



Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Exactas

**“EFECTO DEL ACONDICIONAMIENTO A BAJA TEMPERATURA  
SOBRE EL CONTROL DEL DAÑO POR FRÍO EN BERENJENA  
VIOLETA Y RAYADA”**

**Trabajo final de grado**

**Autor: Jessica Pérez**

Directora: Dra. María José Zaro

Tutora: Dra. Magalí Darré

Lugar de trabajo: Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de  
Alimentos (**CIDCA**). Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.

**Año 2020**



CIDCA



U. N. L. P.

*El presente trabajo para obtener el grado académico de **Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos**, fue realizado por la alumna Jessica Pérez en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA) bajo la dirección de la Dra. María José Zaro y la tutoría de la Dra. Magali Darré.*

## **Agradecimientos**

En estas líneas quiero agradecer a quienes me brindaron su ayuda y permitieron que pudiera realizar este trabajo.

A mi Directora, María José Zaro, quien me brindó todo su conocimiento y apoyo durante todo el desarrollo de mi tesis.

A mi Tutora, Magalí Darré, quien me acompañó tanto en el plano experimental como afectivo, ya que fue un gran apoyo en mis momentos de debilidad, me escuchó y siempre me motivó a seguir adelante.

Al CIDCA y a todas las personas del laboratorio de vegetales por su ayuda y buena predisposición.

A la Facultad de Ciencias Exactas y de Ciencias Agrarias y Forestales.

A mi familia, especialmente a mis padres, María y Jorge, quiénes durante todos mis años en la facultad fueron mi mayor sostén y permitieron que nada me faltara para que pudiera terminar mis estudios.

## PUBLICACIONES

### Resúmenes publicados en Actas de Congresos

- Pérez J, Darré M, Valerga L, Zaro M J, Vicente A, Lemoine ML, Concellón A. 2018. "Efecto del aclimatado sobre la calidad comercial y el control del daño por frío en berenjena rayada y violeta". *VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTAC 2018)*. 1-3 Octubre. Córdoba, Argentina.
- Pérez J, Darré M, Valerga L, Zaro M. J, Lemoine M. L, Concellón A. 2019. "Efecto del acondicionamiento a baja temperatura sobre el daño por frío y contenido de antioxidantes en distintos genotipos de berenjena". *II Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha*. 11-13 de Septiembre de 2019. Santiago del Estero, Argentina.

---

**ÍNDICE GENERAL**

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. ROL DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS EN LA DIETA.....	11
1.2. MANEJO POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS .....	11
1.2.1. Pérdidas poscosecha en el sector fruti-hortícola .....	11
1.2.2. Daño por frío (DPF).....	12
1.2.3. Tratamientos y tecnologías de poscosecha .....	15
1.3. ACONDICIONAMIENTO A BAJA TEMPERATURA .....	18
1.3.1. Fundamento .....	18
1.3.2. Aplicación de LTC en frutas y hortalizas.....	19
1.4. BERENJENA.....	20
1.4.1. Descripción .....	20
1.4.2. Posición en el mercado .....	21
1.4.3. Valor nutricional .....	22
1.4.4. Poscosecha de berenjena.....	23
2. OBJETIVOS .....	26
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.1. MATERIAL VEGETAL, TRATAMIENTOS Y ALMACENAMIENTO.....	29
3.2. ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO.....	29
3.3. PÉRDIDA DE PESO (%).....	30
3.4. COLOR DE PULPA.....	30
3.5. FIRMEZA.....	30
3.6. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DE PIEL Y PULPA.....	30
3.6.1. Extracción de antioxidantes .....	30
3.6.2. Compuestos fenólicos totales (FT).....	31
3.6.3. Capacidad antioxidante (CA).....	31
3.6.4. Ácido clorogénico (ACG).....	31
3.6.5. Antocianinas .....	31
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33

4.1.	APARIENCIA E ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO.....	34
4.2.	PÉRDIDA DE PESO .....	36
4.3.	PARDEAMIENTO DE PULPA.....	37
4.4.	FIRMEZA .....	39
4.5.	ANTIOXIDANTES EN PIEL .....	41
4.6.	ANTIOXIDANTES EN PULPA.....	45
5.	CONCLUSIONES.....	48
6.	BIBLIOGRAFIA.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Cambios en la integridad y funcionalidad de las membranas celulares asociados a lesiones por bajas temperaturas. Adaptado de Aghdam y Bodbodak (2013).</i> .....	14
<i>Figura 2. Clasificación de berenjena por tipos comerciales A) blanca, B) rayada, C) violeta, D) japonesa, E) china, F) mini-japonesa.</i> .....	21
<i>Figura 3. Síntomas de daño por frío en berenjena violeta. Adaptado de Zaro y col. (2015).</i> .....	24
<i>Figura 4. Apariencia de frutos de berenjena control o LTC (acondicionados a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5°C durante 14 d.</i> .....	35
<i>Figura 5. Índice de daño por frío de frutos de berenjena control o LTC (acondicionados a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	36
<i>Figura 6. Pérdida de peso de frutos de berenjena control o LTC (acondionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	37
<i>Figura 7. Modelo de color Cie-Lab y la representación gráfica de la cartilla de color y sus parámetros.</i> .....	38
<i>Figura 8. Luminosidad (<math>L^*</math>) de frutos de berenjena control o LTC (acondionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	39
<i>Figura 9. Esquema de una curva de textura típica (Fuerza vs distancia) de frutos de berenjena para un ensayo de ruptura efectuado con un texturómetro.</i> .....	40
<i>Figura 10. Firmeza de frutos de berenjena control o LTC (acondionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher, con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	41
<i>Figura 11. Capacidad antioxidante en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondionadas a 10 °C por 2 días) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 días. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	42
<i>Figura 12. Fenoles totales en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de <math>P &lt; 0,05</math>.</i> .....	43

*Figura 13. Ácido clorogénico en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ . ..... 43*

*Figura 14. Antocianinas en frutos de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ . ..... 44*

*Figura 15. Capacidad antioxidante en pulpa de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ . ..... 45*

*Figura 16. Ácido clorogénico (ACG) en pulpa de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ . ..... 46*

## ÍNDICE DE TABLAS

*Tabla 1. Tratamientos de acondicionamiento (LTC) utilizados en algunos productos fruti-hortícolas. .... 19*

*Tabla 2. Composición de berenjena cada 100 g de producto (USDA, 2018). ..... 22*



## RESUMEN

El daño por frío (DPF) es el principal desorden fisiológico que afecta a las berenjenas durante el almacenamiento poscosecha, y la susceptibilidad a este puede variar según el genotipo y estado de crecimiento de los frutos. El acondicionamiento a baja temperatura (**LTC, Low temperature conditioning**, por su sigla en inglés), que implica la exposición del producto a temperaturas de enfriamiento no críticas por un corto período de tiempo para lograr el aclimatado del vegetal, es un tratamiento que ha resultado eficaz para reducir el impacto del DPF en ciertos vegetales sensibles. De acuerdo a esto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficacia del LTC sobre el control del daño por frío en dos genotipos de berenjena cosechadas en dos estados de crecimiento. Para ello se cosecharon berenjenas (*Solanum melongena* L.) violetas y rayadas en dos tamaños: baby (9 cm) y comercial (17 cm). Se trasladaron al laboratorio, se lavaron y se dejaron secar. Luego se colocaron en bandejas plásticas, se cubrieron con film PVC perforado y se dividieron en dos grupos: el grupo control se almacenó a 5 °C por 14 d y el grupo tratado (LTC) se aclimató a 10 °C por 2 d para luego almacenarse a 5 °C por 12 d adicionales. A 0 y 14 d de almacenamiento se evaluó la apariencia de los frutos, el índice de DPF, la pérdida de peso, el pardeamiento de la pulpa, la firmeza y los compuestos antioxidantes de piel y pulpa. El estado de crecimiento afectó la susceptibilidad al DPF de forma diferencial según el genotipo, así las berenjenas baby-rayadas y comercial-violeta resultaron las más sensibles. Ambos tipos de berenjena mostraron grandes beneficios del tratamiento LTC, especialmente en las combinaciones más sensibles. Es así que mantener los frutos a 10 °C durante 2 d antes de enfriar a 5 °C redujo significativamente el desarrollo de escaldaduras de la piel (40-50%), el pardeamiento de la pulpa (70-100%) y el ablandamiento (25-80%). En tanto, la pérdida de peso no se vio, en general, afectada por el tratamiento. Cabe destacar que los frutos acondicionados mostraron además una mayor retención de antioxidantes tanto en la piel como en la pulpa, respecto de aquellos no tratados. Los resultados obtenidos permitieron establecer que las berenjenas se diferencian marcadamente en su susceptibilidad al DPF, y que el LTC resultó un tratamiento simple, económico y eficaz para su control. La mejor respuesta a las bajas temperaturas estuvo asociada a una mejor conservación de la calidad global del fruto, de la integridad del tejido y del contenido de antioxidantes.

# 1.INTRODUCCIÓN



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ROL DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS EN LA DIETA**

Hoy en día es ampliamente aceptado que una dieta rica en frutas y hortalizas produce bienestar y previene la aparición de ciertas enfermedades. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una ingesta de cinco porciones (400 g) diarias para reducir el riesgo de dolencias cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer y otras enfermedades relacionadas con la dieta como hipertensión, colesterol, diabetes, obesidad, así como para la prevención de deficiencias de micronutrientes (Martin y col.,2013; Rodriguez-Casado, 2016). Sin embargo, en numerosos países como Colombia, España, Estados Unidos, México, entre otros, se consume menos del 50-60% del valor recomendado, y esta situación no difiere de lo informado en Argentina donde la ingesta promedio se ubica en los 230 g por habitante y por día (Moñino y col., 2016; Zapata y col., 2016). Por ello se han intensificado las campañas de promoción del consumo de frutas y hortalizas que se presentan como alimentos ricos en vitaminas, minerales y fibra, bajos en grasas y sodio, y con un alto contenido de agua (Martin y col., 2013). Los posibles mecanismos de su efecto favorable sobre la salud incluyen la reducción de la densidad energética de la dieta, la modulación de la respuesta de los lípidos y la glucosa en sangre, los efectos sobre el funcionamiento del sistema digestivo, así como el reemplazo de alimentos menos saludables (Järvi y col., 2016). Además existe evidencia que gran parte del potencial saludable proviene del aporte de diferentes fitoquímicos, entre los cuales se destacan ciertos constituyentes con propiedades antioxidantes (Rodriguez-Casado, 2016).

### **1.2. MANEJO POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS**

#### **1.2.1. Pérdidas poscosecha en el sector fruti-hortícola**

Una característica sobresaliente de las frutas y hortalizas es su alta perecibilidad, lo que implica un reducido tiempo de vida útil desde el momento de recolección hasta su consumo. Se ha informado que aproximadamente un tercio de la producción agrícola mundial destinada al suministro de alimentos se desperdicia, y estas mermas son aún más elevadas en el grupo de frutas y hortalizas frescas donde las pérdidas pueden alcanzar hasta un 50% (FAOSTAT, 2014). Lo anterior resulta inaceptable tanto por el desaprovechamiento directo de alimentos, como por la ineficiencia en el uso de recursos naturales y económicos (tierra, agua, fertilizantes, trabajo). En este sentido, es de gran importancia desarrollar estrategias

que permitan aumentar el rendimiento de los cultivos reduciendo el empleo de insumos naturales y económicos, mejorar la calidad de las cosechas, reducir las pérdidas y obtener alimentos más nutritivos.

Es sabido que las prácticas de cosecha y poscosecha tienen implicancias directas sobre la calidad, capacidad de aprovechamiento y comercialización de los vegetales frescos ([Graham, 2006](#)). Por ello, se deben tener en cuenta importantes recomendaciones de manejo para frenar pérdidas y conservar la calidad. Primero es fundamental conocer el punto óptimo de cosecha del producto de acuerdo con las exigencias del mercado a fin de evitar rechazos por problemas de madurez. Luego es necesario contar con un apropiado sistema de clasificación, empaque y transporte de forma que se minimicen golpes y magulladuras, o el abuso térmico ([Kader, 2002](#)). Paralelamente, si bien el almacenamiento de los vegetales frescos es costoso, contar con cámaras frigoríficas de alta eficiencia y capacidad resulta determinante ([García, 2011](#)). Esto se asocia a que la refrigeración constituye la herramienta más eficaz para reducir las pérdidas y el deterioro de las frutas y hortalizas recién cosechadas. Las bajas temperaturas disminuyen la tasa metabólica, retrasan la senescencia, reducen la velocidad de reacciones de deterioro como el pardeamiento, la degradación de clorofilas y el ablandamiento excesivo, así como reducen el desarrollo de microorganismos ([Kader, 2002](#)). Por otra parte, existen vegetales sensibles al frío como los de clima tropical o templado, en los cuales los beneficios de la refrigeración sólo puede explotarse parcialmente ([Saltveit, 2003](#)). De acuerdo a lo anterior, en la actualidad se encuentran en evaluación numerosos tratamientos y tecnologías de poscosecha complementarias a la refrigeración, que tienen como objetivo retrasar aún más la senescencia natural de los vegetales y/o minimizar la incidencia del daño por frío a fin de lograr almacenamientos más prolongados a baja temperatura.

### **1.2.2. Daño por frío (DPF)**

El daño por frío (DPF) es una fisiopatía que se desarrolla cuando ciertos vegetales sensibles son almacenados a temperaturas inferiores a las recomendadas ([Valenzuela y col., 2017](#)). En general las frutas y hortalizas de origen tropical o subtropical son susceptibles de sufrir DPF durante la poscosecha, algunos ejemplos característicos incluyen a los cítricos, palta, ananá, mango, melón, banana, berenjena, tomate, pimiento, pepino, zucchini, entre otros ([Wang, 1994](#)). Dentro de este grupo, cada especie soporta una temperatura mínima, por lo general

entre 8 y 10 °C, debajo de la cual se desarrollan diferentes niveles de daño que afectan la calidad interna y externa del producto, lo que redundaría en una significativa pérdida del valor comercial (Toivonen, 2011; Liang y col., 2020). La susceptibilidad al DPF depende de muchos factores de pre y poscosecha, entre ellos la variedad, el grado de madurez a cosecha, la historia térmica durante el desarrollo del cultivo, así como de la temperatura y tiempo de exposición a las bajas temperaturas durante el almacenamiento (Purvis, 2002; Saltveit, 2003).

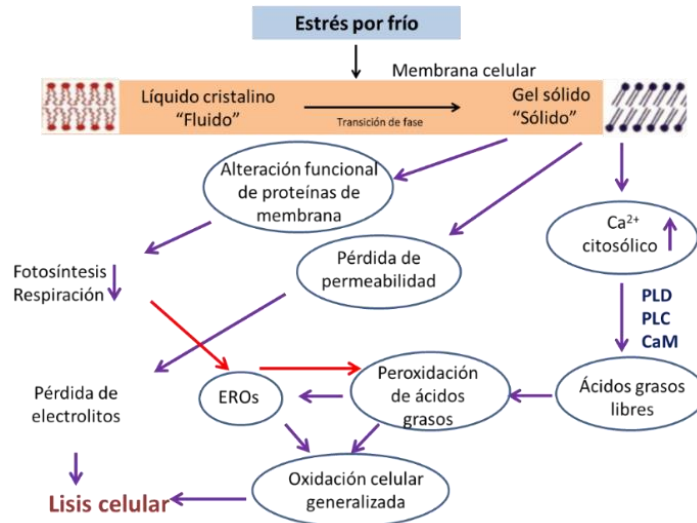
El DPF genera diversas respuestas metabólicas tales como la estimulación de la producción de etileno, el aumento de la tasa respiratoria, la inactivación enzimática, la disfunción de las membranas biológicas y la alteración de la estructura celular (Patel y col., 2016). En tanto, los síntomas visibles característicos incluyen la formación de depresiones en la piel (síntoma conocido como "*pitting*" del inglés "con hoyos") frecuente en cítricos, berenjena y pepino, harinosidad de la pulpa y pérdida de jugo común en frutas de carozo como durazno, incapacidad para desarrollar una coloración uniforme observable en tomates (Wang, 1994). Además la deshidratación y la susceptibilidad a podredumbres, así como el pardeamiento enzimático son comunes en diferentes especies de hortalizas como berenjena, pimiento y tomate (Valenzuela y col., 2017).

En general, los mecanismos que inducen el DPF se asocian a dos procesos principales:

- ***Cambios en la integridad y funcionalidad de las membranas celulares***

El estrés por frío causa alteraciones en la estructura y la función de la membrana plasmática de las células vegetales, lo que se considera como el principal evento en respuesta al DPF (Liang y col., 2020). La naturaleza física de los lípidos de membrana es la responsable de la habilidad de adaptación de las plantas a las condiciones ambientales. En el caso del DPF estaría involucrado un evento inicial denominado "transición de fase", en el que los lípidos hallados en forma de líquido cristalino, ante temperaturas menores a la crítica, evolucionan hacia una fase tipo gel-sólido (Lyons, 1973). La principal consecuencia de esto es la pérdida de la funcionalidad de la biomembrana, generando desbalances en importantes procesos metabólicos que incluyen: alteración de reacciones enzimáticas, alteración de la actividad de proteínas de membranas, pérdida de la permeabilidad, sobreproducción de especies reactivas del oxígeno (EROs), peroxidación de ácidos grasos, y acumulación de metabolitos tóxicos (Sevillano y col., 2009; Aghdam y Bodbodak, 2013; Liang y col., 2020) (Figura 1). Con la

exposición prolongada a las bajas temperaturas, finalmente se produce el daño y muerte celular, haciéndose visible en el producto a partir de lesiones superficiales, pardeamiento interno, lentitud en los procesos de maduración, entre otros (Aghdam y Bodbodak, 2013). Asimismo, suele ocurrir la aparición de pudriciones en las zonas afectadas (Salveit, 2003; Toivonen, 2011) y puede existir fuga de agua intracelular, iones y otros metabolitos (Sharom y col., 1994).



**Figura 1.** Cambios en la integridad y funcionalidad de las membranas celulares asociados a lesiones por bajas temperaturas. Adaptado de Aghdam y Bodbodak (2013).

- **Estrés oxidativo y sobreproducción de EROs**

Las EROs son producidas por el metabolismo celular normal. Ante un desbalance entre la producción de EROs y el sistema de detoxificación antioxidante enzimático y químico, se produce el estrés oxidativo (Sevillano y col., 2009). En general, esta situación ocurre por diversas situaciones de estrés biótico y abiótico, entre los que se incluye el daño por baja temperatura. Las EROs incluyen al anión superóxido, peróxido de hidrógeno, radical hidroxilo, óxido nítrico y peroxinitrito (Valenzuela y col., 2017). En relación al punto anterior, la pérdida de integridad de las membranas celulares se ve impulsada por procesos oxidativos, ya que el estrés por frío aumenta los niveles de EROs que estimulan la peroxidación de los lípidos constituyentes (Sevillano y col., 2009). En consecuencia, el sistema de defensa de las plantas puede activarse induciendo la actividad o la expresión génica de los sistemas antioxidantes enzimático (superoxidodismutasa-SOD, catalasa-CAT, peroxidasa-POD, glutatión peroxiasa-GPX) y químico (compuestos fenólicos, carotenoides, ácido ascórbico, glucosinolatos, entre otros) a fin de eliminar el

exceso de EROs (Moller, 2001). La mayor actividad del sistema antioxidante conduce por lo tanto a mejoras en la integridad de la membrana e induce resistencia ante condiciones de estrés por baja temperatura (Mittler, 2002). Esto es de gran interés, ya que una mayor resistencia al DPF confiere al vegetal la posibilidad de ser almacenado a baja temperatura por más tiempo y que los síntomas de daño se vean retrasados e incluso inhibidos.

### **1.2.3. Tratamientos y tecnologías de poscosecha**

Como se mencionó anteriormente, resulta de suma importancia la evaluación de tratamientos poscosecha complementarios a la refrigeración que permitan reducir el estrés luego de la cosecha de las frutas y hortalizas y logren extender su vida útil. Al día de hoy podemos encontrar diferentes alternativas según la naturaleza de estos tratamientos: químicos, hormonales o físicos. A continuación se describen aquellos más relevantes en el control del DPF, de especial interés en este trabajo:

#### 1.2.3.1. Tratamientos químicos

En los últimos años se han evaluado numerosos tratamientos con agentes químicos orientados a aliviar el DPF. Si bien varios han mostrado buenos resultados a escala de laboratorio, su implementación comercial es aún reducida debido a las variaciones en la respuesta en función de la especie o variedad tratada y al creciente interés de los consumidores en minimizar el empleo de químicos en la poscosecha.

El 1-metilciclopropeno (1-MCP) es un análogo del etileno capaz de unirse irreversiblemente a sus receptores, empleado para la regulación de la maduración de frutos climatéricos y la inhibición de la senescencia de hortalizas (Watkins, 2006). Si bien este es su uso principal, se ha observado que puede inducir tolerancia al DPF en ciertos vegetales (Valenzuela y col., 2017). En zucchini, pimiento y berenjena su aplicación redujo significativamente la aparición de síntomas de DPF característicos como el punteado (pitting) superficial, la pérdida de peso, el aumento de la tasa respiratoria y el pardeamiento enzimático (Massolo y col., 2011; Cao y col., 2012; Megías y col., 2016). El 1-MCP también resultó efectivo para el control del DPF a partir de la regulación de la producción de EROs y del metabolismo energético en nectarinas (Zhang y col., 2020), la promoción del sistema de defensa

antioxidante enzimático en banana (Jiao y col., 2018) y el incremento de la capacidad antioxidante en duraznos (Liu y col., 2018).

Resultados positivos para el control del DPF fueron hallados también para tratamientos con óxido nítrico (NO) y glicina-betaína (GB). El NO, molécula señal involucrada en diversos procesos fisiológicos de las plantas, redujo la acumulación de EROs y los síntomas de DPF en pepino (Liu y col., 2016). Por su parte la GB, es un compuesto osmoprotector que logró reducir el DPF en pimientos a partir de la mejor conservación de la estructura de las membranas celulares, lo que se evidenció por la reducción de la pérdida de electrolitos y la peroxidación lipídica (Wang y col., 2016).

#### 1.2.3.2. Tratamientos hormonales

Las fitohormonas, o reguladores del crecimiento, son compuestos que actúan en muy baja concentración y que regulan diversos procesos metabólicos y respuestas de defensa de las plantas (Ciura y Kruc, 2018). Las hormonas vegetales más estudiadas son: etileno (ET), metil salicilato (MeSA) y metiljasmonato (MeJA), citoquininas (CK), auxinas (Aux), giberelinas (GA), brasinoesteroides (BR), poliaminas (PAs) y el ácido abscísico (ABA). Algunas de ellas han sido aplicadas como tratamientos en poscosecha para el control del DPF en ciertas frutas y hortalizas (Valenzuela y col., 2017).

Las poliaminas son un grupo de aminas alifáticas e incluyen a la espermidina (Spd), la espermina (Spm) y la putrescina (Put). En zucchini, la aplicación exógena de PAs redujo los síntomas de DPF, la fuga de electrolitos y mantuvo la firmeza de los frutos asociada a una menor actividad de la enzima poligalacturonasa (Martínez-Tellez y col., 2002). Palma y col. (2016) hallaron en estos mismos frutos un incremento de la actividad antioxidante y de las enzimas APX, CAT y GR, y también una acumulación de azúcares solubles como glucosa, fructosa y rafinosa. Las PAs además resultaron efectivas para reducir el DPF en damasco a partir de la inducción de la actividad de enzimas antioxidantes, y mantuvieron por más tiempo la firmeza y el color característico de los frutos (Koushesh y col., 2012).

Los brasinoesteroides, derivados de polihidroxi-esteroides, también han sido reportados como efectivos para retrasar los síntomas de DPF en hortalizas como pimiento (Wang y col., 2012) y berenjena (Gao y col., 2015). Su efecto estuvo relacionado con la reducción de la fuga de electrolitos, del pardeamiento enzimático y la deshidratación, además de un incremento del contenido de fenoles totales y de la actividad de enzimas como CAT, APX, GR, PAL, PPO y POD.



El ácido salicílico (SA) y el ácido jasmónico (JA), así como sus ésteres metílicos, el metil salicilato (MeSA) y metiljasmonato (MeJA), han sido aplicados como tratamientos poscosecha para mejorar la tolerancia al DPF ([Asghari y Aghdam, 2010](#); [Wasternack, 2007](#)). Algunos de los efectos beneficiosos reportados incluyen la reducción de los síntomas visibles de DPF, de la deshidratación, tasa respiratoria y pérdida de electrolitos, una mayor actividad de enzimas antioxidantes como SOD, CAT, APX y GR e inhibición de la actividad de fenilalanina amonio liasa (PAL) y polifenoloxidasas (PPO) en frutos como pepino, berenjena y zapallito ([Zhang y col., 2015](#); [Carrera y col., 2016](#); [Zapata y col., 2016](#)).

Finalmente, [Chen y Yang \(2013\)](#) hallaron que el tratamiento con la citoquinina 6-bencilaminopurina (6-BAP) controló el DPF en pepino al incrementar la capacidad antioxidante total, la actividad de enzimas antioxidantes y mantener niveles más altos de ATP. Además, este tratamiento redujo el aumento de la permeabilidad de la membrana y la peroxidación lipídica. De igual forma, [Massolo y col. \(2014\)](#), demostraron que la 6-BAP redujo significativamente los síntomas de DPF, el ablandamiento y la deshidratación de frutos de zapallito.

#### 1.2.3.3. Tratamientos físicos

Los tratamientos físicos en poscosecha se han desarrollado históricamente para controlar el daño de insectos y microorganismos, sin embargo en muchos casos al inducir mecanismos de defensa pueden contribuir a la conservación de la calidad de los vegetales al desacelerar la maduración y la senescencia, y prevenir los trastornos de almacenamiento ([Lurie, 2001](#)). Además, se consideran tratamientos “limpios” debido a la ausencia de residuos luego de su aplicación. Su principal inconveniente es que las condiciones de los tratamientos deben adaptarse a cada producto ([Lurie, 2001](#)). A su vez, la adecuación de las instalaciones para su aplicación suele ser costosa y difícil de escalar a situaciones productivas ([Liu y col., 2018](#)).

Los tratamientos físicos involucran la manipulación durante el almacenamiento de la temperatura (tratamientos térmicos en agua o aire caliente, acondicionamiento a baja temperatura) ([Kader, 2002](#)), la radiación (aplicación de luz UV o visible) ([Pintos y col., 2020](#)), la atmósfera circundante al producto (atmósferas controladas o modificadas) ([Lurie, 1998](#)), o sus combinaciones. Algunos de ellos se han utilizado para prevenir o mitigar los efectos del DPF en vegetales sensibles al ser aplicados antes o durante el almacenamiento a baja temperatura ([Valenzuela y col., 2017](#)). Así por ejemplo, el almacenamiento en atmósfera controlada (AC) con bajo O<sub>2</sub> redujo la incidencia del DPF, la pérdida de

peso, los cambios en el color de la piel y la fuga de electrolitos en pepinos (Fahmy y Nakano, 2014) y mejoro la respuesta al DPF y el nivel de poliaminas en zucchini (Whang y col., 1989). Por su parte, el uso de atmosferas modificadas (AM) redujo los síntomas visibles de DPF, la pérdida de peso, el ablandamiento y la fuga de electrolitos en pimiento (Ilic y col., 2012) y zucchini (Megías y col., 2015).

Tratamientos térmicos como el calentamiento intermitente o la inmersión en agua caliente han mostrado buenos resultados para prevenir el DPF en vegetales como pepino, berenjena, zucchini y pimiento (Valenzuela y col., 2017). En general, la respuesta al estrés térmico indujo mecanismos de defensa que incluyen la mejora de la integridad de las membranas a partir de la inducción de la síntesis de ácidos grasos insaturados que regulan la fluidez y la permeabilidad de la membrana a baja temperatura, la síntesis de proteínas de choque térmico, la producción de poliaminas y la activación de los sistemas antioxidantes enzimático y/o químico (Page col., 2010; Aghdam y Bodbodak, 2014).

### 1.3. ACONDICIONAMIENTO A BAJA TEMPERATURA

#### 1.3.1. Fundamento

El acondicionamiento a baja temperatura (**LTC**, **Low Temperature Conditioning**, por sus siglas en inglés) implica la exposición de frutas y hortalizas a temperaturas ligeramente por encima del rango de enfriamiento crítico por un corto período de tiempo, a fin de lograr el aclimatado del vegetal e incrementar su tolerancia al DPF cuando es sometido a subsecuentes temperaturas más bajas durante el almacenamiento, lo que genera a su vez una extensión de la vida útil poscosecha (Chaudhary y col., 2014; Jin y col., 2015; Wang, 1994). Las condiciones empleadas del LTC varían en función del producto considerado, pero en general consisten en el almacenamiento entre 5 y 12 °C por pocos días, previo a la transferencia a temperaturas aún más bajas (Wang y col., 1992). Al ser una tecnología simple y económica, el LTC se destaca como un tratamiento físico de gran valor práctico (Jin y col., 2009; Chaudhary y col., 2014; Zhou y col., 2015; Kashash y col., 2016; Zhang y col., 2017).

Si bien el mecanismo de acción del LTC frente al DPF no ha sido aún dilucidado totalmente, involucraría diferentes respuestas metabólicas relacionadas a la inducción de mecanismos de defensa de los productos recién cosechados frente a la aplicación de un estrés térmico no crítico. Estas respuestas incluyen la prevención del deterioro de la membrana celular por peroxidación lipídica debido a

una mejora del estado antioxidante del vegetal pre-acondicionado (Wang, 1994; Carvajal y col., 2015; Wang y col., 2013). En este sentido, se ha observado la inducción de la síntesis de compuestos antioxidantes y de la actividad de enzimas como SOD, APX y CAT, con la consecuente reducción de la producción de EROs y malonaldehído (Carvajal y col., 2015). Se ha informado además que el LTC puede modificar el grado de instauración de lípidos de membrana al incrementar la expresión de genes que codifican para desaturasas de ácidos grasos (Sapitnitskaya y col., 2006). Estos tratamientos fueron también capaces de reducir la fuga de electrolitos, la producción de etileno y la tasa respiratoria, así como de generar un aumento de los niveles de ATP mejorando el estatus energético del vegetal (Megías y col., 2015; Carvajal y col., 2015; Wang y col., 2017).

### 1.3.2. Aplicación de LTC en frutas y hortalizas

El LTC ha resultado efectivo para incrementar la tolerancia al DPF de diversas frutas tropicales y de clima templado como mango, durazno, palta, granada, pera y kiwi. También mostró resultados positivos en hortalizas sensibles como zucchini, pepino, berenjena y pimiento. En la **Tabla 1** se detallan los principales efectos del LTC en estos productos

**Tabla 1.** Tratamientos de acondicionamiento (LTC) utilizados en algunos productos fruti-hortícolas.

PRODUCTO	Tratamiento LTC/ Almacenamiento	PRINCIPALES BENEFICIOS
<b>DURAZNO</b> (Zhao y col., 2012)	12 °C 6 d / 0 °C 30 d	- Conservó los niveles de ATP - Redujo la acumulación de MDA - Mantuvo los niveles de jugo extraíble - Redujo el pardeamiento
<b>GRANADA</b> (Kashash y col., 2016)	15 °C 10 d / 1 °C 28 d	- Inhibió los síntomas de DPF - Redujo la pérdida de peso
<b>MANGO</b> (Zhang y col., 2017)	12 °C 1 d / 5 °C 25 d	- Redujo los síntomas de DPF - Mejoró el contenido de sólidos solubles y prolina - Redujo el estrés oxidativo
<b>PALTA</b> (Woolf y col., 2003)	4, 6, 8, 10, 12 y 15 °C de 0 a 5 d / 0 °C 21 d	- Redujo los síntomas de DPF

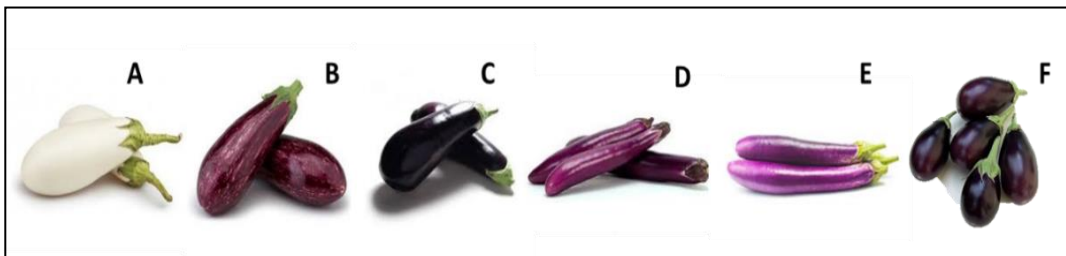
<b>PERA</b> (Li y col., 2017)	10 °C 3 d / 0 °C 60 d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redujo el pardeamiento</li> <li>- Retrasó la pérdida de fenoles</li> <li>- Redujo la producción de MDA y actividades de PPO y LOX</li> </ul>
<b>KIWI</b> (Yang y col., 2013)	12 °C 3 d/0 °C 120d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indujo mayor tolerancia al frío</li> <li>- Retraso el ablandamiento</li> <li>- Incrementó la actividad de enzimas antioxidantes</li> </ul>
<b>BERENJENA</b> (Shi y col., 2018)	13 °C 2 d / 4 °C 9 d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redujo el DPF y mantuvo la apariencia</li> <li>- Indujo la expresión génica y actividad de CAT y POD</li> <li>- Inhibió el pardeamiento</li> <li>- Redujo la pérdida de fenoles</li> </ul>
<b>ZUCCHINI</b> (Wang, 1992)	15 °C 2 d/ 5°C 16 d.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementó la tolerancia al DPF</li> <li>- Modificó la composición lipídica</li> </ul>
<b>PEPINO</b> (Wang y Zhu, 2017)	10 °C 6, 12, 24, 48 o 72 h/ 5 °C 12 d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redujo las lesiones por frío y mejoró la calidad</li> <li>- Mantuvo la integridad de la membrana</li> <li>- Inhibió la generación de EROs</li> </ul>
<b>PIMIENTO</b> (Wang y col., 2019)	13 °C 2 d / 4 °C 12 d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suprimió el desarrollo de DPF</li> <li>- Redujo la pérdida de clorofila y vitamina C</li> <li>- Incrementó las actividad de POD, CAT y APX</li> </ul>

## 1.4. BERENJENA

### 1.4.1. Descripción

La berenjena es originaria del sudoeste Asiático, principalmente de India y China (Prohens y col., 2005; Frary y col., 2007). Pertenece a la familia de las *Solanáceas*, al igual que el tomate, papa y pimiento. Los frutos más difundidos comercialmente son los de variedades violetas de tamaño grande y piriforme. De todos modos, existe dentro de la especie una gran diversidad de frutos en cuanto a forma, tamaño y color (Prohens y col., 2005; Mohammed y Brecht, 2003; Knapp y col., 2013). Teniendo en cuenta esta variabilidad, Cantwell y Suslow (2000) describieron distintos tipos comerciales de berenjena (**Figura 2**):

- a) **Blanca:** frutos comúnmente de tamaño medio y de forma ovalada o globular, que presentan piel delgada y clara.
- b) **Rayada:** frutos caracterizados por presentar forma ovalada y piel de color de fondo blanco cubierto por estrechas líneas violetas.
- c) **Violeta o Americana:** frutos de forma ovalada o globosa, firmes, con piel de color violeta oscuro.
- d) **Japonesa:** frutos largos y delgados, de color púrpura claro a oscuro y altamente perecederos.
- e) **China:** variedad de frutos oblongos y delgados, de color púrpura claro.
- f) **Mini-Japonesa:** pequeña, redonda y con vetas de diferentes tonalidades entre el púrpura y violeta.



**Figura 2.** Clasificación de berenjena por tipos comerciales A) blanca, B) rayada, C) violeta, D) japonesa, E) china, F) mini-japonesa.

#### 1.4.2. Posición en el mercado

La berenjena se ubica en el tercer lugar de importancia económica dentro de la familia de las *Solanáceas*, luego de la papa y el tomate (Zaro, 2014). De gran relevancia en países de Asia y el Mediterráneo, ha sido clasificada como el 25° cultivo en importancia a nivel global (Shi y col., 2018). La producción mundial supera los 50 millones de Tn, producidos en una superficie de casi 2 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2014). China es el principal productor aportando el 60% de la producción mundial con casi 30 millones de Tn, seguida por India, Egipto y Turquía (FAOSTAT, 2014). En nuestro país, la producción se destina al mercado interno y se cultiva en una superficie de aproximadamente 1.254 ha a campo y 29 ha bajo invernadero. Las principales provincias productoras son: Buenos Aires (23 %), Santa Fé (17%), Salta (17,5%), Córdoba (7,5%) y Mendoza (10%), y abastecen al resto del país durante todo el año (Censo Nacional Agropecuario, 2005).

### 1.4.3. Valor nutricional

La berenjena posee un elevado contenido de agua, es baja en calorías, proteínas y lípidos. Contiene niveles moderados de carbohidratos y fibras, y algunas vitaminas como vitamina A, niacina, riboflavina y tiamina, además de ciertos minerales como calcio, fósforo, hierro, sodio y potasio (**Tabla 2**) (USDA, 2018; Lorenz y Maynard, 1998).

**Tabla 2.** Composición de berenjena cada 100 g de producto (USDA, 2018).

Macrocomponentes	Minerales		Vitaminas		Lípidos		
Agua (g)	92,3	Ca (mg)	9	Vit C (mg)	2.2	Saturados (g)	0,03
Energía (kcal)	25	Fe (mg)	0,2	Tiamina (mg)	0,04	Monoinsat.(g)	0,02
Proteína (g)	0,98	Mg (mg)	14	Riboflavina (mg)	0,04	Poliinsat.(g)	0,08
Lípidos (g)	0,18	P (mg)	24	Niacina (mg)	0,65	Grasas trans	0
Azúcares (g)	3,5	K (mg)	229	Vit B6 (mg)	0,08	Colesterol	0
Fibra (g)	3,0	Na (mg)	2	Folatos (µg)	22		
		Zn (mg)	0,2	Vit A (µg)	1		
				Vit E (µg)	0,3		
				Vit K (µg)	3,5		

Si bien estos frutos no son particularmente ricos en ácido ascórbico (400–700 mg/kg peso seco) (Zaro y col., 2014) o carotenoides (40–100 mg/kg peso seco) (El-Qudah., 2009), se los reconoce por su contenido de compuestos fenólicos lo que ha permitido clasificarlos dentro de las 10 hortalizas con mayor capacidad antioxidante (Gürbüz y col., 2018). El ácido clorogénico (ACG), ester de los ácidos caféico y quínico, es el compuesto fenólico mayoritario presente en la pulpa de berenjena pudiendo representar hasta un 90% del total (Zaro y col., 2014). El ACG es abundante también en la piel de las berenjenas, al igual que las antocianinas del tipo delfinidina en el caso de variedades violetas o rayadas, a las cuales aportan el color (Valerga y col., 2020; Niño-Medina y col., 2017).

El contenido de compuestos fenólicos totales suele mostrar una elevada variabilidad entre genotipos (Prohens y col., 2013). Además, su nivel varía ampliamente según el estado de desarrollo considerado. En este sentido, Zaro y col. (2014b) hallaron que el contenido de ACG en la pulpa de los frutos resulta significativamente más alto en las primeras etapas de desarrollo, para luego disminuir hasta en un 50% al alcanzar un tamaño comercial. Por su parte, el contenido de antocianinas se ve afectado por diversos factores como el genotipo, las condiciones ambientales de cultivo (radiación y temperatura), así como por el tipo de almacenamiento y procesamiento (Dranca y Oroian, 2016). Se ha observado además que en las variedades violetas estos pigmentos alcanzan hasta un 70% de su concentración máxima en etapas ontogénicas muy tempranas, a diferencia de lo que ocurre en otros frutos como la manzana o la frutilla que acumulan antocianinas hacia el final de su desarrollo en planta (Zaro y col., 2014).

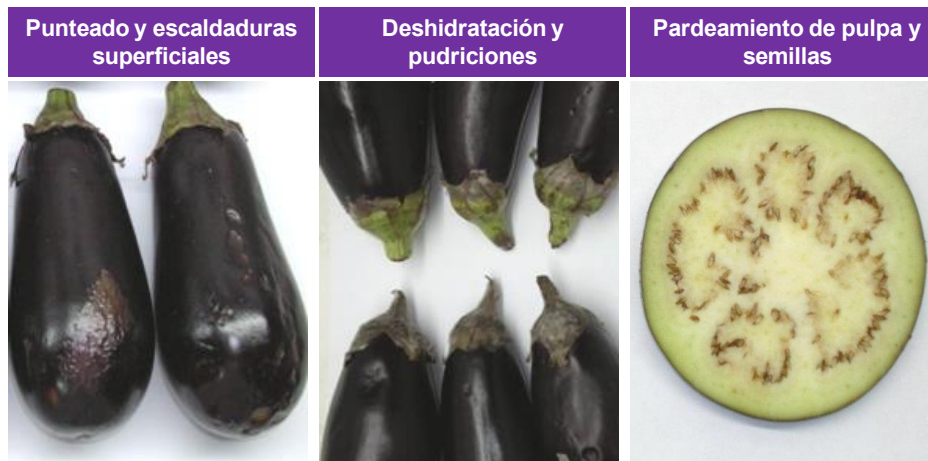
#### **1.4.4. Poscosecha de berenjena**

Las berenjenas muestran un comportamiento de tipo no climatérico, con una moderada tasa respiratoria, en el rango de 8-11 mL CO<sub>2</sub>/kg h y una baja producción de etileno (0,1-0,7 µL/kg h) a 12,5 °C (Cantwell y Suslow, 2000). A pesar de esto, son sensibles a la presencia de etileno y se ha informado que el contacto con este compuesto disminuye el tiempo de conservación de 14 a 3-5 d (Mangione y Sánchez, 1999). Por el contrario, el tratamiento con su inhibidor, el 1-metilciclopropeno (1-MCP), redujo satisfactoriamente el deterioro de berenjenas almacenadas a 10 °C y luego transferidas a 20 °C (Massolo y col., 2011).

En general se recomienda el almacenamiento de berenjena a 10 °C y 90% de humedad relativa, alcanzando en estas condiciones una vida útil potencial de 14-21 d (Cantwell y Suslow, 2000). Mientras que esta se reduce a sólo 2-4 d si se conservan a temperatura ambiente, debido esencialmente a una excesiva deshidratación y a la pérdida de brillo y firmeza (Mohammed y Brecht, 2003). De aquí que un rápido enfriamiento a la temperatura recomendada inmediatamente después de la cosecha, es beneficioso para mantener la calidad y evitar el incremento de la tasa respiratoria, la pérdida de peso, la deshidratación del cáliz y las pudriciones (Kader, 2002). Si bien el almacenamiento a temperatura más baja a fin de ralentizar aún más el metabolismo es posible, debe tenerse en cuenta que dado su origen subtropical las berenjenas son susceptibles a sufrir DPF. De acuerdo a esto, resulta de sumo interés evaluar estrategias de manejo poscosecha que

retrasen o inhiban el desarrollo de esta fisiopatía, y permitan el almacenamiento a baja temperatura por más tiempo.

El DPF se caracteriza en estos frutos por el desarrollo de pardeamiento enzimático en la pulpa y semillas, provocado por la oxidación de los compuestos fenólicos a quinonas por parte de la enzima polifenoloxidasas (PPO) (Zaro y col., 2014). Las quinonas pueden reaccionar luego con aminoácidos o proteínas para formar pigmentos pardos característicos que confieren una coloración marrón al tejido, con la consecuente pérdida de calidad visual y nutricional (**Figura 3**) (Valenzuela y col., 2017). También es común la aparición de punteado (pitting) o escaldaduras en la piel, la pérdida de electrolitos, la aparición de olores desagradables y el aumento de pudriciones en las zonas afectadas, debido al deterioro de las membranas celulares y la pérdida de integridad del tejido (**Figura 3**) (Concellón y col., 2005). El grado de daño es función de la temperatura así como del tiempo de exposición a estas condiciones desfavorables (Purvis, 2002; Saltveit, 2003). A su vez, es sabido que la sensibilidad a esta fisiopatía puede variar con el genotipo, el estado de desarrollo, así como con las condiciones de almacenamiento (Mohammed y Brecht, 2003).



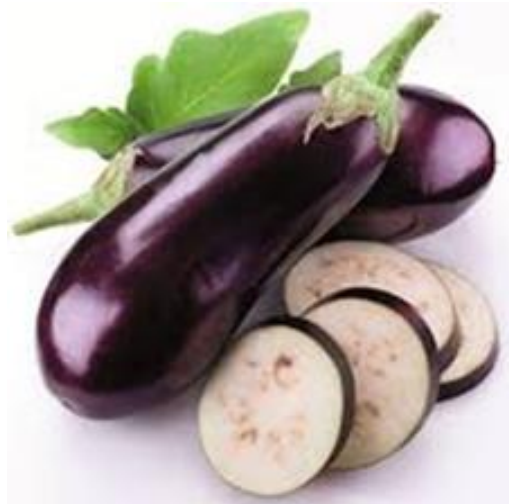
**Figura 3.** Síntomas de daño por frío en berenjena violeta. Adaptado de Zaro y col. (2015).

Cabe destacar que la mayoría de los estudios sobre la evaluación del impacto del DPF y su control en berenjena se han centrado tradicionalmente en variedades violeta y especialmente en frutos de tamaño comercial. Algunos de ellos han involucrado la aplicación de tratamientos físicos no contaminantes tal es el caso de tratamientos térmicos con aire caliente (Rodríguez y col., 1999), o la combinación



de aire caliente con radiación UV-C (Karasahin y col., 2005) o con atmósfera modificada (Concellón, 2003). Sin embargo estas tecnologías mostraron una efectividad moderada y conllevan a dificultades prácticas de implementación en una línea de producción. Por otra parte, existe un reporte reciente de Shi y col. (2018) sobre la aplicación de LTC en berenjena violeta con resultados auspiciosos, de especial interés para el presente trabajo. Los autores hallaron que el LTC (acondicionamiento a 13 °C por 2 días y posterior almacenamiento a 4 °C por 9 días adicionales) mejoró significativamente la resistencia al DPF, incremento la actividad de enzimas de defensa antioxidante y redujo la pérdida de antocianinas y compuestos fenólicos totales. Sin embargo, más allá de este antecedente satisfactorio, la efectividad del tratamiento LTC en otros genotipos y/o estados ontogénicos de berenjena de importancia comercial aún no se conoce.

## 2.OBJETIVOS



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

*- Evaluar la eficacia del tratamiento de acondicionamiento a baja temperatura (LTC) sobre el control del daño por frío en berenjena.*

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

*- Determinar la eficacia del acondicionamiento a baja temperatura (LTC) sobre el control del daño por frío en dos genotipos de berenjena (rayada y violeta) cosechadas en dos estados de crecimiento (baby y comercial).*

*- Estudiar el efecto del acondicionamiento a baja temperatura (LTC) sobre la calidad poscosecha global y las propiedades antioxidantes de berenjenas violetas y rayadas cosechadas en dos estados de crecimiento (baby y comercial).*

### **3.MATERIALES Y MÉTODOS**



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL VEGETAL, TRATAMIENTOS Y ALMACENAMIENTO

Se emplearon frutos de berenjena (*Solanum melongena* L.) violeta cv. "Barcelona" y rayada cv. "Angela", producidas bajo similares condiciones de cultivo en el mismo invernadero de la ciudad de La Plata. El riego y la fertilización se realizaron por goteo dos veces por día. Las demás prácticas de manejo se realizaron acorde a los métodos convencionales de producción. Los frutos de ambas variedades se cosecharon en dos estados de crecimiento en función de su longitud: baby (9 cm) y comercial (17 cm). Se cosecharon 72 frutos para cada estado de crecimiento de cada una de las variedades. Se trasladaron inmediatamente al laboratorio donde se seleccionaron por ausencia de defectos, se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio (200 ppm, 3 min, pH 6,5) y se secaron a temperatura ambiente. Los frutos se colocaron en bandejas de plástico cubiertas con film PVC perforado, de a 5 en el caso de las berenjenas baby y de a pares en las de tamaño comercial y se dividieron en dos grupos. Para cada combinación de variedad y tamaño el grupo **Control** se almacenó a 5 °C hasta el final del almacenamiento. El segundo grupo se acondicionó a 10 °C por 2 d, para luego trasladarse a 5 °C por el resto del periodo constituyendo el tratamiento **LTC** (*Low Temperature Conditioning, por sus siglas en ingles*). Luego de 0 y 14 d se realizaron determinaciones de calidad en fresco y se tomaron muestras de la piel y del tejido de la zona ecuatorial de los frutos, se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80 °C hasta el posterior análisis de los compuestos antioxidantes.

#### 3.2. ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO

Se evaluó con una escala hedónica el nivel de daño externo teniendo en cuenta el grado de pardeamiento de la piel, la presencia de pitting o escaldaduras superficiales y la infección fúngica. Las frutas fueron clasificadas en una escala relativa del 1 al 5 según el porcentaje de su superficie dañada (1. 10-20%, 2. 20-40%, 3. 40-60%, 4. 60-80%, 5. 80-100%). Aquellos calificados con un puntaje mayor o igual a 3 se definieron como frutos no consumibles.

### 3.3. PÉRDIDA DE PESO (%)

Se pesaron los frutos al inicio y al final del período de almacenamiento. Los resultados se calcularon como porcentaje de pérdida de peso según la siguiente ecuación:

$$PP (\%) = 100 * \left[ \frac{Pi - Pf}{Pi} \right]$$

Donde Pi es el peso inicial de la muestra y Pf es el peso final. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo.

### 3.4. COLOR DE PULPA

Se cortaron 3 rodajas de la zona ecuatorial del fruto de 5 mm de espesor e inmediatamente se midió la luminosidad ( $L^*$ ). Las determinaciones se realizaron por triplicado en 9 frutos para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo.

### 3.5. FIRMEZA

Se empleó un texturómetro (Texture Analyzer -TA.XT2, EEUU) equipado con una sonda plana de 3 mm de diámetro. Se realizó un ensayo de penetración a 8 mm de profundidad y velocidad de 1 mm/s de la zona de mayor diámetro del fruto. Se calculó la firmeza (deformación de los frutos) y los resultados se expresaron en N/mm. Las medidas se realizaron por triplicado en 9 frutos de cada tratamiento, estado de madurez y genotipo.

### 3.6. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DE PIEL Y PULPA

#### 3.6.1. Extracción de antioxidantes

Se trituró en molinillo (PEABODY, PE-MC9100, China) por separado muestras de piel y pulpa previamente congeladas en nitrógeno líquido. En un tubo de ensayo se pesó 0,5 o 1 g del polvo de piel o pulpa resultante, respectivamente, y se añadió 5 mL de etanol. Se realizaron tres ciclos de agitación en vortex y luego la suspensión se centrifugó a 13,000  $xg$  por 10 minutos a 4 °C (Sorvall ST 16R, EEUU). Finalmente se colectó el sobrenadante y el pellet fue re-extraído en similares condiciones. Los extractos obtenidos se prepararon por duplicado y se emplearon para las determinaciones de ácido clorogénico, fenoles totales y capacidad antioxidante de piel y pulpa.

### 3.6.2. Compuestos fenólicos totales (FT)

El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó de acuerdo a [Singleton y col. \(1999\)](#), empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu. Para ello, se tomaron 50  $\mu\text{L}$  de reactivo (1:1 v/v en agua) y se agregaron a tubos de ensayo conteniendo 100  $\mu\text{L}$  de extracto etanólico y 750  $\mu\text{L}$  de agua. Luego de 3 minutos de reacción a temperatura ambiente se añadieron 100  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  20% (p/v) en  $\text{NaOH}$  0,1 M y 1000  $\mu\text{L}$  de agua destilada. La mezcla de reacción se agitó en vórtex y se incubó durante 90 minutos en oscuridad y a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia a 760 nm en espectrofotómetro (Hitachi U-1900, Japón). El contenido de compuestos fenólicos se calculó utilizando ácido clorogénico (ACG) como estándar. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo. Los resultados se expresaron como mg ACG  $\text{kg}^{-1}$  de peso fresco.

### 3.6.3. Capacidad antioxidante (CA)

La determinación se realizó de acuerdo a [Arnao y col. \(2001\)](#). A 1 mL de solución del radical  $\text{ABTS}^{+\cdot}$  (7 mM de ABTS con 2,45 mM  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , absorbancia 0,700  $\pm$  0,05 a 734 nm) se le adicionaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto etanólico y 30  $\mu\text{L}$  de etanol (para piel o pulpa, respectivamente). La mezcla se dejó reaccionar 6 minutos y se leyó la absorbancia a 734 nm. El contenido de antioxidantes totales se calculó utilizando Trolox como estándar. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo. Los resultados se expresaron como mg de Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC)  $\text{kg}^{-1}$  de peso fresco.

### 3.6.4. Ácido clorogénico (ACG)

Se determinó en espectrofotómetro a 330 nm de acuerdo a [Luthria \(2012\)](#). Se empleó ACG como patrón. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo. Los resultados se expresaron como mg de ACG  $\text{kg}^{-1}$  de peso fresco.

### 3.6.5. Antocianinas

La extracción y cuantificación de antocianinas de la piel de los frutos se realizó de acuerdo a [Concellón y col. \(2007\)](#) con ligeras modificaciones. Los frutos

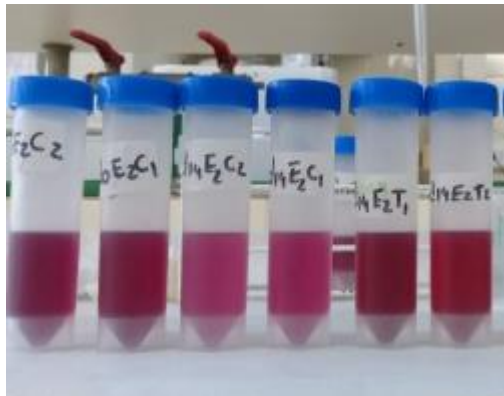
se pelaron con bisturí y la piel se congeló en nitrógeno líquido y pulverizó en molinillo. Se pesaron 0,5 g del polvo resultante y los pigmentos se extrajeron con 10 mL de metanol: HCl (99:1 v/v), se centrifugó a  $13.000 \times g$  10 min a 4 °C. Esta operación se repitió 4 veces consecutivas. Finalmente, se homogeneizaron los sobrenadantes y se llevaron a un volumen final de 50 mL. Se midió la absorbancia a 540 nm usando un espectrofotómetro. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento, estado de madurez y genotipo. Los resultados se expresaron como equivalentes de delfidina-3-glucósido en  $\text{mg kg}^{-1}$  de peso fresco según [Saldilova y col. \(2006\)](#). Considerando una absortividad molar de  $29.000 \text{ l M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se realizó un diseño factorial y los resultados fueron analizados mediante ANOVA. Las medidas fueron comparadas mediante el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$  empleando el software INFOSTAT.



## 4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

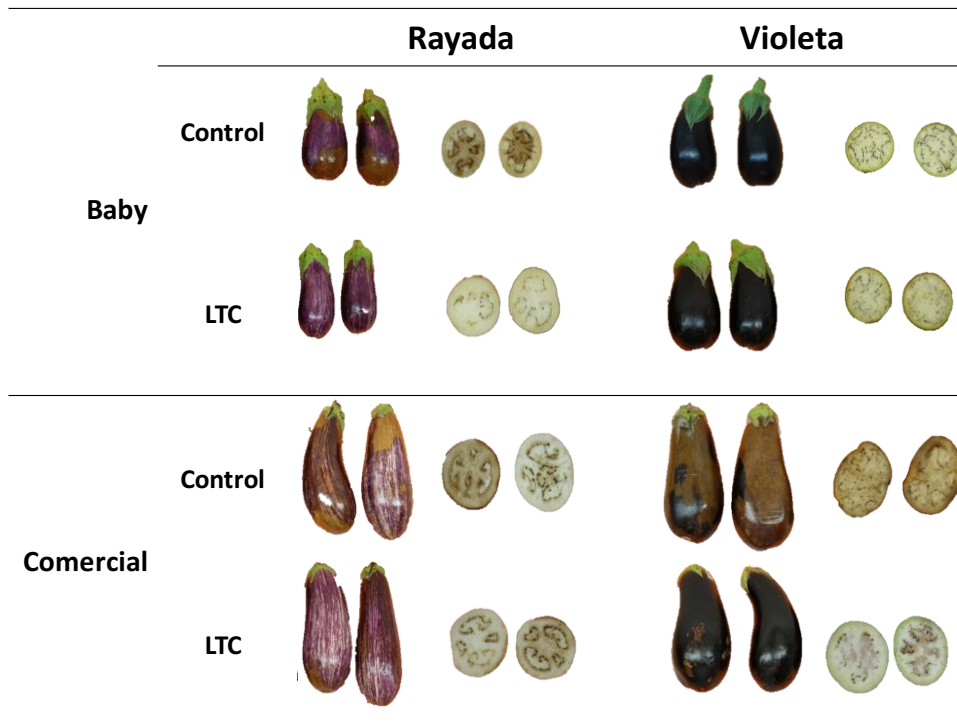


## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. APARIENCIA E ÍNDICE DE DAÑO POR FRÍO

El daño por frío (DPF) en berenjena se desarrolla cuando los frutos son almacenados por debajo de la temperatura recomendada de 10 °C (Cantwell y Suslow, 2000). Los síntomas inician con la pérdida de brillo, luego aparece un punteado o picadura (“*pitting*”) superficial y culmina con escaldaduras o manchas hundidas de color marrón sobre la piel, pudiendo observarse también pardeamiento de la pulpa especialmente en la zona que rodea a las semillas. Para la mayoría de las especies hortícolas sensibles como tomate, pimiento o pepino la susceptibilidad al DPF disminuye a medida que los frutos crecen (Valenzuela y col., 2017), sin embargo, para las berenjenas americanas de color violeta se halló por primera vez que los frutos baby son más tolerantes que aquellos de tamaño comercial (Zaro y col., 2014b). El acondicionamiento a baja temperatura (LTC) resulta un tratamiento físico simple y económico que permite aumentar la tolerancia de diferentes frutos al DPF (Biswas y Brummell, 2019). Previamente, Shi y col. (2018) reportaron que el acondicionamiento a 13 °C por 2 d redujo significativamente la incidencia y severidad del DPF en berenjenas violetas *cv. Brigitte* de tamaño comercial. Sin embargo, no existe aún información disponible en la literatura sobre el efecto del LTC en otros genotipos y/o estados ontogénicos de importancia. De acuerdo a ello, aquí evaluamos el potencial del LTC para mantener la calidad de almacenamiento en berenjena violeta y rayada en dos estados de crecimiento, empleando una temperatura de acondicionamiento aún más exigente (10 °C).

Durante el almacenamiento refrigerado (5 °C) los frutos control mostraron diferente susceptibilidad al DPF. Las berenjenas baby violeta resultaron las menos sensibles a la baja temperatura ya que prácticamente no desarrollaron síntomas visibles de DPF luego de 14 d, en tanto los de madurez comercial fueron los más dañados en su apariencia entre todos los tratamientos ensayados (Figura 4). En las berenjenas rayadas el comportamiento fue inverso, siendo los frutos baby los más susceptibles, aunque en este genotipo las diferencias de calidad entre estados de crecimiento no fueron tan significativas (Figura 4). En tanto, el tratamiento LTC demostró ser sumamente efectivo para conservar la apariencia y retrasar la aparición de síntomas de DPF en todos los casos respecto de los frutos control, manifestando estos últimos mayor porcentaje de escaldaduras superficiales y pardeamiento interno tanto en pulpa como en semillas (Figura 4).

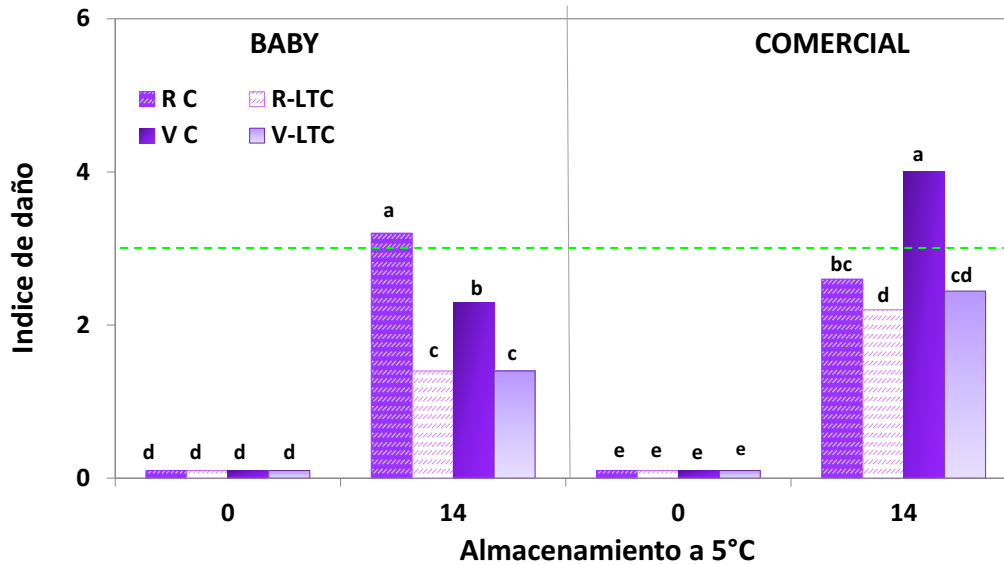


**Figura 4.** Apariencia de frutos de berenjena control o LTC (acondicionados a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5°C durante 14 d.

En línea con lo anterior, todos los frutos tratados con LTC presentaron índices de DPF significativamente menores al control, y no superaron el valor límite de 3 a partir del cual se consideraban no consumibles (**Figura 5**). En general la efectividad del tratamiento fue aún más significativa en aquellos frutos más sensibles a las bajas temperaturas. Así, el tratamiento redujo en un 56% y 10% el índice de daño en las berenjenas baby y comercial del genotipo rayado, respectivamente, y 40% en los estados baby y comercial violeta (**Figura 5**). Por otra parte, para un mismo estado de crecimiento, los frutos tratados de diferente genotipo culminaron el almacenamiento con un índice de daño similar (**Figura 5**).

En este punto surge el interrogante acerca de las causas que generan la diferente respuesta a la baja temperatura y al tratamiento LTC entre genotipos de una misma especie según el estado de crecimiento considerado. Si bien no hay estudios en berenjena, [Page y col. \(2010\)](#) hallaron en tomate la presencia de pequeñas proteínas de choque térmico protectoras frente al DPF que se expresan diferente según el genotipo ante situaciones de estrés térmico. Estos resultados podrían relacionarse también a una mejor adaptación al estrés por frío de los frutos tratados a partir de la inducción de modificaciones en la composición de los lípidos de membrana, incluyendo una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, o a

una mayor expresión de las defensas antioxidantes (Liang y col., 2020). Futuros estudios más específicos que permitan dilucidar claramente este comportamiento son necesarios.

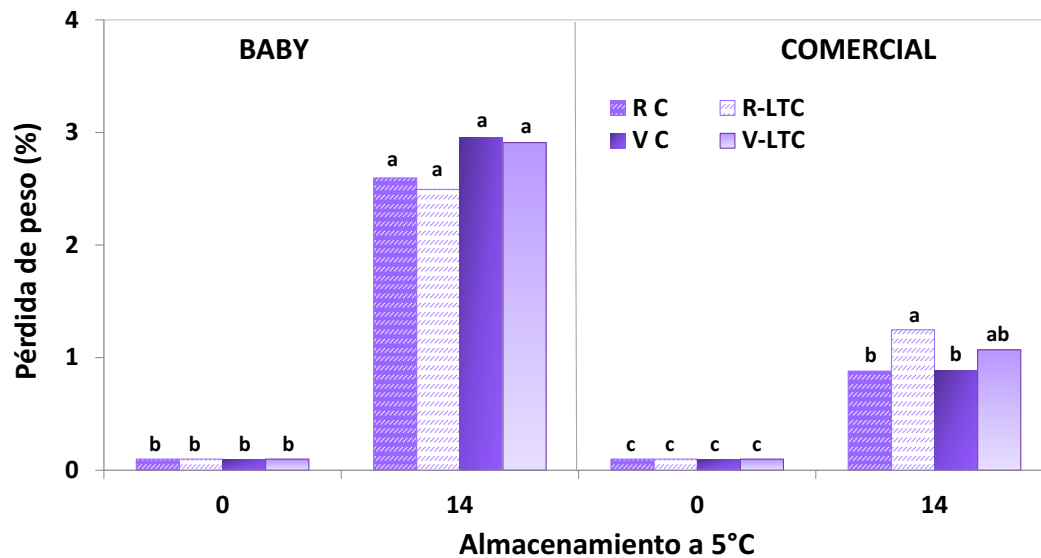


**Figura 5.** Índice de daño por frío de frutos de berenjena control o LTC (acondicionados a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

#### 4.2. PÉRDIDA DE PESO

La pérdida de peso es un parámetro de calidad que nos permite censar la pérdida de agua en los frutos y se relaciona con la tasa metabólica de los mismos (Alia-Tejagal y col., 2007). Al bajar la temperatura de campo y almacenar los frutos en refrigeración la tasa metabólica disminuye y así también se reduce la deshidratación. A su vez, la pérdida de agua implica un efecto perjudicial sobre la apariencia, turgencia y textura (Pinheiro y col., 2013). La pérdida de peso fue en todos los casos menor al 3% (Figura 6), resultando significativamente inferior al nivel del 10% a partir del cual los frutos se consideran no consumibles (Zaro, 2014). Cabe destacar que los frutos baby de ambos genotipos tanto control como tratados presentaron pérdidas de peso similares y significativamente superiores a los de tamaño comercial (Figura 6). Esto puede relacionarse probablemente a una mayor tasa metabólica de los frutos más pequeños y a una mayor relación entre el área del cáliz (principal vía de pérdida de agua por transpiración en berenjena) y el área total del fruto (Zaro y col., 2014b). Por otro lado, los frutos de madurez comercial tratados con LTC, manifestaron pérdidas de peso levemente mayores a las

observadas para los frutos control luego de 14 d almacenamiento (**Figura 6**). Estos resultados están en contraposición a lo observado por [Cutting y Wolstenholme \(1992\)](#) quienes hallaron que el pre-acondicionamiento a baja temperatura redujo la pérdida de agua en frutos de palta, lo cual asociaron a una menor incidencia de trastornos fisiológicos y una mejor conservación de la calidad. Por su parte, otros autores no encontraron efecto del LTC sobre la pérdida de peso en frutos como níspero ([Cai y col. 2006](#)) y granada ([Kashash y col., 2016](#)).

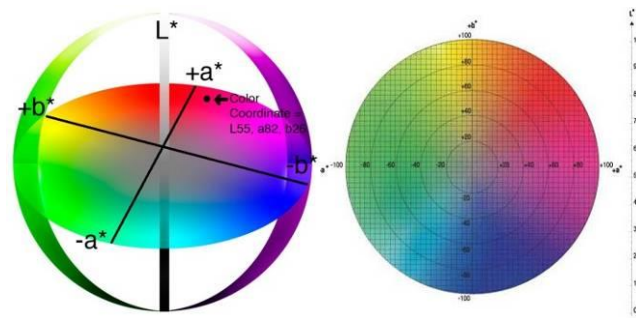


**Figura 6.** Pérdida de peso de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

#### 4.3. PARDEAMIENTO DE PULPA

El color es una característica de gran importancia para la aceptación de un producto por parte de los consumidores ([Pinheiro y col., 2013](#)). Para evaluar las modificaciones del color suelen emplearse escalas que definen una serie de parámetros que lo describen. En 1976 se creó el sistema CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  basado en un sistema de coordenadas con tres planos (**Figura 7**), que permiten definir 5 parámetros de color:

- $L^*$ : Luminosidad (varía entre 0 = negro y 100 = blanco)
- $a^*$ : color verde (valores negativos) a rojo (valores positivos)
- $b^*$ : color azul (valores negativos) a amarillo (valores positivos)
- Saturación: definido como  $\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$
- Tonalidad: definido como  $\text{Hue} = \arctan(b^*/a^*)$

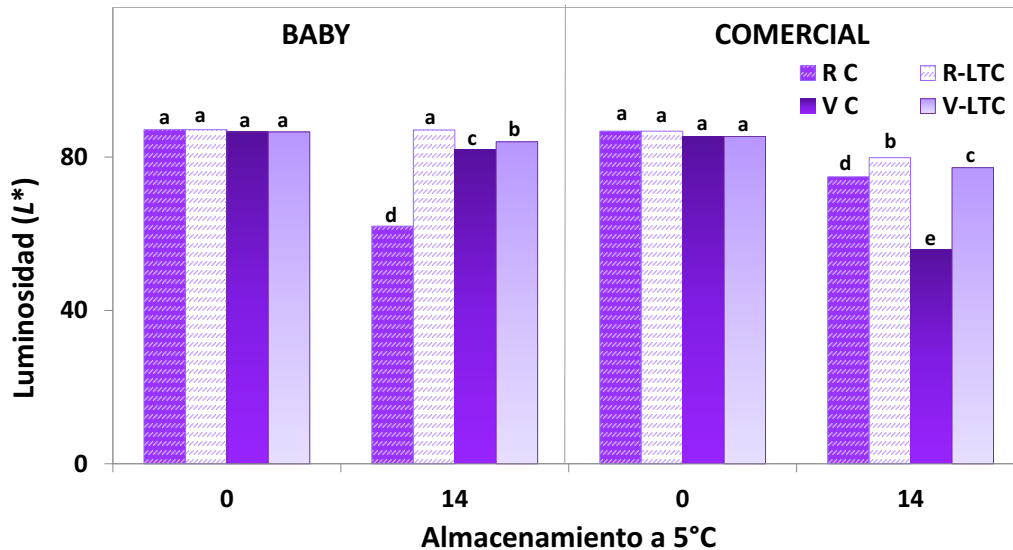


**Figura 7.** Modelo de color Cie-Lab y la representación gráfica de la cartilla de color y sus parámetros.

En el presente trabajo se analizaron los cambios de color de la pulpa de los frutos a partir del parámetro luminosidad ( $L^*$ ). Menores valores de  $L^*$  indican un oscurecimiento del tejido debido al desarrollo de pardeamiento enzimático. Esto se relaciona en berenjena con el hecho de que el DPF afecta irreversiblemente a las membranas biológicas eliminando la compartimentalización celular y permitiendo el contacto entre enzimas y sustratos, tal es el caso de la oxidación enzimática de compuestos fenólicos catalizada por polifenoloxidasas (PPO), reacción que determina los síntomas visibles de pardeamiento (Wang y col., 2013).

En general, independientemente del estado de crecimiento y del genotipo, se observó un oscurecimiento del tejido durante el almacenamiento a baja temperatura (Figura 8). En concordancia con la evolución de los síntomas externos de DPF (Figuras 4 y 5), los frutos baby rayados y comercial violeta más sensibles mostraron un nivel de pardeamiento significativamente mayor al resto de las combinaciones, con una caída cercana al 35% en los valores de  $L^*$  en comparación al valor inicial (0d) (Figura 8). Por su parte, el LTC fue efectivo en todos los casos para reducir el pardeamiento luego de 14 d de almacenamiento, y resultó singularmente eficaz en los frutos menos tolerantes al DPF (Figura 8). Así, el tratamiento directamente inhibió el pardeamiento de la pulpa en los frutos baby rayado, y lo redujo en un 70% en las berenjenas violeta de tamaño comercial respecto de los frutos control (Figura 8). Para el resto de los tratamientos, las diferencias con los frutos no tratados fueron menores al 10% (Figura 8). Lo anterior puede relacionarse a una mayor conservación de la integridad del tejido en las berenjenas tratadas, lo que limita la acción de las enzimas oxidantes que originan el pardeamiento (Massolo y col., 2011). Otros estudios han demostrado también que el LTC fue efectivo para retrasar el pardeamiento interno en diferentes frutos

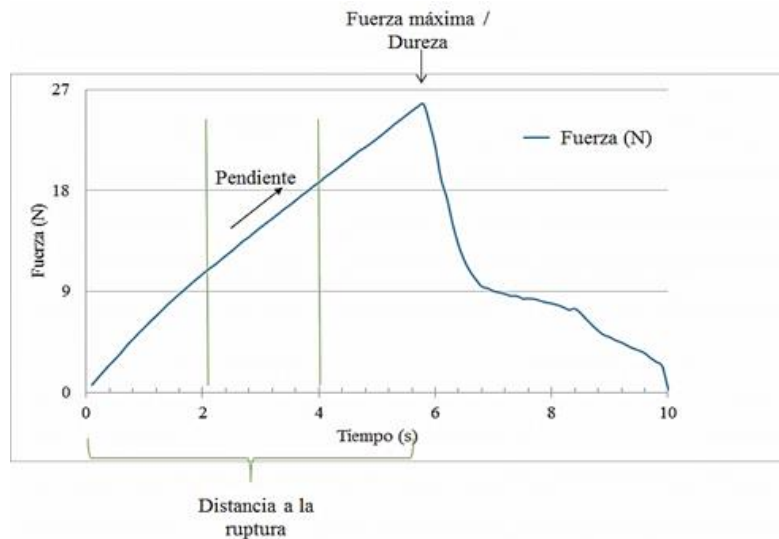
como níspero, durazno y berenjena (Cai y col., 2006; Cai y col., 2010; Shi y col., 2018). De igual forma el LTC redujo la incidencia del dorado y la aparición de manchas oscuras en la piel de peras (Wang y col., 2017) y palta (Hofman y col., 2003), y previno el ennegrecimiento de las semillas y la decoloración del cáliz en pimiento (Wang y col., 2019).



**Figura 8.** Luminosidad ( $L^*$ ) de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

#### 4.4. FIRMEZA

La pérdida de firmeza está asociada con el ablandamiento de los tejidos debido a la actividad de enzimas que degradan la pared celular, o bien puede asociarse en ciertos casos a la pérdida de turgencia debido a la deshidratación del fruto (Pinheiro y col., 2013). A continuación se presenta una curva modelo obtenida del análisis de la textura de los frutos de berenjena realizada en un texturómetro en la que se destacan los siguientes parámetros: *a*) fuerza máxima (dureza), *b*) firmeza (resistencia a la compresión del fruto) definida como la pendiente entre dos puntos de la recta y *c*) distancia a la ruptura que se define como los mm recorridos desde el tiempo cero de ingreso de la sonda hasta que se alcanzó la fuerza máxima (Figura 9).

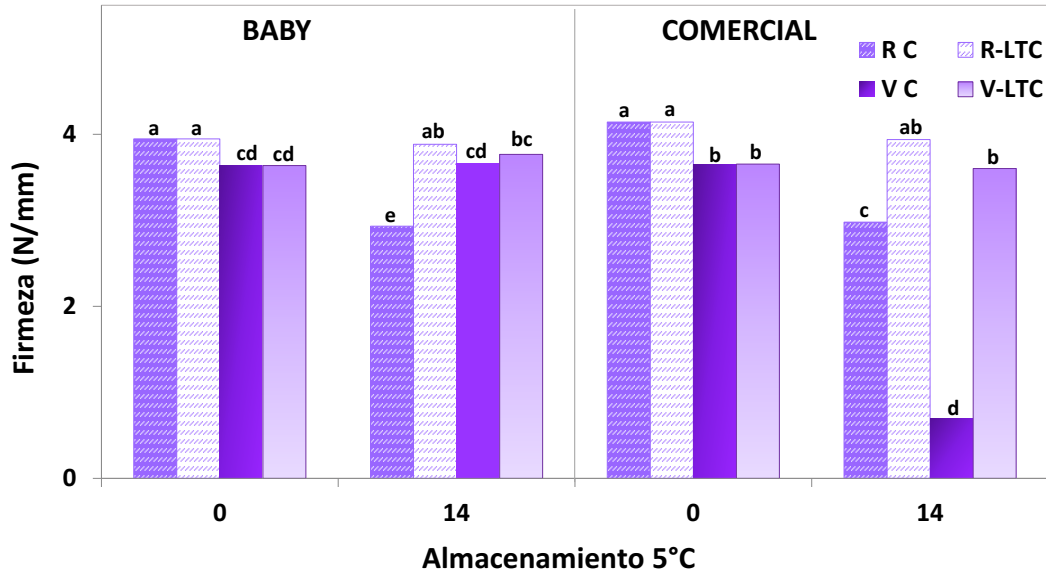


**Figura 9.** Esquema de una curva de textura típica (Fuerza vs distancia) de frutos de berenjena para un ensayo de ruptura efectuado con un texturómetro.

En este trabajo, al analizar la firmeza (resistencia a la compresión) se observó en ambos estados de crecimiento que inicialmente los frutos rayados fueron más firmes que los violetas (**Figura 10**). Por otra parte, en todos los casos las berenjenas tratadas con LTC se mantuvieron más firmes durante el almacenamiento, salvo para las berenjenas baby violeta más tolerantes que no mostraron diferencias con el control (**Figura 10**). En línea con la susceptibilidad al DPF, los frutos más sensibles también fueron los que más se ablandaron, y a su vez fueron los que más se beneficiaron con el tratamiento (**Figura 10**). Así, el LTC retuvo la firmeza inicial de los frutos baby rayado y violeta comercial en un 25% y 80%, respectivamente. En este último caso, los frutos control presentaban un gran porcentaje de escaldaduras (**Figura 4**), lo que afectó negativamente su textura y determinó una marcada pérdida de firmeza en comparación con los frutos tratados. Cabe destacar que, para un mismo estado de crecimiento, los frutos tratados de ambos genotipos mantuvieron la firmeza del día inicial y culminaron el almacenamiento con valores similares entre sí (**Figura 10**). Previamente, [Yang y col., \(2013\)](#) encontraron que el LTC (12 °C 2 d) aplicado en kiwi logró mantener la fruta tratada un 40% más firme que el control luego de 120 d de almacenamiento a 0 °C. Los autores relacionaron estos resultados con la supresión de la síntesis de etileno y la tasa respiratoria por parte del tratamiento, y en consecuencia con un retraso de la maduración de los frutos lo que pudo limitar el ablandamiento. Sin embargo, dado que la berenjena es un fruto de tipo no climatérico la acción del LTC sobre el retraso en el ablandamiento podría estar más relacionada a su efecto sobre



la supresión de la actividad de enzimas que degradan la pared celular, hecho que podría estudiarse con más en detalle en un futuro.



**Figura 10.** Firmeza de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher, con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

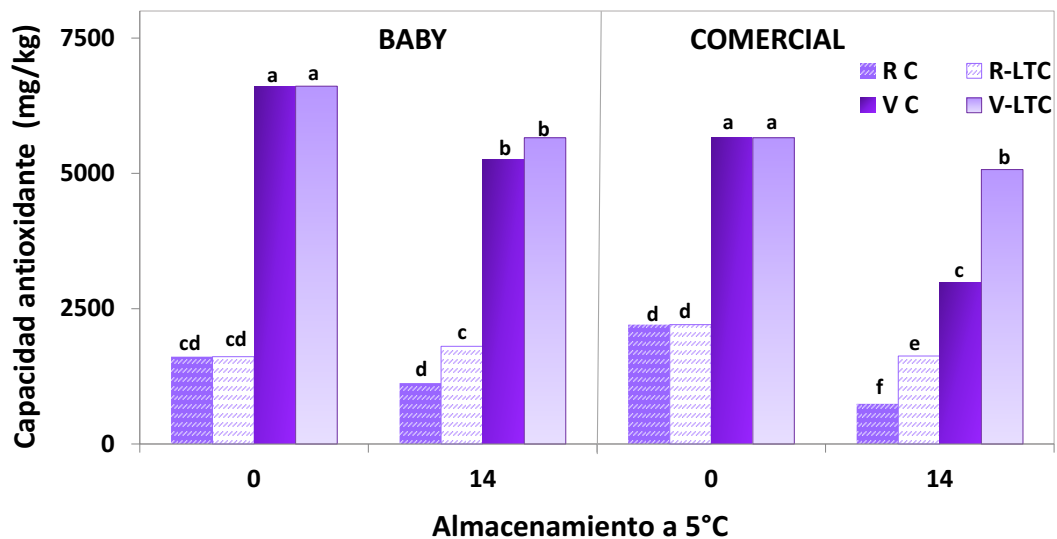
#### 4.5. ANTIOXIDANTES EN PIEL

En los últimos años la berenjena ha recibido un gran interés de la comunidad científica del área de alimentos, ya que se encuentra entre las 10 hortalizas con mayor capacidad antioxidante debido al alto contenido de compuestos fenólicos (Zaro y col., 2014). En la piel, los compuestos fenólicos predominantes son las antocianinas (derivadas de la delphinidin-3-rutinósido) y el ácido clorogénico (ACG) (Valerga y col., 2020), por ello aquí se analizaron ambos tipos en particular. En tanto, el ácido clorogénico es predominante en la pulpa y representa hasta el 90% de los antioxidantes presentes en el tejido interno del fruto (Whitaker y Stommel, 2003).

La capacidad antioxidante (CA) de la piel al momento de cosecha mostró diferencias según el genotipo considerado y resultó en las berenjenas violetas 4 (6600 mg/kg vs 1600 mg/kg) y 2,5 veces superior (5600 mg/kg vs 2200 mg/kg) a la observada en los frutos rayados de tamaño baby y comercial, respectivamente (Figura 11). Esto puede explicarse, en principio, por la diferencia de color de los genotipos cuyo origen está dado por la presencia de antocianinas que aportan a la

CA. Durante el almacenamiento, la CA descendió en el tiempo para todos los tipos de fruto estudiados, sin embargo los sometidos al tratamiento LTC lograron reducir significativamente la pérdida de antioxidantes, excepto para las berenjenas baby violeta que no mostraron diferencias con el control (**Figura 11**). El mayor beneficio del tratamiento se observó en las berenjenas violetas de tamaño comercial (más sensibles), que mostraron una significativa retención de la CA (mayor al 90%) respecto de los frutos no tratados (**Figura 11**).

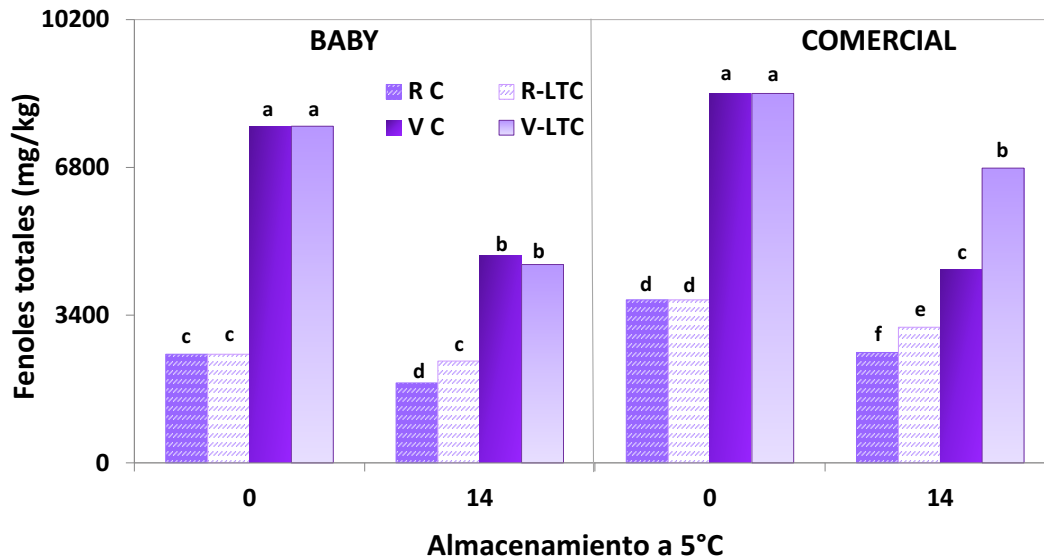
Los niveles de fenoles totales también descendieron durante el almacenamiento (**Figura 12**), con una tendencia similar a la observada para CA (**Figura 11**). De igual forma, el tratamiento LTC logró reducir la degradación de compuestos fenólicos en el tiempo en todos los casos y los mayores beneficios se dieron en los frutos violeta de tamaño comercial con una retención de su nivel inicial cercana al 80% (**Figura 12**).



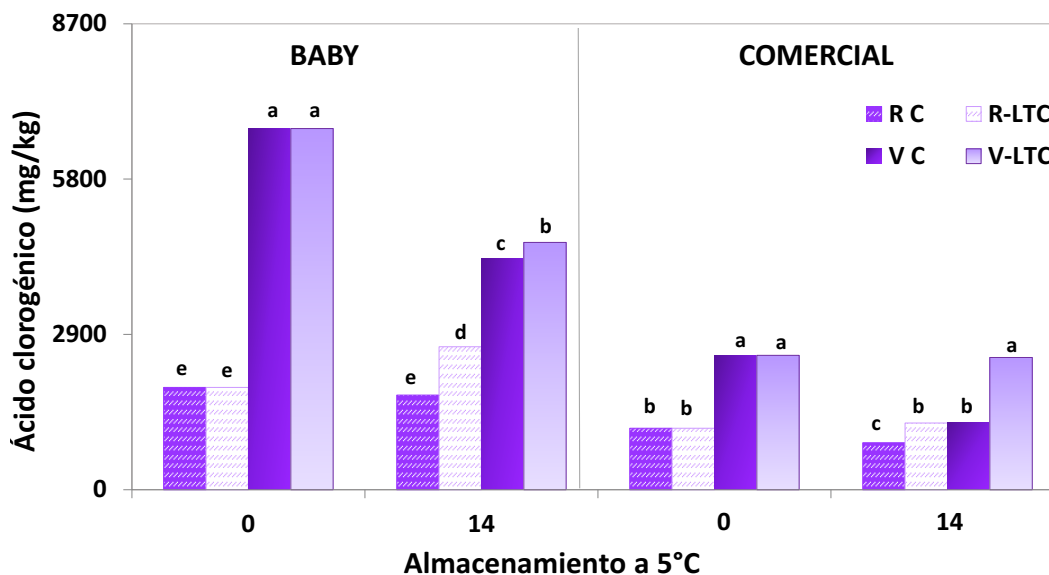
**Figura 11.** Capacidad antioxidante en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 días) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 días. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

El contenido de ACG mostró una tendencia similar a la CA y compuestos fenólicos totales al momento de cosecha. Así, los frutos baby presentaron un mayor nivel de ACG en su piel respecto de los de tamaño comercial (**Figura 13**). A su vez, el genotipo violeta contó con mayores niveles de ACG que el genotipo rayado, siendo dicha relación 3,5 (6745 mg/kg vs 1909 mg/kg) y 2,2 veces (2509 mg/kg vs 1150 mg/kg) mayor en frutos baby y comercial, respectivamente (**Figura 13**).

Finalmente, el tratamiento LTC logró también retener efectivamente el nivel de ACG durante el almacenamiento y los mejores resultados se observaron en los frutos más sensibles al DPF (**Figura 13**).

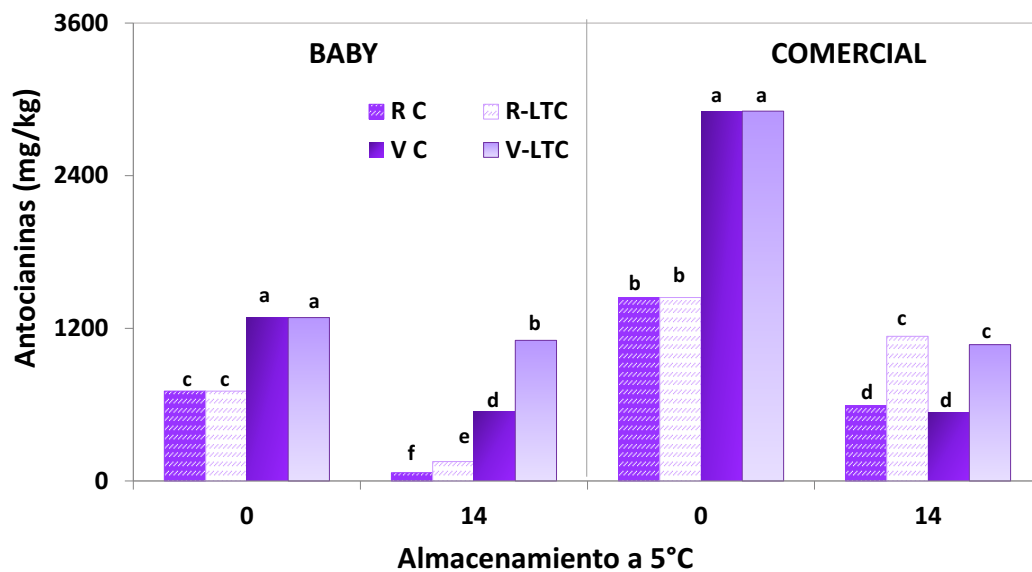


**Figura 12.** Fenoles totales en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .



**Figura 13.** Ácido clorogénico en piel de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

Al momento de cosecha, el nivel de antocianinas fue significativamente menor (50%) en los frutos baby que en los de tamaño comercial (**Figura 14**). Resultados similares fueron hallados previamente por [Zaro y col. \(2014\)](#) quienes describieron que la berenjena violeta mostraba un contenido de antocianinas que se incrementaba conforme el fruto crecía ligado a la planta. A su vez, la berenjena violeta presentó un contenido ~2 veces mayor de antocianinas respecto al genotipo rayado (1285 mg/kg vs 707 mg/kg y 2907 mg/kg vs 1442 mg/kg en los tamaños baby y comercial, respectivamente) (**Figura 14**). Durante el almacenamiento existió una pérdida significativa de pigmentos en todos los casos, sin embargo, para los frutos tratados esta caída resultó marcadamente menor (**Figura 14**). Los mejores resultados se observaron para las berenjenas baby violeta que retuvieron el 85% del nivel de antocianinas inicial, mientras que los frutos control mostraron pérdidas del 40%. En frutos baby rayados la retención fue mucho menor, del orden del 10% y 20% para las berenjenas control y tratadas, respectivamente. En tanto los frutos de tamaño comercial de ambas variedades, independientemente del tratamiento culminaron el almacenamiento con niveles similares de pigmento y mostraron un significativo efecto del LTC (**Figura 14**). A pesar de ello, la pérdida de antocianinas resultó significativamente mayor en los frutos violetas tratados que solo lograron retener un 30% del nivel inicial de pigmentos, mientras que las rayadas conservaron un 60% (**Figura 14**).



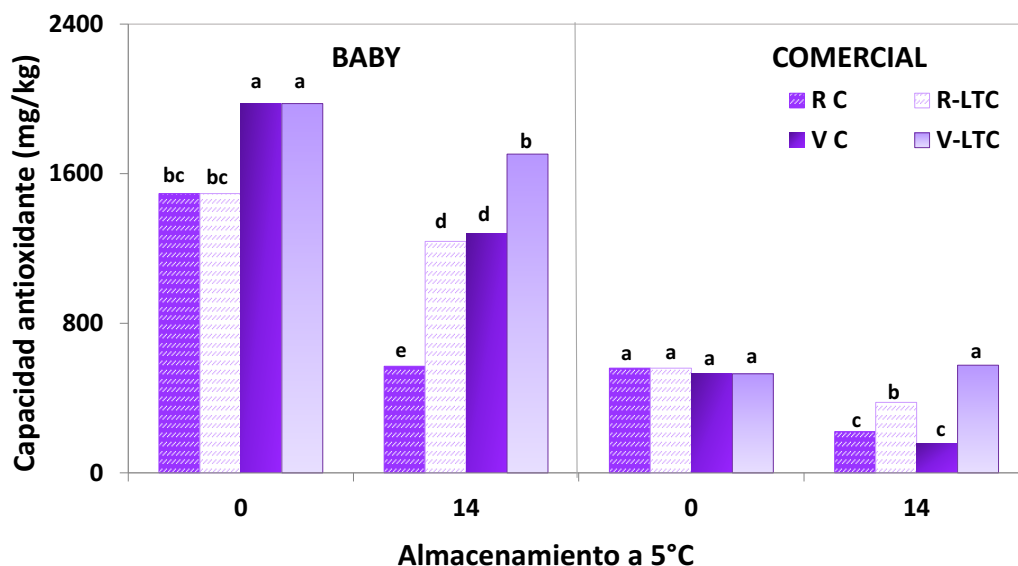
**Figura 14.** Antocianinas en frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C

durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

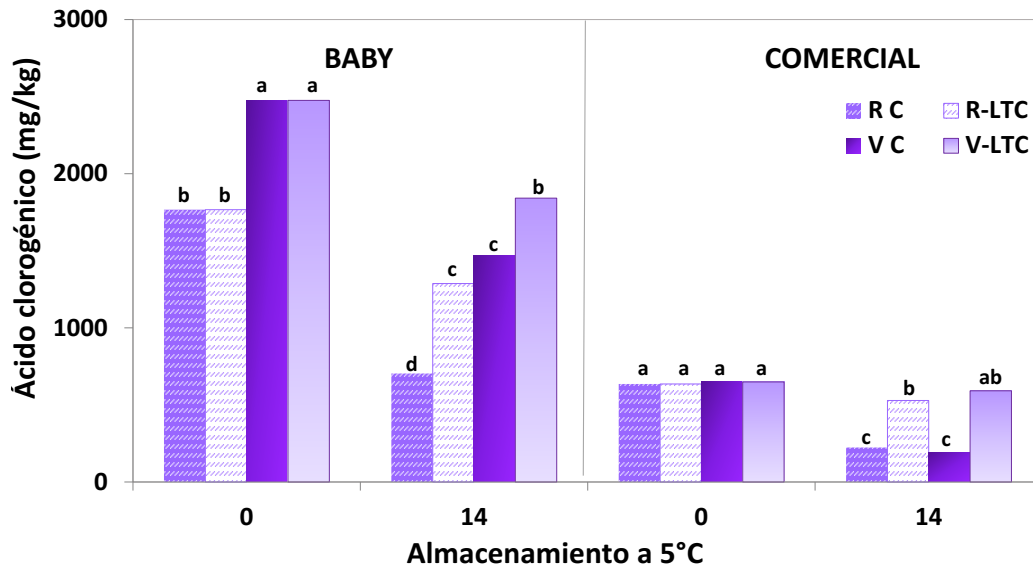
Cabe destacar que, al comparar los niveles de CA entre frutos baby y comercial, la gran disminución de ACG es determinante en la caída de los niveles de CA y del contenido de fenoles totales. Si bien el alto porcentaje de antocianinas en piel aportan a los niveles CA y de fenoles totales, su aumento no modificó sustancialmente la tendencia a la disminución de los mismos.

#### 4.6. ANTIOXIDANTES EN PULPA

La tendencia de la CA (**Figura 15**) y ACG (**Figura 16**) en la pulpa durante el almacenamiento fue similar. Cabe destacar que al momento de cosecha las berenjenas baby mostraron un elevado contenido de antioxidantes hasta 3 y 4 veces mayor en el genotipo rayado y violeta, respectivamente, en comparación a los de tamaño comercial que no se diferenciaron entre sí (**Figuras 15 y 16**). En el almacenamiento se observó una disminución de los niveles de antioxidantes con el tiempo, aunque en los frutos tratados con LTC esta caída fue significativamente menor (**Figuras 15 y 16**). Los mejores resultados se dieron en el genotipo violeta, donde el tratamiento permitió retener hasta un 90% de antioxidantes respecto del valor inicial para ambos estados de crecimiento (**Figuras 15 y 16**).



**Figura 15.** Capacidad antioxidante en pulpa de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

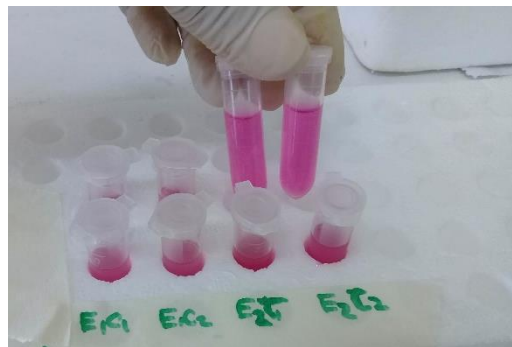


**Figura 16.** Ácido clorogénico (ACG) en pulpa de frutos de berenjena control o LTC (acondicionadas a 10 °C por 2 d) en estado Baby y Comercial almacenadas a 5 °C durante 14 d. Letras distintas indican diferencia significativa según el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de  $P < 0,05$ .

Como se expresó anteriormente, una de las principales alteraciones que se inducen como consecuencia del DPF en vegetales es la reducción de la funcionalidad y ruptura de las membranas celulares (Sheng y col., 2016; Cheng y col., 2015). Esto podría ocurrir tanto por cambios en la fluidez de las mismas, aspecto relacionado con el grado de insaturación de los ácidos grasos que la constituyen, o como consecuencia de una sobreproducción de EROs capaces de dañar los lípidos de membrana en forma oxidativa (Liang y col., 2020). Independientemente del mecanismo que lo ocasione, el daño de las membranas afecta la integridad de las células y da lugar a reacciones indeseables como el pardeamiento enzimático, consecuencia de la oxidación de los compuestos fenólicos presentes (Amaki y col., 2011; Wang y col., 2013). Si bien algunos autores han asociado la reducción del pardeamiento por parte del tratamiento LTC a una inhibición directa de la actividad de la enzima PPO (Fan y col., 2016; Shi y col., 2018), se sabe que la actividad de esta no es el factor limitante, sino que la prevención del pardeamiento depende más bien de la integridad celular que permite a la enzima permanecer en compartimentos separados respecto de los compuestos fenólicos, sus sustratos (Concellón y col., 2007, Zaro, 2014). En este sentido, en el presente trabajo, el hecho de que los frutos tratados con LTC mostraron una mayor retención de antioxidantes tanto en piel como en pulpa podría relacionarse entonces

con la mejor conservación de la estructura del tejido interno y externo (**Figuras 1 y 2**), el menor desarrollo de pardeamiento enzimático en la pulpa (**Figura 4**) y una mayor retención de la firmeza (**Figura 5**). Estos positivos resultados del LTC frente al control del DPF en berenjena muestran gran relevancia tanto en términos de conservación de la calidad y extensión de la vida útil de los frutos por parte del tratamiento, como en el aspecto nutricional dado el elevado nivel de retención de antioxidantes fenólicos observado.

## 5. CONCLUSIONES





## 5. CONCLUSIONES

Los genotipos de berenjena mostraron diferencias significativas en cuanto a su susceptibilidad al DPF. En el tipo violeta los frutos del estado baby fueron menos sensibles que los de tamaño comercial, y estos últimos resultaron a su vez los más susceptibles entre todas las combinaciones ensayadas. En las berenjenas rayadas el comportamiento fue inverso, y aquellos de tamaño comercial resultaron más tolerantes al DPF que los frutos pequeños.

El tratamiento de acondicionamiento a baja temperatura (LTC) a 10 °C por 2d, previo al almacenamiento a 5 °C, resultó sumamente eficaz para retrasar los síntomas de DPF en ambos genotipos y estados de crecimiento de berenjena evaluados. Incluso el LTC fue más efectivo en las combinaciones más sensibles (baby-rayada y comercial-violeta). Así, en los frutos tratados se observó una significativa reducción de escaldaduras superficiales y un menor desarrollo de pardeamiento en pulpa y semillas respecto del lote control. El LTC generó además una mayor retención de la firmeza, no afectó la pérdida de peso y mejoró de forma significativa la retención de antioxidantes en piel y pulpa de los frutos tratados.

Finalmente, cabe destacar que respecto de todas las combinaciones estudiadas, las berenjenas violetas de tamaño comercial fueron la más susceptibles a desarrollar DPF, y resultaron a su vez las más beneficiadas por el tratamiento.

*En síntesis, los resultados muestran que el LTC es un tratamiento eficaz, simple y económico factible de aplicar durante el almacenamiento refrigerado de diferentes genotipos de berenjena a fin de incrementar su tolerancia al DPF, y en consecuencia extender el tiempo de vida útil poscosecha. Dentro de los beneficios observados se destacó la reducción en la incidencia y severidad de síntomas visibles de DPF, así como una mejora en la retención de los antioxidantes de naturaleza fenólica, aspecto de gran relevancia a nivel nutricional.*

## 6. BIBLIOGRAFIA



## 6. BIBLIOGRAFIA

- Aghdam, M. S., Bodbodak, S. (2013). Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments. *Scientia Horticulturae*, 156, 73-85.
- Aghdam, M. S., Bodbodak, S. (2014). Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 7(1), 37-53.
- Alia-Tejacal, I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., Bautista-Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapotemamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 285-297.
- Amaki, K., Saito, E., Taniguchi, K., Joshita, K., Murata, M. (2011). Role of chlorogenic acid quinone and interaction of chlorogenic acid quinone and catechins in the enzymatic browning of apple. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(5), 829-832.
- Arnao, M B, Cano, A, Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73, 239-244.
- Asghari, M.; Aghdam, M.S. (2010). Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends Food Science Technology*, 21, 502–509.
- Biswas, P., Brummell, D. A. (2019). Chilling Injury. *Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables*, 61-88.
- Cai, C., Xu, C., Shan, L., Li, X., Zhou, C., Zhang, W. Chen, K. (2006). Low temperature conditioning reduces postharvest chilling injury in loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 252-259.
- Cai, Y., Yu, M., Xing, H., Di, H., Pei, J., Xu, F., Zheng, Y. (2010). Effects of low temperature conditioning on chilling injury and quality of cold-stored juicy peach fruit. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(6), 334-338.
- Cantwell, M., Suslow, T. (2000). Indicadores básicos del manejo poscosecha de berenjena. Departamento de Productos Vegetales. Universidad de California, Davis, USA. <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/veg/eggplant.shtml>
- Cao, S.; Yang, Z.; Zheng, Y. (2012) Effect of 1-methylcyclopene on senescence and quality maintenance of green bellpepper fruit during storage at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 1–6.
- Carrera, R.; Zapata, S.; García, A.; Aguado, E.; Reboloso, M.M.; Manzano, S.; Jamilena, M.; Valenzuela, J.L. (2016). Efectos de los tratamientos de MetilJasmonato y Ácido Salicílico en la calidad poscosecha y daños por frío de frutos de berenjena. *Actas Port. Hortic*, 28, 239–244.
- Carvajal, F., Palma, F., Jamilena, M., Garrido, D. (2015). Cell wall metabolism and chilling injury during postharvest cold storage in zucchini fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 68-77.
- Censo Agrícola. (2005). Censo Nacional Agropecuario. Secretaria de Agricultura Ganadería y Pesca (SAGPYA), Buenos Aires, Argentina.
- Chaudhary, P., Jayaprakasha, G., Porat, R., Patil, B. (2014). Low temperature conditioning reduces chilling injury while maintaining quality and certain bioactive compounds of 'Star Ruby' grapefruit. *Food chemistry*, 153, 243-249.
- Chen, B., Yang, H. (2013). 6-Benzylaminopurine alleviates chilling injury of postharvest cucumber fruit through modulating antioxidant system and energy status. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 1915-1921.
- Cheng, S., Wei, B., Zhou, Q., Tan, D., Ji, S. (2015). 1-Methylcyclopropene alleviates chilling injury by regulating energy metabolism and fatty acid content in 'Nanguo' pears. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 130-136.
- Ciura, J., Kruk, J. (2018). Phytohormones as targets for improving plant productivity and stress tolerance. *Journal of plant physiology*, 229, 32-40.

- Concellón, A. (2003). Daño por frío en frutos no climatéricos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2585>
- Concellón, A., Añón M. C., Chaves, A. R. (2007). Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *LWT-Food Science Technology*, 40, 389–396.
- Concellón, A., Añón, C., Chaves, A. (2005). Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. *Food Chemistry*, 88(1): 17-24.
- Cutting, J., Wolstenholme, B. (1992). Maturity and water loss effects on avocado (*Persea americana* Mill.) postharvest physiology in cool environments. *Journal of horticultural science* 67.4 (1992): 569-575.
- Dranca, F., Oroian, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics sono chemistry*, 31, 637-646.
- EL-Qudah, J. M. (2009). Identification and quantification of major carotenoids in some vegetables. *American Journal of Applied Sciences*, 6(3), 492.
- Fahmy, K., Nakano, K. (2014). Optimal design of modified atmosphere packaging for alleviating chilling injury in cucumber fruit. *Environmental Control in Biology*, 52(4), 233-240.
- Fan, L., Shi, J., Zuo, J., Gao, L., Lv, J., Wang, Q. (2016). Methyl jasmonate delays postharvest ripening and senescence in the non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 76-83.
- FAOSTAT. (2014). <http://www.faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>.
- Frary, A.; Doganlar, S; Daunay, M. (2007). Eggplant. En: *Genome mapping and molecular breeding in plants, Volume V: Vegetables*. Kole, C. (ed). Heidelberg, Germany: Springer-Verlag. pp. 287-313.
- Gao, H., Kang, L., Liu, Q., Cheng, N., Wang, B., Cao, W. (2015). Effect of 24-epibrassinolide treatment on the metabolism of eggplant fruits in relation to development of pulp browning under chilling stress. *Journal of food science and technology*, 52(6), 3394-3401.
- García, M. (2011). Análisis de las transformaciones de la estructura agraria hortícola platense en los últimos 20 años. El rol de los horticultores bolivianos. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18122>
- Graham, D. (2006). Comercialización de productos hortícolas. Guía de extensión en comercialización. Edición: Andrew W. Shepherd. Vialledelle Terme di Caracalla. Roma. Italia. 5, 2-151. En: <http://www.fao.org/3/a0185s/a0185s.pdf>.
- Gürbüz, N., Uluişik, S., Frary, A., Frary, A., Doğanlar, S. (2018). Health benefits and bioactive compounds of eggplant. *Food Chemistry*, 268, 602-610.
- Hofman, P. J., Stubbings, B. A., Adkins, M. F., Corcoran, R. J., White, A., Woolf, A. B. (2003). Low temperature conditioning before cold disinfection improves 'Hass' avocado fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 123-133.
- Ilić, Z. S., Trajković, R., Pavlović, R., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Fallik, E. (2012). Effect of heat treatment and individual shrink packaging on quality and nutritional value of bell pepper stored at suboptimal temperature. *International journal of food science & technology*, 47(1), 83-90.
- Järvi, A., Karlström, B., Vessby, B., Becker, W. (2016). Increased intake of fruits and vegetables in overweight subjects: effects on body weight, body composition, metabolic risk factors and dietary intake. *British Journal of Nutrition*, 115(10), 1760-1768.
- Jiao, W., Xi, Y., Cao, J., Fan, X., Jiang, W. (2018). Regulatory effects of CaCl<sub>2</sub>, sodium isoascorbate, and 1-methylcyclopropene on chilling injury of banana fruit at two ripening

- stages and the mechanisms involved. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13442.
- Jin, P., Wang, K., Shang, H., Tong, J., Zheng, Y. (2009). Low-temperature conditioning combined with methyl jasmonate treatment reduces chilling injury of peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1690-1696.
- Jin, P., Zhang, Y., Shan, T., Huang, Y., Xu, J., Zheng, Y. (2015). Low-temperature conditioning alleviates chilling injury in loquat fruit and regulates glycine betaine content and energy status. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(14), 3654-3659.
- Kader, A. (2002). *Biología y tecnología poscosecha: Un panorama*. En: *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas 3ra Edición*. Kader, A., Pelayo-Saldivar, C. (eds.). Capítulo 4. Universidad de California. Davis. pp. 43-54.
- Karashahin, I., Pekmezci, M., Erkan, M. (2005). Combined hot water and UV-C treatments reduces postharvest decay and maintains quality of eggplants. *Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production FRUTIC*, 5, 12-16.
- Kashash, Y., Mayuoni-Kirshenbaum, L., Goldenberg, L., Choi, H. J., Porat, R. (2016). Effects of harvest date and low-temperature conditioning on chilling tolerance of 'Wonderful' pomegranate fruit. *Scientia Horticulturae*, 209, 286-292.
- Knapp, S., Vorontsova, M. S., Prohens, J. (2013). Wild relatives of the eggplant (*Solanum melongena* L.: Solanaceae): new understanding of species names in a complex group. *PLoS One*, 8(2), e57039.
- Kousheshsaba, M., Arzani, K., Barzegar, M. (2012). Postharvest polyamine application alleviates chilling injury and affects apricot storage ability. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(36), 8947-8953.
- Li, D., Cheng, Y., Dong, Y., Shang, Z., Guan, J. (2017). Effects of low temperature conditioning on fruit quality and peel browning spot in 'Huangguan' pears during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 131, 68-73.
- Liang, S. M., Kuang, J. F., Ji, S. J., Chen, Q. F., Deng, W., Min, T., Lu, W. J. (2020). The membrane lipid metabolism in horticultural products suffering chilling injury. *Food Quality and Safety*, 4(1), 9-14.
- Liu, H., Jiang, W., Cao, J., Ma, L. (2018). A combination of 1-methylcyclopropene treatment and intermittent warming alleviates chilling injury and affects phenolics and antioxidant activity of peach fruit during storage. *Scientia horticulturae*, 229, 175-181.
- Liu, Y.; Yang, X.; Zhu, S.; Wang, Y. (2016). Postharvest application of MeJA and NO reduced chilling injury in cucumber (*Cucumis sativus*) through inhibition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> accumulation. *Postharvest Biology and Technology*, 119, 77-83.
- Lorenz, O. A., y Maynard, D. N. (1998). *Knott's handbook for vegetable growers*. New York: Wiley.
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest biology and technology*, 14(3), 257-269.
- Lurie, S. (2001). Physical treatments as replacements for postharvest chemical treatments. In *IV International Conference on Postharvest Science* 553 (pp. 533-536).
- Luthria, D. (2012). A simplified UV spectral scan method for the estimation of phenolic acids and antioxidant capacity in eggplant pulp extracts. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 238-242.
- Lyons, J. M. (1973). Chilling injury in plants. *Annual review of plant physiology*, 24(1), 445-466.
- Mangione, J., Sánchez, M. (1999). *Cultivo y manejo poscosecha de berenjena*. Área de Inspección de frutas y hortalizas. Laboratorio de Fitopatología. Mercado Central de Buenos Aires. <http://www.mercadocentral.com.ar/site2001/tecnicas/berenjena.zip>.
- Martin, C., Zhang, Y., Tonelli, C., Petroni, K. (2013). Plants, diet, and health. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 19-46.

- Martínez-Téllez, M. A., Ramos-Clamont, M. G., Gardea, A. A., Vargas-Arispuro, I. (2002). Effect of infiltrated polyamines on polygalacturonase activity and chilling injury responses in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.). *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 295(1), 98-101.
- Massolo, J., Concellón, A., Chaves, A., Vicente, A. (2011). 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 10-15.
- Massolo, J.F.; Lemoine, M.L.; Chaves, A.R.; Concellón, A.; Vicente, A.R. (2014). Benzylaminopurine (BAP) treatments delay cell wall degradation and softening, improving quality maintenance of refrigerated summer squash. *Postharvest Biology and Technology*, 93, 122–129.
- Megías, Z.; Martínez, C.; Manzano, S.; Garcia, A.; del Mar, R.-F.M.; Valenzuela, J.L.; Garrido, D.; Jamilena, M. (2016). Ethylene biosynthesis and signaling elements involved in chilling injury and other postharvest quality traits in the non-climacteric fruit of zucchini (*Cucurbita pepo*). *Postharvest Biology and Technology*, 113, 48–57.
- Megías, Z.; Martínez, C.; Manzano, S.; Garcia, A.; del Mar, R.-F.M.; Garrido, D.; Valenzuela, J.L.; Jamilena, M. (2015). Individual shrink wrapping of zucchini fruit improves postharvest chilling tolerance associated with a reduction in ethylene production and oxidative stress metabolites. *PLoS ONE* 10, e0133058
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.
- Mohammed, M, Brecht, J. (2003). Immature fruit vegetables. *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. 2nd edition. Bartz, J., Brecht, J. (eds.). Marcel Dekker, New York. pp. 671-690.
- Møller, I. M. (2001). Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Biology*, 52(1), 561-591.
- Moñino, M., Rodrigues, E., Tapia, M. S., Domper, A., Vio, F., Curis, A., Gamboa, C. (2016). Evaluación de las actividades de promoción de consumo de frutas y verduras en 8 países miembros de la Alianza Global de Promoción al Consumo de Frutas y Hortalizas "5 al día"-AIAM5. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 281-297.
- Niño-Medina, G., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, M. D., Heredia, J. B. (2017). Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena*)-a review. *South African Journal of Botany*, 111, 161-169.
- Page, D., Gouble, B., Valot, B., Bouchet, J. P., Callot, C., Kretschmar, A., Faurobert, M. (2010). Protective proteins are differentially expressed in tomato genotypes differing for their tolerance to low-temperature storage. *Planta*, 232(2), 483-500.
- Palma, F.; Carvajal, F.; Jamilena, M.; Garrido, D. (2016). Putrescine treatment increases the antioxidant response and carbohydrate content in zucchini fruit stored at low temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 68–70.
- Patel, B., Tandel, Y. N., Patel, A. H., Patel, B. L. (2016). Chilling injury in tropical and subtropical fruits: A cold storage problem and its remedies: A review. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(2), 1882-1887.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., Silva, C. L. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. 'Zinac') during storage. *Journal of Food Engineering*, 114(3), 338-345.
- Pintos, F. M., Hasperué, J. H., Vicente, A. R., Rodoni, L. M. (2020). Role of white light intensity and photoperiod during retail in broccoli shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111121.
- Prohens, J., Blanca, J., Nuez, F. (2005). Morphological and molecular variation in a collection of eggplant from a secondary center of diversity: implications for conservation and breeding. *Journal of the American Society for the Horticultural Sciences*, 130, 54-63.

- Prohens, J., Whitaker, B. D., Plazas, M., Vilanova, S., Hurtado, M., Blasco, M., y Stommel, J. R. (2013). Genetic diversity in morphological characters and phenolic acids content resulting from an interspecific cross between eggplant, *Solanum melongena*, and its wild ancestor (*S. incanum*). *Annals of Applied Biology*, 162(2), 242-257.
- Purvis, A. C. (2002). Diphenylamine reduces chilling injury of green bell pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1), 41-48.
- Rodriguez, S., López, B., Chaves, A. 1999. Changes in polyamines and ethylene during the development and ripening of eggplant fruits (*Solanum melongena*). *J. Agric. Food Chem.* 47,1431-1434.
- Rodriguez-Casado, A. (2016). The health potential of fruits and vegetables phytochemicals: notable examples. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(7), 1097-1107.
- Saldilova, E., Stintzing, F. C., Carle, R. (2006). Anthocyanins, colour and antioxidant properties of eggplant (*Solanum melongena* L.) and violet pepper (*Capsicum annuum* L.) peel extracts. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 61(7-8), 527-535.
- Saltveit, M. E. (2003). Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? *Postharvest Biology and Technology*, 27(1), 3-13.
- Sapitnitskaya, M., Maul, P., McCollum, G. T., Guy, C. L., Weiss, B., Samach, A., Porat, R. (2006). Postharvest heat and conditioning treatments activate different molecular responses and reduce chilling injuries in grapefruit. *Journal of Experimental Botany*, 57(12), 2943-2953.
- Sevillano, L., Sanchez-Ballesta, M.T., Romojaro, F., Flores, F.B. (2009). Physiological hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 555-573.
- Sharom, M., Willemot, C., Thompson, J.E. (1994). Chilling injury induces lipid phase changes in membranes of tomato fruit. *Plant Physiology*, 105, 305-308.
- Sheng, L., Zhou, X., Liu, Z. Y., Wang, J. W., Zhou, Q., Wang, L., Ji, S. J. (2016). Changed activities of enzymes crucial to membrane lipid metabolism accompany pericarp browning in 'Nanguo' pears during refrigeration and subsequent shelf life at room temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 1-8.
- Shi, J., Zuo, J., Zhou, F., Gao, L., Wang, Q., Jiang, A. (2018). Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 141, 33-38.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299:152-178.
- Toivonen, P. (2011). *Postharvest Physiology of Vegetables*. En: *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, Sinha, N. (ed.), Wiley-Blackwell, 199-215.
- USDA (2018). United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard Reference. Acceso 2018. En: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>.
- Valenzuela, J. L., Manzano, S., Palma, F., Carvajal, F., Garrido, D., Jamilena, M. (2017). Oxidative stress associated with chilling injury in immature fruit: postharvest technological and biotechnological solutions. *International journal of molecular sciences*, 18(7), 1467.
- Valerga, L., Darré, M., Zaro, M. J., Vicente, A. R., Lemoine, M. L., Concellón, A. (2020). Harvest date affects purple eggplant quality and postharvest life. *International Journal of Vegetable Science*, 1-8.
- Wang, B.; Zhu, S. (2017). Pre-storage cold acclimation maintained quality of cold-stored cucumber through differentially and orderly activating ROS scavengers. *Postharvest Biology and Technology*, 129, 1-8.
- Wang, C. Y. (1994). Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience*, 29(9), 986-988.

- Wang, C. Y., Kramer, G. F., Whitaker, B. D., Lusby, W. R. (1992). Temperature preconditioning increases tolerance to chilling injury and alters lipid composition in zucchini squash. *Journal of Plant Physiology*, 140(2), 229-235.
- Whang, C.Y.; Ji, Z.L. (1989). Effect of low-oxygen storage on chilling injury and polyamines in zucchini squash. *Scientia Horticulturae*, 39, 1–7.
- Wang, H., Qian, Z., Ma, S., Zhou, Y., Patrick, J. W., Duan, X., Qu, H. (2013). Energy status of ripening and postharvest senescent fruit of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *BMC Plant Biology*, 13(1), 55.
- Wang, J., Zhou, X., Zhou, Q., Cheng, S., Wei, B., Ji, S. (2017). Low temperature conditioning alleviates peel browning by modulating energy and lipid metabolisms of 'Nanguo' pears during shelf life after cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 131, 10-15.
- Wang, Q.; Ding, T.; Gao, L.; Pang, J.; Yang, N. (2012). Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage. *Scientia Horticulturae*, 144, 195–200.
- Wang, Q.; Ding, T.; Zuo, J.; Gao, L.; Fan, L. (2016). Amelioration of postharvest chilling injury in sweet pepper by glycine betaine. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 114–120.
- Wang, Y., Gao, L., Wang, Q., Zuo, J. (2019). Low temperature conditioning combined with methyl jasmonate can reduce chilling injury in bell pepper. *Scientia horticulturae*, 243, 434-439.
- Wasternack, C. (2007). Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of botany*, 100(4), 681-697.
- Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology advances*, 24(4), 389-409.
- Whitaker, B. D., Stommel, J. R. (2003). Distribution of hydroxycinnamic acid conjugates in fruit of commercial eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(11), 3448-3454.
- Woolf, A. B., Cox, K. A., White, A., Ferguson, I. (2003). Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 113-122.
- Yang, Q., Zhang, Z., Rao, J., Wang, Y., Sun, Z., Ma, Q., Dong, X. (2013). Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in 'Hayward' kiwifruit by enhancing antioxidant enzyme activity and regulating endogenous hormones levels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(15), 3691-3699.
- Zapata, S.; Carrera, R.; Manzano, S.; García, A.; Aguado, E.; Garrido, D.; Reboloso, M.M.; Manzano, S.; Valenzuela, J.L.; Valenzuela, J.L. (2016). Efectos de los tratamientos de MetilJasmonato y Ácido Salicílico en la reducción del daño por frío en calabacín. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 28, 232–238.
- Zaro, M.J., Chaves, A., Vicente, A., Concellón, A. (2014b). Distribution, stability and fate of phenolic compounds in white and purple eggplants (*Solanum melongena* L.). *Postharvest biology and technology*, 92, 70-78.
- Zaro, M.J., Keunchkarian, S., Chaves, A., Vicente, A., Concellón, A. (2014a). Changes in bioactive compounds and response to postharvest storage conditions in purple eggplants as affected by fruit developmental stage. *Postharvest biology and technology*, 96, 110-117.
- Zaro 2014. Análisis de factores que afectan la acumulación, distribución y estabilidad de antioxidantes de naturaleza fenólica en berenjena (*Solanum melongena* L.). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/35592>. <https://doi.org/10.35537/10915/35592>.
- Zhang, W., Zhao, H., Jiang, H., Xu, Y., Cao, J., Jiang, W. (2020). Multiple 1-MCP treatment more effectively alleviated postharvest nectarine chilling injury than conventional one-time 1-MCP treatment by regulating ROS and energy metabolism. *Food Chemistry*, 127256.



- Zhang, Y.; Zhang, M.; Yang, H. (2015). Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food Chemistry*, 174, 558–563.
- Zhang, Z., Zhu, Q., Hu, M., Gao, Z., An, F., Li, M., Jiang, Y. (2017). Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in stored mango fruit. *Food Chemistry*, 219, 76-84.
- Zhao, Y. Y., Chen, J. J., Jin, P., Yuan, R. X., Li, H. H., Zheng, Y. H. (2012). Effects of low temperature conditioning on chilling injury and energy status in cold-stored peach fruit. *Food Science*, 33(4), 276-281.
- Zhou, X., Dong, L., Li, R., Zhou, Q., Wang, J. W., Ji, S. J. (2015). Low temperature conditioning prevents loss of aroma-related esters from 'Nanguo' pears during ripening at room temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 23-32.