

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



Informe de Trabajo Final de Carrera

**TÍTULO: APLICACIÓN POSCOSECHA DE GLICINA-BETAÍNA PARA EL  
RETRASO DE LA SENESCENCIA DE BRÓCOLI Y EL CONTROL DEL DAÑO POR  
FRÍO EN PIMIENTO.**

**Alumnos:** ISMAEL TORRADO e IGNACIO BERNARDI

**Directora:** Dra. María José Zaro

**Co- directora:** Dra. Magalí Darré

**Lugar de trabajo:** Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de los Alimentos (CIDCA, CONICET- UNLP-CIC).

Año 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

Nos encontramos profundamente agradecidos con todas aquellas personas que han contribuido de manera significativa al éxito de este trabajo final de grado. Queremos expresar nuestro más sincero reconocimiento a quienes han sido parte de este proceso.

En primer lugar, deseamos agradecer a la Dra. María José Saro por su inquebrantable guía, su sabiduría académica y su apoyo continuo a lo largo de todo este proceso. Su capacidad para orientarnos en cada etapa del proyecto han sido invaluable. Además, su compromiso para con nuestro trabajo final de carrera.

Asimismo, deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Dra. Magali Darre, nuestra co-directora, cuya experiencia ha enriquecido enormemente este trabajo. Su habilidad para proporcionar una retroalimentación constructiva y su enfoque han sido de gran ayuda para superar los desafíos que surgieron durante la investigación. Su compromiso con nuestro desarrollo académico y profesional ha sido evidente en cada interacción y ha contribuido significativamente al éxito de este proyecto.

Además, queremos extender nuestra gratitud a la Universidad Nacional de La Plata por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo este trabajo final de carrera, así como al Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA) por proporcionar el entorno propicio para la realización de esta investigación.

Finalmente, nos gustaría agradecer a nuestras familias y amigos por su constante apoyo y aliento a lo largo de este viaje académico. Su amor y respaldo han sido nuestra mayor fuente de motivación y fortaleza.

## INDICE

<a href="#">1.</a>	5
<a href="#">2.</a>	6
<a href="#">2.1.</a>	7
<a href="#">2.1.1.</a>	7
<a href="#">2.1.2.</a>	7
<a href="#">2.1.3.</a>	9
<a href="#">2.1.4.</a>	9
<a href="#">2.2.</a>	11
<a href="#">2.2.1.</a>	11
<a href="#">2.2.2.</a>	11
<a href="#">2.2.3.</a>	12
<a href="#">2.2.4.</a>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<a href="#">2.3.</a>	15
<a href="#">2.3.1.</a>	15
<a href="#">2.3.2.</a>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<a href="#">3.</a>	16
<a href="#">3.1.</a>	17
<a href="#">3.2.</a>	17
<a href="#">4.</a>	17
<a href="#">4.1.</a>	18
<a href="#">4.2.</a>	18
<a href="#">4.3.</a>	19
<a href="#">4.3.1.</a>	19
<a href="#">4.3.2.</a>	19
<a href="#">4.3.3.</a>	19
<a href="#">4.3.4.</a>	19
<a href="#">4.3.5.</a>	20
<a href="#">4.3.6.</a>	20
<a href="#">4.3.7.</a>	20
<a href="#">4.3.8.</a>	20
<a href="#">4.3.9.</a>	20
<a href="#">4.3.10.</a>	21
<a href="#">4.3.11.</a>	21
<a href="#">4.3.12.</a>	21
<a href="#">4.4.</a>	22
<a href="#">5.</a>	22
<a href="#">5.1.</a>	23
<a href="#">5.1.1.</a>	23
<a href="#">5.2.</a>	25
<a href="#">5.2.1.</a>	25
<a href="#">5.2.2.</a>	26
<a href="#">5.2.3.</a>	28
<a href="#">5.2.4.</a>	29
<a href="#">5.2.5.</a>	30
<a href="#">5.2.6.</a>	31

<a href="#">5.3.</a>	32
<a href="#">5.3.1.</a>	32
<a href="#">5.3.2.</a>	33
<a href="#">5.3.3.</a>	34
<a href="#">5.3.4.</a>	35
<a href="#">5.3.5.</a>	36
<a href="#">5.3.6.</a>	36
<a href="#">6.</a>	37
<a href="#">7.</a>	38

## ÍNDICE DE TABLAS

<a href="#">Tabla 1. Relevancia de la producción de brócoli en el Cinturón Hortícola Platense (CHP) con relación al total de Buenos Aires (Adaptado de Bertola, 2020).</a>	7
<a href="#">Tabla 2. Composición nutricional de brócoli en base a análisis proximal y compuestos fitoquímicos secundarios (Adaptado de Nagraj et al., 2020).</a>	8
<a href="#">Tabla 3. Composición química y valor nutritivo de pimiento rojo</a>	12

## ÍNDICE DE FIGURAS

<a href="#">Figura 1. A) Cultivo de brócoli a campo, B) inflorescencias en planta y C) inflorescencias recién cosechadas.</a>	9
<a href="#">Figura 2. Avance de la senescencia en brócoli conservado 9 días a temperatura ambiente (25 °C) o en refrigeración (4 °C) (Ahlawat et al., 2022).</a>	10
<a href="#">Figura 3. Cultivo de pimiento en flor y fructificación.</a>	13
<a href="#">Figura 4. Síntomas de daño por frío en pimiento verde y rojo (Cantwell, 2002).</a>	14
<a href="#">Figura 5. Pérdida de peso de brócoli control (C) y tratado con glicina-betaína (GB) 5 mM, 10 mM y 20 mM almacenados a 20 °C por 0, 3, 5 y 6 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	23
<a href="#">Figura 6. A) Luminosidad y B) tono de color (Hue) de brócoli control (C) y tratado con (GB) 5 mM, 10 mM y 20 mM almacenados a 20 °C por 0, 3, 5 y 6 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	24
<a href="#">Figura 7. A) Apariencia y B) pérdida de peso de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado a 4°C por 7, 10, 17 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	25
<a href="#">Figura 8. A) Luminosidad y B) color (hue) de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10, 17 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	26
<a href="#">Figura 9. A) Clorofila total y B) carotenoides de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	27
<a href="#">Figura 10. Fenoles totales de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	28
<a href="#">Figura 11. Vitamina C de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	29
<a href="#">Figura 12. Capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher (p&lt;0,05).</a>	30

**Figura 13.** Azúcares solubles en brócoli control (C) y tratado con glicina-betaína 10 mM (GB 10) almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p<0,05$ ). 31

**Figura 14.** A) Apariencia, B) índice de daño (ID) fruto, C) ID cáliz y D) pérdida de peso de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado 0, 14, 24 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p<0,05$ ). 32

**Figura 15.** A) Parámetro  $a^*$  y B) hue de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0, 14, 24 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p<0,05$ ). 34

**Figura 16.** A) Pérdida de electrolitos y B) contenido de prolina de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p<0,05$ ). 35

**Figura 17.** A) Capacidad antioxidante, B) fenoles totales, C) carotenoides y D) vitamina C de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p<0,05$ ). 36

## 1. RESUMEN

La glicina-betaína (GB, trimetil-glicina) es una amina cuaternaria derivada del aminoácido glicina. Presenta propiedades osmoreguladoras a nivel celular y participa de la respuesta de los vegetales al estrés abiótico. Teniendo en cuenta su función fisiológica, GB se ha empleado con éxito como tratamiento para extender la vida útil de diversas frutas y hortalizas. Sin embargo, no existen aún estudios que evalúen su efecto sobre la calidad de brócoli y pimiento rojo, lo que motivó la presente investigación. El brócoli enfrenta el amarillamiento y la deshidratación como principales causas de deterioro en poscosecha, mientras que el pimiento muestra una alta susceptibilidad a sufrir daño por frío (DPF). El primer objetivo del trabajo fue determinar la dosis óptima de GB (0, 5, 10 o 20 mM) para retrasar la senescencia de brócoli mínimamente procesado. En un ensayo de almacenamiento acelerado (20 °C) GB 10 mM resultó la concentración más efectiva para reducir la pérdida de peso y mantener el color verde de las inflorescencias, y fue seleccionada para evaluar su impacto en refrigeración. Luego de 23 d a 4 °C GB 10 mM generó efectos positivos sobre la calidad y composición del brócoli, incluyendo menor pérdida de peso y amarillamiento, retención del contenido de clorofila y carotenoides, y un incremento de la capacidad antioxidante respecto del control. En tanto, el contenido de compuestos fenólicos y vitamina C no se vieron afectados, y el nivel de azúcares se redujo levemente. La segunda parte del trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de GB en el control del DPF en pimiento rojo entero. Los frutos se trataron por inmersión en agua destilada (C, control) o GB 10mM y se almacenaron en condiciones de DPF (34 d a 4 °C). GB redujo significativamente el índice de daño en fruto y cáliz, la pérdida de peso y color, y la pérdida de electrolitos en comparación al control. A su vez, los pimientos tratados mostraron menor contenido de prolina lo que indica una menor expresión de la respuesta al estrés. En tanto la capacidad antioxidante y el nivel de compuestos bioactivos no se vieron afectados por el tratamiento. En resumen, GB mostró una marcada efectividad para retrasar la senescencia de brócoli e incrementar la tolerancia al DPF de pimiento rojo,

extendiendo significativamente la vida útil de ambas hortalizas y potenciando su valor nutricional. Resulta así una estrategia simple y económica, factible de ser aplicada en líneas de empaque y establecimientos comerciales.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Generalidades del brócoli

#### 2.1.1. Relevancia económica, producción y consumo

El brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica) es un cultivo de gran importancia económica y cultural a nivel global, destacado por su calidad nutritiva y organoléptica (Toledo, 2003). Actualmente su producción alcanza 26 millones de toneladas cultivadas en 1,4 millones de hectáreas a nivel mundial (FAOSTAT, 2021). Los principales países productores son China (40%) e India (35%) (Lozano et al., 2017). Siguen en el ranking con una representación individual entre 1 y 2%: España, México, Italia y Francia (FAOSTAT, 2021). El principal país exportador es España (29.03%), seguido por México (14,4%), Francia (11,4%), Estados Unidos (10%), China (7,2%) e Italia (5%). Estados Unidos y Alemania lideran las importaciones (Lozano et al., 2017). En Argentina el cultivo del brócoli presenta un desarrollo creciente y se comercializa fresco entero, mínimamente procesado o congelado. Según la última información oficial existe una superficie cultivada de 1000 hectáreas con una producción de 15 mil toneladas (Censo Nacional Agropecuario - INDEC, 2002). La provincia de Buenos Aires concentra el 60% de la producción, seguida por Santa Fe y Córdoba con participación de 15% cada una (Aprea, 2008). En tanto, la superficie implantada proveniente del Cinturón Hortícola Platense (CHP) representa un 30% del total bonaerense (**Tabla 1**), y este volumen se comercializa casi exclusivamente a través del Mercado Central de Buenos Aires (Bertola, 2020).

**Tabla 1.** Relevancia de la producción de brócoli en el Cinturón Hortícola Platense (CHP) con relación al total de Buenos Aires (Adaptado de Bertola, 2020).

Producción local de brócoli		
Región		Porcentual CHP
Superficie implantada provincia Bs. As.	365,9 ha	
<b>Superficie implantada CHP</b>	106,4 ha	28,9%

Producción Bs. As.	3673,6 ton	
<b>Producción CHP</b>	1221,2 ton	33,2%

### 2.1.2. Valor nutricional

El brócoli es una hortaliza rica en vitaminas, antioxidantes y fitoquímicos. Se destaca por su contenido de vitaminas A, C y E, flavonoles (quercetina y kaempferol), carotenoides ( $\beta$ -caroteno y luteína), y variados glucosinolatos (**Tabla 2**) que le confieren una elevada capacidad antioxidante, propiedad asociada a la reducción del riesgo de desarrollar diversas enfermedades crónicas (Hernández-León et al., 2012). En este sentido, se ha demostrado que derivados de glucosinolatos presentes en brócoli, como indol-carbinol y sulforafano, incrementan la actividad de enzimas protectoras frente al cáncer. Las vitaminas A y C, y compuestos fenólicos actúan como antioxidantes y previenen el Alzheimer y diversas cardiopatías. El alto contenido en fibras solubles ayuda a combatir la diabetes y el cáncer de colon. El nivel de calcio colabora con la función muscular y la formación de masa ósea, previniendo la osteoporosis. Su alto contenido en potasio previene el debilitamiento de arterias y la hipertensión. Al ser bajo en calorías el brócoli previene la obesidad y enfermedades asociadas (Stoppani y Francescangeli, 2000).

**Tabla 2.** Composición nutricional de brócoli en base a análisis proximal y compuestos fitoquímicos secundarios (Adaptado de Nagraj et al., 2020).

<b>Valor nutricional de brócoli (100 g peso fresco)</b>			
<b>Proximal</b>		<b>Vitaminas (relevantes)</b>	
<b>Agua</b>	90 g	<b>A</b>	8 mg
<b>Energía</b>	31 kcal	<b>C</b>	91 mg
<b>Proteínas</b>	2,57 g	<b>B<sub>6</sub></b>	0,19 mg
<b>Lípidos</b>	0,34 g	<b>E</b>	0,15 mg
<b>Azúcares</b>	1,40 g	<b>K</b>	0,10 mg
<b>Fibra dietaria</b>	2,40 g		
<b>Minerales (relevantes)</b>		<b>Fitoquímicos</b>	



<b>Ca</b>	46 mg	<b>Glucosinolatos</b>	230 mg
<b>K</b>	303 mg	<b>Fenoles totales</b>	48-150 mg
<b>Mg</b>	21 mg	<b>Flavonoides totales</b>	20 mg
<b>P</b>	67 mg	<b>Carotenoides</b>	0,83 mg
<b>Na</b>	36 mg	<b>Tocoferoles</b>	0,20 mg

### 2.1.3. Morfología, fisiología y cultivo de brócoli

El brócoli es un cultivo desarrollado mayormente a campo (**Figura 1A**). La inflorescencia es un corimbo conformado por numerosas flores que constituyen la parte comestible de color característico (verde oscuro) y textura densa y carnosa (**Figura 1B-C**). En cuanto a su fisiología, el brócoli es una planta mesofítica que requiere de condiciones moderadas de temperatura y luminosidad, así como de una adecuada disponibilidad de agua y alta humedad relativa. La mayor parte de los cultivares se comportan como plantas anuales y se clasifican en:

- Variedades de Ciclo Corto: 80-90 días, algunas incluso 40-45 días, recolectadas en verano y otoño.
- Variedades de Ciclo Largo: superiores a 120 días, recolección en invierno.

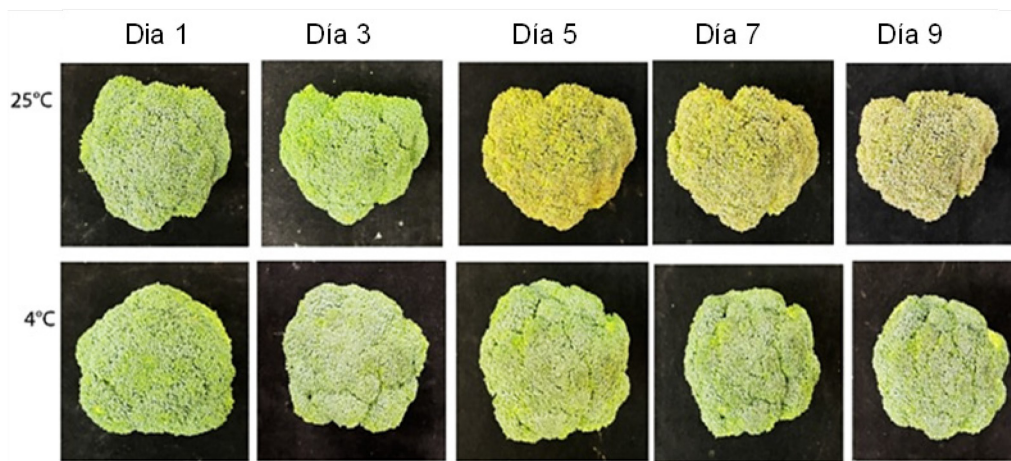
La cosecha es la operación cultural más exigente, puede ser manual o mecanizada. El brócoli para consumo fresco es cosechado con una longitud total de pella o cabeza de 15-20 cm. En los cultivares de maduración heterogénea la recolección se cumple en varias etapas y pueden estimarse rendimientos entre 15 y 35 toneladas por hectárea.



**Figura 1.** A) Cultivo de brócoli a campo, B) inflorescencias en planta y C) inflorescencias recién cosechadas.

#### 2.1.4. Calidad poscosecha

La senescencia es el proceso natural de envejecimiento que experimentan las plantas durante su ciclo de vida. En brócoli este es un fenómeno crítico ya que la inflorescencia inmadura ha sido separada de la planta madre. El corte aumenta 5-10 veces la producción de etileno y tasa metabólica, lo que acelera significativamente la senescencia y el deterioro poscosecha (Tian et al, 1994; Pogson y Morris, 1997). El estrés por la ausencia del aporte de energía y nutrientes determina además una gran tendencia a la deshidratación, pérdida de color verde, ablandamiento y pudriciones. Esto conlleva a que la vida útil del brócoli no supere los 4-5 días a temperatura ambiente (**Figura 2**) (Büchert et al, 2011). La recomendación general incluye el pre-enfriado inmediato de las inflorescencias luego de la cosecha para bajar la temperatura de campo y ralentizar la tasa metabólica. Luego se debe mantener la cadena de frío (4 °C y 90% HR) durante todo el almacenamiento alcanzando de esta forma una vida útil de 15 días (**Figura 2**) (Ahlawat et al., 2022). En tanto se requiere una temperatura de 0 °C y 95% HR para optimizar la vida de almacenamiento a 21-28 días (Cantwell y Suslow, 2003).



**Figura 2.** Avance de la senescencia en brócoli conservado 9 días a temperatura ambiente (25 °C) o en refrigeración (4 °C) (Ahlawat et al., 2022).

Numerosas tecnologías de poscosecha (complementarias a la refrigeración) han sido evaluadas para extender la vida útil del brócoli. Todas apuntan a retrasar el amarillamiento y deshidratación.

En este sentido han sido empleadas con éxito diferentes atmósferas modificadas y controladas (Barth et al., 1993; Hurst et al., 1996), tratamientos térmicos (Tian et al., 1997), radiación UV-C (Lemoine et al., 2007), 1-metilciclopropeno (1- MCP) (Ku et al., 1999), luz visible (Büchert et al., 2011) y brasinoesteroides (Sanchez, 2020).

## 2.2. Generalidades del pimiento

### 2.2.1. Relevancia económica, producción y consumo

El pimiento (*Capsicum annumm* L.) es una hortaliza de la familia de las *Solanáceas*, nativa de América que se cultiva en todo el mundo. Se produce principalmente en zonas templadas y/o cálidas y se caracteriza por ser un fruto brillante de diversos colores, formas y nivel de picor (Ruiz y Parera, 2017). Según FAO, el continente asiático produce el 70% de los pimientos del mundo (Biswas et al., 2018). China es el mayor productor con casi 16 millones de toneladas y le siguen México (2,3 millones), Turquía (2,2 millones) e Indonesia (1,8 millones), luego España y Estados Unidos (Penella y Calatayud, 2018). Argentina es el principal productor sudamericano con aproximadamente 13000 ha cultivadas y una producción de 120000 t anuales (Flores et al., 2015). Las principales zonas productoras son: Salta

y Jujuy, para producción de pimentón y primicia; Mendoza y San Juan, para pimiento de uso industrial; Buenos Aires y el Litoral para pimiento de consumo en fresco (Galmarini, 1999). Dentro del CHP la superficie cultivada de pimiento suma un total de 328 ha de las cuales 303 corresponden a la producción bajo invernadero y las restantes 25 ha a producción a campo (CFHB, 2005).

### 2.2.2. Valor nutricional

El pimiento es una hortaliza ampliamente cultivada por su gran valor nutricional y por la presencia en su composición de sustancias bioactivas beneficiosas para la salud (Soare et al., 2017). Los pimientos aportan a la dieta color, sabor y gran variedad de nutrientes entre los que se destacan: la provitamina A (caroteno), vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) y altas concentraciones de vitamina C (ácido ascórbico) (**Tabla 3**). Estos frutos presentan además un alto contenido de compuestos fenólicos, especialmente flavonoides que poseen gran actividad antioxidante, anticancerígena y antiinflamatoria (Penella y Calatayud, 2018). En este grupo se destacan los capsaicinoides que imparten el sabor característico. La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los capsaicinoides más abundantes (80%-95%) que contribuyen al picor de los pimientos picantes. En los pimientos dulces predomina un compuesto similar (6",7"-Dihidro-5',5"-dicapsaicina) que posee actividad antioxidante, pero carece de picor (Srinivasan, 2016). Los frutos maduros del pimiento rojo son ricos en carotenoides, estos compuestos poseen gran capacidad anticancerígena y antioxidante (Rosa-Martínez et al., 2021). Los carotenoides mayoritarios son en general la capsantina, zeaxantina,  $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno.

**Tabla 3.** Composición química y valor nutritivo de pimiento rojo

Composición	Pimiento (100 g)	Pimiento (100 g)	
Materia seca (%)	8,0	Carotenos (mg)	1,8
Energía (kcal)	26,0	Vit B1- Tiamina (mg)	0,07
Proteína (g)	1,3	Vit B2- Riboflavina (mg)	0,08
Fibra (g)	1,4	Niacina (mg)	0,8
Calcio (mg)	12,0	Vit C- Ácido ascórbico (mg)	103,0

Hierro (mg)	0,9	Valor nutritivo medio (ANV)	6,61
-------------	-----	-----------------------------	------

### 2.2.3. Morfología, fisiología y cultivo de pimiento

El cultivo de pimiento se desarrolla principalmente bajo invernadero y se produce estacionalmente en primavera-verano. De acuerdo con su morfología, son plantas autógamias, anuales, bienales o perennes. El tallo es erecto y ramificado. Poseen un sistema radicular pivotante cuya raíz principal se extiende profundamente en el suelo y de ella se desarrollan gran cantidad de raíces secundarias en cabellera. Las hojas son simples, alternas y de forma lanceolada u ovalada de un color verde brillante. Las flores son solitarias, campanuladas y generalmente de color blanco. Los frutos son bayas carnosas de forma cónica o cuadrada, aunque pueden tener forma globosa o irregular. Según la variedad, pueden ser verdes, rojos, amarillos, naranjas o morados cuando están maduros y verdes cuando están inmaduros (**Figura 3**). El tipo "Lamuyo" rectangular es el más cultivado en Argentina. En cuanto a su fisiología, la germinación y emergencia en esta especie es lenta y requiere temperaturas de entre 20 y 30 °C con una media de 18 °C (Pinto et al., 2016).

La temperatura diurna óptima para el cuajado de flores es 20 °C (Erickson y Markhart., 2002). La maduración de los frutos se produce a los 120-180 días después del trasplante, dependiendo de las condiciones climáticas. La temperatura diurna óptima para el crecimiento del fruto es de 21°C (Bakker y Van Uffelen, 1988). La cosecha se efectúa a mano en forma escalonada, se debe cuidar que el cáliz y el pedúnculo queden adheridos al fruto, ya que así son menos susceptibles al deterioro y al ataque de podredumbres. Lo recomendable es el corte con tijera para evitar cualquier tipo de daño mecánico en el arrancado. Además, deben estar firmes y libre de defectos tales como grietas, pudriciones y quemaduras de sol.



**Figura 3.** Cultivo de pimiento en flor y fructificación.

#### **2.2.4. Calidad poscosecha**

Un pimiento de alta calidad se distingue por su coloración brillante, paredes gruesas y firmes de textura crujiente, libre de daños y con el cáliz y el pedúnculo de color verde y turgente (O'Donoghue et al., 2018). La temperatura recomendada de almacenamiento es de 7 °C, alcanzando una vida útil de 3-5 semanas (Cuvi et al., 2001). Sin embargo, por cuestiones de logística o en establecimiento comerciales / hogares se los suele conservar a temperaturas inferiores. Por su origen subtropical, en estas condiciones los pimientos comienzan a presentar síntomas de daño por frío (DPF), deterioro fisiológico que constituye la principal causa de pérdidas poscosecha en estos frutos. Los síntomas de DPF se manifiestan como pitting o picado superficial, ablandamiento, deshidratación y un posterior ataque de patógenos en las lesiones superficiales (**Figura 4**) (Cantwell, 2002).

A nivel celular, el DPF altera la estructura y función de las membranas celulares, en principio debido a una transición de fase desde líquido cristalino a gel-sólido (Liang et al., 2020). A su vez se ven afectados múltiples procesos metabólicos que promueven la pérdida de electrolitos, un desbalance energético y una sobreproducción de especies reactivas del oxígeno que genera estrés oxidativo (Wang, 1994). En estados avanzados de deterioro, se produce la ruptura de la membrana y la muerte celular, con la consecuente pérdida de integridad del tejido y aparición de síntomas visibles (Patel et al, 2016).





**Figura 4.** Síntomas de daño por frío en pimiento verde y rojo (Cantwell, 2002).

Numerosas tecnologías de poscosecha complementarias a la refrigeración han sido evaluadas para mitigar la incidencia del DPF en pimiento. Estas incluyen métodos físicos como radiación UV-C (Vicente et al., 2005 ), tratamiento térmico (Ilić et al., 2012 ) y atmósferas modificadas (MAP) (Serrano et al., 1997 ). La combinación 1-metilciclopropano (1-MCP) con MAP resultó también una estrategia prometedora (Li et al., 2011 ). Por otra parte, tratamientos con compuestos químicos naturales como brasinoesteroides, metil jasmonato y ácido salicílico han tenido variable éxito (Wang et al., 2012; Fung et al., 2004; Ma et al., 2020). Finalmente, Wang et al. (2016) hallaron que el tratamiento con glicina-betaína incrementa la tolerancia al DPF de pimientos verdes almacenados a 3 °C por 16 días. En esta instancia cabe destacar que O'Donoghue et al. (2018) encontraron que los pimientos rojos maduros son menos sensibles al DPF que los pimientos verdes (inmaduros) por tanto la respuesta al tratamiento puede variar según el estado de desarrollo de los frutos.

## **2.3. Tratamientos de poscosecha en hortalizas**

### **2.3.1. Pérdidas poscosecha y alternativas de tratamiento**

Las frutas y hortalizas se destacan por su perecibilidad, lo que implica un reducido tiempo de vida útil desde la cosecha hasta su consumo. Debido a condiciones poco favorables de conservación, sobreproducción y/o defectos entre un 25-50% de la producción se descarta (FAO, 2023). Esto resulta inaceptable tanto por el desaprovechamiento directo de alimentos, como por la ineficiencia en el uso de recursos naturales y económicos. Por ello, constantemente se encuentran en evaluación tratamientos de poscosecha complementarios a la refrigeración que permitan reducir el deterioro de los vegetales y maximicen su vida útil. Hoy en día

podemos encontrar diferentes alternativas según si estos tratamientos son físicos o químicos. Los tratamientos físicos involucran la manipulación de la 1) temperatura (tratamientos térmicos en agua o aire caliente, acondicionamiento a baja temperatura) (Kader, 2002), 2) radiación (aplicación de luz UV o visible) (Pintos et al., 2020), 3) atmósfera circundante al producto (atmósferas controladas o modificadas) (Lurie, 1998), o 4) sus combinaciones.

Por su parte, los tratamientos químicos incluyen dos categorías: compuestos de síntesis o sustancias naturales. En el primer grupo se destaca el 1-metilciclopropeno (1-MCP) que actúa como inhibidor del etileno y se emplea para la regulación de la maduración de frutos climatéricos (manzana, pera, banana) y la inhibición de la senescencia de hortalizas (Watkins, 2006). En tanto, las sustancias naturales incluyen compuestos normalmente producidos por las plantas, que actúan en muy baja concentración y que regulan diversos procesos metabólicos y de defensa. Incluyen 1) hormonas o reguladores del crecimiento (etileno, citoquininas, auxinas, giberelinas, brasinoesteroides, poliaminas, y el ácido abscísico) (Valenzuela et al., 2017), y 2) osmoreguladores (glicina-betaína, prolina, manitol, otros) (Pino, 2016).

### **2.3.2. Glicina-betaína como tratamiento de poscosecha**

La glicina-betaína (GB, trimetil-glicina) es una amina cuaternaria derivada del aminoácido glicina producida por una gran variedad de microorganismos, plantas y animales, que juega un papel crucial en el ajuste osmótico de los organismos (Wang et al., 2016). Pertenece a un grupo de compuestos que se conocen colectivamente como osmoreguladores o “solutos compatibles”, es muy soluble en agua y no tóxica (Ahmad et al. 2013). GB se sintetiza y acumula en los cloroplastos de las plantas en respuesta a diferentes tipos de estrés abióticos (temperatura, sal, radiación UV o metales) (Chen & Murata, 2008). Aplicada como tratamiento en precosecha, GB actúa frente al estrés por la estabilización del aparato fotosintético, reduciendo las especies reactivas del oxígeno (EROs) y protegiendo las proteínas y lípidos de membranas celulares (Tian et al., 2017; Al-Qurashi et al., 2017; León y Soto, 2023). En los últimos años se ha demostrado además la efectividad de GB como tratamiento poscosecha para la conservación de la calidad y el retraso de la senescencia de diversas frutas y hortalizas, incluyendo champiñón, uvas y cereza (Wang et al., 2015; Awad et al., 2015; Zhang et al., 2023). Más recientemente aún se comprobó la efectividad de GB para el control del DPF de ciertos productos



sensibles como pera, banana y durazno, entre otros (Wu et al., 2024). Los beneficios se asociaron en general a una reducción de los niveles de estrés mediada por el mantenimiento de mayores niveles de compuestos y enzimas antioxidantes, la acumulación de prolina, la reducción de la peroxidación lipídica, mayor integridad de membranas celulares y una mejora del estatus energético (Guijarro et al., 2023). Más allá de estos promisorios antecedentes, no existen al día de hoy reportes sobre el estudio de GB como tratamiento previo al almacenamiento para contrarrestar el avance de la senescencia en brócoli y el DPF en pimiento rojo. Resulta de sumo interés entonces profundizar en el conocimiento del efecto de GB sobre el metabolismo y la calidad global de ambas hortalizas con especial énfasis en la prevención de sus factores de deterioro poscosecha más característicos.

### **3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Objetivo general**

***“Evaluar la efectividad de glicina-betaína para retrasar la senescencia de brócoli y controlar el daño por frío en pimiento rojo durante el almacenamiento refrigerado”.***

#### **3.2. Objetivos específicos**

**OE 1:** “Analizar la efectividad del tratamiento con glicina-betaína para retrasar la senescencia de brócoli mínimamente procesado, y evaluar su impacto sobre los principales aspectos de calidad y el nivel de compuestos antioxidantes”.

**Hipótesis 1:** *“El tratamiento con GB previo al almacenamiento refrigerado, resulta efectivo para retrasar la senescencia, conservar la calidad y extender la vida útil de brócoli”.*

**OE 2:** “Analizar la efectividad del tratamiento con glicina-betaína para controlar el daño por frío en pimiento, y evaluar su impacto sobre los principales aspectos de

calidad y el nivel de compuestos antioxidantes”.

**Hipótesis 2:** *“El tratamiento con GB previo al almacenamiento refrigerado, resulta efectivo para controlar el daño por frío, conservar la calidad y extender la vida útil de pimiento”.*

## **4. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. Material vegetal, selección de dosis y tratamiento en brócoli**

Se emplearon 40 cabezas de brócoli producidas en un invernadero de la ciudad de La Plata. Se seleccionaron, se desinfectaron con hipoclorito de sodio 200 ppm, se dejaron secar al aire y se dividieron en 4 lotes. En cada lote, cada inflorescencia se separó cuidadosamente en flores individuales las cuales fueron distribuidas en 8 bandejas de 10 unidades. Para su tratamiento el contenido de cada bandeja se colocó en bolsas de red y fue tratado por inmersión durante 10 minutos. Se probaron tres concentraciones de GB (5, 10 y 20 mM) y un control (agua destilada). Las flores tratadas se dejaron secar y se almacenaron a 20 °C. Se trabajó a esta temperatura a fin de acelerar el proceso de senescencia. Luego de 0, 3, 5 y 6 días se evaluó la apariencia, el amarillamiento y la pérdida de peso. Se seleccionó la dosis más efectiva para retrasar el deterioro. Una vez seleccionado el tratamiento se realizó un segundo ensayo para evaluar aspectos bioquímicos y de calidad en almacenamiento refrigerado. Flores individuales, obtenidas como se mencionó anteriormente, se trataron por inmersión con GB 10 mM o con agua destilada (control, C). Ambos grupos se almacenaron a 4 °C por 23 d. Periódicamente se realizaron determinaciones en fresco y una parte del tejido se congeló en nitrógeno

líquido y se conservó a -80 °C para posteriores determinaciones bioquímicas.

## **4.2. Material vegetal y tratamiento en pimiento**

Se emplearon 80 frutos de pimiento producidos en un invernadero de la ciudad de La Plata. Se seleccionaron por ausencia de defectos y uniformidad de color. Posteriormente se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio 200 ppm durante 3 minutos, se dejaron secar al aire y luego se dividieron en 3 lotes. Cada lote fue tratado por inmersión durante 10 minutos en solución GB 10 mM o en agua destilada (C, control). Se seleccionó esta concentración en base a bibliografía por resultar la más efectiva en otros vegetales sensibles al frío (Yao et al., 2018; Guijarro et al., 2023). Finalmente se dejaron secar al aire, se ubicaron en bandejas y se almacenaron en condiciones de daño por frío (4 °C) por 34 días. Periódicamente se evaluó la apariencia y calidad en fresco de un lote de 20 frutos de cada condición. Al inicio y al final del almacenamiento (0 y 34 d) parte del material se congeló en nitrógeno líquido y se conservó a -80 °C para posteriores determinaciones bioquímicas.

## **4.3. Determinaciones**

### **4.3.1. Índice de deterioro por senescencia o daño por frío (ID)**

Se calculó con una escala hedónica de cuatro grados según el porcentaje de la superficie del vegetal afectada: 1 = sin daños (0-5%), 2 = daños leves (5-25%), 3 = daños moderados (25-50%), 4 = daños severos (más de 50%), teniendo en cuenta para brócoli el nivel de deshidratación y amarillamiento de las flores, y para pimiento el punteado superficial, ablandamiento y deshidratación del fruto; y presencia de pardeamiento y pudriciones en cáliz. Se considera que un ID  $\geq 3$  califica a un producto como no comercializable y un ID  $\geq 4$  como no consumible. El índice de deterioro (ID) se calculó según:

$$ID = \frac{\sum (\text{Nivel de deterioro} \times N^\circ \text{ de frutos en el nivel})}{N^\circ \text{ total de frutos}}$$

### **4.3.2. Pérdida de peso**

Al día inicial y al finalizar cada período de almacenamiento se pesaron las bandejas conteniendo el producto. El porcentaje de pérdida de peso (PP) se calculó según:

$$PP (\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

Pi es el peso inicial de las bandejas y Pf es el peso final en el día de muestreo.

#### **4.3.3. Color superficial**

Se evaluó empleando colorímetro (Minolta CR-400, Osaka, Japón) con parámetros L\*, a\* y b\*. Se determinó la luminosidad (L\*) del vegetal y se calculó el tono del color como ángulo Hue (arco tangente de b\*/a\*).

#### **4.3.4. Pérdida de electrolitos**

Se obtuvieron discos de pimiento de 8 mm de diámetro y 5 mm de espesor. Seguidamente, 6 discos (~ 3 g) se colocaron en vasos de precipitado con 25 mL de agua destilada. Luego de 5 y 30 min de incubación en agitación constante se midió la conductividad inicial (Ci) y final (Cf), respectivamente (Oakton, pH/CON 510, EE. UU.). Inmediatamente después, los discos en suspensión fueron disgregados por hervor durante 15 minutos y sobre la fase líquida se midió la conductividad total (CT). Los resultados se expresaron como % de pérdida de electrolitos (PE) según:

$$PE (\%) = [(Cf-Ci) / CT] * 100$$

#### **4.3.5. Extracción de antioxidantes hidrofílicos**

El material congelado con nitrógeno líquido se trituró en molinillo (Peabody PE-MC9100, China). A 1 g del polvo resultante se añadieron 5 mL de etanol y se realizaron dos ciclos de agitación en vortex de 1 minuto. La suspensión resultante se centrifugó a 13.000 xg por 10 minutos a 4 °C (Sorvall ST 16R). Se recolectó el sobrenadante y el pellet se extrajo nuevamente en similares condiciones.

#### **4.3.6. Capacidad antioxidante**

La determinación se realizó de acuerdo con Arnao et al. (2001). A 1 mL de solución del radical ABTS<sup>•+</sup> se adicionaron 30 µL de etanol y 20 µL de extracto obtenido en 4.3.5. La mezcla se homogeneizó, se dejó reaccionar por 6 minutos y se leyó la absorbancia a 734 nm en espectrofotómetro (U-1900 Hitachi, Japón). Se utilizó Trolox como estándar y los resultados se expresaron como Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) en mg kg<sup>-1</sup>.

#### **4.3.7. Compuestos fenólicos totales**

Se determinó según Singleton et al. (1999), empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu. A 100  $\mu\text{L}$  de extracto etanólico obtenido según 4.3.5., se le adicionaron 50  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin (1:1), 100  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , y agua destilada hasta un volumen final de 2000  $\mu\text{L}$ . La mezcla homogénea se dejó reaccionar por 90 minutos y se leyó la absorbancia a 760 nm. Se empleó ácido clorogénico (ACG) como estándar y los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### **4.3.8. Extracción y cuantificación de vitamina C**

Se determinó según Lemoine et al. (2010). El material congelado fue triturado en un molinillo y se mezclaron 2 g del polvo resultante con 8 mL de ácido tricloroacético al 6% p/v (TCA). Se agitó durante 2 minutos y el homogenato resultante se centrifugó a 13.000  $\times\text{g}$  durante 10 minutos a 4 °C. Se recolectó el sobrenadante, y el pellet se extrajo por segunda vez en condiciones similares. Para la cuantificación de vitamina C, se empleó el reactivo de Bipiridil según Zaro et al (2015). Se midió la absorbancia a 525 nm, utilizando ácido ascórbico (AA) como estándar, y los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### **4.3.9. Clorofila total**

Se determinó según Lichtenthaler (1987). Se pesó 1 g de tejido congelado previamente molido y se homogeneizó con 5 mL de una mezcla de acetona-agua (80:20 v/v). Se homogeneizó en vortex por 2 minutos y se centrifugó 13.000  $\times\text{g}$  por 10 minutos a 4 °C. Se colectó el sobrenadante y el pellet se extrajo nuevamente en similares condiciones. Se midió la absorbancia a 646 y 663 nm. El contenido de clorofila total (CT) se calculó según:

$$\text{CT (mg kg}^{-1}\text{)} = 7,05 * \text{Abs 663 nm} + 18,09 * \text{Abs 646 nm}$$

#### **4.3.10. Carotenoides totales**

Se molió el tejido congelado y se pesó 0.5 g. El polvo obtenido se homogeneizó con 10 mL de una mezcla de hexano: acetona: etanol (2:1:1 v/v), y se añadió 2 mL de agua. Se dejó reposar para permitir la separación de las fases y se midió la absorbancia de la fase orgánica a 450 nm. El contenido de carotenoides se calculó

utilizando el coeficiente de extinción molar del  $\beta$ -caroteno en hexano ( $\epsilon = 2560$ ). Los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### **4.3.11. Azúcares totales**

El contenido de azúcares totales fue determinado de acuerdo con Yemm y Willis (1954). Se añadió una alícuota de 50  $\mu\text{L}$  del extracto etanólico previamente obtenido en 4.3.5. a 1 mL de reactivo de antrona (0,05 % p/v en  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). La mezcla de reacción se llevó a ebullición durante 10 minutos y posteriormente se sometió a un baño frío en agua-hielo. La absorbancia se midió a 620 nm. Se utilizó glucosa como estándar y los resultados fueron expresados en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### **4.3.12. Contenido de prolina**

La determinación se llevó a cabo según Shan et al. (2016). Aproximadamente 1 g de tejido congelado se extrajo con 10 mL de ácido sulfo-salicílico en caliente durante 10 minutos, se centrifugó a 13.000  $\times g$  por 10 minutos a 4 °C y se recuperó el sobrenadante. La fase recuperada se homogeneizó con tolueno y se midió la absorbancia de la fase orgánica a 520 nm. Se empleó prolina como estándar y los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### **4.4. Análisis estadístico**

Las experiencias fueron diseñadas según un diseño factorial, los resultados fueron evaluados mediante ANOVA y las medias comparadas mediante la prueba de Fisher con  $p < 0,05$ . Se empleó el software INFOSTAT.

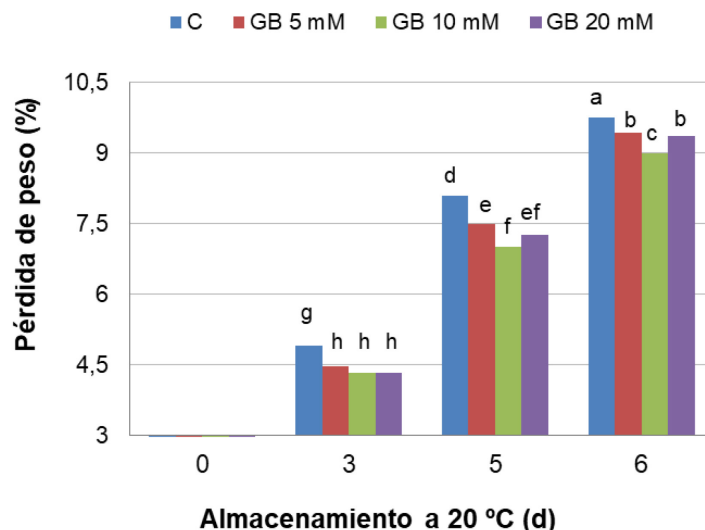
## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. Efecto de GB en el retraso de la senescencia de brócoli**

#### **5.1.1. Selección de tratamiento**

Los principales aspectos de calidad poscosecha de brócoli, y que determinan la elección de compra del consumidor, son el mantenimiento de la turgencia y el color verde característico de las inflorescencias. Para comprobar la efectividad del tratamiento con GB y seleccionar la dosis más beneficiosa (0, 5, 10 o 20 mM), ambos factores fueron evaluados en un ensayo de almacenamiento acelerado (20 °C).

Durante el periodo de almacenamiento las inflorescencias presentaron un aumento rápido y constante de la PP a temperatura ambiente, todos los tratamientos con GB generaron beneficios respecto de los brócolis no tratados (**Figura 5**). En particular, GB 10 mM presentó los mejores resultados reduciendo la PP 15 y 10% en comparación al control luego de 5 y 6 d de almacenamiento, respectivamente.

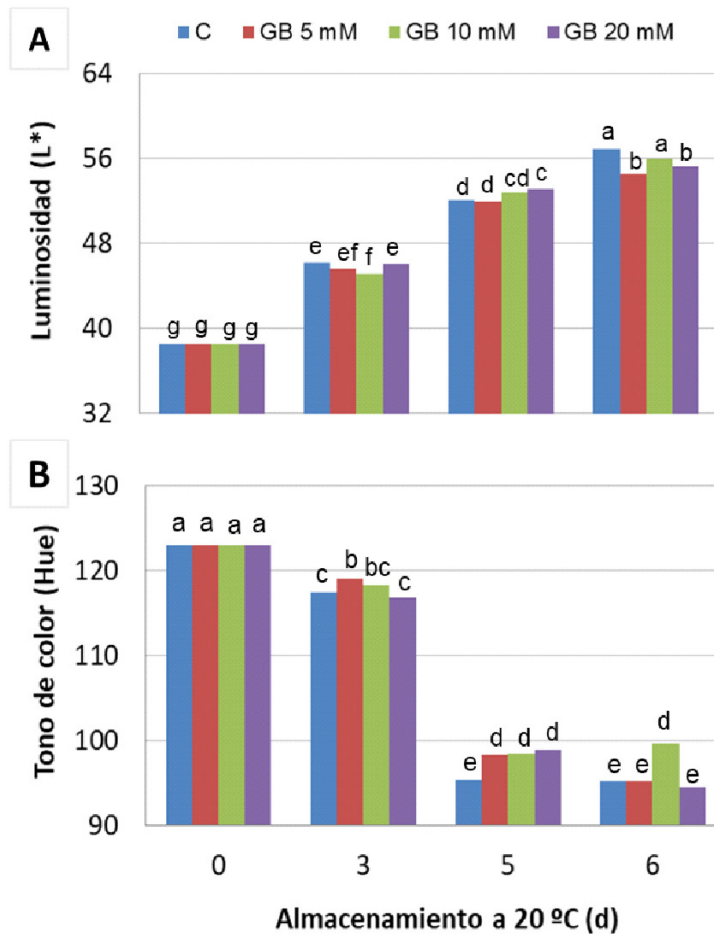


**Figura 5.** Pérdida de peso de brócoli control (C) y tratado con glicina-betaína (GB) 5 mM, 10 mM y 20 mM almacenados a 20 °C por 0, 3, 5 y 6 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

La evolución del color de las inflorescencias se evaluó mediante los parámetros  $L^*$  (luminosidad) y ángulo Hue (tono). El avance de la senescencia en brócoli se caracteriza por el incremento de  $L^*$  que indica la presencia de un tejido más claro y una disminución de Hue debido a la pérdida de color verde y tendencia al amarilleamiento.

Aquí  $L^*$  mostró un rápido y significativo incremento sin diferencias entre el control y los tratamientos hasta 5 d. Al finalizar el tiempo de conservación GB 5 y 20 mM mostraron ciertos beneficios al presentar un menor grado de amarillamiento (8%), respecto de C y GB 10 mM (**Figura 6A**). En cuanto al tono del color, la tendencia hasta el día 5 acompañó la evolución de  $L^*$  con una marcada reducción de Hue para todos los tratamientos. Sin embargo, al final del almacenamiento las inflorescencias tratadas con GB 10 mM lograron diferenciarse y retuvieron efectivamente el color verde (10%) respecto de las otras combinaciones (**Figura 6B**). Este resultado junto con la significativa reducción de la PP (**Figura 5**) determinó que GB 10 mM sea el tratamiento seleccionado para la evaluación de la respuesta de parámetros bioquímicos en un posterior ensayo en refrigeración.



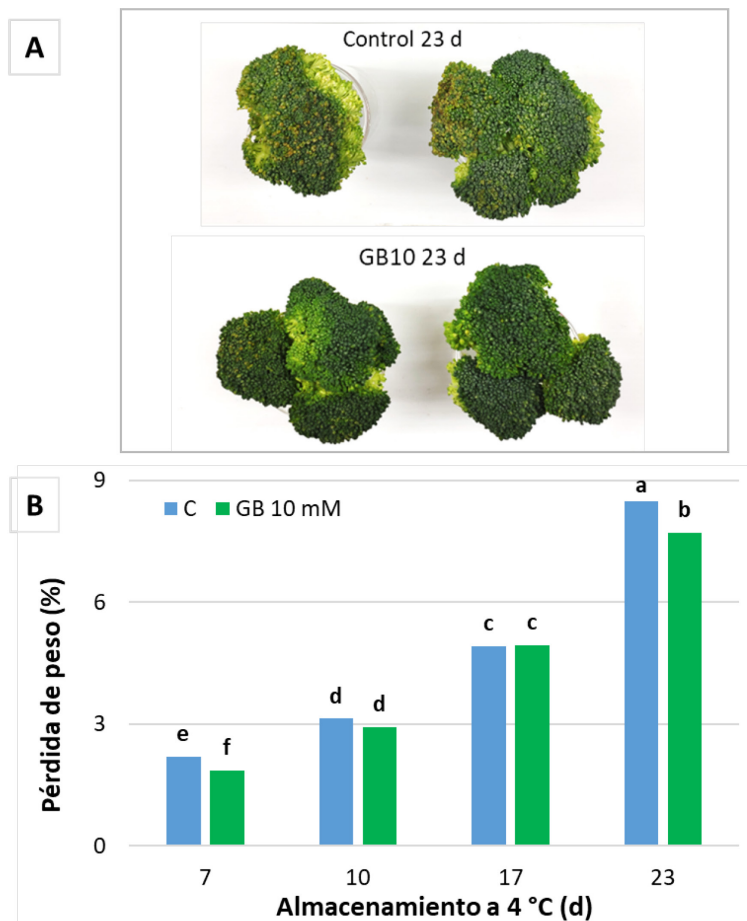


**Figura 6.** A) Luminosidad y B) tono de color (Hue) de brócoli control (C) y tratado con (GB) 5 mM, 10 mM y 20 mM almacenados a 20 °C por 0, 3, 5 y 6 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

## 5.2. Efecto de GB sobre la calidad y composición de brócoli

### 5.2.1. Apariencia, pérdida de peso y color ( $L^*$ y hue)

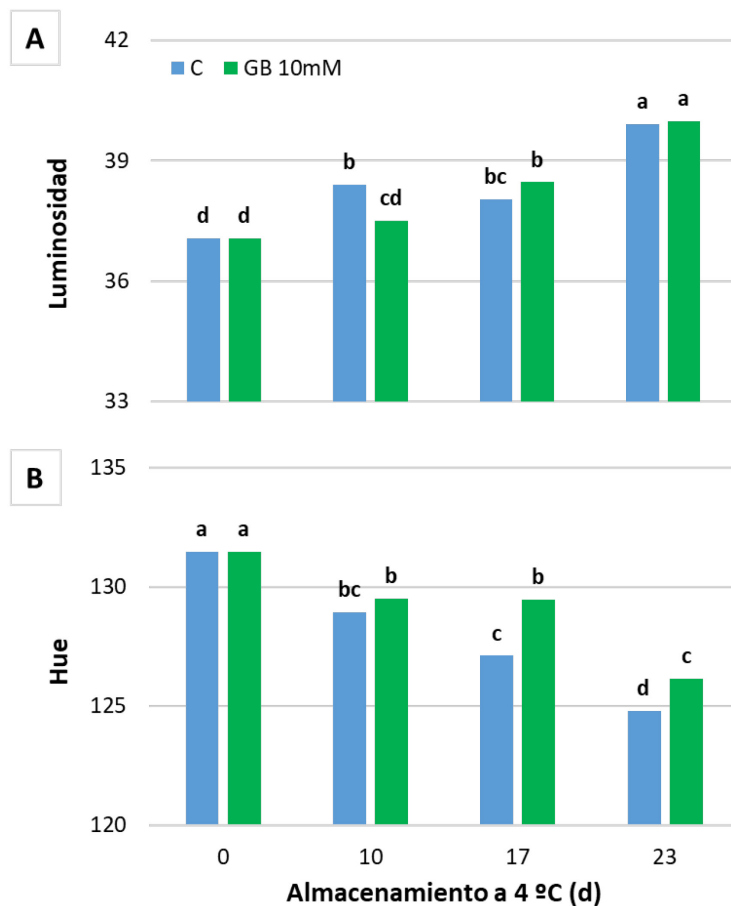
Como se mencionó anteriormente, la refrigeración permite extender notablemente la vida útil del brócoli. Así, en el ensayo a 4 °C las inflorescencias se conservaron con relativa buena apariencia por 23 d (**Figura 7A**). Hasta el día 17 se halló un aumento constante y similar de la PP en las inflorescencias C y GB (**Figura 7B**). Sin embargo, las inflorescencias tratadas culminaron el almacenamiento con un menor nivel de deshidratación (10%) respecto del C (**Figura 7B**).



**Figura 7.** A) Apariencia y B) pérdida de peso de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado a 4°C por 7, 10, 17 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Similares efectos positivos de GB para mejorar la capacidad de retención de agua fueron observados previamente en peras, ciruelas y cítricos (Sun et al., 2020; Habibi et al., 2022; Zheng et al., 2023). La reducción de la PP puede asociarse a la probada función como osmoregulador de GB, que actúa ajustando la presión osmótica, manteniendo el volumen celular y la humedad de equilibrio en los tejidos vegetales (Wang et al., 2014; León y Soto, 2023).

En el transcurso del almacenamiento  $L^*$  se incrementó con una tendencia similar para los brócolis de ambos grupos (**Figura 8A**). En cambio, se halló que hasta el día 17 las inflorescencias tratadas conservaron de forma significativa el color verde respecto del control, con un Hue en el orden del 7% mayor (**Figura 8B**). Al final del almacenamiento, si bien la pérdida de color se incrementó, las inflorescencias tratadas presentaron aún un mayor valor de Hue (**Figura 8B**).



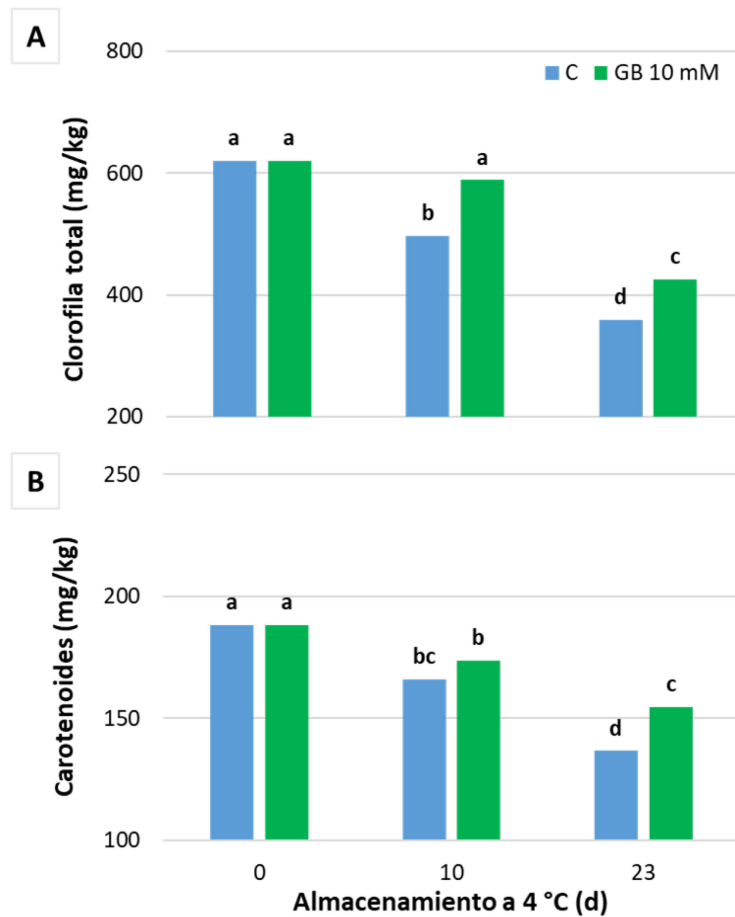
**Figura 8.** A) Luminosidad y B) color (hue) de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10, 17 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

En brócoli el cambio de color hacia tonos amarillos apagados es un fenómeno característico asociado al proceso de senescencia. El cambio de apariencia es consecuencia de la degradación de las clorofilas y el desenmascaramiento de pigmentos carotenoides (Hasperué, 2012). Aquí, los beneficios del tratamiento en la conservación del color podrían asociarse al menos en parte, al menor grado de deterioro observado en el tejido de las inflorescencias tratadas (**Figura 7**).

### 5.2.2. Clorofila y carotenoides

En línea con lo observado para la evolución del color (**Figura 8**), se evidenció una disminución en la concentración de clorofilas con el tiempo de almacenamiento (**Figura 9**). A pesar de ello el tratamiento logró conservar significativamente el contenido de pigmentos respecto del control. Así las inflorescencias tratadas presentaron 25 y 20% mayor contenido de clorofila luego de 10 y 23 d, respectivamente (**Figura 9A**). Este resultado se correlacionó con el positivo efecto sobre la retención del color verde (Hue) (**Figura 8B**). Similares resultados fueron

reportados por Wang et al. (2016), quienes hallaron que el tratamiento con GB (1 mM) en pimientos verdes disminuye significativamente la tasa de degradación de clorofila. Los brócolis tratados también exhibieron un mayor contenido de carotenoides al día 23, tiempo en el que se halló una retención del 15% de estos, respecto del control (**Figura 9B**).



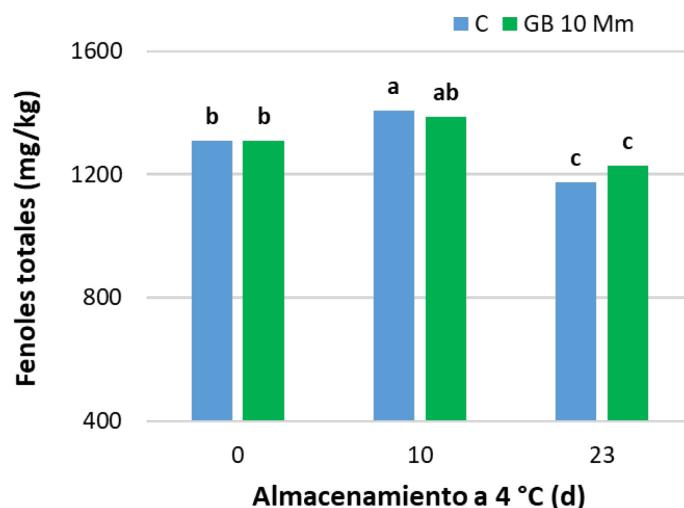
**Figura 9.** A) Clorofila total y B) carotenoides de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos pueden asociarse a la función de GB como osmoregulador en situaciones de estrés abiótico, ya que actúa estabilizando los cloroplastos, el aparato fotosintético (PSII) y los pigmentos asociados como clorofilas y carotenoides (Park et al., 2004; Kayak et al., 2023). Teniendo en cuenta esto, la aplicación exógena de GB en poscosecha favorece la conservación de la estructura del tejido y del color verde, tal como se halló aquí en las inflorescencias tratadas (**Figura 8B**).

### 5.2.3. Compuestos fenólicos totales

Durante el período de almacenamiento el contenido de fenoles totales primero se incrementó y luego se redujo respecto de los valores iniciales, con una tendencia similar en inflorescencias tratadas y control (**Figura 10**). El envejecimiento o senescencia de los vegetales determina un incremento del estrés oxidativo por acumulación de especies reactivas del oxígeno (ERO's) que son neutralizadas por los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos presentes en brócoli (Hasperué, 2012). Entre los antioxidantes no enzimáticos el brócoli se destaca por presentar altos niveles de compuestos de diferente naturaleza y modo de acción, incluyendo compuestos fenólicos, vitamina C y glucosinolatos, que le confieren destacadas propiedades bioactivas (Borowski et al., 2008).

Los compuestos fenólicos suelen ser la primera respuesta de defensa frente al estrés y se acumulan a través de la rápida activación de su biosíntesis mediada esencialmente por la enzima fenilalanina amonio-liasa (Habibi et al., 2022), tal como ocurrió en el presente ensayo. En tanto, el descenso posterior puede asociarse a una reducción del equilibrio entre su contenido y su consumo en condiciones de deterioro más avanzadas.

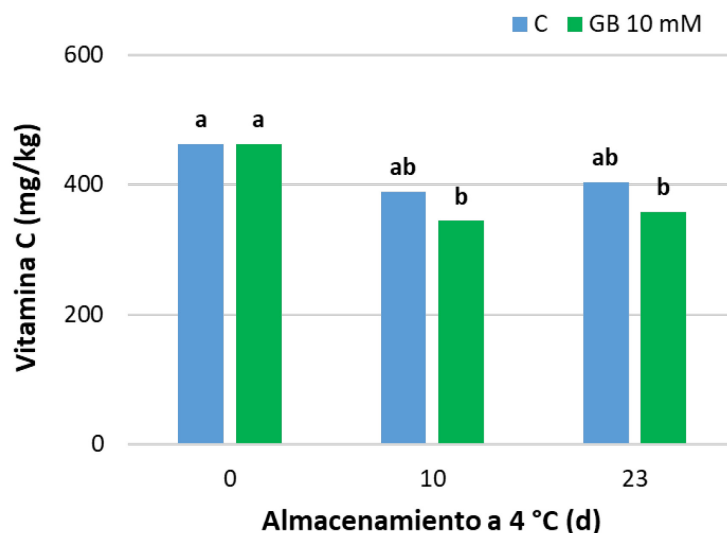


**Figura 10.** Fenoles totales de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.4. Contenido de vitamina C

Como se mencionó anteriormente el brócoli presenta altos niveles de compuestos antioxidantes, destacándose su contenido de vitamina C. En el presente trabajo, al

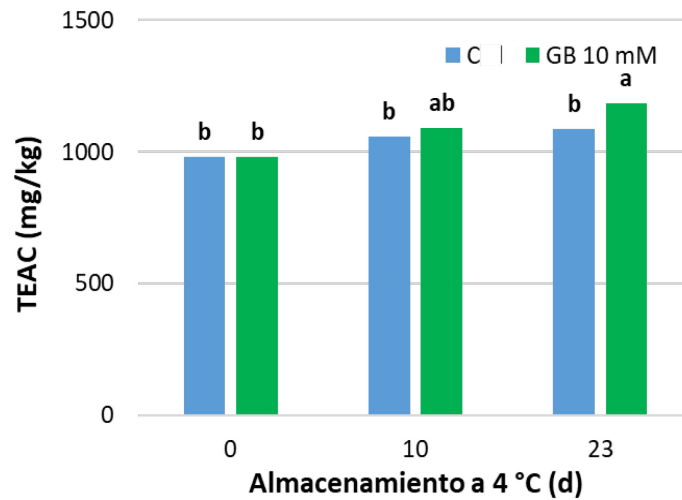
analizar la evolución durante el almacenamiento, se halló una reducción de su contenido en ambos tratamientos (**Figura 11**). Si bien los brócolis control mostraron un mayor grado de retención de la vitamina C en el tiempo, no se diferenciaron significativamente de las inflorescencias tratadas con GB.



**Figura 11.** Vitamina C de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.5. Capacidad antioxidante

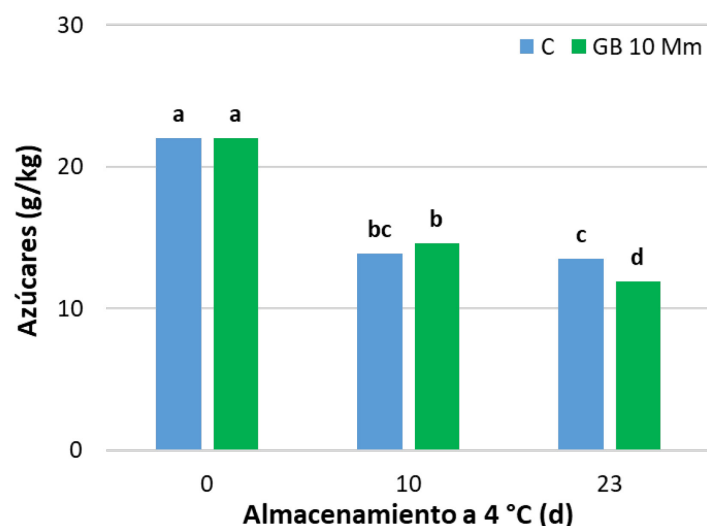
La capacidad antioxidante del brócoli tratado aumentó progresivamente durante el tiempo de conservación, y se enriquecieron hasta un 12% al finalizar el almacenamiento (**Figura 12**). En tanto las inflorescencias control no mostraron variaciones respecto del valor inicial (**Figura 12**). En los vegetales sometidos a estrés o durante la senescencia las ERO's aumentan. Previamente se ha hallado que el tratamiento con GB en pre y poscosecha induce la expresión de compuestos antioxidantes para contrarrestar su efecto y mantener el equilibrio redox celular, estos a su vez contribuyen a la capacidad antioxidante total (León y Soto, 2023). Si bien aquí los fenoles totales y la vitamina C se redujeron en el almacenamiento (**Figuras 10 y 11**), los glucosinolatos y sus productos de degradación (isotiocianatos) que están presentes en los extractos etanólicos de brócoli son censados por TEAC (Natella et al; 2014). De esta forma pueden ejercer un efecto significativo sobre su respuesta y ser responsables, al menos en parte, de los incrementos de capacidad antioxidante observados aquí (**Figura 12**). Cabe mencionar, que estos compuestos no fueron evaluados debido a que su análisis excede los objetivos del trabajo.



**Figura 12.** Capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de brócoli control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 5.2.6. Azúcares totales

Los resultados obtenidos revelan una tendencia a la disminución de los azúcares totales a medida que avanza el periodo conservación, con una reducción más significativa en las inflorescencias tratadas al finalizar el almacenamiento (**Figura 13**). El descenso gradual en la concentración de azúcares totales puede atribuirse a diversos procesos metabólicos que ocurren en la etapa de poscosecha del brócoli, incluyendo la utilización de azúcares como fuente de energía o su conversión a otros compuestos intermediarios de rutas metabólicas vitales (Hasperué, 2012).



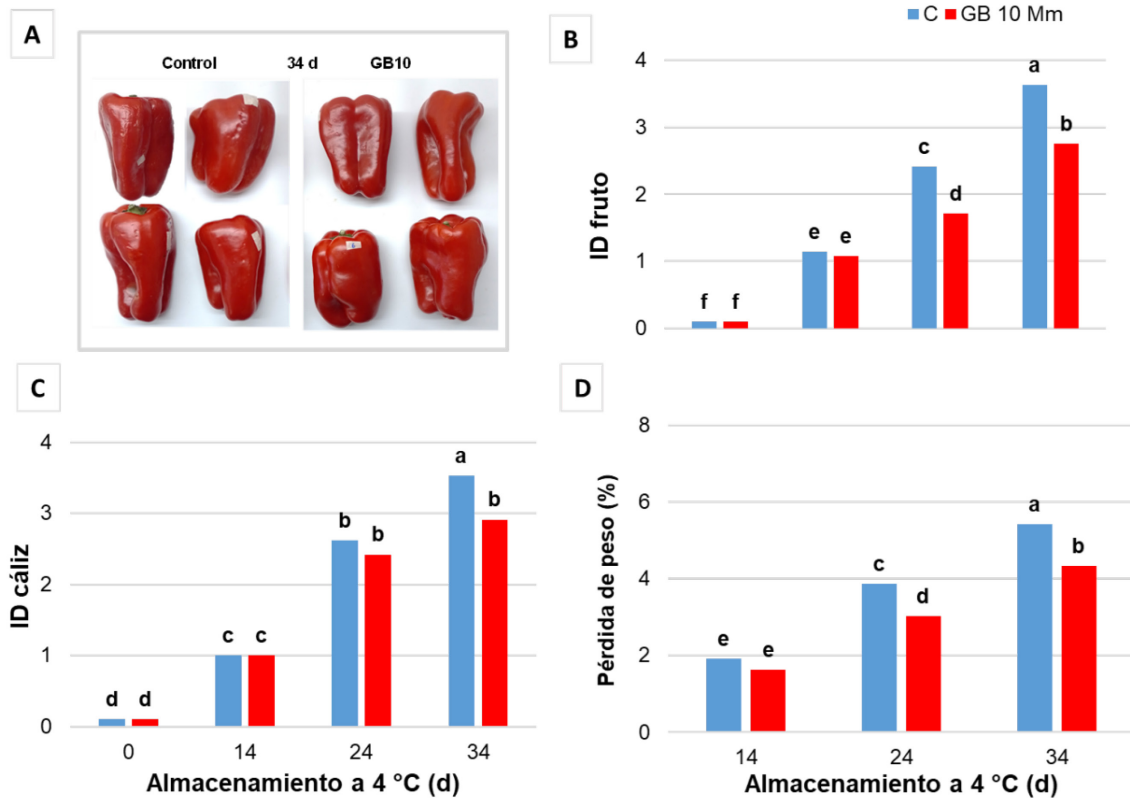
**Figura 13.** Azúcares solubles en brócoli control (C) y tratado con glicina-betaína 10 mM (GB 10) almacenado por 0, 10 y 23 días. Letras distintas indican diferencias significativas en test de Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 5.3. Efecto de GB sobre el control del daño por frío de pimiento

#### 5.3.1. Índice de daño de fruto y cáliz

Recientemente se ha demostrado la efectividad del tratamiento poscosecha con GB para el control del DPF en vegetales sensibles como zucchini (Yao et al., 2018), berenjena (Gujarro et al., 2023) y pimiento verde (Wang et al., 2016). Sin embargo, según nuestro conocimiento no existen reportes aún de su empleo en pimiento rojo. La concentración GB 10 mM se seleccionó en base a bibliografía por ser normalmente empleada para contrarrestar esta fisiopatía en diferentes frutas y hortalizas (Yao et al., 2018; Wang et al., 2019; Pan et al., 2019; Zheng et al., 2023). Los síntomas de DPF se redujeron significativamente con el tratamiento a tiempos largos de almacenamiento (**Figura 14A**), y los frutos tratados mostraron un ID 30% y 25% menor respecto al control, luego de 24 y 34 d respectivamente (**Figura 14B**). En el análisis de la apariencia, estas diferencias se asociaron a una marcada reducción del pitting, ablandamiento y deshidratación, conservando un ID fruto en el rango comercializable ( $ID < 3$ ) hasta el final del almacenamiento (**Figura 14A-B**).





**Figura 14.** A) Apariencia, B) índice de daño (ID) fruto, C) ID cáliz y D) pérdida de peso de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM almacenado 0, 14, 24 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p < 0,05$ ).

Al analizar la apariencia del cáliz, se halló que el ID se incrementó en el tiempo con una tendencia similar para ambos grupos, manteniéndose dentro de valores comercializables ( $ID < 3$ ) hasta el día 24 (**Figura 14C**). A partir de allí, el cáliz de los frutos de pimiento control continuó deteriorándose y a 34 d mostraron síntomas de pardeamiento y deshidratación, mientras que los frutos tratados conservaron el color verde culminando con un ID cáliz 20% menor (**Figura 14C**). En conjunto, los resultados obtenidos para fruto y cáliz indican que el tratamiento con GB redujo marcadamente los síntomas visuales de DPF, y conservó la calidad de los pimientos tratados por 10 d adicionales respecto del grupo control (**Figura 14**).

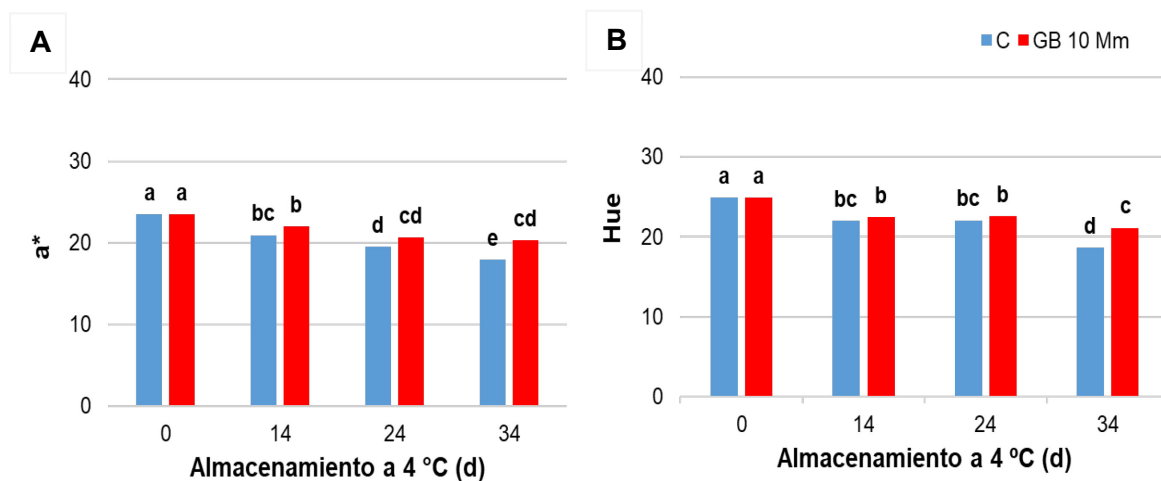
### 5.3.2. Pérdida de peso

El control de la deshidratación es fundamental en pimiento ya que muestran una pérdida de agua máxima tolerable del 8% durante el almacenamiento (Afolabi et al., 2023). En este trabajo, si bien la pérdida de peso se incrementó a lo largo del almacenamiento para ambos tratamientos no supero este umbral de descarte en

ningún caso (**Figura 14D**). Cabe destacar que los frutos tratados con GB exhibieron un menor nivel de deshidratación respecto del grupo control (C) en todos los días de evaluación. Las diferencias fueron significativas a tiempos largos y representaron una reducción de la pérdida de peso del 20% luego de 24 y 34 d de almacenamiento (**Figura 14D**). El cáliz es una ruta importante para la pérdida de agua en pimiento. Su deterioro debido al DPF, incluyendo su pardeamiento y se ha correlacionado directamente a una mayor pérdida de peso (Afolabi et al., 2023). En este trabajo el tratamiento con GB conservó efectivamente la calidad y estructura del fruto y cáliz a tiempos largos de almacenamiento (**Figura 14B-C**), lo que puede asociarse a la reducción de la pérdida de peso observada. Este comportamiento resultó comparable al encontrado recientemente en cítricos (Zheng et al., 2023), uvas (Awad et al., 2015), y champiñón (Wang et al., 2014) tratados con GB y almacenados a baja temperatura.

### 5.3.3. Color ( $a^*$ y hue)

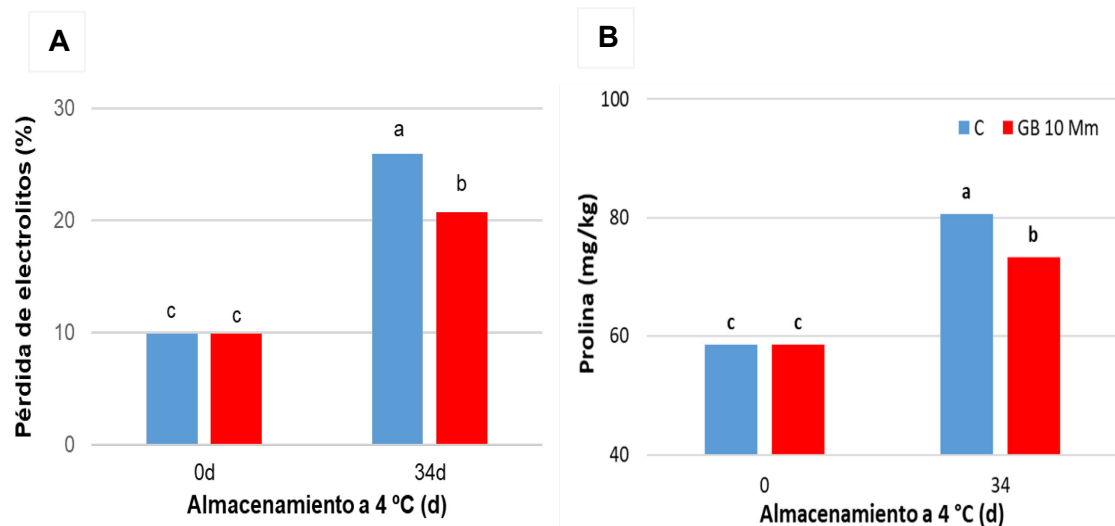
Se ha demostrado que el DPF puede afectar el normal desarrollo o conservación del color del pimiento durante el almacenamiento. La disminución de la intensidad del tono rojo suele evidenciarse por reducción de los valores de  $a^*$  y hue hallados en el tejido afectado (Afolabi et al., 2023). Aquí, el parámetro  $a^*$  (rojo) disminuyó de forma constante con el tiempo para los frutos control sometidos a temperaturas de DPF, mientras que en los frutos tratados se halló una reducción hasta el día 24 para luego permanecer sin modificaciones (**Figura 15A**). En relación, a tiempos largos de conservación (34 d) los frutos tratados presentaron valores de  $a^*$  15% más altos que el control. Resultados similares fueron hallados para Hue (tono de color) (**Figura 15B**). Si bien el tono rojo fue decreciendo con el tiempo, los pimientos tratados conservaron en mayor medida (15%) su coloración respecto de los frutos control (**Figura 15B**). Este efecto puede asociarse a la conservación de la calidad e integridad del tejido observado en los frutos tratados con GB y menor afectación de los pigmentos carotenoides que imparten el color a los frutos (**Figura 14**).



**Figura 15.** A) Parámetro  $a^*$  y B) hue de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0, 14, 24 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p < 0,05$ ).

#### 5.3.4. Pérdida de electrolitos

En condiciones de DPF los lípidos de las membranas celulares se ven afectados por reacciones de deterioro como la peroxidación, produciendo cambios en la estructura, fluidez y función de la membrana. Si el DPF avanza puede llegar a la ruptura de los tejidos, la pérdida de compartimentalización y liberación del contenido celular (Sanchez et al., 2020). La pérdida de electrolitos suele emplearse como indicador del grado de daño del tejido en general, y de las membranas celulares en particular, derivado del estrés oxidativo causado por el DPF (Zaro et al., 2015). En este trabajo, la pérdida de electrolitos se vio significativamente disminuida por el tratamiento con GB en comparación a los frutos control que mostraron 20% más electrolitos libres luego de 34 d de almacenamiento (**Figura 16A**). Estos resultados están en línea con la mejor conservación de la calidad, menor grado de daño estructural y deshidratación observados en los pimientos tratados con GB (**Figura 14**). Resultados similares se observaron para pimiento verde (Wang et al., 2016), zucchini (Yao et al., 2018) y banana (Chen et al., 2021) tratados con GB y almacenados en condiciones de DPF.



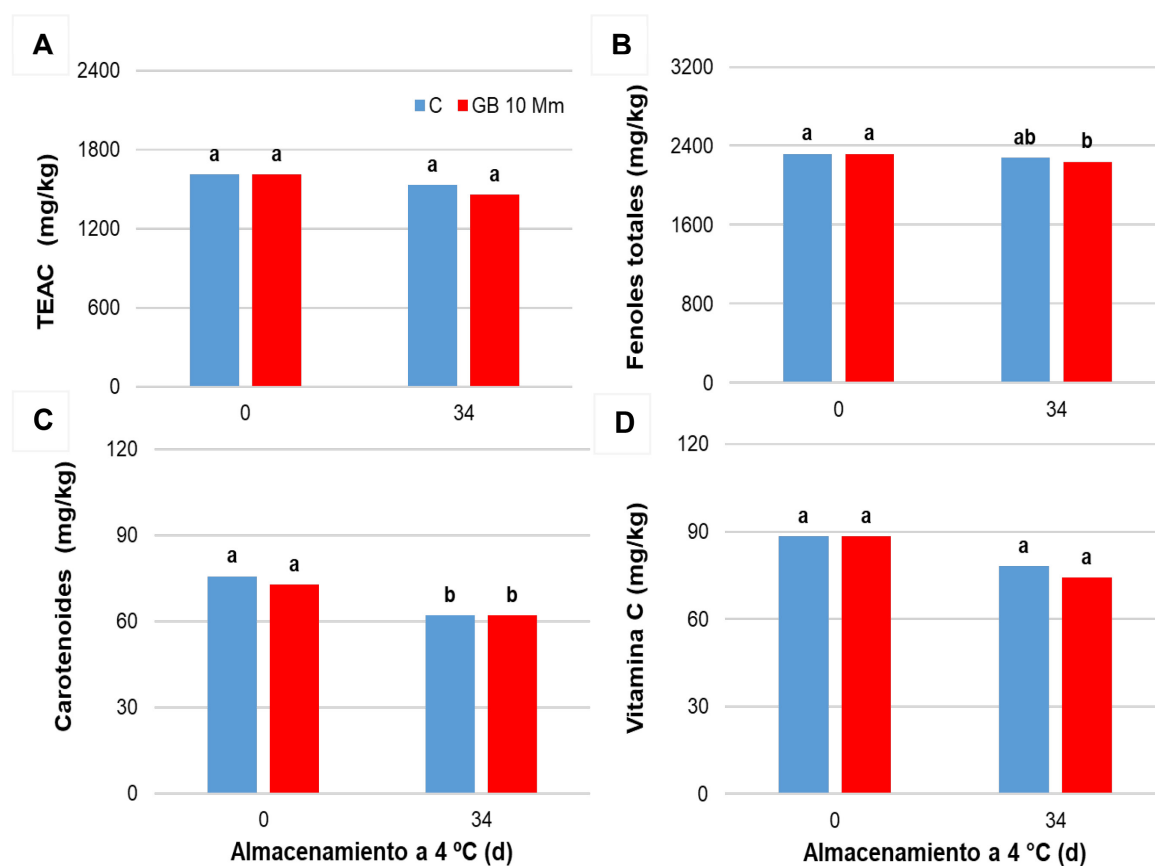
**Figura 16.** A) Pérdida de electrolitos y B) contenido de prolina de pimienta control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p < 0,05$ ).

### 5.3.5. Prolina

En los vegetales la acumulación de prolina suele utilizarse como un biomarcador de DPF ya que es inducida en condiciones de estrés ambiental, como una respuesta de adaptación ya que actúa equilibrando la osmolaridad celular, estabilizando las membranas celulares y protegiendo a las células contra el daño oxidativo (Li et al., 2014). En concordancia, Kong et al (2018) reportaron recientemente que pimientos verdes almacenados a temperaturas de DPF (4 °C) sufrían un incremento del nivel de prolina respecto de aquellos conservados a temperatura recomendada (10 °C). Aquí luego de un almacenamiento prolongado a baja temperatura ambos grupos de frutos mostraron un aumento significativo del contenido de prolina (**Figura 16B**). Sin embargo, los pimientos tratados culminaron con un 12% menos de prolina respecto del grupo control (**Figura 16B**). La menor acumulación de prolina, junto con la reducción de la manifestación del daño (**Figura 14**) y la estabilización de las membranas celulares (**Figura 16A**) permiten inferir que la aplicación exógena de GB disminuye los efectos del estrés y la sensibilidad al frío de los frutos de pimienta roja, respuestas asociadas a su función como osmoregulador celular.

### 5.3.6. Capacidad antioxidante y compuestos bioactivos

El pimiento presenta altos niveles de compuestos con actividad antioxidante, destacando el contenido de vitamina C, compuestos fenólicos y carotenoides. En general no existieron mayores cambios debidas al tratamiento con GB y/o al tiempo de almacenamiento en la capacidad antioxidante (**Figura 17A**), ni en el contenido individual de compuestos bioactivos (**Figura 17B, C y D**). Solo se halló una leve disminución del nivel de carotenoides luego de un período de conservación prolongado (**Figura 17C**). La disminución en el contenido de carotenoides, pigmentos responsables del color de los frutos, está en línea con lo observado para la evolución del color donde se halló una reducción del tono rojo con el tiempo de almacenamiento (**Figura 15**).



**Figura 17.** A) Capacidad antioxidante, B) fenoles totales, C) carotenoides y D) vitamina C de pimiento control (C) y tratado con GB 10 mM, almacenado 0 y 34 días (d). Letras distintas indican diferencias significativas en test Fisher ( $p < 0,05$ ).

## 6. CONCLUSIONES

A partir de un ensayo de almacenamiento acelerado (6 d a 20 °C) se seleccionó la concentración GB 10 mM como tratamiento más efectivo para conservar la calidad de brócoli mínimamente procesado respecto de los restantes tratamientos (0, 5, y 20 mM). GB 10 mM redujo significativamente la pérdida de peso y mantuvo el color verde de las inflorescencias. El tratamiento seleccionado se empleó posteriormente para evaluar la efectividad de GB en refrigeración.

En el almacenamiento a baja temperatura (23 d a 4 °C), GB generó efectos positivos sobre la calidad y composición del brócoli, incluyendo menor pérdida de peso y amarillamiento, retención del contenido de clorofila y carotenoides, y un incremento de la capacidad antioxidante respecto del control. En tanto, el contenido de compuestos fenólicos y vitamina C no se vieron afectados, y el nivel de azúcares se redujo levemente.

En pimiento, se ensayó una concentración de GB 10 mM seleccionada a partir de bibliografía. El tratamiento redujo significativamente el índice de daño por frío (DPF) en fruto y cáliz, la pérdida de peso y color en comparación al control. Además, los pimientos tratados mostraron una reducción de la pérdida de electrolitos y menor acumulación de prolina lo que indica una menor expresión de la respuesta al estrés por frío. En tanto la capacidad antioxidante y el nivel de compuestos bioactivos no se vieron afectados por el tratamiento.

Los resultados permiten concluir que la aplicación exógena de GB disminuye los efectos del estrés abiótico en brócoli y pimiento; y que las respuestas halladas pueden asociarse a su función como osmoregulador celular.

***En resumen, GB mostró una marcada efectividad para retrasar la senescencia de brócoli e incrementar la tolerancia al DPF de pimiento rojo, extendiendo significativamente su vida útil y potenciando su valor nutricional. El pre-tratamiento con GB resulta así una estrategia simple y económica para reducir las principales causas de deterioro de estas hortalizas, siendo factible su aplicación en líneas de empaque y establecimientos comerciales.***

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Afolabi, A.; Choi, I.; Lee, J.; Kwon, Y. & Kang, H.** 2023. High-Relative-Humidity Storage Reduces the Chilling Injury Symptoms of Red Sweet Peppers in the Breaker Stage. *Horticulturae* 9: 116.
- Ahlawat, Y., Li, S., Timilsena, P., Pliakoni, E., Brecht, J., & Liu, T.** 2022. Identification of senescence-associated genes in broccoli (*Brassica oleracea*) following harvest. *Postharvest Biology and Technology* 183: 111729.
- Ahmad, R., Lim, C. J., & Kwon, S. Y.** 2013. Glycine betaine: a versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. *Plant Biotechnology Reports* 7: 49-57.
- Al-Qurashi, A. D., Awad, M. A., Mohamed, S. A., & Elsayed, M. I.** 2017. Postharvest chitosan, trans-resveratrol and glycine betaine dipping affect quality, antioxidant compounds, free radical scavenging capacity and enzymes activities of 'Sukkari'bananas during shelf life. *Scientia horticulturae* 219: 173-181.
- Aprea, A.** 2008. Cultivo de las Crucíferas: Brócoli y Coliflor. *Boletín Hortícola* 39:29-32
- Arnao, M. B., Cano, A., & Acosta, M.** 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food chemistry* 73(2): 239-244.
- Awad, M., Al-Qurashi, A., & Mohamed, S.** 2015. Postharvest trans-resveratrol and glycine betaine treatments affect quality, antioxidant capacity, antioxidant compounds and enzymes activities of 'El-Bayadi'table grapes after storage and shelf life. *Scientia Horticulturae* 197: 350-356.
- Bakker, J., & Van Uffelen, J.** 1988. The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of glasshouse sweet pepper. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 36(3): 201-208.
- Barth, M. M., Kerbel, E. L., Broussard, S., & Schmidt, S. J.** 1993. Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage. *Journal of Food Science* 58(5): 1070-1072.
- Bertola, C.** 2020. Caracterización y análisis de la cadena de suministro del brócoli y coliflor en el Cinturón Hortícola de La Plata en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas. Trabajo Final de grado. FCAYF. UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/106949>
- Biswas, T., Guan, Z., & Wu, F.** 2018. An Overview of the US Bell Pepper Industry: FE1028, 12/2017. *EDIS*, 2018(2).
- Borowski, J., Szajdek, A., Borowska, E., Ciska, E., & Zieliński, H.** 2008. Content of selected bioactive components and antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *European Food Research and Technology* 226: 459-465.
- Büchert, A., Gómez Lobato, M., Villarreal, N., Civello, P., & Martínez, G.** 2011. Effect of visible light treatments on postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(2): 355-361.
- Cantwell, M.** 2002. Bell pepper. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/bell-pepper>
- CFHB. Censo flori-hortícola bonaerense.** 2005. Informe de avance del Censo Florihortícola de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios, secretaria de Agricultura y Ganadería. [www.maa.gba.gov.ar](http://www.maa.gba.gov.ar)
- Chen, L. L., Shan, W., Cai, D. L., Chen, J. Y., Lu, W. J., Su, X. G., & Kuang, J. F.** 2021. Postharvest application of glycine betaine ameliorates chilling injury in cold-stored banana fruit by enhancing antioxidant system. *Scientia Horticulturae* 287: 110264.
- Chen, T. H., & Murata, N.** 2008. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. *Trends in plant science* 13(9): 499-505.
- Cuvi, M., Vicente, A., Concellón, A., Chaves, A.** 2011. Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperatures. *LWT-Food science and technology* 44(7): 1666-1671.

- Erickson, A., & Markhart, A.** 2002. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment* 25(1): 123-130.
- FAOSTAT.** 2021. Cultivos y productos de ganadería. Consultado 16/11/2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flores, G., Reguilón, C., Alderete, G., & Kirschbaum, D.** 2015. Liberación de *Chrysoperla argentina* (Neuroptera: Chrysopidae) para el control de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)(Hemiptera, Aleyrodidae) en invernáculo de pimiento en Tucumán, Argentina. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales* 10(1): 28-36.
- Fung, R., Wang, C., Smith, D., Gross, K., & Tian, M.** 2004. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science* 166 (3); 711–719.
- Galmarini, C.** 1999. El género *Capsicum* y las perspectivas del mejoramiento genético de pimiento en Argentina. *Avances en Horticultura* 4(1): 24-32.
- Guijarro-Fuertes, M., Concellón, A., & Zaro, M.** 2023. Aplicación exógena de compuestos naturales como estrategias para controlar el daño por frío en berenjena. *Investigación Joven* 10(3): 191–192. <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/15635>.
- Habibi, F., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D.** 2022. Postharvest treatment with glycine betaine enhances chilling tolerance of blood orange fruit by increasing antioxidant defense systems and osmoregulation during cold storage. *Scientia Horticulturae* 305: 111352.
- Hasperué, J.** 2012. Rol del metabolismo de hidratos de carbono en la senescencia postcosecha de brócoli. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP. <https://lipa.multisitio.sedici.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Tesis-Doctoral-Hasperue-Joqu%C3%ADn.pdf>
- Hernandez-Leon, S. G., & Valenzuela-Soto, E. M.** 2023. Glycine betaine is a phytohormone-like plant growth and development regulator under stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation* 42(8): 5029-5040.
- Hurst, P. L., CHEER, V., Sinclair, B. K., & Irving, D. E.** 1996. Biochemical responses of asparagus to controlled atmosphere storage at 20C. *Journal of Food Biochemistry* 20(4): 463-472.
- 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
- INDEC.** 2002. Censo Nacional Agropecuario. Consultado 16/11/2023. [https://sitioanterior.indec.gob.ar/cna\\_index.asp?\\_ga=2.168742052.464823979.1700145139-176110392.1700145139](https://sitioanterior.indec.gob.ar/cna_index.asp?_ga=2.168742052.464823979.1700145139-176110392.1700145139)
- Kader, A. A.** 2002. Postharvest technology of horticultural crops (Vol. 3311). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Kayak, N., Kal, Ü., Dal, Y., Yavuz, D., & Seymen, M.** 2023. Do proline and glycine betaine mitigate the adverse effects of water stress in spinach?. *Gesunde Pflanzen* 75(1): 97-113.
- Kong, X., Wei, B., Gao, Z., Zhou, Y., Shi, F., Zhou, X., & Ji, S.** 2018. Changes in membrane lipid composition and function accompanying chilling injury in bell peppers. *Plant and Cell Physiology* 59(1): 167-178.
- Ku, V. V. V., & Wills, R. B. H.** 1999. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 17(2): 127-132.
- Lemoine, M. L., Chaves, A. R., & Martínez, G. A.** (2010). Influence of combined hot air and UV-C treatment on the antioxidant system of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *LWT-Food Science and Technology*, 43(9), 1313-1319.
- Lemoine, M. L., Civello, P. M., Martínez, G. A., & Chaves, A. R.** 2007. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(6): 1132-1139.



- Li, P., Zheng, X., Liu, Y., & Zhu, Y.** 2014. Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress. *Food chemistry* 142: 72-78.
- Li, X., Yun, J., Fan, X., Xing, Y., & Tang, Y.** 2011. Effect of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on chilling injury and antioxidative defensive mechanism of sweet pepper. *African Journal of Biotechnology* 10 (34): 6581–6589.
- 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: 9-14.
- Lichtenthaler, H. K.** 1987. [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press.
- Lozano, L., Tálamo, A., Artinián, A. L., Fernández, J., & Arroyo, C.** 2017. Evaluación de dos híbridos de brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica). Valle de Lerma, Salta. Argentina.
- Lurie, S.** 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest biology and technology* 14(3): 257-269.
- Ma, M., Zhu, Z., Cheng, S., Zhou, Q., Zhou, X., Kong, X., Hu, M., Yin, X., Wei, B., & Ji, S.** 2020. Methyl jasmonate alleviates chilling injury by regulating membrane lipid composition in green bell pepper. *Scientia Horticulturae* 266: 109308 h
- Nagraj, G., Chouksey, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A.** 2020. Broccoli. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 5-17). Academic Press.
- Natella, F., Maldini, M., Leoni, G., & Scaccini, C.** 2014. Glucosinolates redox activities: Can they act as antioxidants? *Food chemistry* 149: 226-232.
- O'Donoghue, E. M., Brummell, D. A., McKenzie, M. J., Hunter, D. A., & Lill, R. E.** 2018. Sweet capsicum: postharvest physiology and technologies. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 46(4): 269-297.
- Pan, Y., Zhang, S., Yuan, M., Song, H., Wang, T., Zhang, W., & Zhang, Z.** 2019. Effect of glycine betaine on chilling injury in relation to energy metabolism in papaya fruit during cold storage. *Food Science & Nutrition* 7(3): 1123-1130.
- Park, E. J., Jeknić, Z., Sakamoto, A., DeNoma, J., Yuwansiri, R., Murata, N., & Chen, T. H.** 2004. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in tomato protects seeds, plants, and flowers from chilling damage. *The Plant Journal* 40(4): 474-487.
- 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 Environmental Science and Technology* 5(2): 1882-1887.
- Penella & Calatayud.** 2018. Pepper Crop under Climate Change: Grafting as an Environmental Friendly Strategy. [https://www.researchgate.net/figure/World-production-of-chillies-and-peppers-by-country-million-tons-6\\_fig1\\_323755946](https://www.researchgate.net/figure/World-production-of-chillies-and-peppers-by-country-million-tons-6_fig1_323755946)
- Pino, M.** 2016. Estrés hídrico y térmico en papas. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6486>.
- Pinto, C.M.F., dos Santos, I.C., de Araujo, F.F., & da Silva, T.P.** 2016. Pepper Importance and Growth (*Capsicum* spp.). In: *Production and Breeding of Chilli Peppers (Capsicum spp.)*. Springer.
- 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.
- Pogson, B. J., & Morris, S. C.** 1997. Consequences of cool storage of broccoli on physiological and biochemical changes and subsequent senescence at 20 C. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122(4): 553-558.
- Ramal-Sanchez, M., Bernabo, N., Tsikis, G., Blache, M. C., Labas, V., Druart, X., & Saint-Dizier, M.** 2020. Progesterone induces sperm release from oviductal epithelial cells by modifying sperm proteomics, lipidomics and membrane fluidity. *Molecular and cellular endocrinology* 504: 110723.
- Rosa-Martínez, E., García-Martínez, M. D., Adalid-Martínez, A. M., Pereira-Dias, L., Casanova, C., Soler, E., & Prohens, J.** 2021. Fruit composition profile of pepper, tomato

and eggplant varieties grown under uniform conditions. *Food Research International* 147: 110531.

**Ruiz, M. B., & Parera, C. A.** 2017. Effect of harvesting time on seed quality of two bell pepper cultivars (*Capsicum annuum*). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(2): 67-77.

**Sanchez, R.** 2020. Rol de los brasinoesteroides en la poscosecha de zucchini y brócoli. Trabajo Final de grado. Facultad de Ciencias Exactas. UNLP.

**Serrano, M., Martínez-Madrid, M.C., Pretel, M.T., Riquelme, & F., Romojaro, F.** 1997. Modified atmosphere packaging minimizes increases in putrescine and abscisic acid levels caused by chilling injury in pepper fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (5): 1668–1672.

**Shan, T., Jin, P., Zhang, Y., Huang, Y., Wang, X., & Zheng, Y.** 2016. Exogenous glycine betaine treatment enhances chilling tolerance of peach fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 114: 104-110.

**Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M.** 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.

**Soare, R., Dinu, M., Băbeanu, C., Popescu, M., & Popescu, A.** 2017. Nutritional value and antioxidant activities in fruit of some cultivars of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 23(4): 217-222.

**Srinivasan, K.** 2016. Biological activities of red pepper (*Capsicum annuum*) and its pungent principle capsaicin. *Critical reviews in food science and nutrition* 56(9): 1488-1500.

**Stoppani M., Francescangeli, N.** 2000. El brócoli y su potencial: hortaliza top del tercer milenio. INTA EEA San Pedro.

**Sun, H., Luo, M., Zhou, X., Zhou, Q., Sun, Y., Ge, W., & Ji, S.** 2020. Exogenous glycine betaine treatment alleviates low temperature-induced pericarp browning of 'Nanguo' pears by regulating antioxidant enzymes and proline metabolism. *Food chemistry* 306: 125626.

**Tian, F., Wang, W., Liang, C., Wang, X., Wang, G., & Wang, W.** 2017. Overaccumulation of glycine betaine makes the function of the thylakoid membrane better in wheat under salt stress. *The Crop Journal* 5(1): 73-82.

**Tian, M. S., Downs, C. G., Lill, R. E., & King, G. A.** 1994. A role for ethylene in the yellowing of broccoli after harvest. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119(2): 276-281.

**Tian, M. S., Islam, T., Stevenson, D. G., & Irving, D. E.** 1997. Color, ethylene production, respiration, and compositional changes in broccoli dipped in hot water.

**Toledo, J.** 2003. Cultivo del brócoli. In *Manual RI 2003*; n. 01. INIA. Estación Experimental Agraria Donoso-Huaral.

**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.

**Vicente, A.R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P.M., Martínez, G.A., & Chaves, A.R.,** 2005. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology* 35 (1): 69–78.

**Wang, C.** 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *Horticultural Sciences* 29: 986–988.

**Wang, L. I., Shan, T., Xie, B., Ling, C., Shao, S., Jin, P., & Zheng, Y.** 2019. Glycine betaine reduces chilling injury in peach fruit by enhancing phenolic and sugar metabolisms. *Food chemistry*, 272, 530-538.

**Wang, Q., Ding, T., Gao, L., Pang, J., & Yang, N.** 2012. Effect of brassinolide on chilling injury of green bell pepper in storage. *Horticultural Sciences* 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., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S., & Du, R.** 2014. Effect of exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae* 168: 132-137.
- Wang, Z., Chen, L., Yang, H., & Wang, A.** 2015. Effect of exogenous glycine betaine on qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *European Food Research and Technology* 240: 41-48.
- Watkins, C. B.** 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology advances* 24(4): 389-409.
- Wu, J., Tang, R., & Fan, K.** 2024. Recent advances in postharvest technologies for reducing chilling injury symptoms of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry: X*, Volume 21 (101080).
- Yao, W., Xu, T., Farooq, S. U., Jin, P., & Zheng, Y.** 2018. Glycine betaine treatment alleviates chilling injury in zucchini fruit (*Cucurbita pepo* L.) by modulating antioxidant enzymes and membrane fatty acid metabolism. *Postharvest Biology and Technology* 144: 20-28.
- Yemm, E. W., & Willis, A.** 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical journal* 57(3): 508.
- Zaro, M. J., Ortiz, L. C., Keunchkarian, S., Chaves, A. R., Vicente, A. R., & Concellón, A.** 2015. Chlorogenic acid retention in white and purple eggplant after processing and cooking. *LWT-Food Science and Technology* 64(2): 802-808.
- Zhang, J., Wang, C., Chen, C., Zhang, S., Zhao, X., Wu, C., & Xue, Z.** 2023. Glycine betaine inhibits postharvest softening and quality decline of winter jujube fruit by regulating energy and antioxidant metabolism. *Food Chemistry* 410: 135445.
- Zheng, Z., Wang, T., Liu, M., Xu, X., Wang, J., Sun, G., ... & Zhang, M.** 2023. Effects of Exogenous Application of Glycine Betaine Treatment on 'Huangguoggan' Fruit during Postharvest Storage. *International Journal of Molecular Sciences* 24(18): 14316.