatura durante el transporte de la fruta, ya que, si la misma aumenta, puede ocurrir que los niveles de O₂ se reduzcan tanto como para provocar respiración anaeróbica y producción de etanol (Kader et al., citados por Beaundry et al., 1992). Esto hace muy difícil mantener una atmósfera constante dentro del paquete, cuando la temperatura que lo rodea no lo es. Este problema podría ser compensado con la utilización de films balanceados (activos) que presentan una válvula de respuesta a cambios de temperatura, permitiendo una mayor entrada de O₂ a mayores temperaturas (Exama et al., citados por Bretch et al., 2003).

2.3.4. Atmósfera Ionizada (=Ozonizada)

2.3.4.1. Aspectos generales

Otro tipo de tecnología consiste en una modificación activa del aire presente en la cámara, logrando distintos niveles de ozono en la misma. El ozono es un oxidante muy poderoso aún en concentraciones muy bajas (menores a 2 $\mu\text{L/L}$ =2 ppm), siendo muy utilizado como desodorante de ambientes. Es un gas inestable, que se descompone rápidamente. A pesar de esto, puede ser irritante y perjudicial a altas concentraciones (Skog y Chu, 2001). Posee un aroma característico, por lo que niveles del mismo en la atmósfera que puedan llegar a provocar daños importantes, son detectados rápidamente por los trabajadores (Liew y Prange, 1994).

En 1997, en Estados Unidos de América, un panel de expertos analizó la seguridad y el potencial del ozono para su utilización en contacto con alimentos, incluyéndolo en la lista de sustancias reconocidas como seguras: “Generally Recognised as Safe” (GRAS) (Palou et al. 2002, Gram et al., US.-FDA, citados por Palou et al. 2005, Conesa 2005). En 2001 fue aceptado en Estados Unidos de América como aditivo alimentario por la United States Food and Drug Administration (US.-FDA, citado por Palou et al., 2005). Desde entonces, ha crecido en forma muy importante el interés por desarrollar aplicaciones de ozono en la industria alimentaria.

Para el tratamiento de frutas y hortalizas frescas, el ozono se puede utilizar, ya sea en aire o agua, como tratamiento breve de pre-almacenamiento o almacenamiento, o como componente continuo o intermitente de la atmósfera durante almacenamiento o transporte. Estos procedimientos son de gran interés, especialmente porque no dejan ningún tipo de residuo sobre el producto tratado y poseen un período de carencia de 0 día (Sotomayor, 2005).

El Valor de Concentración Límite Umbral-Límite de Exposición de Corta Duración (TLV-STEL) de ozono, establecido por la legislación de Estados Unidos de América (“United States Occupational Safety and Health Administration”, US.-OSHA) es de 0,3 ppm. Este nivel es al cual los

individuos pueden ser expuestos durante 15 minutos sin sufrir daños (irritación u otros efectos agudos). El Valor Límite Umbral-Promediados en el Tiempo (TLV-TWA), es de 0,1 ppm y se define como la concentración de ozono a la que cada individuo puede ser expuesto repetidamente en una jornada laboral de 8 horas (Palou et al. 2002, Conesa 2005, Palou et al. 2005). Según Smilanick et al. (1999), las concentraciones de ozono que realmente matan patógenos exceden las 0,1 ppm establecidas como límite para una jornada de 8 horas. Para la legislación chilena (Sotomayor, 2005), la máxima concentración a la que puede estar expuesto un trabajador durante 8 horas diarias, es de 0,08 ppm.

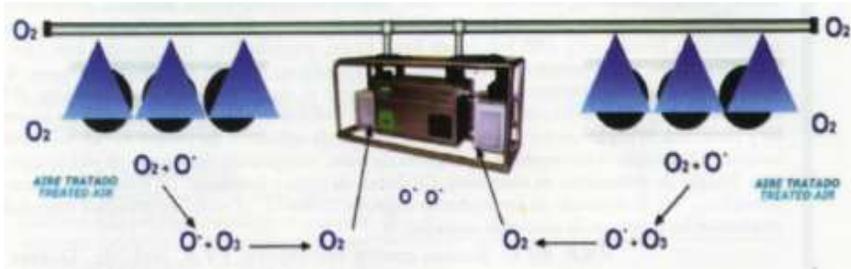
Según Liew y Prange (1994) la concentración de ozono puede ser expresada de dos formas: como el ozono que se libera en la atmósfera (ozono suministrado) o como el ozono residual (concentración medida dentro de la cámara que contiene el producto = concentración suministrada – ozono perdido o reactivo). La concentración residual depende de la concentración suministrada, de la temperatura y la presencia de agentes reactivos en la atmósfera o el agua (materia orgánica, restos vegetales en el agua de lavado, por ejemplo). Altas temperaturas reducen la cantidad de ozono residual.

2.3.4.2. Proceso de generación del ozono

Según Conesa (2005), el uso de generadores tradicionales de ozono conduce a la necesidad de trabajar con concentraciones muy elevadas de ozono en la atmósfera, que pueden ser dañinas para la fruta y la salud de las personas que entran en contacto con el mismo. Como alternativa a la utilización de esta tecnología, se han desarrollado equipos de generación de oxígeno ionizado, en los cuales, el producto que se genera es iones oxígeno (figura 6). Estos iones se caracterizan por tener un tiempo de vida muy reducido, debido a su alta reactividad. El equipo se compone de una turbina que hace que la totalidad del aire en la cámara pase por el reactor, donde se produce una descarga eléctrica que ioniza el oxígeno del aire, formando iones $O^{\cdot-}$ que se difunden a través de los ventiladores propios de la cámara (figura 7). Según este autor, el oxígeno ionizado actúa tal sobre la materia orgánica y moléculas suspendidas en el aire, aunque también se

produce una concentración de ozono residual como consecuencia de la combinación de los iones con el O_2 del aire, siendo el que ayuda a mantener la higienización del aire en la cámara.

Figura 6. Esquema de funcionamiento del equipo generador de oxígeno ionizado.



Fuente: Conesa (2005).

Figura 7. Cámara con ionizador instalado



Fuente: De la Maza y Santini (2004).

2.3.4.3. Efectos del ionizado en la calidad de la fruta

Conesa (2005), reporta un doble efecto del oxígeno ionizado:

- 1). Destrucción por oxidación de la materia orgánica suspendida en el aire, entre la que se encuentran esporas de hongos, bacterias, etc.
- 2). Destrucción de moléculas de etileno presentes en el aire.

Zhang et al. (2005), reportan que los tratamientos con ozono (0,5 horas cada 10 días, 300 mg/m³) reducen la tasa respiratoria de las frutas (jujuba cv. Zanhua Dong) almacenadas a -2°C y humedad adecuada, durante 140 días, inhibiendo la actividad de la amilasa y la ácido ascórbico oxidasa (ascorbato oxidasa), limitando la degradación de almidón y ácido ascórbico, así como la incidencia de podredumbres y la pérdida de firmeza.

Según Gibson et al., Rice et al., citados por Liew y Prange (1994), el ozono es efectivo en el control de patógenos microbianos y fúngicos en productos almacenados como por ejemplo, queso, frutillas, frambuesas, bananas y papas. Sin embargo, ambos citan otros trabajos en los cuales el ozono fue perjudicial para el almacenamiento de distintas frutas (manzanas, cranberries, maíz y cereales).

El oxígeno ionizado (ozono y otros compuestos en el aire), según Ristow et al. (2005), posee acción fungicida y fungistática, retrasando la madurez y la deshidratación de la fruta. Sin embargo, los mismos autores, trabajando con arándanos ojo de conejo (*V. ashei*) cv. 'Bluebelle' en condiciones de oxígeno ionizado (0,05-0,09 ppm) 0-1°C y 90-95% de HR, por períodos de conservación de 12, 24 y 36 días, no detectaron diferencias (con excepción del peso) en cuanto a sólidos solubles, acidez titulable, ratio, podredumbres y pH, entre la atmósfera común y la atmósfera ionizada.

Guarinoni et al. (2001), evaluaron el efecto de la atmósfera ionizada en la conservación de duraznos cv. Flavor Crest y cv. Dixiland (25 días), ciruelas cv. Santa Rosa (20 días) y pera cv. William's. En duraznos no se obtuvieron diferencias significativas en el mantenimiento de la calidad. En ciruelas, se observó una menor pérdida de peso y una mayor firmeza de fruto, para aquellas almacenadas en atmósfera ionizada. En pera, los frutos conservados en atmósfera ionizada permanecieron con calidad comercial durante 90 días, mientras que los conservados en atmósfera normal mantuvieron su calidad durante 56 días. También se detectó un menor desarrollo de *Monilinia fructicola* en duraznos Flavor Crest almacenados en atmósfera ionizada, aunque no existieron diferencias significativas entre tratamientos para Dixiland y ciruelas Santa Rosa. En pera se detectó una importante contención en el crecimiento de *Penicillium* spp.

En un trabajo realizado en el INIA Las Brujas por Feippe y Mafio (2002), se determinó que la disminución de la firmeza y la variación del color de fondo eran más lentas cuando la fruta (duraznos cv. Flavor Crest) se encontraba almacenada en atmósfera ionizada. También reportaron una menor incidencia de *Monilinia fructicola* en esta fruta al ser comparada con el testigo (atmósfera normal).

En un estudio realizado en Chile por Pinilla et al. (1998), se determinó que el oxígeno ionizado redujo significativamente el tamaño de las lesiones, la incidencia de pudriciones, pérdida de peso y mantuvo mejor la firmeza y el color de fondo que el testigo en manzanas cv. Richard Red a 0°C durante 3 meses. Pinilla y Álvarez, citados por Sotomayor (2005), reportan una reducción de un 23,3% en las lesiones de kiwis inoculados artificialmente, en cámaras de atmósfera controlada + ionizada, en comparación con el testigo (atmósfera controlada), luego de 6 meses de almacenamiento en frío.

Sotomayor y Rivera, citados por Sotomayor (2005), demostraron que el tratamiento testigo (frío convencional) presentaba un 25% de la muestra de frutos inoculados artificialmente con pudrición, luego de 20 días de almacenamiento; en contraste, el tratamiento con oxígeno ionizado (frío convencional + ionizado) no registró incidencia de pudriciones hasta los 60 días, manifestándose una reducción de un 31% en la proporción de frutos podridos a igual fecha.

Según Krause y Weidensaul (1977), una concentración de 0,3 ppm de ozono en la atmósfera durante dos períodos de 6 horas, inhibió de forma significativa la esporulación *in vitro* y la germinación de *Botrytis cinerea*. En cambio, en los experimentos realizados por Spalding, citado por Palou et al. (2005), la exposición continua durante 6 días a 15°C, con 0,5 ppm de ozono no controló la podredumbre gris causada por *Botrytis*. En esta misma línea, experimentos realizados por Liew y Prange (1994), con zanahorias tratadas, demuestran que la acción del ozono sobre *B. cinerea* es fungistática y no fungicida. Estos mismos autores manifiestan que 15 ppm de ozono durante 8h/día a 2°C provee protección contra la incidencia de

enfermedades poscosecha con mínimo daño físico y fisiológico en zanahoria.

Pérez et al. (1999), comprobaron la efectividad del ozono (0,35ppm) en prevenir el crecimiento de hongos en frutilla luego de 3 días de almacenamiento a 2°C y 90% HR y 2 días a 20°C. En cambio, cuando la fruta totalizaba los 4 días a 20°C la incidencia de *B. cinerea* era mayor en frutas tratadas que en no tratadas, con tasas similares de crecimiento del hongo en ambos tratamientos.

En los experimentos realizados por Palou et al. (2005), la incidencia de la podredumbre marrón en durazneros, causada por *Monilinia fructicola* en duraznos 'Elegant Lady' inoculados, fue significativamente menor luego de 14 días a 15°C y 0,3 ppm de ozono, pero no luego de 21 o 28 días en las mismas condiciones, en comparación con la de aquellos mantenidos el mismo período en atmósfera normal. En el mismo estudio, se determinó la incidencia y severidad del ataque de la podredumbre gris, provocada por *Mucor*, no existiendo diferencias entre ambos tratamientos. Los mismos autores afirman que la exposición continua al ozono, a una concentración de 0,3 ppm, afecta fuertemente el crecimiento miceliar externo y la esporulación de todos los patógenos evaluados. Según la evaluación visual, *M. fructicola* no desarrolló micelio aéreo durante todo el período de 28 días de conservación en atmósfera ozonizada. También evaluaron la producción de etileno en ambas atmósferas, no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos. Estos autores comprueban que la exposición al ozono gaseoso evitaría la formación de nidos que se produce cuando las podredumbres se extienden, pasando de la fruta infectada a la sana adyacente. El ozono sería capaz de reducir la carga de esporas patógenas en el ambiente de las cámaras de conservación, inhibiendo el crecimiento superficial de los mohos en embalajes, paredes y suelos de las cámaras, con la consecuente reducción en la cantidad de inóculo disponible para re-infecciones del producto almacenado. Los resultados obtenidos por este equipo mostraron un efecto sinérgico entre la ozonización (0,3 ppm) y la baja temperatura (5°C), en la prevención del crecimiento miceliar aéreo, la formación de nidos y la esporulación, aunque no puede garantizarse un resultado análogo con una temperatura más elevada.

Jin et al., citados por Palou et al. (2005), concluyeron que en tomates y mandarinas expuestos a ozono y a iones oxígeno, se retrasaba la senescencia del fruto, se reducía la intensidad respiratoria y disminuía la tasa de emisión de etileno.

Renzo et al. (2005), reportan en fruta cítrica, un efecto sinérgico entre el ozono (0,25ppm) y los baños previos con hipoclorito de sodio, en la inhibición del crecimiento del micelio y prevención de la esporulación en cítricos inoculados con *Penicillium*, no detectándose el mismo efecto en frutas no lavadas previamente. El ozono también puede reducir la carga de esporas de patógenos en las cámaras de almacenamiento y evitar el crecimiento del hongo en el material de empaque o embalaje. Estos autores también reportan una menor pérdida de peso y un envejecimiento más lento para la fruta almacenada en atmósfera ozonizada (8 semanas a 5°C y 90-95% HR).

Según Palou et al. (2002), no existieron diferencias en la incidencia de *Botrytis cinerea* en la uva 'Thompson Seedless' inoculada y almacenada a 5°C, entre el control y la fruta que se encontraba a 0,3 ppm de ozono. También detectaron cierta prevención en la aparición de "nidos" del hongo en cámara, aunque el hongo creció rápidamente en aquellos racimos que permanecieron bajo condiciones ambientales a 20°C durante 7 días. Estos mismos autores manifiestan que el ozono a 0,3 ppm no es efectivo en reducir la incidencia de *Botrytis cinerea* durante el almacenamiento en frío de uvas de mesa, cuando el inóculo del hongo es aplicado directamente en el racimo.

Según Skog y Chu (2001), el ozono en la atmósfera redujo en forma importante el nivel de etileno para manzanas y peras almacenadas. El nivel del gas en la atmósfera ozonizada (0,4 ppm) fue menor que 1ppm durante los primeros 20 días, siendo menor a 2 ppm para el resto del período (107 días). Por otro lado, el nivel de etileno en la cámara con frutas almacenadas en atmósfera normal fue de 25 ppm al final del período de almacenamiento (107 días). Según estos autores, el ozono en el aire es capaz de reducir el contenido de etileno en la atmósfera, no existiendo diferencias en el nivel

de etileno interno, entre las frutas almacenadas en atmósfera normal y aquellas en atmósfera ozonizada. Esto lleva a pensar que el etileno estaría siendo oxidado en el aire, al entrar en contacto con el ozono, no existiendo ningún efecto sobre su producción en la fruta. De esta forma, estos autores argumentan que la utilización de atmósferas ozonizadas puede ser muy útil para aquellos frutos que producen poco etileno pero son muy sensibles al mismo.

Según Kute et al., citados por Skog y Chu (2001), el nivel de sólidos solubles fue mayor para aquellas frutillas tratadas con ozono una semana (0,3 o 0,7 ppm) y luego almacenada, mientras que el nivel de ácido ascórbico no se vio afectado. Sin embargo, varios autores (Luwe et al., Ramieri et al., citados por Pérez et al., 1999) reportan un aumento del ácido ascórbico en respuesta al ozono. Según estos autores, los cambios en el contenido de azúcares y ácido ascórbico (vitamina C) en las frutas tratadas con ozono, pueden ser el resultado de un sistema antioxidativo que promueva la biosíntesis de dicha vitamina a partir de las reservas de carbohidratos en la fruta.

Según Norton et al. (1968), las concentraciones de 0,27 y 0,6 ppm de ozono no fueron efectivas en extender el período de almacenamiento en cranberries almacenados a 4°C.

Es importante tener en cuenta que los distintos tipos de envases (cajas de cartón, bolsas de polietileno) podrían impedir el paso del gas y su contacto efectivo con los frutos. Investigaciones en ese sentido realizadas por Palou et al., citados por Palou et al. (2005), confirman la incapacidad del gas para traspasar cartones y plásticos.

2.3.4.1. Limitantes o desventajas de esta tecnología

La concentración de ozono en una cámara de conservación es muy dependiente de las condiciones ambientales y de la carga de fruta, de manera que decrece con rapidez al aumentar la temperatura, la humedad o la carga (Palou et al., 2005).

Crisoto et al. (1993), reportaron que concentraciones elevadas de ozono en la atmósfera (0,1 ppm) durante el crecimiento del fruto en el campo, incrementaron en ciruelas (*Prunus salicina* Lindel) la pérdida de peso en poscosecha, no afectando la calidad interna ni la incidencia de descomposición interna.

Según la figura 8, los duraznos 'Zee Lady' expuestos a 0,3 ppm de ozono a 5°C y 90% de HR durante 6 semanas, perdieron más peso que los duraznos almacenados en un ambiente no ozonizado (Palou et al., 2005). Esta pérdida de peso sólo fue significativamente mayor a partir de la quinta semana de almacenamiento en atmósfera ozonizada. Por otro lado, las 0,3 ppm de ozono en la atmósfera no afectaron la pérdida de peso luego de 7 días a 20°C y 90% HR. Estos autores manifiestan que pudo haber existido un daño en la cutícula y/o el tejido epidérmico del fruto. También se ha mencionado un posible efecto del ozono sobre la membrana celular, provocando peroxidación de los lípidos que la componen, siendo la misma sensible al compuesto (Liew y Prange, 1994).

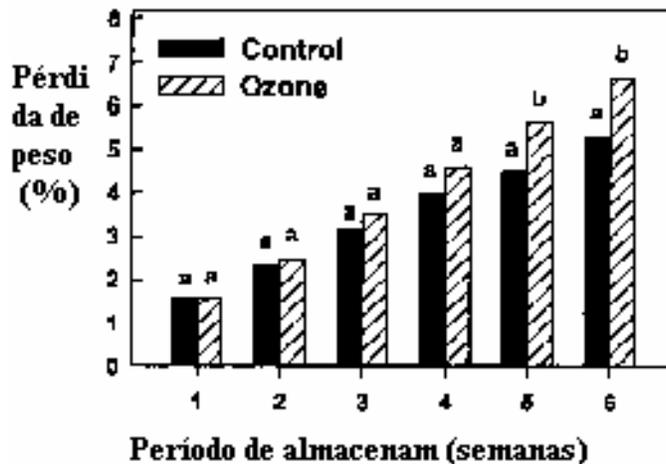
Según Norton et al. (1968), el ozono (0,27 ppm) provocó una mayor pérdida de peso en cranberries almacenados 8 semanas a 4°C durante las últimas 4 semanas de almacenamiento, no afectando la incidencia de podredumbres. En otro experimento realizado por los mismos autores, 0,6 ppm de ozono en cranberries almacenados a 15,5°C provocó un 200% de aumento de pérdida de peso y un 100% más de incidencia de pudriciones en relación al control, resaltando la importancia de mantener controlada la temperatura para evitar efectos perjudiciales del ozono en la fruta. Los mismos autores explican dicho efecto al constatar una reducción del 25% en el peso de los lípidos en la cutícula, detectando una degradación temprana de los mismos al generarse agua oxigenada (H₂O₂) por hidrólisis del ozono.

El H₂O₂ degrada glicéridos y ácidos grasos, transformándolos en CO₂ y agua (Stumpf, citado por Norton et al., 1968).

Según Norton et al. (1968), lo anterior acarrea consecuencias:

- 1) Aumento de la permeabilidad de la superficie de la fruta, provocando un mayor intercambio de humedad con el ambiente, siendo mayor la pérdida de peso registrada.
- 2) Aumento marcado en el deterioro de la baya, provocando una mayor incidencia de podredumbres.

Figura 8. Porcentaje semanal de pérdida de peso en duraznos 'Zee Lady' almacenados durante 6 semanas a 5°C y 90%HR en aire (control) y bajo 0,3 ppm de ozono.



Fuente: Palou et al. (2005).

Según Palou et al. (2002), trabajando con uvas 'Flame Seedless', no observaron diferencias en la pérdida de peso entre el control y la fruta expuesta a 0,3 ppm de ozono, luego de 4 semanas a 5°C y 90% de HR.

Liew y Prange (1994), trabajando con zanahorias reportaron que el ozono no afectó el peso de las raíces. Song et al. (2003), trabajando también con zanahorias, almacenadas con una concentración de ozono de 1,0 ppm durante 2 y 4 días a 10°C, reportan que el mismo provocó daños severos en

el tejido, resultando en una mayor incidencia de patógenos (65%), luego de 24 semanas de almacenamiento en atmósfera normal a 0°C.

Se ha observado también la incapacidad del ozono gaseoso o en agua para controlar los patógenos presentes en heridas de la piel o bajo la superficie del fruto (infecciones de campo) en uva de mesa (Shimuzu et al., citados por Palou et al., 2005), manzanas (Schomer y Mc-Colloch, citados por Palou et al., 2005), peras (Spotts y Cervantes, citados por Palou et al., 2005), cítricos (Smilanick et al., 1999) y otros frutos (Ogawa et al. 1990, Spalding, citado por Palou et al. 2005). Al parecer, argumentan que las estructuras del hongo en las heridas permanecen protegidas el efecto oxidante del ozono, posiblemente, debido a una penetración deficiente del mismo, a una interacción del ozono con el tejido del fruto o componentes superficiales del mismo que reducen la concentración eficaz del gas y/o a la presencia de antioxidantes. Es importante recordar que la mayoría de las enfermedades de pos-recolección de importancia económica se inician por infecciones en heridas superficiales del fruto o por infecciones latentes, por lo tanto, estos autores argumentan que el ozono no podría ser sustituto de los tratamiento fungicidas que se aplican actualmente (Palou et al., 2005).

Spalding, citado por Palou et al. (2005), reportó que concentraciones de 0,9 ppm provocan fitotoxicidad en la piel de los duraznos (manchas marrones superficiales de pequeño diámetro), no ocurriendo esto con concentraciones de 0,5 ppm. Algunos autores han reportado, también, un efecto del ozono sobre la calidad de la fruta. Pérez et al. (1999), mencionan un efecto detrimental del gas (0,35 ppm) en el aroma de frutillas almacenadas durante 3 días a 2°C y 90% HR y 2 días a 20°C, contabilizando una reducción del 40% en la emisión de ésteres volátiles en aquellas frutas ozonizadas, pudiendo ser este un efecto no reversible sobre la capacidad de producir compuestos volátiles de la fruta. Este efecto no está explicado por una reducción en la actividad de las enzimas relacionadas con su biosíntesis (Pérez et al., 1999) sino que puede existir una alteración física de la superficie de la fruta como pueden ser las diferencias detectadas por Crisoto et al. (1993), en la deposición de cera (mayor cantidad de poros en la cutícula de ciruelas que crecieron con ozono) y el grosor de la cutícula (cutículas más gruesas para frutas que

crecieron en aire, sin ozono). Pérez et al. (1999), también reportaron una reducción en la concentración de antocianinas en la piel, registrando valores de $639,08 \pm 11,01$ mg/g de peso fresco, para la fruta sometida al ozono y $811,34 \pm 6,81$ mg/g de peso fresco, para la fruta en atmósfera normal, luego de 3 días a 2°C.

Para Pérez et al. (1999), el contenido de sacarosa fue menor en frutillas tratadas con 0,35 ppm de ozono que en aquellas no tratadas. Sin embargo, esta reducción no se correspondió con una alta acumulación de glucosa y fructosa, por lo que estos autores concluyen que, probablemente estos bajos contenidos de los tres glúcidos, puedan estar explicados por la activación de otras vías de degradación de la sacarosa en respuesta al estrés oxidativo provocado por el ozono. Estos autores citan a Sanderman et al., quienes afirman que el ozono presenta un gran potencial fitotóxico, que desencadena respuestas de defensa en la planta. Schrauchner et al., citados por Pérez et al. (1999), mencionan que los radicales derivados del ozono serían sustituidos por moléculas antioxidantes de bajo peso molecular como son el ácido ascórbico y las poliaminas.

Según Schomer y McColloch, citados por Skog y Chu (2001), el ozono no controló la escaldadura en manzana, aunque puede reducir en parte su desarrollo. Skog y Chu (2001), reportaron que luego de 107 días de almacenamiento a 0,4 ppm de ozono, a 0°C y 7 días a 20°C, no existieron diferencias significativas en la firmeza, sólidos solubles totales, Acidez titulable o índice de escaldadura entre las manzanas en esta atmósfera y aquellas en atmósfera normal. En el caso de las peras, luego de 107 días de almacenamiento a 0°C y 3 días a 20°C no se comprobaron diferencias en la firmeza y los sólidos solubles totales entre ambos tratamientos. Estos autores también reportaron que no existieron diferencias en cuanto al deterioro de la calidad entre ambas atmósferas en peras y manzanas.

Según Pérez et al. (1999), no existieron diferencias en el contenido de ácido málico y cítrico entre frutillas almacenadas 3 días a 2°C (90%HR) con ozono (0,35 ppm) y frutillas almacenadas en las mismas condiciones en atmósfera normal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL Y COSECHA

El 17 de Noviembre de 2005 fueron cosechados los frutos de arándano de la variedad O'Neal, de un cultivo comercial perteneciente al Ing. Agr. Enrique Muné, ubicado en el km 42 de la ruta 49, Las Brujas, Canelones. Esta variedad fue seleccionada por ser la más plantada en el país y presentar una vida poscosecha relativamente corta en comparación con otras variedades (Serri, 2005).

El momento de cosecha coincidió con el pico de cosecha comercial de la quinta para esta variedad, obteniéndose toda la cantidad de fruta necesaria para el ensayo en el mismo momento, en las 2 horas de cosecha y empaque, durante la mañana (figura 9). Las condiciones de cosecha y clasificación fueron las comúnmente utilizadas por los operarios del establecimiento.

Figura 9. Momento de la cosecha



El indicador de cosecha fue el que utiliza el productor comercialmente, cosechando fruta con un 100% azul-negro (figura 10). La fruta fue clasificada por tamaño y defectos visibles, siendo colocada en petacas de polietileno tereftalato (PET), de unos 136 g promedio cada una.

Figura 10. Escala visual de maduración



En el momento de cosecha la temperatura del aire registrada fue de 28°C y la humedad relativa ambiente de 50%. La temperatura de pulpa promedio en el momento de la cosecha fue de 21,9 °C (siendo los extremos de 23 y 20,8°C), medida con un termómetro para pulpa (VEi 300AC). Las

petacas fueron transportadas a las cámaras de frío, sin haber recibido ningún tratamiento de pre-enfriado.

3.2. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Los tratamientos consistieron en la conservación de las bayas en dos sistemas de almacenamiento: atmósfera regular (normal: an) y atmósfera ionizada (ai). Las condiciones ambientales establecidas en ambas cámaras fueron de $0,5 \pm 1$ °C y $95 \pm 3,5$ % de humedad relativa. Estas condiciones, tanto dentro de la cámara como en el almacenamiento de la fruta durante la vida mostrador fueron registradas durante todo el período de conservación y vida mostrador, en intervalos de una hora, utilizando sensores HOB0®H8 (Pro Series logger Onset Computer Corporation, RS-232).

Se utilizaron las cámaras de almacenamiento instaladas en el INIA-Las Brujas, correspondiendo al tratamiento en atmósfera normal la cámara de 12m^3 y la acondicionada para la ionización de 14m^3 .

El equipo de ionización de aire correspondió al modelo OP32 de Interzone S.A. Se midió la concentración de ozono en la atmósfera con un medidor Dragter, modelo 31 (TUV 12 Rg 6 017), con un volumen de 100cm^3 y un límite mínimo de detección de 0,05 ppm, midiendo hasta 0,7 ppm (figura 11). La concentración de ozono en la cámara fue de 0,1 ppm.

Figura 11. Medidor del nivel de ozono en cámara



3.3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

3.3.1. Propiedades físicas evaluadas

3.3.1.1. Color de las bayas

Se determinó el color de 20 frutos por repetición, seleccionado al azar, mediante el sistema CIE – $L^*a^*b^*$ utilizando un colorímetro CR-10 (Minolta, Co. Japón, iluminante 8/d). En cada baya se midió el color sobre la región de la cicatriz del pedúnculo y en el lado opuesto.

Se determinaron los valores de luminosidad (L^* desde 0 = negro a 100 = blanco) y los valores de a^* ($-a^*$ = verde a a^* = rojo) y b^* ($+b^*$ = amarillo a $-b^*$ = azul). Los valores a^* y b^* fueron utilizados para calcular el ángulo Hue ($h^\circ = \arctangente(b^*/a^*) + 180$ (si el valor de a^* es negativo) y el Chroma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$). El h° se corresponde con 0° = rojo-púrpura, 90° = amarillo, 180° = verde y 270° = azul (McGuire, citado por Zheng et al., 2003).

3.3.1.2. Evaluación de propiedades texturales

Se seleccionaron al azar 20 frutos por repetición, para determinar la firmeza utilizando un Texturómetro Analyser, TA-XT2i, Stable Mycro Systems, Godalming, UK. Se utilizó un puntero cilíndrico de base plana, de 3mm de diámetro (figura 12). Se realizaron dos penetraciones consecutivas, estableciendo las condiciones de entrada y salida a una velocidad de 5 mm/s, hasta una profundidad de 5 mm. Los valores de cada fuerza (1 y 2) serán expresados en Newton (N). Dentro del perfil de firmeza se consideraron los dos puntos de máxima fuerza.

Se calcularon parámetros que hacen a la sensación de consumidor al masticar la fruta, definidos por Bourne (2002):

Firmeza (N): término equivalente a la dureza de la fuerza (F_2), correspondiéndose con la máxima fuerza necesaria para deformar la superficie de la fruta una distancia de 5 mm, a una velocidad controlada, 5 mm/s.

Elasticidad: Se calculó como:

E: [distancia desde el inicio de la segunda compresión hasta la máxima fuerza de la misma (d1) / distancia desde el inicio de la primera compresión hasta la máxima fuerza de la misma (d2)]. Ambas son estimadas como un tiempo por el texturómetro.

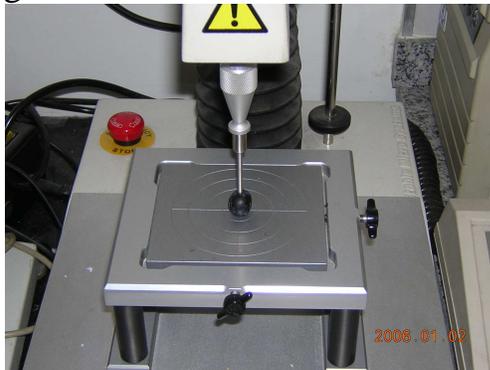
Cohesividad: Está representado por el cociente entre las áreas (trabajo realizado) de la segunda y la primera compresión:

$$\text{Coh} = (A_1/A_2) \text{ ó } (\text{Trabajo1}/ \text{Trabajo2})$$

Masticabilidad (N): este parámetro solo es aplicable para productos sólidos y se calcula como:

$$M = \text{Elasticidad} * F_2 \text{ (fuerza de la primera compresión o firmeza)}$$

Figura 12. Puntero del texturómetro utilizado



3.3.1.3. Pérdida de peso

Las petacas conteniendo la fruta fueron pesadas en el momento de cosecha utilizando una balanza digital (A & D Co. Ltd., EK-1200, Japón, $\pm 0,1\text{g}$). Cada petaca fue pesada nuevamente, previo al análisis, calculándose el porcentaje de pérdida de peso respecto del peso inicial.

$$[(\text{Peso inicial}-\text{Peso final}) / \text{Peso inicial}] * 100$$

3.3.1.4. Peso comercial por petaca

Se calculó el peso de los frutos comercializables por petaca en cada fecha, descartando aquellos deshidratados o con patologías.

(Peso de la petaca – peso de frutos no comercializables)

3.3.1.5. Número de frutos y peso promedio según calibre

Se contabilizó el número de frutos presentes por calibre, utilizando un calibrador manual de plástico con orificios de distinto diámetro, ideado para este fin. Se registró el peso del total de frutos en cada calibre y se calculó el peso promedio de la fruta, según calibre (figura 13). Las frutas fueron clasificadas en 3 categorías de calibre (diámetro en la zona ecuatorial): chico (<13 mm), mediano (14-16 mm) y grande (17-19 mm).

Figura 13. Clasificación por calibre



3.3.2. Propiedades químicas evaluadas

3.3.2.1. Porcentaje de jugo

Se realizaron dos análisis por repetición, utilizando las 20 frutas de análisis de firmeza y otros 20 frutos seleccionados al azar de la misma petaca (repetición). Se pesaron los frutos, se realizó el jugo utilizando una juguera doméstica, pesándose el jugo obtenido. Se calculó el porcentaje de jugo como el peso del jugo en relación al peso de la fruta.

3.3.2.2. Sólidos solubles totales

Del jugo obtenido en el paso anterior se colocó una cucharadita del mismo en un papel de filtro para medir los sólidos solubles totales, utilizando un refractómetro manual marca ATAGO ATC-1E, de temperatura autocompensada. Los valores fueron expresados en °Brix (g sacarosa/100 g de solución).

3.3.2.3. Acidez Titulable y pH

En el jugo se midió el pH utilizando un Peachímetro digital (marca COLE PALMER, modelo Digi-sense ®) con un electrodo Radiometer Analytical (PH C3031-9) (figura 14).

El jugo se filtró a través de un trozo de algodón, agregándole 20 ml de agua destilada para facilitar la eliminación de restos de pulpa y semillas que dificultarán posteriores evaluaciones. Se titularon 10 ml del jugo filtrado, utilizando como base NaOH 0,1 N, como reactivo fenoftaleína, valorándose el gasto con una bureta digital (Brinkman-Brand) de 50 ml. Los valores de acidez se expresaron en gramos de ácido cítrico /100ml de jugo. En base a la masa molar del ácido cítrico se realiza una multiplicación del gasto obtenido en ml (Gasto) NaOH 0,1 N x 0,064 (Masa equivalente del ácido cítrico = 64 g/eq.; expresándolo en g/100ml).

Figura 14. Peachímetro, refractómetro y jugo en filtración



3.4. ALTERACIONES PATOLÓGICAS, FISIOLÓGICAS Y MECÁNICAS

Los frutos fueron clasificados en base a su calibre, evaluándose el número de frutas con incidencia de patologías (figura 15), deshidratación o daños mecánicos dentro de cada calibre. A su vez, aquellos frutos deshidratados dentro de cada calibre, fueron pesados con la balanza digital descrita anteriormente, para evaluar el peso perdido en cada calibre por efecto de la deshidratación de las bayas. Se utilizó una escala de tres categorías de deshidratación (1,2 y 3) según su severidad (figura 16).

Figura 15. Deshidratado y pudrición



Figura 16. Escala de deshidratación



3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental utilizado fue de parcelas distribuidas completamente al azar. Los tratamientos consistieron en dos tecnologías de almacenamiento (an y ai) y sus correspondientes dos momentos de análisis: inmediatamente a la salida de la cámara (0) y luego de dos días de vida mostrador (2). La vida mostrador consistió en dos días en condiciones de 20°C y 83% de humedad relativa promedio, luego de salida de cámara. Para cada tratamiento se evaluaron 5 tiempos de conservación en las fechas de salida de cámara que se presentan a continuación:

Fecha 0 (cosecha)- 17 de Noviembre de 2005

Fecha 1 (7 días desde cosecha)- 25 de Noviembre de 2005

Fecha 2 (14 días)- 02 de Diciembre de 2005

Fecha 3 (21 días)- 09 de Diciembre de 2005

Fecha 4 (28 días)- 16 de Diciembre de 2005

Fecha 5 (35 días)- 23 de Diciembre de 2005

Se evaluaron 4 repeticiones por tratamiento y tiempo de conservación, siendo la unidad experimental utilizada una petaca para el caso de las variables pérdida de peso y las alteraciones mecánicas, patológicas y fisiológicas. Para las variables color, firmeza, porcentaje de jugo, sólidos solubles, acidez titulable, ratio y pH fueron utilizados 20 frutos por repetición.

Los resultados se analizaron como un arreglo factorial de 2 por 2, utilizando el programa estadístico SAS (1997). Las variables continuas color, firmeza, porcentaje de jugo, sólidos solubles, acidez, ratio, pH, peso, peso comercial, peso deshidratado y pérdida de peso se analizaron según el Modelo Lineal Generalizado (GLM proc. de SAS, 1997) y la diferencia de medias mediante el test de Tukey (nivel de significancia de 0,05). Para el caso de proporción de frutos deshidratados, con pudriciones u otros desórdenes, ya sea sobre el total de la petaca o sobre el total del descarte evaluado por tratamiento, se analizaron según razón de verosimilitud, a través del Modelo Lineal Generalizado (GENMOD proc. de SAS, 1997).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CALIDAD EXTERNA Y PROPIEDADES TEXTURALES

4.1.1. Evolución del color de las bayas

4.1.1.1. Evolución de los valores de a*, b* y L* (brillo)

En el momento de la cosecha, los valores de a* (0,11) y b*(3,32), tienden a colores rojos (+a) y amarillo-azulados (+b). Luego de 2 días de vida mostrador, la coloración rojiza se acerca un poco más hacia el color verde (-a) (cuadro 3). El ángulo hue obtenido en la zona del cáliz y la cicatriz peduncular fue de 94,2, aumentando el mismo luego de 2 días de vida mostrador. La saturación en cosecha fue de 3,5, no modificándose luego de 2 días de vida mostrador, al igual que el brillo, el cual se situó en 30,0 y 30,2 en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador, respectivamente (cuadro 3). Valores similares de a* (0,15 a -0,5), b* (-2,0 a -4,0), chroma (2,2 a 3,9) y ángulo hue (82 a 88), fueron obtenidos por Moreno et al. (2007). La luminosidad reportada por estos autores fue menor (15-19).

Cuadro 3. Valores de a*, b*, brillo (L*), tonalidad (hue) y saturación (chroma) en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.

Momento	a*	b*	L*	Ángulo hue (°)	Chroma
0	0,11 a	3,32	30,2	94,2 b	3,5
2	-0,54 b	3,17	30,0	104,5 a	3,3
P	<0,0001	0,32	0,31	<0,0001	0,148
CV	45,4	40,7	6,2	20,9	36,9
Error Estándar	0,94	1,7	0,42	4,65	0,28

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

Durante el almacenamiento, el valor del a* fue más negativo para la fruta en atmósfera ionizada (-0,53 a -0,81) que para la fruta en atmósfera normal (-0,34 a -0,55), corroborándose esto en todas las fechas, con excepción del muestreo realizado a los 7 días desde cosecha (cuadro 4).

Esto sugiere que la coloración se acerca más a los tonos verdosos (-a*), aunque dicha influencia no es muy marcada, ya que se mantiene también cerca del rojo (+a*) (figura 17, anexos). A partir de los 21 días de almacenamiento, ocurre lo mismo con la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador, siendo los valores de a* más negativos (-0,93 a -0,68) que para la fruta analizada en salida de cámara (-0,11 a -0,57) (cuadro 4).

Cuadro 4. Valor de a* para cada tratamiento y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)				
	7	14	21	28	35
ai	-0,35	-0,53 b	-0,67 b	-0,67 b	-0,81 b
an	-0,30	-0,34 a	-0,36 a	-0,46 a	-0,55 a
0	0,03 A	-0,26 A	-0,11 A	-0,48 A	-0,57 A
2	-0,67 B	-0,61 B	-0,93 B	-0,65 B	-0,78 B
P (trat x mom)	0,062	0,61	0,019*	0,49	0,0006*
P trat	0,52	0,0032	<0,0001	0,0027	<0,0001
P mom	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,012	0,0007
CV	296	179,6	182,2	155,2	114,7
Error Estándar	0,46	0,31	0,44	0,38	0,3

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

* Interacciones en anexos (cuadro 28).

No se detectaron diferencias en el valor de b*, entre la fruta almacenada en una u otra atmósfera, entre los 14 y 35 días de almacenamiento. Los valores de b* a lo largo del período de almacenamiento se situaron entre 3,27 en cosecha y 2,44 luego de 35 días de almacenamiento (cuadros 29 y 30, anexos), tendiendo durante este período, hacia coloraciones más azuladas (-b*) (figura 17, anexos).

En cosecha, el valor de L* fue de 30,0 (cuadro 3), finalizando luego de 35 días de almacenamiento, en 31,5. Esto refleja una tendencia al aumento durante el almacenamiento. Resultados similares fueron reportados en la variedad 'Centurion' (*Vaccinium ashei* R.), con valores de L de 30,5 en cosecha y de 30,9 (significativamente diferentes P<0,05), luego de 28

días de almacenamiento (1,5°C y 98% HR)¹. Esta tendencia al incremento en la luminosidad o brillo de los frutos durante la conservación, podría deberse a una disminución en la pruina que recubre su epidermis. Esto concuerda con la hipótesis de De la Fuente et al. (2004), quienes evaluaron el efecto del calcio aplicado pre cosecha sobre el color de frutos de arándano (*V. corymbosum* L.) almacenados a $2 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 56 días, asociando la evolución del brillo a una reducción en el contenido de pruina. A los 7 días desde cosecha, el brillo es menor para la fruta almacenada en ai (30,4) en comparación con la fruta en an (31,1) (cuadro 6). Esto podría sugerir una mayor retención de la pruina para la fruta en atmósfera ionizada. Sin embargo, este efecto no se mantiene en las siguientes fechas de evaluación (cuadros 5 y 6). Tampoco se registran diferencias, en la mayoría de las fechas, entre la fruta evaluada en salida de cámara y luego de 2 días de vida mostrador, con excepción del muestreo a los 28 días (cuadro 5).

Cuadro 5. L* (luminosidad o brillo) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días) según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)		
	21 días	28 días	35 días
ai	31,5	31,5	31,6
an	31,3	31,2	31,2
0	31,2	31,6 a	31,5
2	31,6	31,1 b	31,5
P (trat x mom)	0,748	0,126	0,073
P trat	0,33	0,12	0,074
Pmom	0,061	0,013	0,967
CV	6,68	6,8	6,9
Error Estándar	0,467	0,476	0,487

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 6. L* (luminosidad o brillo) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días), según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	Período de almacenamiento (días)	
		7 días	14 días
ai	0	30,4 b	31,0 a
an	0	31,1 a	31,3 a
ai	2	30,9 ab	31,1 a
an	2	30,7 ab	30,3 b
P (trat x mom)		0,001	0,0002
P trat		0,111	0,045
Pmom		0,917	0,002
CV		5,58	6,01
Error Estándar		0,385	0,416

Medias seguidas de igual letra dentro de cada columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

4.1.1.2. Evolución del ángulo hue y el chroma

A partir de los 14 días desde cosecha, el valor del ángulo hue fue mayor para la fruta almacenada en atmósfera ionizada (105,4 a 115,5 en comparación con 101,0 a 105,1 para la fruta en atmósfera normal) (cuadros 7 y 8). Se registró un menor valor de dicha variable en la fruta analizada en el momento de salida de cámara (101,2 a 109,0), aumentando luego de 2 días de vida mostrador (105,2 a 117,4), a los 14 y 21 días desde cosecha. Sin embargo, este comportamiento no se registra en todas las fechas de evaluación (cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Ángulo hue, para cada tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)		
	14	21	28
ai	105,4 a	110,9 a	110,6 a
an	101,0 b	104,7 b	106,7 b
0	101,2 B	98,2 B	109,0
2	105,2 A	117,4 A	108,0
P (trat x mom)	0,317	0,262	0,816
P trat	0,0044	0,001	0,042
Pmom	0,0083	<0,0001	0,68
CV	18,9	21,9	22,5
Error Estándar	4,233	5,304	5,467

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 8. Ángulo hue, para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	Período de almacenamiento (días)	
		7	35
ai	0	94,1 b	115,5 a
an	0	97,6 b	105,1 b
ai	2	110,3 a	111,6 ab
an	2	105,7 a	113,3 a
P(trat x mom)		0,017	0,0009
P trat		0,757	0,016
Pmom		<0,0001	0,243
CV		20,5	20,5
Error Est		4,691	5,098

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Los valores del ángulo hue fueron desde 94 a 115, correspondiéndose a un tono entre amarillo y rojo, con valores de chroma muy bajos. El chroma se mantuvo entre 2 y 3,8 (cuadros 31 y 32, anexos), mostrando cierta tendencia a disminuir la saturación del color a medida que aumenta el período de almacenamiento. Estos valores bajos de saturación del color (intensidad o saturación = chroma) pueden estar indicando cambios en los compuestos pigmentados de la cáscara del fruto, evidenciando el envejecimiento del mismo durante el almacenamiento. Los valores del chroma coinciden con los reportados por otros autores¹, los cuales registraron valores en cosecha, de 1,7 y 1,6 para las variedades ‘Maru’ y ‘Centurión’ (*V. ashei*), respectivamente.

Algunos autores (Pérez et al., 1999), reportan una reducción en la concentración de antocianinas en la piel de frutas almacenadas con alta concentración de ozono (0,35 ppm) en el aire luego de 3 días a 2°C.

Debido a que el color está dado por una combinación de variables, el valor del ángulo hue se situó en colores rojos y amarillos, combinado con un chroma muy bajo (más oscuridad), acercándose al centro de la esfera (figura 17, anexos), a colores más “amarronados”. En el diagrama tridimensional, el punto medido se sitúa cerca del centro de la esfera. El color fue determinado en la zona de la cicatriz peduncular y calicinal, siendo la zona peduncular la última en cambiar de color, por lo que se registraron coloraciones rojas-rosas y no púrpuras. A su vez, es una zona en la que ocurren oxidaciones, las cuales pueden estar generando coloraciones amarronadas (Dong et al., 1995).

El pigmento dominante en los arándanos son las antocianinas (polifenoles), las cuáles se acumulan en las vacuolas celulares (Kalt et al., 2003). Al sucederse el período de cosecha y envejecer las células, se van “degradando-diluyendo” las antocianinas, determinando un cambio de color de la fruta. Esta “dilución del color” puede estar dada por cambios en el pH de la solución en donde se encuentran las antocianinas o también, por un cambio de color debido a la oxidación mediada por la acción de las peroxidasas (fenómenos estudiados como pardeamiento enzimático). Dicho pardeamiento es un proceso donde se produce la oxidación de componentes

fenólicos, en presencia de oxígeno y polifenol-oxidasa (PO), generando como productos de dicha oxidación, compuestos que otorgan coloración “marrón” a la fruta. Estos procesos modifican el tono del color de la cáscara (“azules” oscuros) y en la saturación, pasando a colores “marrones y amarillentos” (color típico que presentan los golpes en las frutas o el daño por frío) (Kanellis y Rovbelakis-Angelakis, 1993).

4.1.2. Propiedades texturales: firmeza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad.

La firmeza fue mayor para la fruta evaluada en el momento de la cosecha (2,6 N = 282,6 g) que luego de 2 días de vida mostrador (2,4 N = 260,9 g). Este mismo comportamiento se observó en la variable elasticidad, con 0,85 y 0,83 en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador, respectivamente. La cohesividad aumentó luego de 2 días de vida mostrador, no existiendo cambios en la masticabilidad (cuadro 9).

Cuadro 9. Propiedades texturales en el momento de la cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.

Momento	Firmeza (N)	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad (N)
0	2,6 a	0,85 a	0,12 b	6,7
2	2,4 b	0,83 b	0,13 a	6,5
P	0,0028	0,038	0,0037	0,35
CV	17,3	13,0	87,9	33,9
Error Estándar	0,089	0,025	0,022	0,51

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

En la última fecha de muestreo (35 días de almacenamiento), la firmeza es mayor (cuadro 11) para la fruta almacenada en atmósfera normal (2,1 N y 1,5 N en comparación con 1,8 N y 1,4 N en atmósfera ionizada) tanto en salida de cámara como luego de 2 días de vida mostrador, respectivamente.

A excepción del muestreo realizado a los 7 días de cosecha (cuadro 10), existió interacción entre ambos efectos evaluados (atmósfera de conservación y momento de evaluación). La atmósfera que se comporta mejor (frutos más firmes) en salida de cámara, no siempre es la mejor luego de 2 días de vida mostrador. A partir de los 21 días de almacenamiento (cuadro 11), la firmeza es mayor para la fruta analizada en salida de cámara, en comparación con aquella analizada luego de 2 días de vida mostrador. La reducción de firmeza durante estos 2 días fue, en promedio, de 0,05 a 0,59 N.

Cuadro 10. Firmeza (N) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días)

Tratam/Mom	P. de Almacenamiento (días)	
	0	7
ai	-	2,57
an	-	2,59
0	2,60 A	2,64 A
2	2,40 B	2,53 B
P(trat x mom)	-	0,575
P trat	-	0,541
Pmom	0,0028	0,0013
CV	17,3	17,27
Error Estándar	0,0894	0,1006

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 11. Firmeza (N) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días)

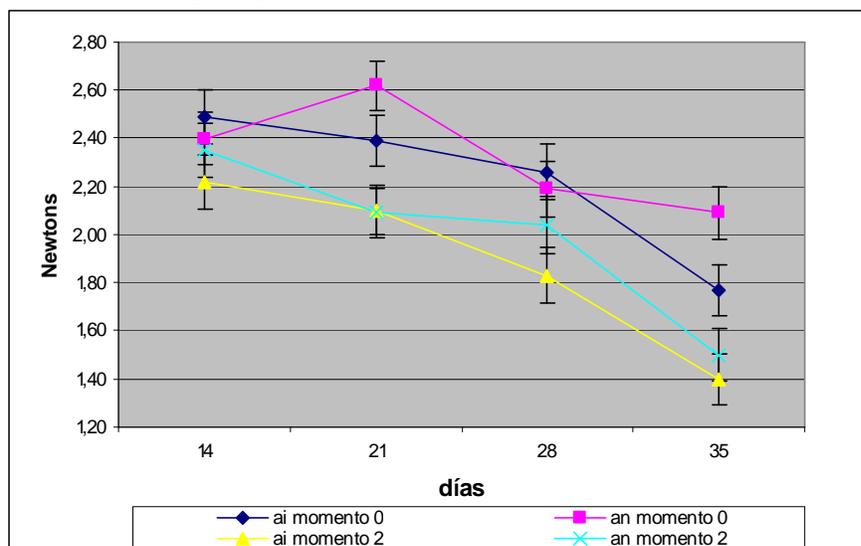
Tratamiento (Trat)	Momento en días (mom)	Período de almacenamiento (días)			
		14	21	28	35
ai	0	2,49 a	2,39 b	2,26 a	1,77 b
an	0	2,40 a	2,62 a	2,19 a	2,09 a
ai	2	2,22 b	2,10 c	1,83 c	1,40 d

an	2	2,35 ab	2,09 c	2,04 b	1,50 c
	P(trat x mom)	0,0074	0,0039	0,0006	0,0068
	CV	21,0	20,3	24,28	28,3
	Error Estándar	0,1118	0,1029	0,1163	0,1073

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Se observó una tendencia a la reducción en el valor de la firmeza al aumentar el período de almacenamiento (gráfica 1). La firmeza de la fruta se encuentra estrechamente relacionada con la vida poscosecha de las bayas, así como con la susceptibilidad al decaimiento (Hartman et al., citados por Proctor y Mielse, 1991).

Gráfica 1. Firmeza (N) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador), según período de almacenamiento (días).



ai: atmósfera ionizada; an: atmósfera normal.

Según algunos autores (Eskin, Huber, citados por Proctor y Mielse, 1991), la reducción de la firmeza de la fruta durante la maduración se debe a la alteración de los polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, lignina) que componen la pared celular y la lámina media. La lámina media está compuesta en forma predominante por pectina, cuya solubilización está altamente correlacionada con la pérdida de firmeza de la fruta (Kertesz,

citado por Smittle y Miller, 1988). Según Prange et al. (1995), la pérdida de firmeza es el factor determinante de la pérdida de calidad comercial.

Proctor y Peng (1989) citan que el mayor cambio en el contenido total de pectinas ocurre hasta que las bayas se encuentran maduras y que, luego de esta etapa, el cambio es mínimo. Sin embargo, sí ocurre una reducción en la relación pectinas solubles en álcali-pectinas solubles en agua. Dichas pectinas solubles en álcali son de-esterificadas por la enzima pectinmetilesterasa (PME), siendo los compuestos generados por la misma, sustratos para la acción de la poligalactouronasa (PG) (Huber, citado por Proctor y Mielse, 1991).

Rico et al. (2006) reportan una menor actividad de la enzima PME en lechugas tratadas con ozono (1 mg/L) durante 10 días de almacenamiento a 18-20°C, detectándose un efecto negativo en las propiedades texturales. Proctor y Mielse (1991) reportaron un pico máximo de actividad de la PME y PG en arándano, cuando el color de las bayas es rojo y rojo-azulado. Woodfruff et al. (1959) reporta una reducción en el contenido de celulosa y lignina de la pared celular, modificándose varias propiedades sensoriales de la fruta. Ballinger et al. (1973) afirman que los arándanos pierden firmeza en forma importante cuando alcanzan una coloración roja, pero muy poco luego de ésta.

En los parámetros de análisis sensorial evaluados (elasticidad, cohesividad y masticabilidad), se registraron algunas diferencias entre tratamientos (atmósferas), aunque las mismas no se mantienen en todas las fechas de evaluación. Estas propiedades hacen a la aceptación sensorial del producto por parte del consumidor.

La elasticidad es un valor entre 0 y 1. Un sólido perfectamente elástico posee una elasticidad de 1 (Bourne, 2002), recuperando totalmente su forma inicial. La elasticidad de los frutos fue de 0,85 en cosecha (cuadro 9), disminuyendo su valor hasta 0,72-0,76 en el último muestreo, realizado a los 35 días desde cosecha (cuadros 33 y 34, anexos). Esta tendencia a la disminución de la elasticidad, muestra que los arándanos recuperan más lentamente su estructura luego de ser sometidos a una deformación, en la

medida en que avanza el período almacenamiento. Esto podría estar explicado por una pérdida de compuestos en la pared celular como lo son la celulosa, hemicelulosa y lignina (Woodruff et al., 1959). A los 14 y 35 días de almacenamiento, la elasticidad es menor para la fruta en atmósfera ionizada (0,82 y 0,76, respectivamente), en comparación con la fruta almacenada en atmósfera normal (0,84 y 0,80, respectivamente) (cuadro 34, anexos). Estas diferencias no se corroboran en todas las fechas de análisis.

La cohesividad inicial fue de 0,12 (cuadro 9), finalizando en valores de 0,3 a 0,45 (cuadros 35 y 36, anexos). En este caso, las bayas se van volviendo más cohesivas, con uniones más resistentes. Esto se asemeja a la resistencia del producto a ser consumido. Al avanzar el almacenamiento, la fruta se vuelve más cohesiva, volviéndose más “chiclosa o pastosa” al ser masticado (Abbott y Harper, 2004). En la mayoría de las fechas evaluadas, con excepción de los 14 y 35 días de almacenamiento, la cohesividad es mayor en la fruta almacenada en atmósfera ionizada (0,18; 0,20 y 0,29 a los 7, 21 y 28 días de almacenamiento, respectivamente), analizada en salida de cámara, frente a 0,11; 0,17 y 0,25, para la fruta en atmósfera normal (cuadros 35 y 36, anexos). A los 21 y 28 días de almacenamiento, la cohesividad es mayor (0,20 y 0,32, respectivamente) para la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador que para la fruta analizada en salida de cámara (0,17 y 0,22, respectivamente) (cuadro 36, anexos).

La masticabilidad de los frutos, siendo directamente proporcional a la firmeza y a la elasticidad, se situó en 6,7 N en cosecha (cuadro 9) para finalizar entre 1,0 y 4,9 N, en el último muestreo (cuadro 12). Las bayas, en la medida en que avanza el tiempo de conservación son menos “masticables” (Abbott y Harper, 2004). La masticabilidad es menor para la fruta almacenada en atmósfera ionizada en todas las fechas de evaluación, para la fruta analizada en salida de cámara. Dichas diferencias no se mantienen luego de 2 días de vida mostrador (cuadro 12).

Cuadro 12. Masticabilidad (N) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días vida mostrador), según período de almacenamiento (días).

		Período de almacenamiento (días)			
Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	7	14	21	35
ai	0	5,77 b	4,68 b	4,28 b	2,80 b
an	0	6,73 a	5,42 a	5,80 a	4,89 a
ai	2	5,00 bc	4,10 bc	4,11 b	1,35 c
an	2	4,72 c	3,59 c	4,41 b	1,65 c
P(trat x mom)		0,0033	0,0038	0,0061	< 0,0001
CV		52,0	58,8	60,5	79,7
Error Estándar		0,646	0,590	0,617	0,463

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

4.1.3. Principales causas de descarte de fruta

En estas condiciones de trabajo, la deshidratación fue la principal causa de descarte de fruta (75-98% del descarte) en todos los tratamientos, no existiendo diferencias significativas entre ambas atmósferas en la importancia relativa de la misma en el total del descarte, en ninguna de las fechas evaluadas (cuadro 13). Esto difiere con lo reportado por Day et al.¹, quienes mencionan que la principal limitante en el almacenamiento y la vida mostrador de arándanos (*V. ashei*) es la incidencia de podredumbres.

Cuadro 13- Importancia relativa (%) de la deshidratación como causa de descarte sobre el total del descarte, para cada atmósfera y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai	-	74,8	91,2	91,1	89,0	94,6
an	-	81,9	91,5	98,3	86,4	88,6
0	28,9 B	74,8	89,0	89,8	86,9	90,0
2	90,9 A	81,4	93,0	92,4	88,6	93,6
P (trat x mom)	-	0,54	0,47	0,58	0,04	0,78
P trat	-	0,46	0,97	0,98	0,68	0,21
P mom	0,0001	0,52	0,46	0,58	0,79	0,49
Error Estándar	8,3	7,18	3,54	3,47	6,33	3,46

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 14. Importancia relativa (%) de las distintas causas de descarte, a los 35 días de almacenamiento, para cada tratamiento (atmósfera) y momento de evaluación.

Tratam/Mom	Deshidratación	Otros	Pudriciones
ai	94,6	3,9	1,4
an	88,6	11,4	0,0
0	90,0	10,4	0,0
2	93,6	4,7	1,4
P (trat x mom)	0,785	0,39	0,42
P trat	0,213	0,058	0,49
Pmom	0,487	0,19	0,77
Error Estándar	3,46	2,90	1,00

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La importancia relativa del resto de las causas de descarte es baja (cuadro 14), representando a los 35 días de cosecha, menos de un 12% del descarte. Dicha importancia relativa es mayor para el caso de la variable “otros” (mal cosechado, rameado, blando, daño de pájaro), con valores de entre el 5 y el 13% en el total del descarte, hacia el final del almacenamiento (cuadro 39, anexos). La importancia de las pudriciones en

el descarte total fue baja, representando no más de un 3% del mismo, a lo largo de todo el período evaluado (cuadro 38, anexos).

Cuadro 15- Porcentaje de deshidratación (%) relativo al total de frutos de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai	-	8,3	15,1	24,2	25,2 a	44,2 a
an	-	15,6	16,2	20,9	16,9 b	21,2 b
0	1,1 B	7,1 B	18,2	19,5	19,5	23,1 B
2	8,2 A	17,3 A	13,3	25,9	22,1	42,5 A
P (trat x mom)	-	0,746	0,042*	0,93	0,001*	0,55
P trat	-	0,045	0,8	0,45	0,047	<0,0001
P mom	0,0002	0,006	0,33	0,13	0,51	0,0006
Error Estándar	1,05	2,62	4,76	3,13	3,96	4,03

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

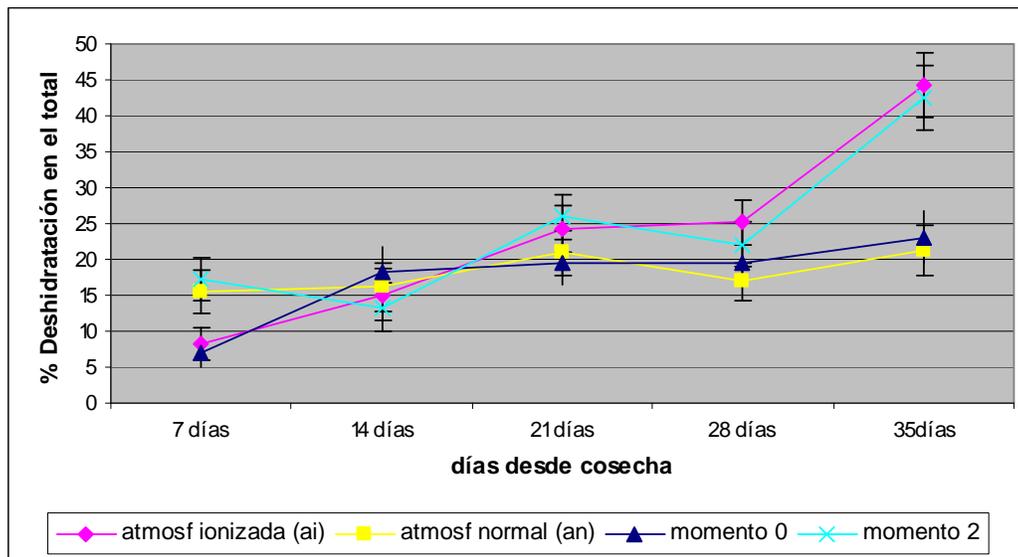
La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

*Interacciones en anexos (cuadro 40).

La deshidratación fue la causa de descarte que provocó mayores pérdidas en el total de la petaca, representando entre un 7 y un 44% de los frutos totales, en las distintas fechas de evaluación (cuadro 15 y cuadro 40, anexos).

En las últimas fechas evaluadas se registra una mayor deshidratación para aquellas frutas almacenadas en atmósfera ionizada (25,2% y 44,2% a los 28 y 35 días de almacenamiento, respectivamente) en comparación con la fruta en atmósfera normal (16,9% y 21,2%, en ambas fechas, respectivamente). La deshidratación registrada fue mayor, a los 35 días de almacenamiento, para la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador (23,1% y 42,5%, en 0 y 2 días de vida mostrador, respectivamente) (cuadro 15).

Gráfica 2- Porcentaje de deshidratación (%) relativo al número total de frutos de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).



La incidencia de pudriciones en el total de la petaca no fue mayor al 8% a lo largo del almacenamiento, registrándose este valor a los 35 días desde cosecha, para la fruta evaluada luego de 2 días de vida mostrador (cuadro 41, anexos). Para la mayoría de las fechas y momentos, no se registraron pudriciones. No se detectaron diferencias entre tratamientos a lo largo de todo el período de almacenamiento.

Palou et al. (2005) manifiestan un efecto nulo del ozono sobre la incidencia de patologías, al igual que otros autores mencionados a continuación, trabajando con distintos frutos, ya que, una vez que las esporas del hongo se encuentran presentes en cavidades o heridas de la piel, el ozono es inefectivo en su control, esto ocurre en uva de mesa (Shimuzu et al., citados por Palou et al., 2005), manzanas (Schomer y Mc-Colloch, citados por Palou et al., 2005), peras (Spotts y Cervantes, citados por Palou et al., 2005), cítricos (Smilanick et al., 1999) y otros frutos (Ogawa et al. 1990, Spalding, citado por Palou et al. 2005).

El total de fruta clasificada en “otros” por petaca, no superó el 4% en ninguna de las fechas, no existiendo diferencias entre tratamientos ni momentos evaluados (cuadro 42, anexos).

4.1.3.1. Relación tamaño de fruta-causas de descarte

Se registró una relación muy estrecha entre el tamaño y la deshidratación, verificándose esto en ambos tratamientos, obteniéndose una correlación de -0,67 entre las dos variables (anexos). Esto corrobora lo que se puede apreciar tanto en el cuadro 16 como en la gráfica 3, que los frutos chicos (13 mm de diámetro o menor) se deshidratan muy fácilmente y los frutos más grandes (17-19 mm), registran una deshidratación mucho menor, en estas condiciones de trabajo, independientemente del tratamiento o del momento de análisis (cuadros 43 y 44, anexos).

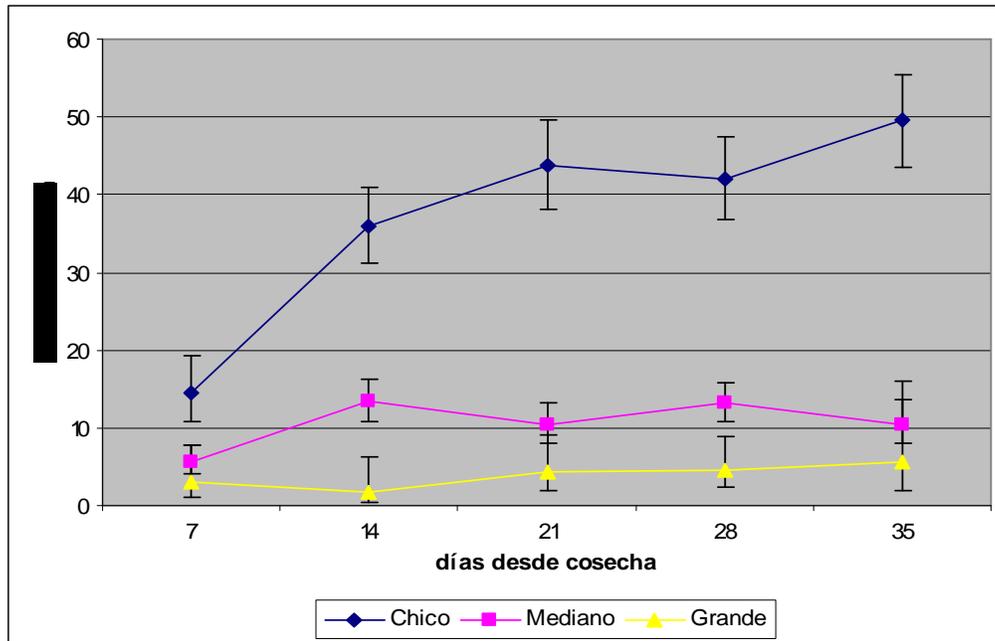
Cuadro 16- Porcentaje de deshidratación por calibre (frutas deshidratadas/total de frutas de cada calibre) según período de almacenamiento (días) en salida de cámara.

Calibre	Período de almacenamiento (días)				
	7	14	21	28	35
Chico	14,6 a	35,9 a	43,8 a	42,1 a	49,5 a
Mediano	5,6 b	13,4 b	10,3 b	13,1 b	10,4 b
Grande	5,6 b	1,7 b	4,2 b	4,6 b	5,7 b
P	0,043	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Error Est*					
Chico	4,19	4,93	5,75	5,34	6,05
Mediano	1,84	2,68	2,61	2,40	2,79
Grande	3,29	2,91	3,615	3,33	7,12

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

*Valor promedio (anexos).

Gráfica 3- Porcentaje (%) de deshidratación por calibre según período de almacenamiento (días) en salida de cámara.



Cuadro 17. Proporción de fruta comercializable y proporción de frutos deshidratados relativos al total por calibre, para cada atmósfera (ai: atmósfera ionizada; an: atmósfera normal) en salida de cámara, según período de almacenamiento (días).

0 día	Proporción de bayas comerciales				Proporción deshidrat. sobre total por calibre			
	ai 0	T	an 0	T	ai 0	T	an 0	T
Grande	96,8		100		3,2		0,0	
Mediano	91,3		97,9		8,7		2,1	
Chico	73,8		85,7		26,2		14,3	
P	0,09		0,137		0,098		0,136	
CV	15,8		10,3		108,5		178	
Error Estándar	6,9		4,8		6,9		4,8	
14 días	ai 0		an 0		ai 0		an 0	
Grande	96,2		100	a	3,8		0,0	b
Mediano	86,1		91,4	a	13,8		8,5	b
Chico	77,98		67,5	b	22,0		32,5	a
P	0,144		0,0058		0,14		0,0058	

Cv	13,6		11,6		89,1		66,4	
Error Estándar	5,9		4,9		5,9		4,9	
21 días	ai 0		an 0		ai 0		an 0	
Grande	95,8	a	96	a	4,2	b	3,9	b
Mediano	91,9	a	88,4	a	8,1	b	11,6	b
Chico	59,5	b	41,7	b	40,5	a	58,2	a
P	0,0011		0,004		0,0011		0,004	
CV	12,1		23,6		56,7		72,5	
Error Estándar	4,9		8,9		4,9		8,9	
28 días	ai 0		an 0		ai 0		an 0	
Grande	97,6	a	94,6	a	2,4	b	5,4	b
Mediano	87,3	ab	86,3	a	12,7	ab	13,7	b
Chico	68,7	b	51,5	b	31,3	a	48,5	a
P	0,023		0,0006		0,023		0,0006	
CV	14,3		13,6		78,1		46,9	
Error Estándar	6,0		5,3		6,0		5,3	
35 días	ai 0		an 0		ai 0		an 0	
Grande	100	a	96,2	a	0,0	b	3,7	b
Mediano	85,5	ab	95,2	a	14,5	ab	4,7	b
Chico	52,7	b	74,0	b	47,3	a	25,9	a
P	0,019		0,0052		0,019		0,0052	
CV	24,3		8,9		93,8		69	
Error Estándar	9,6		3,9		9,6		3,9	

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

En el cuadro 17, se pueden observar diferencias claras en el comportamiento de la fruta según su tamaño, destacándose en casi todas las fechas evaluadas, un mayor porcentaje de fruta comercial (94,6 % mínimo para la fruta grande, en comparación con 41,7% para los frutos menores a 13mm) y una menor deshidratación (5,4 % máximo para la fruta grande, en comparación con 58,2% para los frutos menores a 13mm) para las bayas de mayor tamaño. Esta tendencia también se mantiene en la mayoría de las fechas para la fruta evaluada luego de 2 días de vida mostrador (cuadros 45 y 46, anexos).

Los frutos más pequeños pierden agua más fácilmente debido a que poseen una mayor superficie de contacto relativa con el exterior (mayor relación superficie/volumen) (Divo de Sesar et al., 2005), manifestando una mayor deshidratación y una menor calidad comercial que las frutas más grandes. Esto permite afirmar la importancia de la clasificación por calibre en las petacas, trabajando con calibres homogéneos, para poder lograr una mayor calidad comercial luego del período de almacenamiento. Las frutas menores a 13mm se deshidratan más rápidamente que el resto, favoreciendo el ataque de distintos patógenos, los cuales deterioran comercialmente toda la petaca. Al deshidratarse la fruta, también se generan pequeñas rupturas o resquebrajamiento de la cutícula, las cuales permiten el ingreso de distintos patógenos (Norton et al., 1968).

Cuadro 18. Porcentaje (%) de deshidratación en el total por calibre para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Trat/ Mom	21días			28días			35 días		
	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
ai	45,3	10,9	5,2 a	46,0	13,0	0,0 b	74,6 a	25,4 a	0,0
an	47,3	10,0	0,0 b	39,2	9,0	9,1 a	42,6 b	5,7 b	0,0
0	45,3	10,0	4,3 A	42,6	14,2	4,3 A	51,0	9,1	0,0
2	47,0	10,9	0,0 B	42,8	8,3	0,0 B	67,3	18,4	0,0
P trat	0,75	0,95	<0,0001	0,35	0,20	<0,0001	0,002	<0,0001	1,0
P mom	0,80	0,95	<0,0001	0,93	0,13	<0,0001	0,06	0,07	1,0

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Luego de 35 días de almacenamiento, en el cuadro 18, se puede observar una mayor deshidratación en la fruta almacenada en atmósfera ionizada, especialmente dentro de los calibres chicos y medianos. Esto también se corrobora a los 7 días de almacenamiento, en donde existe una mayor deshidratación, especialmente de los calibres medios y grandes, para la fruta almacenada en atmósfera ionizada (cuadro 47, anexos).

4.1.4. Evolución del peso total y peso comercial de la petaca

El peso promedio inicial de las petacas en cosecha se situó en 136 g. Se registró una pérdida de peso importante a lo largo del almacenamiento (17-22%), debido principalmente, a la deshidratación, la cual generó una gran pérdida de peso en ambas atmósferas (cuadro 19). La tasa de pérdida de peso ascendió a 1,3% cada 7 días de almacenamiento, siendo de 1,6% para la fruta en atmósfera ionizada y de 0,98 % para la fruta en atmósfera normal.

A los 35 días desde cosecha el peso promedio de las petacas alcanza, en los mejores casos, el 80-83 % del peso inicial. A su vez, se registra una mayor pérdida de peso total en el tratamiento de atmósfera ionizada y en la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador (gráfica 4). Lo mismo ocurre a los 21 y 35 días desde cosecha, pero no se confirma para el resto de los períodos de almacenamiento (cuadro 19). A los 21 y 35 días de almacenamiento, el peso de las petacas es mayor para la fruta almacenada en atmósfera normal (111,7 g = 81,8% del peso inicial a los 35 días de almacenamiento) que para la fruta en atmósfera ionizada (107,4g = 78,5 % del peso inicial a los 35 días de almacenamiento) (cuadro 19 y cuadro 48, anexos).

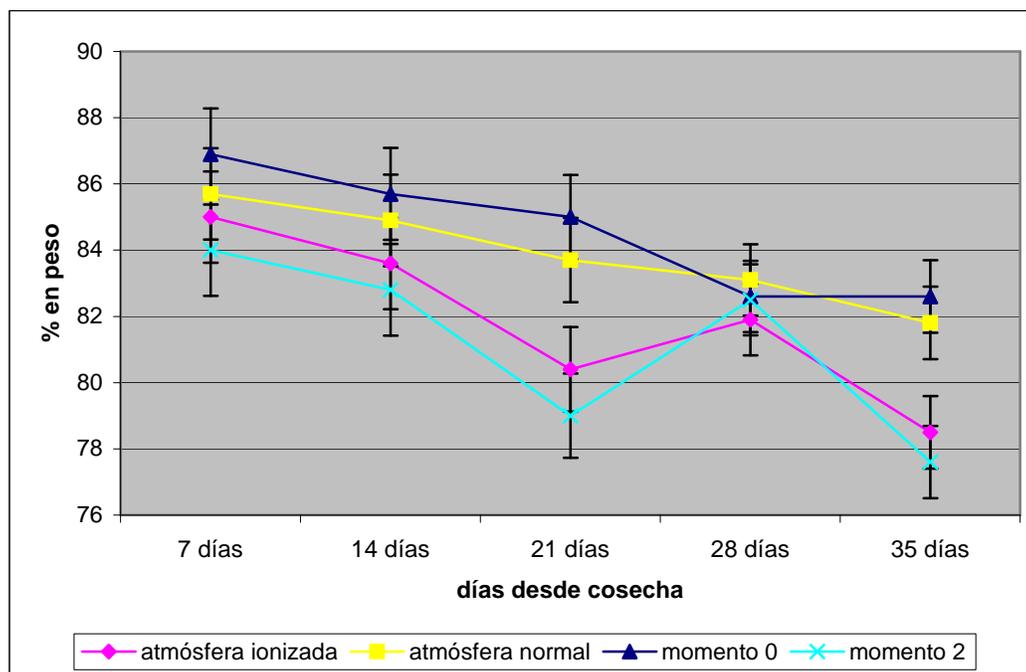
Cuadro 19- Porcentaje (%) en peso total respecto al peso inicial de la petaca en cosecha, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai	100	85,0	83,6	80,4 b	81,9	78,5 b
an	100	85,7	84,9	83,7 a	83,1	81,8 a
0	100 A	86,9	85,7	85 A	82,6	82,6 A
2	83,6 B	84,0	82,8	79,0 B	82,5	77,6 B
P (trat x mom)	-	0,253	0,809	0,597	0,958	0,207
P trat	-	0,6	0,37	0,02	0,28	0,01
P mom	0,002	0,056	0,058	0,0006	0,92	0,001
CV	2	3,2	3,3	3,2	2,6	2,7
Error Estándar	0,91	1,38	1,39	1,28	1,08	1,10

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Gráfica 4- Porcentaje (%) en peso total, relativo al peso inicial de la petaca en cosecha, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).



Luego de 35 días de almacenamiento, el porcentaje en peso comercializable es bajo para ambos tratamientos, siendo mayor para la fruta en atmósfera normal que para la fruta en atmósfera ionizada (69 y 52%, respectivamente)(cuadro 20). Esto estaría explicado por la mayor deshidratación registrada en la fruta almacenada en ai, especialmente para los calibres chicos y medianos (cuadro 18). Por lo tanto, la fruta almacenada en atmósfera ionizada registró una mayor pérdida de peso comercial (41%) que la fruta en atmósfera normal (22%), luego de 35 días de almacenamiento.

La pérdida de peso comercial fue de un 8,2% semanal para la fruta en atmósfera ionizada y de un 4,3% semanal para la fruta en atmósfera normal.

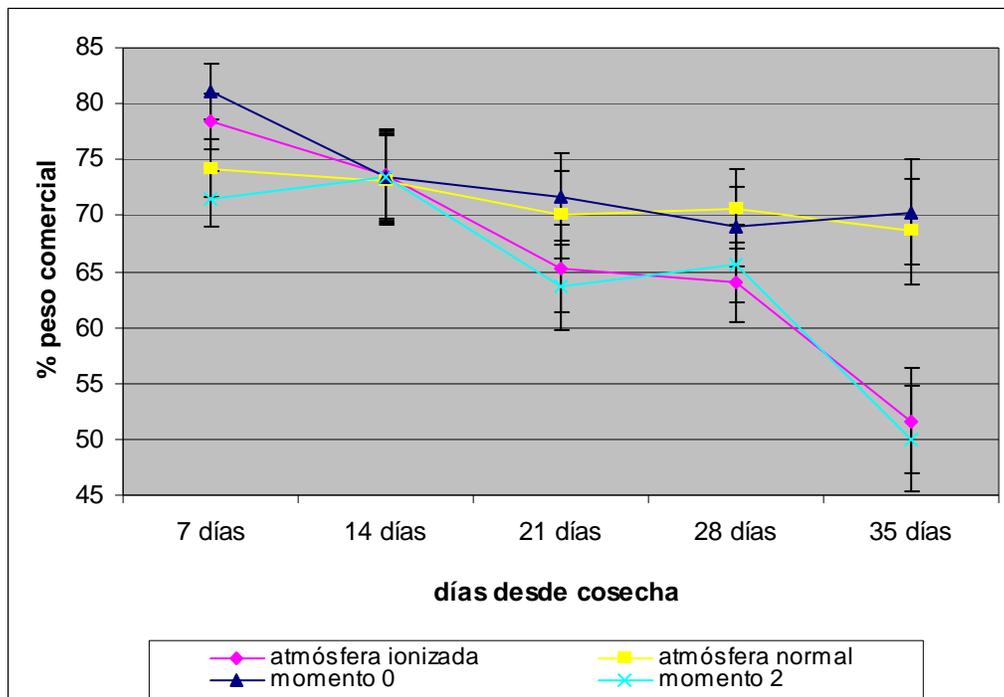
Cuadro 20- Porcentaje (%) en peso comercial en relación al peso total de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai	-	78,4	73,7	65,3	64,0	51,6 b
an	-	74,2	73,1	70,1	70,6	68,6 a
0	89,5 A	81,1 A	73,4	71,7	69,0	70,3 A
2	78,3 B	71,5 B	73,5	63,6	65,7	50,0 B
P (trat x mom)	-	0,577	0,213	0,998	0,036	0,096
P trat	-	0,12	0,88	0,23	0,084	0,0036
P mom	0,001	0,0026	0,98	0,059	0,35	0,001
CV	3,1	6,7	10,9	11,4	10,4	15,6
Error Estándar	1,33	2,56	4,01	3,88	3,52	4,70

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Gráfica 5- Porcentaje (%) en peso comercial en relación al peso total de la petaca, para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).



La pérdida de peso comercial fue mayor para la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador (43%) que para aquella analizada en salida de cámara (20%), siendo estadísticamente significativo ($P < 0,05$) a los 7 y 35 días desde cosecha (cuadro 20 y cuadro 49, anexos). A su vez, como lo muestran las gráficas 4 y 5, el comportamiento del peso y del peso comercial a lo largo del almacenamiento, fue similar para la fruta almacenada en atmósfera ionizada y la analizada luego de 2 días de vida mostrador. Lo mismo ocurrió entre la fruta almacenada en atmósfera normal y la analizada en salida de cámara.

Palou et al. (2005), realizaron ensayos con duraznos, almacenados a una concentración de 0,3 ppm de ozono, registrando una mayor pérdida de peso que el testigo en atmósfera normal, explicando esto por un efecto del

ozono sobre la cutícula y/o en el tejido epidérmico del fruto. Liew y Prange (1994), mencionan un posible efecto del ozono sobre la membrana celular, provocando una peroxidación de los lípidos que la componen, favoreciendo la deshidratación de la fruta.

La mayor pérdida de peso para la fruta en atmósfera con alto contenido de ozono (0,27 ppm) también fue comprobada en cranberries almacenados 8 semanas a 4°C (Norton et al., 1968). En otro experimento utilizando la misma especie, almacenada con 0,6 ppm de ozono y a 15,5°C, detectaron un 25% de reducción en los lípidos que componen la membrana celular, destacando la importancia de la regulación de la temperatura. Esto provoca un aumento en la permeabilidad de la membrana celular, creciendo el intercambio de agua con el ambiente y por lo tanto, también la deshidratación. También existen otros autores que reportan la no existencia de diferencias en la pérdida de peso entre la fruta en atmósfera normal y la fruta almacenada con altos contenidos de ozono (0,3 ppm), como es el caso de Palou et al. (2002), trabajando con uvas 'Flame Seedless' y de Liew y Prange (1994), trabajando con zanahorias.

4.2. CALIDAD INTERNA

4.2.1. Calidad interna de la fruta en cosecha

La fruta fue cosechada con un promedio de 11° Brix (g sacarosa/100 g solución), pH 3,31 y una acidez titulable de 0,11 % expresado como ácido cítrico, con un ratio de 9. Luego de 2 días en condiciones de vida mostrador, se registró únicamente una variación significativa en el valor del pH, pasando el mismo a 3,55, en promedio. El resto de las variables no se vieron afectadas significativamente (cuadro 21).

Cuadro 21. Calidad interna de la fruta en cosecha y luego de 2 días de vida mostrador.

Momento	% Jugo	SS (°Brix)	pH	Ac. Cítrico (%)	Ratio
0	49,0	11,1	3,31 b	0,11	9,1
2	45,0	11,0	3,55 a	0,09	10,8
P	0,29	0,933	0,0002	0,17	0,174
CV	20,8	10,6	2,6	27,4	23,7
Error Estándar	4,9	0,58	0,044	0,014	1,18

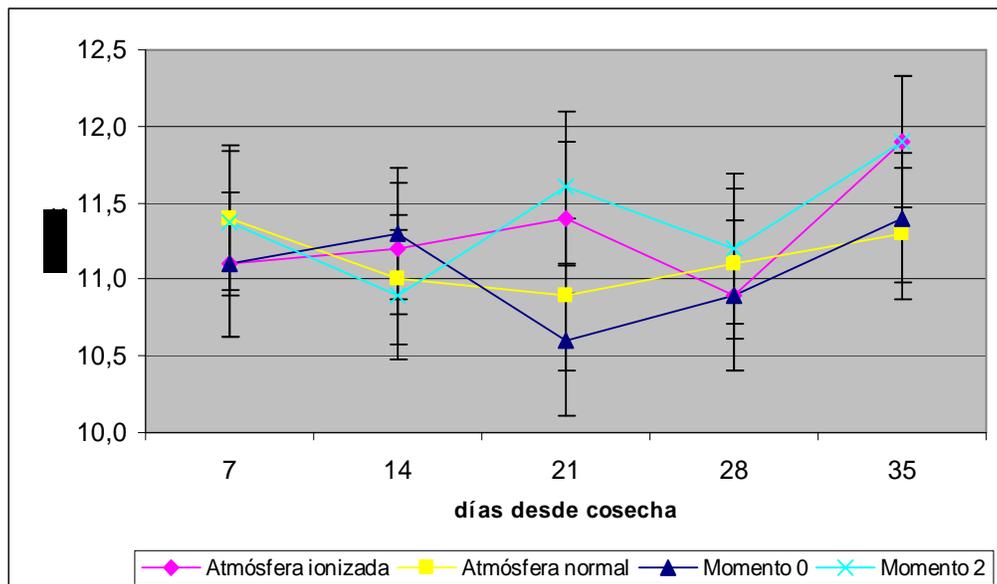
Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

4.2.2. Evolución del porcentaje de jugo, sólidos solubles totales, pH, acidez y ratio durante el período de almacenamiento

El porcentaje de jugo se mantuvo entre 49 y 29% a lo largo del almacenamiento, siendo menor a los 21 y 28 días, para la fruta evaluada luego de 2 días de vida mostrador (30,4 y 27,1%, respectivamente en ambas fechas) en comparación con la fruta evaluada en salida de cámara (43,8 y 38,2%, respectivamente), pero dicha tendencia no se mantiene en todas las fechas de evaluación. No se detectaron diferencias entre tratamientos para esta variable (gráfica 11 y cuadro 50, anexos).

A lo largo del período evaluado, no se observaron diferencias entre tratamientos ni momentos de evaluación en todas las fechas de muestreo, en el contenido de sólidos solubles. Los mismos se situaron entre 10,6 y 12 ° Brix a lo largo de todo el período evaluado (gráfica 6 y cuadro 51, anexos).

Gráfica 6. Sólidos solubles totales (°Brix) para cada tratamiento y momento según período de almacenamiento (días).



El pH del jugo aumenta significativamente luego de 2 días de vida mostrador, en la mayoría de las fechas evaluadas (7, 14, 21 y 35 días) (cuadros 22 y 23). En las últimas 2 fechas de muestreo (28 y 35 días de almacenamiento), se registraron únicamente diferencias entre ambos tratamientos en el pH medido en salida de cámara, siendo menor el mismo para la fruta almacenada en atmósfera ionizada (3,43 y 3,46, respectivamente en ambas fechas), que para la fruta en atmósfera normal (3,71 y 3,69, respectivamente) (cuadro 23 y gráfica 7).

Cuadro 22- pH para cada atmósfera y momento de evaluación según período de almacenamiento (días).

Tratam/Momento	Período de almacenamiento (días)		
	7	14	21
ai	3,35	3,49 a	3,53
an	3,37	3,36 b	3,51
0	3,19 B	3,32 B	3,4 B
2	3,52 A	3,52 A	3,6 A
P (trat x mom)	0,574	0,286	0,268
P trat	0,574	0,0154	0,558
P mom	<0,0001	0,0006	<0,0001
CV	3	4,2	2,79
Error Estándar	0,05	0,07	0,049

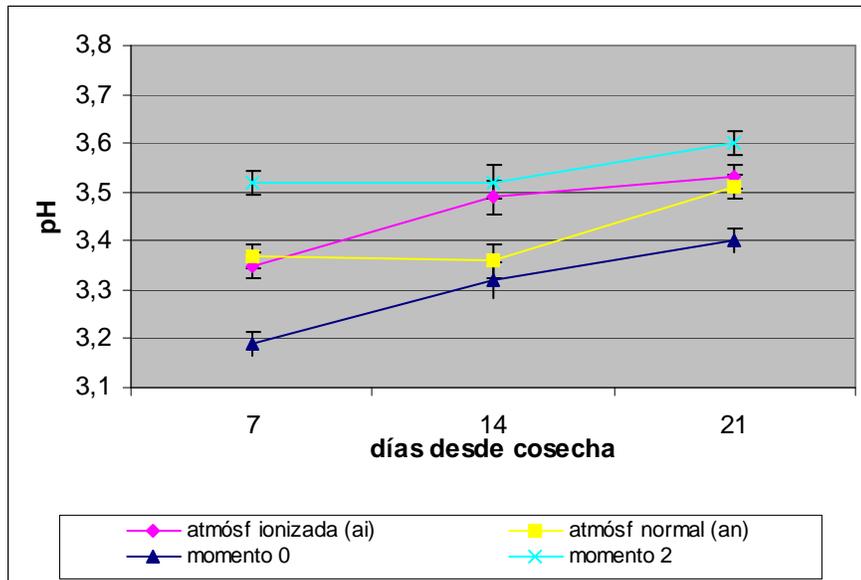
Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 23- pH para cada atmósfera x momento de evaluación según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	P. de almacenamiento (días)	
		28	35
ai	0	3,43 b	3,46 c
an	0	3,71 a	3,69 a
ai	2	3,43 b	3,57 b
an	2	3,52 b	3,64 ab
P(trat x mom)		0,0097	0,008
CV		2,7	2,29
Error Estándar		0,048	0,041

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Gráfica 7- pH del jugo para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).



A los 28 días desde cosecha, la acidez se reduce bruscamente, luego de 2 días de vida mostrador, en la fruta almacenada en ai y más lento en la fruta almacenada en an (gráfica 17, anexos). El valor de la acidez es menor a los 7 y 21 días de almacenamiento en la fruta evaluada luego de 2 días de vida mostrador (0,08 y 0,06, respectivamente en ambas fechas) en comparación con la fruta evaluada en salida de cámara (0,13 y 0,10, respectivamente), igualándose ambos valores a los 35 días de almacenamiento, tendiendo a la estabilización (cuadro 24).

Al igual que lo reportado por Pérez et al. (1999) en frutillas almacenadas 3 días a 2°C con 0,35 ppm de ozono, no existieron diferencias en los valores de acidez entre tratamientos, mostrando un comportamiento errático, siendo mayor la acidez en algunas fechas para ai (28 días) y en otras para an (21 días) (cuadros 24 y 25).

Cuadro 24.- Acidez (% ácido cítrico) para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)		
	7	21	35
ai	0,11	0,07 b	0,06
an	0,11	0,09 a	0,07
0	0,13 A	0,10 A	0,06
2	0,08 B	0,06 B	0,06
P (trat x mom)	0,145	0,381	0,38
P trat	0,42	0,036	0,542
P mom	<0,0001	<0,0001	0,426
CV	25,2	33,3	40,5
Error Estándar	0,0135	0,0135	0,013

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

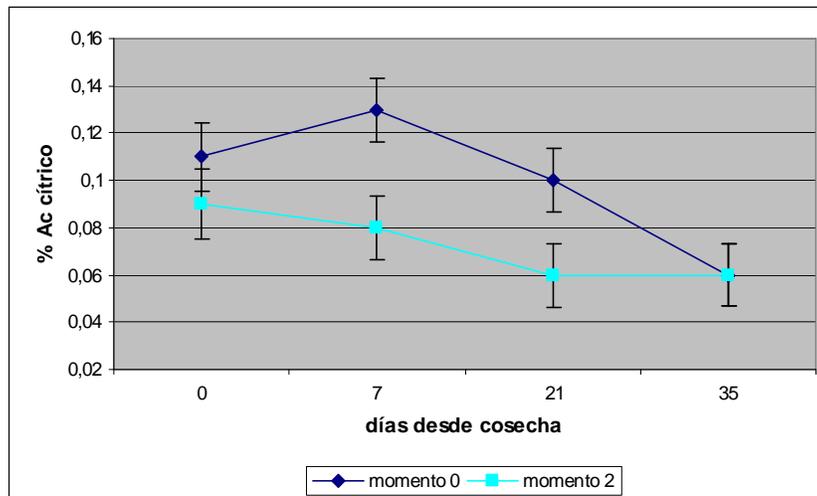
La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 25.- Acidez (% ácido cítrico) para cada interacción atmósfera x momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	P. almacenamiento (días)	
		14	28
ai	0	0,097 b	0,09 a
an	0	0,12 ab	0,04 b
ai	2	0,15 a	0,08 a
an	2	0,112b	0,07 ab
	P(trat x mom)	0,0052	0,046
	CV	32,3	34,5
	Error Estándar	0,019	0,013

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Gráfica 8.- Acidez (% ácido cítrico) en los distintos momentos de análisis según período de almacenamiento (días).



Según Kurshman y Ballinger (1963), la vida poscosecha del arándano se relaciona en forma directa y positiva con el pH de la fruta; para Ballinger y Kurshman (1970), ocurre lo mismo con la acidez.

En cuanto al ratio, no existen diferencias entre tratamientos ($P < 0,05$), detectándose alguna diferencia entre los dos momentos de análisis luego de 7, 21 y 28 días de almacenamiento (cuadro 26). Este menor ratio para la fruta analizada en salida de cámara, no se mantiene luego de los 35 días, debido principalmente, al comportamiento de la acidez, la cual tendió a estabilizarse hacia el final del período, adquiriendo valores similares (0,06) para los dos momentos de evaluación (cuadro 24).

Woodruff et al. (1960), reporta una relación muy estrecha y positiva entre la relación SST:Acidez y la maduración-deterioro de la fruta.

Cuadro 26- Ratio para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)			
	7	21	28	35
ai	10,89 a	16,7 a	18,4 a	23,5 a
an	13,2 a	12,9 a	16,78 a	20,5 a
0	8,79 B	10,1 B	13,57 B	21,6 A
2	15,3 A	19,4 A	21,68 A	22,3 A
P int	0,072	0,15	0,18	0,84
P trat	0,1329	0,08	0,505	0,463
P mom	0,002	0,0003	0,003	0,866
CV	35,6	40	40,3	51,7
Error Estándar	2,145	3,025	3,515	5,69

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos. Muestreo a los 14 días, en anexos (cuadro 52).

Algunos autores (Woodruff et al., 1960) reportan que las frutas con ratios inferiores a 12,4 no son aceptables para el consumidor, trabajando con highbush blueberries (*V. corymbosum* L.). Ballinger y Kushman (1970) mencionan que las frutas maduras poseen un ratio de 9,5 a 10,5, registrándose ratios de 17,6 a 28,5 en frutas sobremaduras de la variedad 'Wolcott' (*V. corymbosum* L.). De esta forma se puede observar que, según estos reportes previos, la fruta analizada a los 28 días desde cosecha se encontraba sobremadura tanto para el caso de la atmósfera ionizada (18,4) y atmósfera normal (16,8), al igual que para el análisis realizado luego de 2 días de vida mostrador a partir de los 21 días de almacenamiento (19,4 a 22,3) (cuadro 26). A los 35 días, ambos tratamientos y momentos de análisis poseen un ratio muy elevado (20,5-23,5), encontrándose en el rango de frutas sobremaduras según Ballinger y Kushman (1970).

A diferencia de lo estipulado por Ristow et al. (2005), en este trabajo, el oxígeno ionizado no retrasó la maduración ni evitó la deshidratación de la fruta. Sin embargo, sí se comprueba lo reportado por los mismos autores, no registrándose tampoco diferencias (con excepción del peso) en cuanto a sólidos solubles, acidez titulable, ratio e incidencia de podredumbres, entre la atmósfera común y la atmósfera ionizada (0,05-0,09

ppm, 0-1°C y 90-95% de HR), trabajando con ojo de conejo (*V. ashei*) cv. 'Bluebelle' almacenados durante 12, 24 y 36 días. Tampoco se comprueba, en estas condiciones, lo mencionado por Kute et al., citados por Skog y Chu (2001), acerca de un aumento en el nivel de los sólidos solubles en frutillas tratadas una semana en ozono (0,3 ó 0,7 ppm) y luego almacenadas.

Algo similar fue reportado por Skog y Chu (2001), trabajando con peras y manzanas almacenadas durante 107 días a 0°C y 0,4 ppm de ozono, no encontrando diferencias entre tratamientos en cuanto a la firmeza, sólidos solubles y acidez, así como tampoco en cuanto al deterioro de la calidad comercial de la fruta.

4.3. CONDICIONES DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y VIDA MOSTRADOR

Cuadro 27- Temperatura (°C) y humedad relativa (HR en %) registradas en almacenamiento y durante la vida mostrador.

	Atmósfera Normal		Atmósfera Ionizada		Vida mostrador	
	Temp (°C)	HR (%)	Temp (°C)	HR (%)	Temp (°C)	HR (%)
Promedio	0,09	95,4	0,03	93,4	18,1	82,4
Moda	0,29	95,2	-0,16	94,1	17,5	100,0
Max	2,03	100	14,47	99,7	27,5	100,0
Min	-0,16	83,1	-1,97	68,1	9,82	53,6
Percentil 25	-0,16	93,5	-0,16	91,8	17,5	73,1
P50	0,29	95,7	-0,16	93,6	17,9	81,2
P75	0,29	97,8	0,29	95,8	17,9	93,1
Desvío	0,24	3,04	1,15	3,47	2,23	11,7

Analizando el cuadro 27, se puede concluir que las condiciones de almacenamiento presentaron variaciones respecto a las óptimas recomendadas (0-1°C y 90-95% HR) para estos frutos (Ehlenfeldt 2002, Yommy y Godoy 2002, Mitcham et al. 2006). Los momentos registrados con mayor temperatura que la óptima no fueron extensos, sin embargo, se registró un mínimo de -1,97°C en atmósfera ionizada, el cual está dentro del

rango que se considera como punto de congelación (-1,3 a -2,2°C), dependiendo el mismo del contenido de sólidos solubles en la fruta (North Carolina State University 1993, DeEll, 2005).

La fruta almacenada en an permaneció a $0,09 \pm 0,24$ °C y $95,4 \pm 3$ % de humedad relativa promedio. Para la fruta en ai, las condiciones promedio fueron $0,03 \pm 1,1$ °C y $93,4 \pm 3,5$ % de humedad relativa. La temperatura se mantuvo entre 0 y 1°C un 54% del tiempo total en an y un 40% del tiempo total en ai.

Las frutas almacenadas en atmósfera normal estuvieron un 0,12% del tiempo con temperaturas mayores o iguales a 1°C y la fruta en atmósfera ionizada estuvo un 1,8 % del tiempo en dichas condiciones. Considerando la humedad relativa, la fruta almacenada en an estuvo un 6,3 % del tiempo total con humedad relativa menor a 90%, en cambio, la fruta en ai permaneció un 13,3 % del tiempo con humedad relativa menor dicho valor. Hasta el cuarto muestreo (28 días de almacenamiento) ambas cámaras habían permanecido un 7,8% del tiempo con humedades relativas menores a 90% (con un mínimo de 83,1% para atmósfera normal y un mínimo de 68,1% para la atmósfera ionizada). Esta última cámara, permaneció 6 horas del período total de almacenamiento, con humedad relativa menor a 80%, la cual no se registró en la fruta almacenada en atmósfera normal.

Considerando las condiciones de vida mostrador, la fruta permaneció a una temperatura de $18^{\circ}\text{C} \pm 2,2$ °C y una humedad relativa de $82,4 \pm 11,7$ %.

Como se ha mencionado anteriormente, la humedad es, conjuntamente con la temperatura, un factor importantísimo a manejar para lograr una mayor conservación poscosecha de la fruta. Los valores registrados por los sensores contribuyen a explicar el gran porcentaje de deshidratación encontrado en la fruta almacenada en atmósfera ionizada, especialmente en las últimas fechas de muestreo (28 y 35 días de almacenamiento).

Es indispensable también tener en cuenta que, según Palou et al. (2005), la concentración de ozono presente en una cámara de conservación es muy dependiente de las condiciones ambientales en la misma (humedad y temperatura), así como también de la carga de fruta, decreciendo con rapidez al aumentar cualquiera de los tres factores.

5. CONCLUSIONES

- 1) En las condiciones de este estudio, la vida útil de los frutos de arándano de la variedad O'Neal, fue limitada principalmente por la deshidratación de los frutos en almacenamiento. Considerando el fin de la vida útil cuando se registró un 20% de frutos deshidratados en el total de la petaca, la misma fue de 21 días para el almacenamiento en atmósfera normal ($0,09 \pm 0,24$ °C y $95,4 \pm 3,0\%$ de humedad relativa), con un porcentaje de deshidratación del 20,9% y de 21 días en atmósfera ionizada (0,1 ppm de O₃ residual, $0,03 \pm 1,1$ °C y $93,4 \pm 3,5$ % de humedad relativa), con un porcentaje de deshidratación del 24,2%.
- 2) La principal causa de descarte de fruta fue la deshidratación de las bayas, en las dos atmósferas evaluadas. A los 21 días de conservación, el descarte fue del 43,8% para las bayas chicas (< 13mm de diámetro) y de un 4,2% para las bayas grandes (17-19mm de diámetro). La deshidratación y el tamaño de los frutos presentaron una correlación negativa de -0,67.
- 3) Se registró una incidencia de podredumbres menor al 8% en el total de la petaca a lo largo de todo el período de almacenamiento, no existiendo diferencias entre la fruta almacenada en atmósfera normal y en atmósfera ionizada. La importancia relativa de las mismas en el total del descarte no superó el 3%, para ambas atmósferas.
- 4) El período de vida mostrador (2 días a $18 \pm 2,2$ °C, $82,4 \pm 11,7\%$ HR) determinó una reducción en el total de frutos con calidad comercial, siendo el deterioro de dicha calidad, más importante hacia el final del período estudiado (28 y 35 días).
- 5) No se observaron diferencias significativas consecuentes en todas las fechas de muestreo, para las variables color, % de jugo, pH, SST y acidez titulable, entre las frutas almacenadas en atmósfera ionizada y atmósfera normal.

- 6) Las propiedades texturales evaluadas mediante las variables firmeza, elasticidad y cohesividad fueron similares en todos los períodos estudiados para la fruta en atmósfera ionizada y atmósfera normal. La masticabilidad fue menor, en todas las fechas de evaluación, para la fruta en atmósfera ionizada, analizada en salida de cámara. Dichas diferencias no se mantuvieron luego de 2 días de vida mostrador.
- 7) La pérdida de peso fue de 1,6 y 0,98% semanal para la fruta en atmósfera ionizada y normal, respectivamente, durante todo el período de conservación. La pérdida de peso comercial fue de 8,2 y 4,3% semanal para la fruta en atmósfera ionizada y normal, respectivamente.
- 8) Se observó un efecto negativo de la atmósfera ionizada, provocando una mayor pérdida de peso por deshidratación, aunque también debe considerarse que la humedad relativa estuvo un 13,3 y 6,3% del período de conservación fuera del rango recomendado, para la fruta en atmósfera ionizada y atmósfera normal, respectivamente.
- 9) Homogeneizar el tamaño de las bayas en la petaca, evitando la presencia de frutos menores a 13 mm de diámetro, en cosecha o en empaque, reduciría la pérdida de calidad comercial provocada por la deshidratación durante el almacenamiento.
- 10) El control de la temperatura (0 a 1°C) y la humedad relativa (90-95%) en el almacenamiento, evitando períodos en los que la fruta permanezca fuera de este rango, mantendrían durante un período más extenso, la calidad comercial de la misma. La atmósfera ionizada surge como una tecnología que colabora, pero es incapaz de sustituir el manejo adecuado de la fruta en poscosecha, siendo los factores más importantes y determinantes del mantenimiento de la calidad de las bayas, los procesos de cosecha, clasificación, empaque y el manejo de la tecnología utilizada en el sistema de almacenamiento.

- 11) Se sugiere profundizar en la evaluación de atmósferas ionizadas, estudiando el control de patologías poscosecha con una alta y conocida carga de inóculo.

6. RESUMEN

El arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) actualmente es un cultivo en crecimiento en Uruguay, iniciándose en el año 2001, con 3-4 hectáreas y registrando un aumento cercano al 500% hasta el año 2006, totalizando 600 hectáreas. El arándano es un fruto altamente perecedero que se deteriora fácilmente si no se toman las precauciones necesarias en el momento y luego de la cosecha, siendo necesario ajustar aún más el manejo poscosecha debido a su comercialización en el exterior. El oxígeno ionizado (atmósfera ionizada) se reporta como coadyuvante de las bajas temperaturas y alta humedad relativa en almacenamiento, con acción funguicida-funguistática, enlenteciendo los cambios que llevan a la senescencia del fruto, manteniendo su calidad externa, sobre todo el color y la firmeza por un mayor período. En este trabajo se evaluó la efectividad de la atmósfera ionizada (0,1 ppm de O₃ residual, $0,03 \pm 1,1$ °C y 93.4 ± 3.5 % HR) en el mantenimiento de la vida poscosecha del arándano alto del sur (*V. corymbosum* x *V. darrowi* var. O'Neal), comparándola con el almacenamiento en atmósfera normal ($0,09 \pm 0,24$ °C y 95.4 ± 3 % HR). Se estudió la evolución de algunas variables físico-químicas (textura, sólidos solubles, acidez titulable, pH) que hacen a la calidad de los frutos de la variedad de arándano O'Neal durante su conservación en ambos tipos de atmósfera. La fruta fue almacenada en petacas de 136g promedio en cosecha, realizando los muestreos cada 7 días, durante un período de 35 días, realizando las evaluaciones de calidad en salida de cámara y luego de 2 días de vida mostrador ($18^{\circ}\text{C} \pm 2.2^{\circ}\text{C}$, 82.4 ± 11.7 % HR). Para la mayoría de las variables evaluadas: color (chroma, hue, L*), firmeza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad, no se detectaron diferencias entre tratamientos en la mayoría de las fechas. La firmeza fue mayor en la fruta analizada en el momento de salida de cámara que luego de 2 días de vida mostrador. La principal causa de descarte de la fruta fue la deshidratación (88-94% del descarte), siendo la misma mayor cuanto menor es el diámetro de la fruta ($r = -0.67$). El porcentaje de deshidratación fue menor (7-23%) en la fruta analizada en el momento de salida de cámara, aumentando este defecto para la fruta analizada luego de 2 días de vida mostrador (13-42%). La incidencia de pudriciones fue muy baja, representando no más de un 3% del total del descarte en las últimas fechas de muestreo. No se registraron

diferencias entre tratamientos, sostenidas en todas las fechas de muestreo, para las variables de calidad interna evaluadas (% de jugo, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable). Se destaca, como conclusión, que en estas condiciones, la atmósfera ionizada no fue más efectiva que la normal en prolongar el almacenamiento de la fruta. Surge como muy importante, el realizar una clasificación adecuada de la fruta, evitando la presencia en la petaca, de frutas con diámetros menores a 13 mm, las cuales se deshidratan rápidamente, deteriorando toda la petaca. A su vez, es importante destacar el gran efecto de la temperatura y la humedad en el almacenamiento, siendo fundamental el control de ambos factores para evitar una gran pérdida de calidad comercial, provocada principalmente, por una gran deshidratación.

Palabras clave: Almacenamiento; Calidad; O'Neal; Ozono.

7. SUMMARY

Actually, in Uruguay, the area of highbush blueberry (*V. corymbosum* L.) is growing very quickly, increasing more than 500% between 2001 (3-4 ha) and 2006 (600 ha). Blueberries are highly perishable and therefore it is necessary to develop strategies to increase their storage life, trying to adjust a postharvest technology which allows fruit quality maintenance in spite of the long trips until reaching the market. The ionized oxygen (ozonized atmosphere) is reported as a contributor to the low temperatures and high relative humidity (RH) in delaying the growth of the pathogens and prolonging the postharvest life of different fruits. It is reported as capable of maintaining the external fruit quality for longer periods, specially firmness and color, delaying fruit senescence. A southern highbush blueberry (*V. corymbosum* x *V. darrowi* cv. O'Neal) was stored at ionized atmosphere (0,1 ppm of residual O₃, 0,03 ± 1,1 °C y 93.4 ± 3.5 % RH) and air (0,09 ± 0,24 °C y 95.4 ± 3 % RH) for up to 35 days. Measurements of size, color, texture, soluble solids content, titratable acidity, pH, weigh loss, shrivel and decay were made at 7 days intervals, evaluating the fruit at the sample moment and after 2 days of self life (18°C ± 2.2°C, 82.4 ± 11.7 % RH). Among all the dates of evaluation, there were no differences between treatments for color (chroma, hue angle, L*), firmness, elasticity, cohesivity, masticability. However, the fruit firmness was higher for the fruit analyzed at the fruit sample moment, than after 2 days at shelf life. Shriveling was the principal cause of fruit deterioration (88-94% of the not marketable fruit). The shriveling was more important for the smaller fruit (r=-0.67). The percentage of shriveling was of 7-23% for the fruit analyzed at the sample moment, increasing significantly after shelf life (13-42%). The incidence of fungal decay was very low, representing only the 3% of the not marketable fruit at the end of the 35 days of storage. Among all sample dates, there was no difference in internal quality (% of juice, pH, soluble solids, titratable acidity) between treatments. As a conclusion, in this storage conditions, the ionized (ozonized) atmosphere was not more effective than air in prolonging postharvest life of blueberries var. O' Neal. As a very important factor, we must consider that is extremely necessary to do an accurate size classification in the clam shell, avoiding blueberries with less than 13 mm in diameter, which shrivel very fast, deteriorating the

clamshell quality. Furthermore, careful attention should be given to the maintenance of the optimal temperature and relative humidity conditions during the storage, both being key factors in keeping the commercial quality, avoiding the detrimental effect of shriveling and delaying the fruit senescence.

Keywords: O' Neal; Ozone; Quality; Storage.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ABBOTT, J.A.; HARKER, F.R. 2004. Texture. USDA. Agriculture Handbook no 66. 130 p.
2. ARIAS, M.; ELLIAUME, F.; URRUTIA, M. 2006. Avances del proyecto CSIC “Evaluación de la incorporación de enmiendas al suelo para el cultivo del arándano y comportamiento fenológico-productivo de variedades tipo Highbush en el sur del país”. In: Seminario de Producción y Comercialización de Arándanos (3°. , 2006, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Berries. 1 disco compacto, 8 mm.
3. BALLINGER, W.E.; KUSHMAN, L.J. 1970. Relationship of stage of ripeness to composition and keeping quality highbush blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95(2):239-242.
4. _____.; _____.; HAMANN, D.D. 1973. Factors affecting the firmness of highbush blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98 (6): 583-587.
5. _____.; MANESS, E. P.; MCCLURE, W.F. 1978. Relationship of stage of ripeness and holding temperature to decay development of blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 (1): 130-134.
6. BAÑADOS, P. 2004. Morfología y fisiología del arándano. In: Seminario de Producción y Comercialización de Arándanos (1°. , 2004, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Berries. 1 disco compacto, 8 mm.
7. BASIOUNY, F.M. 1994. Shelf life and quality of rabbiteye

blueberry fruit in response to preharvest application of CaEDTA, nutritional and paclobutrazol. *Acta Hort.* 368: 893-900.

8. BEAUNDRY, R.M.; CAMERON, A.C.; SHIRAZI, A.; DOSTAL-LANGE, L. 1992. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit; effect of temperature on package O₂ and CO₂. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3): 436-441.
9. _____. 1999. Effect of O₂ and CO₂ partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. *Posth. Biol. and Technol.* 15: 293-303.
10. BOURNE, M.C. 2002. Texture profile analysis in food, texture and viscosity. (en línea), New York, Academic Press. 400 p. Consultado set. 2006. Disponible en http://www.texturetechnologies.com/texture_profile_analysis.html
11. BRETCH, J.K.; CHAU, K.V.; FONSECA, S.; OLIVERA, F.A.R.; SILVA, F.M.; NUNES, M.C.N.; BENDER, R.J. 2003. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. *Posth. Biol. and Technol.* 27: 87-101.
12. BURG, P.; BURG, E.A. 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiol.* 42: 144-152.
13. BUZETA, A.P. 1997. Berries para el 2000. Santiago, Chile, Fundación Chile. 133 p.
14. CAPELLINI, R.A.; CEPONIS, M.J. 1977. Vulnerability of stem-end scars of blueberry fruits to postharvest decays. *Phytopatol.* 67: 118-119.

15. CAMERON, A.C.; BEAUNDRY, R.M.; BANKS, N.H.; YELANICH, M.V. 1994. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit; modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3): 534-539.
16. CEPONIS, M.J.; CAPELLINI, R.A. 1983. Control of postharvest decays of blueberries by carbon dioxide-enriched atmospheres. *Plant Dis.* 67:169-171.
17. COHEN, E.; SHALOM, I.; ROSENBERGER, J. 1990. Postharvest ethanol buildup and off-flavour in "Murcot" tangerine fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 775-778.
18. CONESA, E. 2005. Utilización de equipos generadores de oxígeno ionizado para la higienización de las cámaras de frutas. *Lev. Agr.* 377: 331-332.
19. CONNOR, A.M.; LUBY, J.J.; HANCOCK, J.F.; BERKHEIMER, S.; HANSON, E.J. 2002. Changes in fruit antioxidant among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *J. Agric. Food Chem.* 50: 893-898.
20. CRISOTO, C.H.; RETZLAFF, W.A.; WILLIAMS, L.E.; DEJONG, T.M.; ZOFFOLI, J.P. 1993. Postharvest performance evaluation of plum (*Prunus salicina* Lindel, 'Carselman') fruit grown under three ozone concentrations. *J. Amer. Hort. Sci.* 118: 497-502.
21. DE BUENO, C.; YOMMI, A.; GUERRA, N.; METER, D.; LÓPEZ CAMELO, A. 2005 Comportamiento de arándanos cv. "Brigitta" durante la conservación en atmósferas controladas. In: Congreso Latinoamericano de Arándanos y Otros Berries (1°. 2005, Buenos Aires, Argentina). Resúmenes. Balcarce, INTA. p. 67.
22. DEELL, J. 2005. Postharvest handling and storage of berries.

(en línea). Ontario, Canadá, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Consultado 5 jun. 2007.

Disponible en

www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/storage_berries.htm

23. DE LA FUENTE, L.; STÜCKRATH, R.; SEPÚLVEDA, V.; HERNÁNDEZ, A. 2004. Desarrollo del color en arándanos (*Vaccinium corymbosum*) durante el almacenamiento fresco-enfriado y su relación con la aplicación foliar de calcio. (en línea). In: Seminario Latinoamericano y del Caribe, Ciencia y Tecnología de Alimentos (13°, 2004, Montevideo, Uruguay). (en línea). Resúmenes. Montevideo, Sociedad Uruguaya de Ciencia y Tecnología de Alimentos (SUCTAL)/ Asociación Latinoamericana y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ALACCTA). Consultado 14 feb. 2007. Disponible en <http://www.multitel.com.uy/congresoselis/suctal/trabajos.htm>
24. DE LA MAZA, H.; SANTINI, M. 2004. Tecnología limpia para agribusiness. In: Simposio de Pequeñas Frutas (2004, Pelotas, Brasil). Trabajos presentados. Pelotas, EMBRAPA. 1 disco compacto, 8 mm.
25. DIVO DE SESAR, M.; PEPE, M.F.; VILLELA, F.; STELLA, A. 2005. Variación en los contenidos de polifenoles y antocianinas en frutos de arándano, asociados al tamaño y diferentes modos de procesado. In: Congreso Latinoamericano de Arándanos y Otros Berries (1°, 2005, Buenos Aires, Argentina). Resúmenes. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. p. 68.
26. DONG, Y.; MITRA, D.P.; KOTSTRA, A. 1995.

- Postharvest simulation of skin color in royal gala apple.
J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120 (1): 95-100.
27. EHLENFELDT, M.K.; MEREDITH, F.I.; BALLINGTON, J.R. 1994. Unique organic acid profile of rabbiteye vs. highbush blueberries. Hortsci. 29 (4): 321-323.
28. _____. 2002. Postharvest research and technology in *Vaccinium*. Acta Hort. 574: 31-38.
29. EL-AGAMI, S.Z.A.; ALY, M.M.; BIGGS, R.H. 1982. Fruit maturity as related to ethylene in "Delite" blueberry. Proc. Fla. State Hort. Soc. 95: 245-246.
30. FEIPPE, A.; MAFIO, M. 2002. Efecto de la atmósfera ionizada sobre la calidad de durazno Flavor Crest, durante el período almacenamiento – comercialización. (en línea). Las Brujas, Canelones, INIA. Consultado jun. 2005. Disponible en http://www.interozone.com.uy/ensayos/ensayo_inia_flavor_crest.htm
31. FRENKEL, C. 1972. Involvement of peroxidase and indole 3-acetic acid oxidase isozymes from pear, tomato, and blueberry fruit in ripening. Plant Physiol. 49: 757-763.
32. FUREST, J.P. 2006. Área cultivada, exportaciones uruguayas y tendencias productivas. In: Seminario de Producción y Comercialización de Arándanos (3°. 2006, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Berries. 1 disco compacto, 8 mm.
33. GALLO, J.I.; TRINCHERO, G. D.; VILLELA, F.; SOZZI, G. O. 2005. Comportamiento contrastante de arándanos "Misty" y "Bluechip" expuestos a 24 y 35 días de atmósferas controladas. In: Congreso Latinoamericano de Arándanos y Otros Berries (1°. 2005, Buenos Aires,

Argentina). Resúmenes. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. p. 69.

34. GUARINONI, A.; SILVEIRA, A.C.; MORI, R. 2001. Efecto de la atmósfera ionizada en la conservación de duraznos Flavor Crest y Dixiland, ciruelas Santa Rosa y peras Williams. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Departamento Producción Vegetal. Consultado jun. 2005, Disponible en http://www.interozone.com.uy/ensayos/ev_duraznos_ciruelas.htm
35. HANCOCK, J.F. 1995. Introduction; the taxonomy, botany and culture of *Vaccinium*. In: Caruso, F.L.; Ramsdell, D.C. eds. Compendium of blueberry and cranberry diseases. St. Paul, MN, APS. pp. 1-5.
36. HARB, J.; STEREIF, J.; BANGERTH, F. 1994. Synthesis of aroma compounds by controlled atmosphere (CA) stored apples supplied with aroma precursors: alcohols, acids and esters. Acta Hort. 368: 142-149.
37. KALT, W.; MCRAE, K.B.; HAMILTON, L.C. 1995. Relationship between surface color and other maturity indices in wild lowbush blueberries. Can. J. Plant Sci. 75: 485-490.
38. _____; MCDONALD, J.E. 1996. Chemical composition of lowbush blueberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121 (1):142-146.
39. _____; FORNEY, C.F.; MARTIN, A.; PRIOR, R.L. 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. J. Agric. Food Chem. 47: 4638-4644.

40. _____.; LAWAND, C.; RYAN, D.A. J.; MCDONALD, J.; DONNER, H.; FORNEY, C.F. 2003. Oxygen radical absorbing capacity, anthocyanin and phenolic content of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during ripening and storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (6): 917-923.
41. KANELLIS, A.K.; ROVBELAKIS-ANGELAKIS, K.A. 1993. Grape; phenolic compounds. In: Selmar, B.; Taylor, E.; Tucker, G.A. eds. Biochemistry of fruit ripening. London, Chapman and Hall. cap. 6, pp. 212-218.
42. KRAUSE, C.R.; WEIDENSAUL, T.C. 1977. Effects of ozone on the sporulation, germination and pathogenicity of *Botrytis cinerea*. Phytopatol. 68: 195-198.
43. KUSHMAN, L.J.; BALLINGER, W.E. 1967. Acid and sugar changes during ripening in 'Wolcott' blueberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 92: 290-295.
44. _____.; _____. 1975. Relation of quality indices of individual blueberries to photoelectric measurement of anthocyanin content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100 (5): 561-564.
45. LIEW, C.L.; PRANGE, R.K. 1994. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (3): 536-567.
46. LIPE, J.A. 1978. Ethylene in fruits of blackberry and rabbiteye blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103 (6): 76-77.
47. MITCHAM, E. J.; CRISOTO, C.H.; KADER, A.A. 2006.

Bushberry; Blackberry, Blueberry, Cranberry, Raspberry. (en línea). Davis, Universidad de California. Consultado 1 jun. 2007. Disponible en <http://www.postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/Fruit/berry.shtml>

48. MONTEIRO, C. 2006. Estrategia en el manejo de enfermedades. In: Seminario de Producción y Comercialización de Arándanos (3º., 2006, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Berries. 1 disco compacto, 8 mm.
49. MORENO, M. A.; CASTELL-PEREZ, M.A.; GOMES, C.; DA SILVA, P.F.; MOREIRA, R.G. 2007. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1,0-3,2 kGy). LWT 40: 1123-1132.
50. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY (EEUU). 1993. Postharvest cooling and handling blueberries. (en línea). Raleigh. Consultado 24 jun. 2005. Disponible en <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/postharv/ag-413-7/index.html>
51. NORTON, J.S.; CHARIG, A. J.; DEMORAN-VILLE, I.E. 1968. The effect of ozone on storage of cranberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93: 972-976.
52. OGAWA, J.M.; FELICIANO, A.J.; MANJI, B.T. 1990. Evaluation of ozone as a disinfectant in postharvest dump tank treatments for tomato. In: Annual Meeting of the American Phytopathological Society (1990, Grand Rapids, Michigan). Abstracts. St. Paul, MN, APS. Tomado de: Phytopatol. 80: 1020. (Abstract).
53. OREGON STATE UNIVERSITY. 2000. Postharvest

handling of blueberry. (en línea). Corvallis, Northwest Berry and Grape Information Network. Consultado 24 jun. 2005. Disponible en <http://berrygrape.oregonstate.edu/fruitgrowing/berrycrops/blueberry/postharv.htm>

54. PALOU, L.; CRISOTO, C.H.; SMILANICK, J.L.; ADASKAVEG, J.E.; ZOFFOLI, J.P. 2002. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Posth. Biol. and Technol.* 24: 39-48.
55. _____.; _____.; _____. 2005. Efectos de la exposición continua a 0,3 ppm de ozono sobre el desarrollo de podredumbres y la respuesta fisiológica en melocotones conservados en frío. *Frut. Prof.* no.152: 114-121.
56. PEREZ, A.G.; SANZ, C.; RÍOS, J.J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J.M. 1999. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *J. Agric. Food. Chem.* 47: 1652-1656.
57. PHILOSOPH-HADAS, S.; JACOB, D.; MEIR, S.; AHARONI, N. 1993, Mode of action of CO₂ in delaying senescence of chervil leaves. *Acta Hort.* 343: 117-122.
58. PINILLA, C. B.; ALVAREZ, M.: VILLAFRANCA, J. 1998. Control de pudriciones fungosas en manzanas mediante el uso de oxígeno ionizado en almacenaje refrigerado con oxígeno ionizado. Santiago, INIA La Platina. 23 p.
59. PRANGE, R.K.; ASIEDU, S.K.; DEELL, J.R.; WESTGARTH, A.R. 1995. Quality of Fundy and Blomidon lowbush blueberries; effects of storage

- atmosphere, duration and fungal inoculation. *Can. J. Plant Sci.* 75: 479-483.
60. PROCTOR, A.; PENG, L.C. 1989. Pectin transitions during blueberry fruit development and ripening. *Jour. of Food Sci.* 54 (2): 385-387.
61. _____.; MIELSE, T.J. 1991, Polygalactouronase and pectinmethylesterase activities in developing highbush blueberries. *Hortsci.* 26 (5): 579-581.
62. RENZO, G. C.; ALTIERI, G.; D'ERCHIA, L.; LANZA, G.; STRANO, M. C. 2005. Effects of gaseous ozone exposure on cold stored orange fruit. *Acta Hort.* 682 (3):1605-1610.
63. RICO, D.; MARTIN-DIANA, A. B.; FRIAS, J. M.; HENEHAN, G. T. M.; BARRY-RYAN, C. 2006. Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Jour. of the Sci. of Food and Agric.* 86 (13):2179-2188.
64. RISTOW, N.C.; COUTINHO, E.F.; ANTUNES, L.E.C.; CANTILLANO, R. F. F.; GONÇALVES, E.D.; CASTAÑEDA, L.M.F.; MACHADO, N. P. 2005. Refrigeración y oxígeno ionizado en el comportamiento de fruto en arándanos (*Vaccinium ashei* READE) cv. 'Bluebelle'. In: Congreso Latinoamericano de Arándanos y Otros Berries (1º., 2005, Buenos Aires, Argentina). Resúmenes. Buenos Aires, Facultad de Agronomía. p.76.
65. SAS/STAT. 1997. Software; changes and enhancements through release 6.12. Cary, NC, SAS Institute. 1167 p.
66. SERRI, H. 2005. Variedades de arándanos. In: Seminario de

Producción y Comercialización de Arándanos (2°, 2005, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Berries. 1 disco compacto, 8 mm.

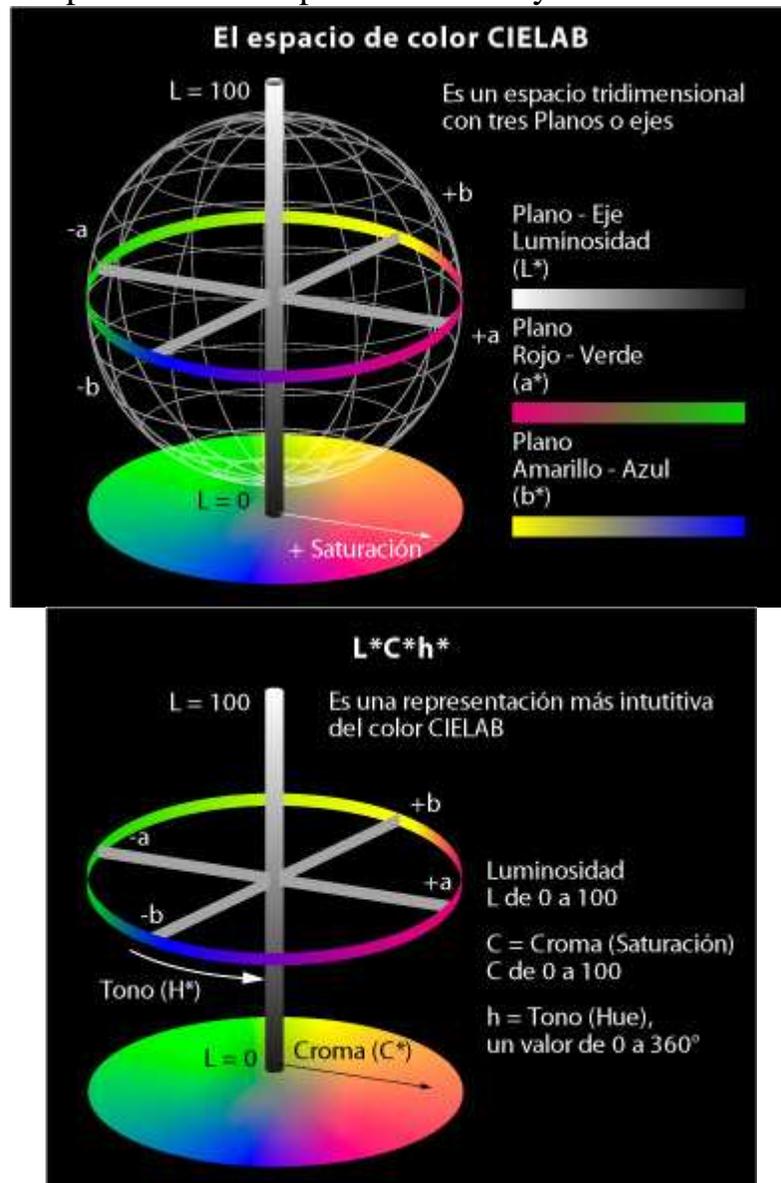
67. SHUTAK, V.G.; HINDLE, R.; CHRISTOPHER, E.P. 1956. Factors associated with ripening of highbush blueberry fruits. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 68: 178-183.
68. SKOG, L.J.; CHU, C.L. 2001. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. Can. J. Plant Sci. 81: 773-778.
69. SMILANICK, J.L.; CRISOTO, C.; MILIKOTA, F. 1999. Postharvest use of ozone on fresh fruit. Perish. Handl. Quart. 99: 10-14.
70. SMITTLE, D.A.; MILLER, W.R. 1988. Rabbiteye blueberry storage life and fruit quality in controlled atmospheres and air storage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113 (5): 723-728.
71. SOTOMAYOR, R. 2005. Uso del oxígeno ionizado *AgroCare* en la manutención de las condiciones de calidad en fruta almacenada en cámaras frigoríficas. (en línea). Santiago, Facultad de Ciencias Agronómicas. Consultado mar. 2007. Disponible en http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/12.html
72. SONG, J.; FAN, L.; FORNEY, C. F.; HILDEBRAND, P. D.; JORDAN, M. A.; RENDEROS, W.; MCRAE, K. B. 2003. Ozone and 1-MCP treatments affect the quality and storage life of fresh carrots. Acta Hort. 628(1): 295-301.

73. WESTLAND, S. 2001. Qué es el espacio de color CIE L*a*b*. (en línea). Yorkshire, Colourware. Consultado set. 2006. Disponible en <http://www.gusgsm.com/cielab>
74. WINDUS, N.D.; SHUTAK, V.G.; GOUGH, R.E. 1976. CO₂ and C₂H₄ Evolution by highbush blueberry fruit. Hortsci. 11(5): 515-517.
75. WOODRUFF, R.E.; DEWEY, D.H.; SELL, H.M. 1960. Chemical changes of 'Jersey' and 'Rubel' blueberry fruit associated with ripening and deterioration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75: 387-401.
76. YOMMI, A.; GODOY, C. 2002. Arándanos, fisiología y tecnologías de poscosecha. (en línea). Balcarce, INTA. Consultado 21 mar. 2006. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/osco/fruyhort/arandano.htm>
77. YOUNG, R.S. 1952. Growth and development of the blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L. and *V. angustifolium* Ait). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 59: 167-172.
78. ZHANG, Y.; HAN, J.; ZHANG, R. 2005. Study on fresh keeping physiological activity of Dong Jujube using low temperature combined with hypobaric and ozone treatments. Scien. Agricult. Sin. 38 (10): 2102-2110.
79. ZHENG, Y.; WANG, C.Y.; WANG, S.Y.; ZHENG, W. 2003. Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity. J. Agric. Food Chem. 51: 7162-7169.

9. ANEXOS

9.1 COLOR

Figura 17. Interpretación del espacio CIELAB y el sistema $L^*H^*C^*$.



Fuente: Westland (2001).

Cuadro 28. Valor de a* para cada interacción tratamiento x momento, según período de almacenamiento (días).

		P. almacenamiento (días)	
Tratamiento	Momento	21	35
ai	0	-0,35 b	-0,81 b
an	0	0,14 a	-0,34 a
ai	2	-1,00 c	-0,81 b
an	2	-0,86 c	-0,76 b
P(trat x mom)		0,019	0,00060
CV		182,2	114,7
Error Estándar		0,44	0,30

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

Cuadro 29. Valor de b* para cada tratamiento y momento de evaluación según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)				
	7	14	21	28	35
ai	3,27 a	3,08	2,72	2,67	2,44
an	2,98 b	3,04	2,79	2,75	2,50
0	3,35 A	3,10	3,16 A	2,59 B	2,43
2	2,89 B	3,01	2,35 B	2,82 A	2,51
P (trat x mom)	0,013	0,68	0,15	0,31	0,011
P trat	0,006	0,67	0,57	0,32	0,50
P mom	<0,0001	0,37	<0,0001	0,025	0,39
CV	43,3	40,8	53,4	47,9	46,9
Error Estándar	0,90	0,80	1,1	0,85	0,65

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 30. Valor de b* para cada interacción tratamiento x momento, según período de almacenamiento (días).

		P. Almacenamiento (días)	
Tratamiento	Momento	7	35
ai	0	3,63 a	2,35
an	0	3,07 b	2,52
ai	2	2,91 b	2,66
an	2	2,88 b	2,36

P(trat x mom)	0,013	0,011
CV	43,3	46,9
Error Estándar	0,90	0,65

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 31. Chroma (tono) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días) según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)			
	0	7	14	28
ai		3,5 a	3,3	2,9
an		3,2 b	3,2	3,0
0	3,5	3,5 A	3,3	2,9
2	3,3	3,2 B	3,2	3,0
P(trat x mom)		0,051	0,846	0,459
P trat		0,003	0,442	0,460
Pmom	0,148	< 0,0001	0,309	0,086
CV	36,9	38,6	35,5	37,9
Error Estándar	0,282	0,286	0,255	0,253

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 32. Chroma (tono) para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento (0-2 días), según período de almacenamiento (días)

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	Período de almacenamiento (días)	
		21	35
ai	0	3,22 ab	2,65 a
an	0	3,49 a	2,77 a
ai	2	2,87 bc	2,91 a
an	2	2,64 c	2,66 a
	P(trat x mom)	0,023	0,02
	P trat	0,841	0,394
	Pmom	<0,0001	0,326
	CV	44,0	34,6
	Error Estándar	0,300	0,224

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

9.2. PROPIEDADES TEXTURALES

Se calcularon parámetros que hacen a la sensación de consumidor al masticar la fruta, definidos por Bourne (2002):

Firmeza (N): término equivalente a la dureza de la fuerza (F_2), correspondiéndose con la máxima fuerza necesaria para deformar la superficie de la fruta una distancia de 5 mm, a una velocidad controlada, 5 mm/s.

Elasticidad: refleja la capacidad del producto para retomar su forma inicial luego de que ha sido deformado durante la primera compresión. La elasticidad es medida en el golpe de la segunda compresión, por lo que el tiempo entre los dos golpes es relativamente importante. Es un valor situado entre 0 y 1.

E : [distancia desde el inicio de la segunda compresión hasta la máxima fuerza de la misma (d_1) / distancia desde el inicio de la primera compresión hasta la máxima fuerza de la misma (d_2)]. Ambas son estimadas como un tiempo por el texturómetro.

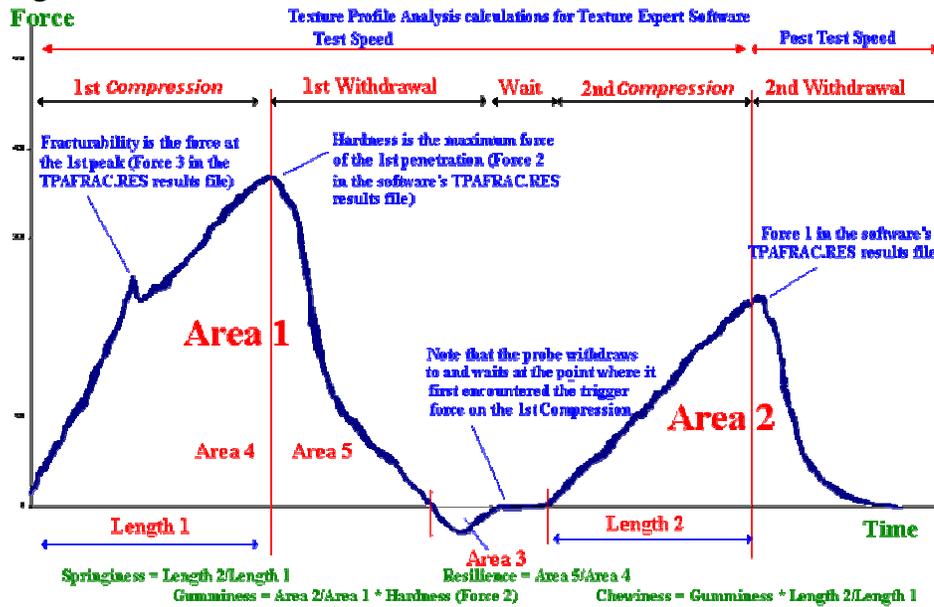
Cohesividad: estima cuán bien el producto soportará una segunda deformación en relación a cómo se comportó durante la primera deformación. Está representado por el cociente entre las áreas (trabajo realizado) de la segunda y la primera compresión:

$$\text{Coh} = (A_1/A_2) \text{ ó } (\text{Trabajo1}/ \text{Trabajo2})$$

Masticabilidad (N): este parámetro solo es aplicable para productos sólidos y se calcula como:

$$M = \text{Elasticidad} * F_2 \text{ (fuerza de la primera compresión o firmeza)}$$

Figura 18. Curva de textura



Fuente: Bourne (2002).

Cuadro 33. Elasticidad por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días)

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	P. de almacenamiento (días)
		28
ai	0	0,84 a
an	0	0,83 a
ai	2	0,80 b
an	2	0,83 a
P(trat x mom)		0,0037
CV		11,0
Error Estándar		0,020

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 34. Elasticidad por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)				
	0	7	14	21	35
ai		0,84	0,82 b	0,82	0,76 b
an		0,84	0,84 a	0,82	0,80 a
0	0,85 A	0,84	0,83	0,83 A	0,83 A
2	0,83 B	0,83	0,83	0,81 B	0,72 B
P(trat x mom)		0,594	0,064	0,115	0,892
P trat		0,55	0,0032	0,0166	< 0,0001
Pmom	0,038	0,094	0,518	0,458	< 0,0001
CV	13	12,7	9,6	10,4	14,0
Error Estándar	0,025	0,027	0,018	0,018	0,025

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 35. Cohesividad por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	Período de almacenamiento (días)		
		7	14	35
ai	0	0,18 a	0,17 b	0,16 c
an	0	0,11 b	0,17 b	0,19 c
ai	2	0,17 a	0,20 b	0,45 b
an	2	0,19 a	0,26 a	0,45 b
	P(trat x mom)	< 0,0001	0,037	< 0,0001
	CV	84,0	75,4	123,7
	Error Estándar	0,031	0,034	0,148

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 36. Cohesividad por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días)

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)		
	0	21	28
ai		0,20 a	0,29 a
an		0,17 b	0,25 b
0	0,12 B	0,17 B	0,22 B
2	0,13 A	0,20 A	0,32 A
P(trat x mom)		0,122	0,363
P trat		0,003	0,001
Pmom	0,0037	0,0009	< 0,0001
CV	87,9	74,8	61,0
Error Estándar	0,022	0,031	0,036

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 37. Masticabilidad (N) por tratamiento (atmósfera) y momento (0-2 días vida mostrador) según período de almacenamiento (días)

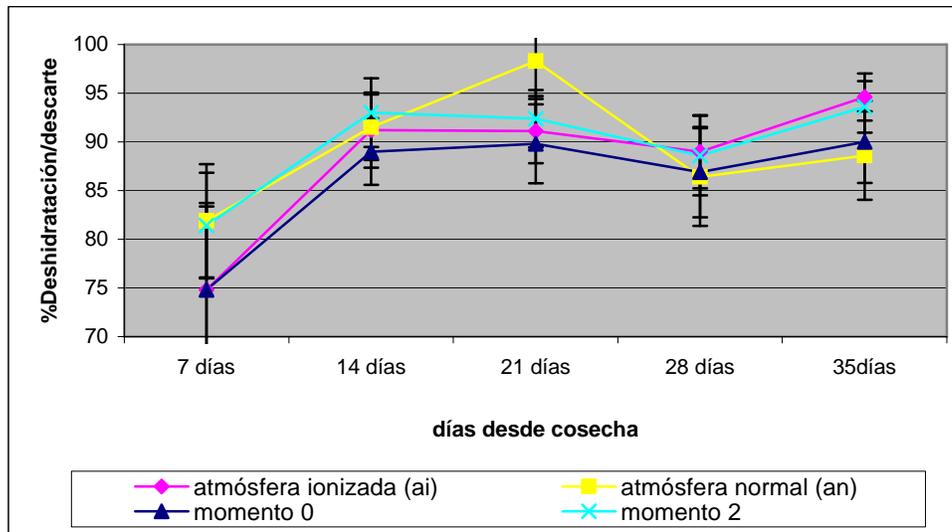
Tratamiento/Momento	Período de almacenamiento (días)	
	0	28
ai		3,1 b
an		3,8 a
0	6,7	4,1 A
2	6,5	2,8 B
P(trat x mom)		0,809
P trat		< 0,0001
Pmom	0,35	< 0,0001
CV	33,9	71,5
Error Estándar	0,508	0,557

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

9.3. CAUSAS DE DESCARTE

Gráfica 9. Importancia relativa (%) de la deshidratación como causa de descarte sobre el total del descarte, para cada atmósfera y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).



Cuadro 38. Importancia relativa (%) de las pudriciones como causa de descarte sobre el total del descarte, para cada atmósfera y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)				
	0	7	14	21	28
ai	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0
an	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	2,8 B	2,4 B
P(trat x mom)		1,0	1,0	0,35	1,0
P trat		1,0	1,0	0,39	1,0
Pmom	1,0	1,0	1,0	0,021	0,021
Error Estándar P	0,0	0,0	0,0	0,78	0,29
Errores					
ai		0,0	0,0	1,53	0,0
an		0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	1,59	1,16

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Error Estándar P= Error estándar promedio.

Cuadro 39. Importancia relativa (%) de otros defectos como causa de descarte sobre el total del descarte, para cada atmósfera y momento de evaluación, según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		25,5	8,7	6,4	10,2	3,9
an		18,1	8,5	7,2	11,9	11,4
0	27,2 B	25,2	10,5	9,4	13,1	10,4
2	8,7 A	18,5	6,9	4,8	9,1	4,7
P(trat x mom)		0,54	0,47	0,64	0,079	0,39
P trat		0,46	0,97	0,85	0,59	0,058
Pmom	0,0001	0,52	0,46	0,25	0,46	0,19
Error Estándar P	8,32	7,19	3,54	2,92	4,00	2,90
Errores						
ai		8,56	3,86	2,74	3,54	1,87
an		5,82	3,36	3,06	4,47	3,97
0	11,4	8,93	3,42	3,63	4,47	3,67
2	5,23	5,43	3,52	2,26	3,51	2,10

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos. Error Estándar P= Error estándar promedio.

Cuadro 40- Porcentaje de deshidratación (%) relativo al total de frutos de la petaca para cada interacción tratamiento (atmósfera) x momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	14	28
ai	0	23,5 a	17,0 b
an	0	13,7 ab	21,9 b
ai	2	9,2 b	35,4 a
an	2	19,0 ab	13,0 b
P (trat x mom)		0,04	0,001
Error Estándar		4,76	3,95

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 41. Porcentaje frutos con pudriciones (%) relativo al total de frutos de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		0,0	0,0	0,56	0,0	0,0
an		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,77	0,30 B	7,6 B
P(trat x mom)		1,0	1,0	0,343	1,0	1,0
P trat		1,0	1,0	0,335	1,0	1,0
Pmom	1,0	1,0	1,0	0,138	0,023	<0,0001
Error Estándar P	0,0	0,0	0,0	0,21	0,08	0,11
Errores						
ai		0,0	0,0	0,40	0,0	0,0
an		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,45	0,30	0,42

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos. Error Estándar P= Error estándar promedio.

Cuadro 42. Porcentaje (%) de frutos con otros defectos, relativo al total de frutos de la petaca para cada atmósfera y momento de análisis, según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		2,9	1,5	1,7	2,9	1,7
an		3,4	1,5	1,6	2,4	2,7
0	1,6 B	2,4	2,2	2,0	2,9	2,4
2	3,2 A	3,9	1,0	1,3	2,2	2,0
P(trat x mom)		0,65	0,80	0,63	0,34	0,42
P trat		0,65	0,91	0,96	0,68	0,49
Pmom	0,033	0,29	0,19	0,50	0,55	0,77
Error Estándar P	0,67	1,06	0,63	0,75	0,90	1,0
Errores						
ai		0,99	0,65	0,76	0,94	0,92
an		1,14	0,62	0,73	0,85	1,07
0	0,88	0,93	0,72	0,83	0,98	1,0
2	0,47	1,19	0,52	0,66	0,81	0,99

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos. Error Estándar P= Error estándar promedio.

9.3.1. Relación del tamaño de fruta- causas de descarte

Cuadro 43. Porcentaje de deshidratación por calibre según período de almacenamiento (días) en salida de cámara.

Calibre	Período de almacenamiento (días)				
	7	14	21	28	35
Chico	14,6 a	35,9 a	43,8 a	42,1 a	49,5 a
Mediano	5,6 b	13,4 b	10,3 b	13,1 b	10,4 b
Grande	5,6 b	1,7 b	4,2 b	4,6 b	5,7 b
P	0,043	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Error Estándar					
Chico +	4,68	5,09	5,83	5,44	6,05
Chico -	3,69	4,78	5,66	5,25	6,04
Mediano +	2,12	2,91	2,89	2,58	3,11
Mediano -	1,56	2,45	2,32	2,21	2,46
Grande +	4,72	4,55	4,91	4,37	10,4
Grande -	1,86	1,27	2,32	2,29	3,84

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 44. Porcentaje de deshidratación por calibre según período de almacenamiento (días) luego de 2 días de vida mostrador.

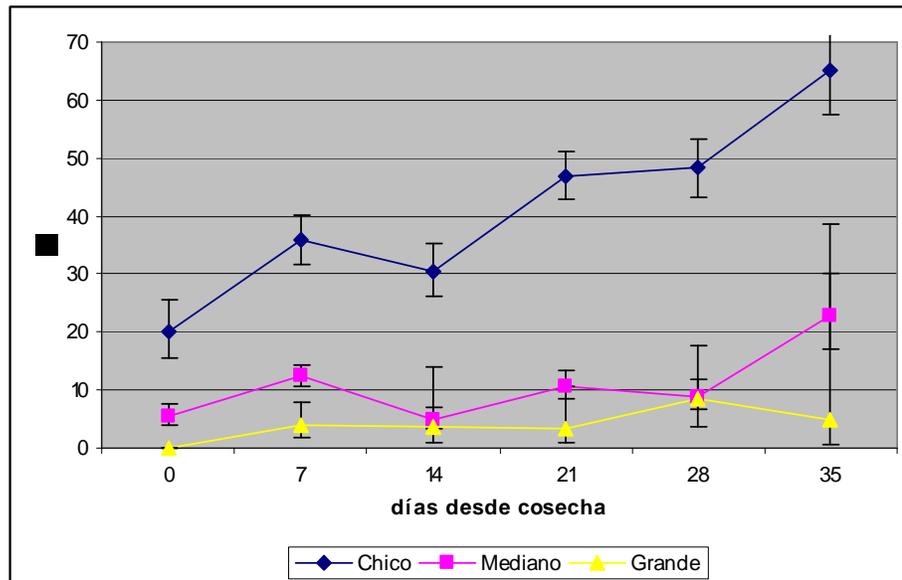
	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
Chico	20,1 a	35,9 a	30,6 a	47,0 a	48,3 a	65,0 a
Mediano	5,47 b	12,3 b	4,9 b	10,6 b	8,9 b	23,0 b
Grande	0,0	4,0 b	3,7 b	3,2 b	8,4 b	5,0 b
P	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001

Error
Estándar

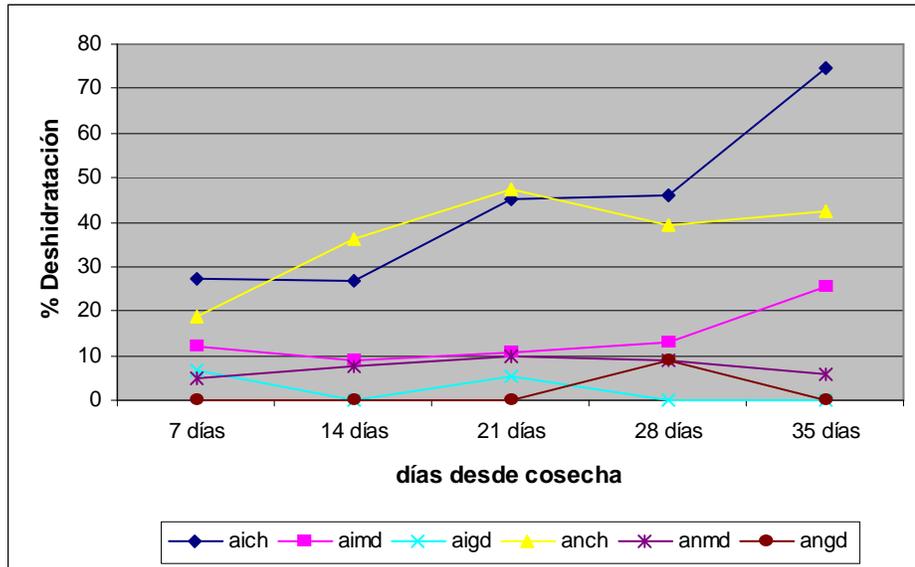
Chico +	5,52	4,39	4,87	4,17	4,94	6,92
Chico -	4,57	4,16	4,46	4,12	4,89	7,63
Mediano +	1,99	1,99	2,14	2,62	2,77	7,25
Mediano -	1,48	1,75	1,52	2,16	2,17	5,93
Grande +	0,0	3,94	10,1	7,40	9,21	33,5
Grande -	0,0	2,00	2,79	2,30	4,59	4,56

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Gráfica 10. Porcentaje (%) de deshidratación por calibre según período de almacenamiento (días) luego de 2 días de vida mostrador.



Gráfica 11- Porcentaje (%) de deshidratación por calibre relativo al total de frutas de cada calibre por atmósfera y según período de almacenamiento (días).



aich: frutos de calibre chico en atmósfera ionizada
 aimd: frutos de calibre mediano en atmósfera ionizada
 aigd: frutos de calibre grande en atmósfera ionizada
 anch: frutos de calibre chico en atmósfera normal
 anmd: frutos de calibre mediano en atmósfera normal
 angd: frutos de calibre grande en atmósfera normal

Cuadro 45. Proporción (%) de frutos comerciales en relación al peso total por calibre para combinación atmósfera x momento de análisis según período de almacenamiento (días).

0 día	0		2					
Grande	95	a	100	a				
Mediano	100	a	95,4	a				
Chico	95	b	78,5	b				
P	0,0094		0,0059					
CV	1,98		8,0					
Error Estándar	0,97		3,65					
7 días	ai0	T	ai2	T	an0	T	an2	T
Grande	96,8		96,8	a	100		100	a
Mediano	91,3		85,3	a	97,9		89,7	ab
Chico	73,8		66,9	b	85,7		74,5	b
P	0,09		0,0009		0,1366		0,022	

CV	15,8		7,5		10,3		11,96	
Error Estándar	6,90		3,15		4,85		5,25	
14 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	96,2		100	a	100	a	93,2	ab
Mediano	86,1		94,3	ab	91,4	a	95,9	a
Chico	77,9		71,5	b	67,5	b	73,7	b
P	0,144		0,038		0,0058		0,027	
CV	13,6		14,7		11,6		11,8	
Error Estándar	5,90		6,45		4,95		5,15	
21 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	95,8	a	75		96	a	100	a
Mediano	91,9	a	86,9		88,4	a	91	a
Chico	59,5	b	53,9		41,7	b	57,7	b
P	0,0011		0,37		0,004		<0,0001	
CV	12,1		43,9		23,6		7,5	
Error Estándar	4,95		15,7		8,9		3,05	
28 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	97,6	a	100	a	94,6	a	90,4	
Mediano	87,3	ab	85,5	a	86,3	a	94,8	
Chico	68,7	b	41,5	b	51,5	b	74,3	
P	0,023		<0,0001		0,0006		0,065	
CV	14,3		9,6		13,6		12,9	
Error Estándar	6,0		3,5		5,3		5,6	
35 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	100	a	94,3	a	96,2	a	100	a
Mediano	85,5	ab	67,0	a	95,2	a	93,9	a
Chico	52,7	b	13,7	b	74,0	b	54,9	b
P	0,019		0,0017		0,0052		< 0,0001	
CV	24,3		35,5		8,9		9,2	
Error Estándar	9,65		9,75		3,95		3,75	

T: Tukey. ai: A.ionizada; an: A. normal. 0: salida de cámara; 2: 2 días vida mostrador
Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

Cuadro 46. Proporción (%) de frutos deshidratados en relación al peso total por calibre para combinación atmósfera x momento de análisis según período de almacenamiento (días)

0 día	0		2					
Grande	0	b	0	b				
Mediano	0	b	4,5	b				
Chico	4,82	a	21,5	a				
P	0,0094		0,0059					
CV	121		84,4					
Error Estándar	0,97		3,66					
7 días	ai0	T	ai2	T	an0	T	an2	T
Grande	3,2		3,2	b	0,0		0,0	b
Mediano	8,7		14,7	b	2,1		10,3	ab
Chico	26,2		33,0	a	14,3		25,5	a
P	0,098		0,0009		0,136		0,022	
CV	108		40,9		178		88,3	
Error Estándar	6,90		3,15		4,85		5,25	
14 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	3,75		0,0	b	0,0	b	6,8	ab
Mediano	13,8		5,6	ab	8,5	b	4,0	b
Chico	22		28,4	a	32,5	a	26,3	a
P	0,14		0,038		0,0058		0,027	
CV	89,1		103,7		66,4		83,6	
Error Estándar	5,90		6,45		4,95		5,15	
21 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	4,2	b	25		3,9	b	0,0	b
Mediano	8,1	b	13		11,6	b	8,9	b
Chico	40,5	a	46		58,2	a	42,2	a
P	0,0011		0,368		0,004		< 0,0001	
CV	56,7		112,5		72,5		32,7	
Error Estándar	4,99		15,8		8,90		3,05	
28 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	2,4	b	0,0	b	5,4	b	9,5	
Mediano	12,7	ab	14,5	b	13,7	b	5,2	
Chico	31,3	a	58,5	a	48,5	a	25,7	
P	0,023		< 0,0001		0,0006		0,065	

CV	78,1		26,6		46,9		83,1	
Error Estándar	6,0		3,5		5,3		5,6	
35 días	ai0		ai2		an0		an2	
Grande	0,0	b	5,7	b	3,7	b	0,0	b
Mediano	14,5	ab	32,9	b	4,7	b	6,0	b
Chico	47,3	a	86,3	a	25,9	a	45,1	a
P	0,019		0,0017		0,0052		< 0,0001	
CV	93,8		43,5		69,0		40,3	
Error Estándar	9,65		9,75		3,95		3,75	

T: Tukey . ai: A. ionizada; an: A. normal. 0: salida de cámara; 2: 2 días vida mostrador
Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).

Cuadro 47. Porcentaje (%) de deshidratación en el total por calibre para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)								
	0			7			14		
	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
ai				27,3 a	11,9 a	6,91 a	26,9	9,1	0,0
an				18,9 a	4,8 b	0,0	36,1	7,6	0,0
0	5,7 B	0,0	0,0	14,6 B	4,3 B	0,0	31,7	13 A	0,0
2	21,4 A	5,5	0,0	34,8 A	13 A	0,0	30,6	5,2 B	0,0
P trat				0,31	0,01	<0,0001	0,37	0,60	0,66
P mom	0,026	0,99	1,0	0,010	0,0050	0,64	0,91	0,010	1,0

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente (P<0.05).
La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

9.4 PESO Y PESO COMERCIAL

Cuadro 48. Peso (g) para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		116,0	114,2	109,4 b	111,2	107,4 b
an		116,5	115,2	114,5 a	114,3	111,7 a
0	120 A	117,9	116,5 A	115,0 A	113,0	112,5 A
2	115 B	114,6	112,9 B	108,7 B	112,4	106,6 B
P(trat x mom)		0,209	0,662	0,377	0,925	0,159
P trat		0,78	0,49	0,010	0,070	0,009
P mom	0,020	0,12	0,020	0,0020	0,65	0,0010
CV	2,1	3,5	2,4	2,2	2,8	2,6
Error Estándar	1,24	2,02	1,39	1,22	1,56	1,42

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Cuadro 49. Peso comercial (g) para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Trat/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		107	100,7	88,8	87	70,6 b
an		100,8	99,2	95,8	97,2	93,8 a
0	119,7 A	110 A	99,7	97,1	94,6	95,7 A
2	107,6 B	97,6 B	100,2	87,5	89,6	68,7 B
P(trat x mom)	0,53	0,19	0,99	0,052	0,093	0,63
P trat		0,11	0,77	0,20	0,067	0,0038
P mom	0,004	0,004	0,92	0,09	0,34	0,001
CV	3,3	7,0	10,2	11,4	10,9	15,7
Error Estándar	1,89	3,645	5,1	5,25	5,05	6,45

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

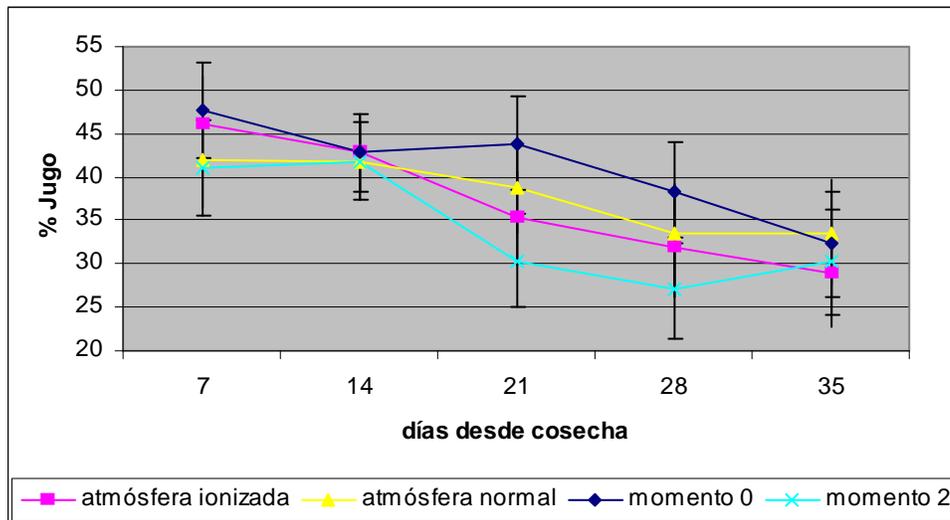
9.5. CALIDAD INTERNA

Cuadro 50. Porcentaje (%) de jugo para cada atmósfera y momento de evaluación según período de almacenamiento (días).

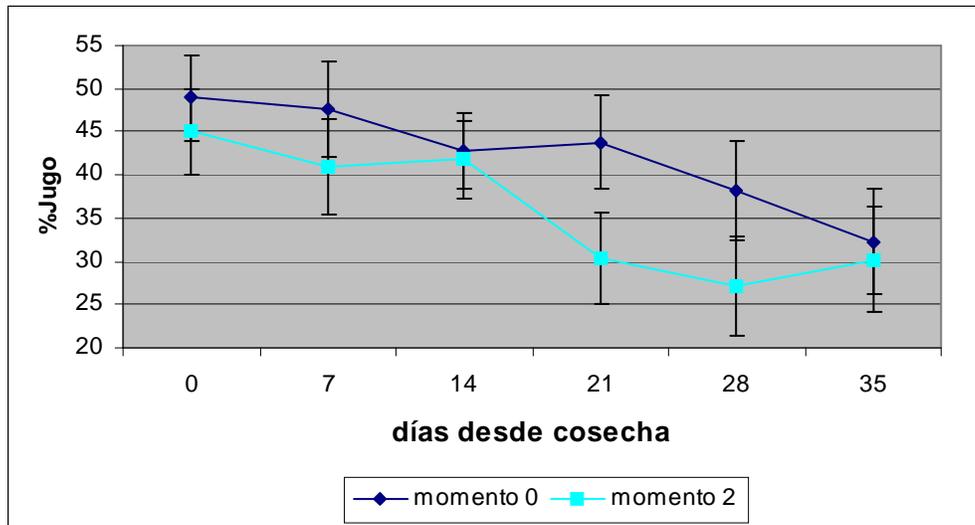
Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		46,0	42,8	35,3	31,9	28,9
an		42,0	41,8	38,8	33,4	33,6
0	49,0	47,7	42,8	43,8 A	38,2 A	32,3
2	45,0	41,0	41,8	30,4 B	27,1 B	30,2
P(trat x mom)		0,643	0,133	0,848	0,378	0,975
P trat		0,380	0,754	0,370	0,726	0,286
P mom	0,29	0,099	0,75	0,0010	0,012	0,63
CV	20,8	24,7	21,0	28,9	35,7	38,9
Error Estándar	4,94	5,48	4,46	5,37	5,83	6,07

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$). La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

Gráfica 12. Porcentaje (%) de jugo para cada atmósfera y momento de evaluación según período de almacenamiento (días).



Gráfica 13. Porcentaje (%) de jugo para cada momento de evaluación según período de almacenamiento (días).



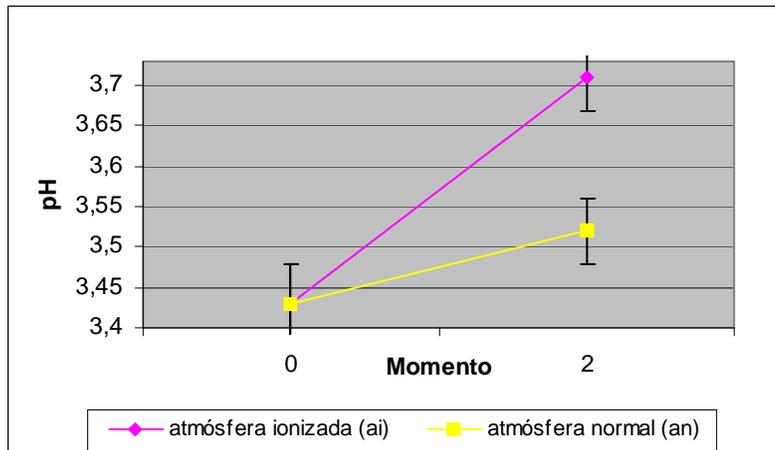
Cuadro 51. Sólidos solubles totales (°Brix) para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Tratam/Mom	Período de almacenamiento (días)					
	0	7	14	21	28	35
ai		11,1	11,2	11,4	10,9	11,9
an		11,4	11,0	10,9	11,1	11,3
0	11,1	11,1	11,3	10,6 B	10,9	11,4
2	11,0	11,4	10,9	11,6 A	11,2	11,9
P(trat x mom)		0,985	0,712	0,221	0,490	0,177
P trat		0,308	0,4622	0,118	0,607	0,059
P mom	0,933	0,563	0,1958	0,0103	0,315	0,131
CV	10,6	8,30	7,70	8,80	8,90	7,30
Error Estándar	0,585	0,470	0,425	0,495	0,490	0,425

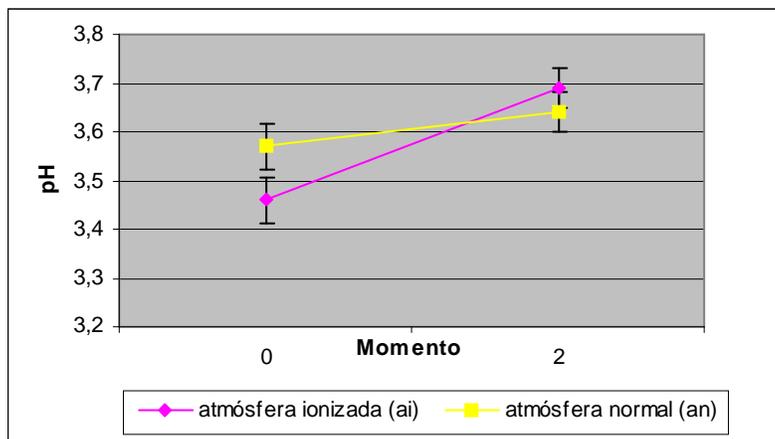
Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

La comparación es dentro de momento y dentro de tratamiento y no entre sí. Se utilizaron letras mayúsculas (A, B) para las comparaciones entre momentos y letras minúsculas (a, b) para las comparaciones entre tratamientos.

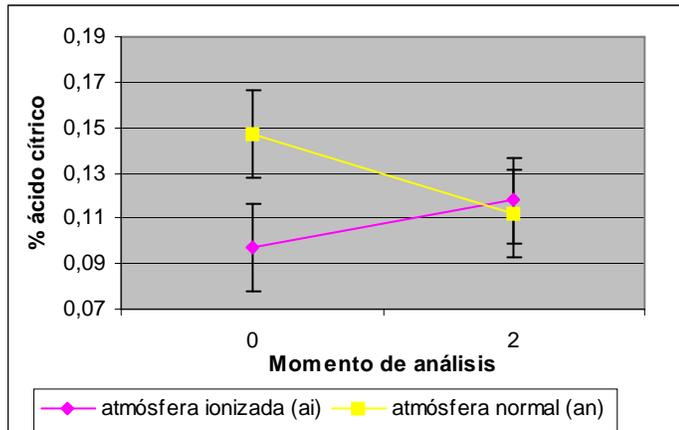
Gráfica 14. Interacción en los valores de pH de cada atmósfera a los 28 días de almacenamiento, según momento de evaluación (días).



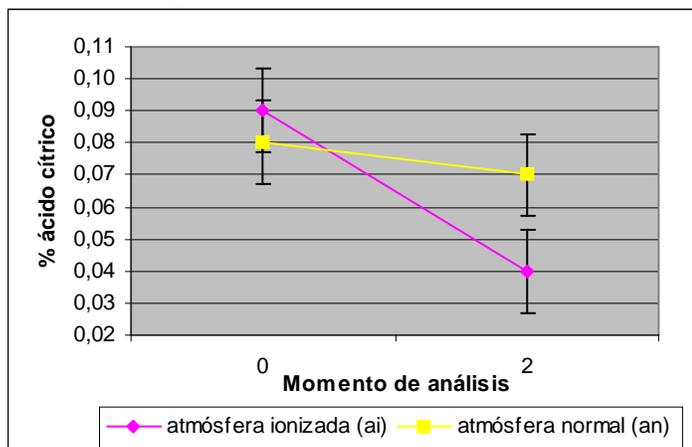
Gráfica 15. Interacción en los valores de pH de cada atmósfera a los 35 días de almacenamiento, según momento de evaluación (días).



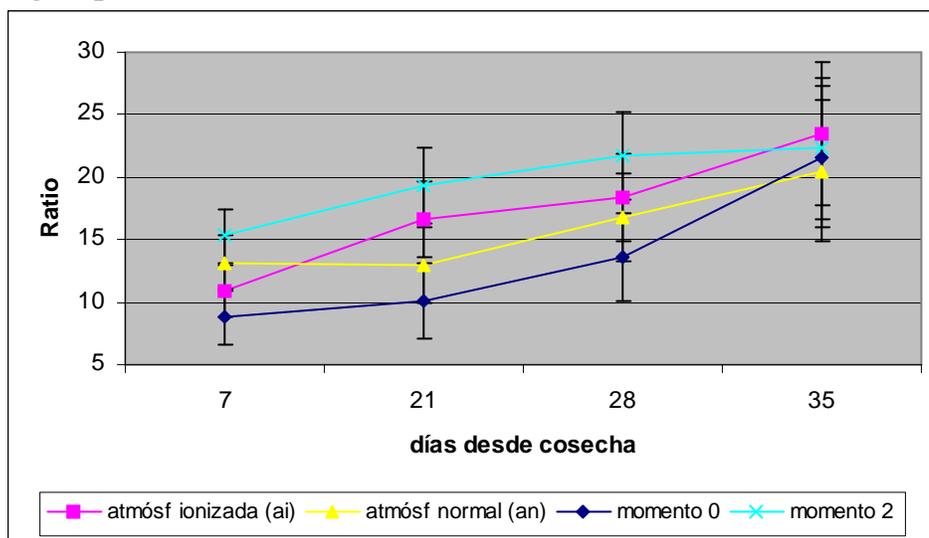
Gráfica 16. Acidez (% ácido cítrico) para cada atmósfera a los 14 días desde cosecha, según momento de análisis (días).



Gráfica 17. Acidez (% ácido cítrico) para cada atmósfera a los 28 días desde cosecha, según momento de análisis (días).



Gráfica 18. Evolución del ratio para cada atmósfera y momento de análisis según período de almacenamiento (días).

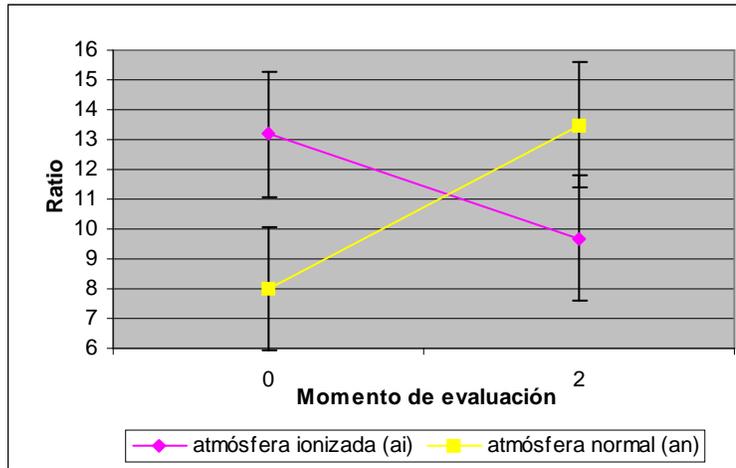


Cuadro 52- Evolución del ratio para cada atmósfera x momento de análisis según período de almacenamiento (días).

Tratamiento (trat)	Momento en días (mom)	14 días
ai	0	11,5
an	0	10,8
ai	2	10,7
an	2	11,6
	P(trat x mom)	0,0050
	CV	37,7
	Error Estándar	2,1

Medias seguidas de igual letra dentro de la misma columna no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Gráfica 19. Ratio para cada atmósfera a los 14 días desde cosecha, según momento de análisis (días).



9.6 SALIDAS SAS

Correlación tamaño de fruta-causas de descarte

The SAS System

124

The CORR Procedure

2 Variables: CALIBRE PDESH

Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	Label
CALIBRE	727	14.50206	2.16907	10.00000	19.00000	Calibre
PDESH	726	0.26578	0.32593	0	1.25000	pdesh

Pearson Correlation Coefficients

Prob > |r| under H0: Rho=0
Number of Observations

	CALIBRE	PDESH
CALIBRE	1.00000	-0.66762
Calibre		<.0001
	727	726
PDESH	-0.66762	1.00000
pdesh		<.0001
	726	726