

**EFFECTO DEL EMPAQUE Y LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE  
LA ESTABILIDAD DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. Italica*) Y COLIFLOR  
(*Brassica oleracea var. Botrytis*) PRODUCIDOS EN EL CORREGIMIENTO DE  
GUALMATÁN-MUNICIPIO DE PASTO**

**ALEX KEVIN MELO PANTOJA**

**DIANA SHIRLEY IMBAJOA MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PASTO-NARIÑO**

**2023**

**EFFECTO DEL EMPAQUE Y LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE  
LA ESTABILIDAD DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. Italica*) Y COLIFLOR  
(*Brassica oleracea var. Botrytis*) PRODUCIDOS EN EL CORREGIMIENTO DE  
GUALMATÁN-MUNICIPIO DE PASTO**

**ALEX KEVIN MELO PANTOJA**

**DIANA SHIRLEY IMBAJOA MUÑOZ**

**Anteproyecto de trabajo de grado presentado como requisito parcial para  
optar por el título de Ingeniero (a) Agroindustrial**

**Asesora:**

**MSc. DIANA MELISA CHAVES MORILLO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PASTO-NARIÑO**

**2023**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son responsabilidad de los autores.

**Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966**, emanado por el Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**DIEGO MEJÍA ESPAÑA MSc.**

**Jurado**

---

**LAURA INÉS LATORRE MSc**

**Jurado**

---

**DIANA MELISA CHAVES MSc**

**Directora**

San Juan de Pasto, agosto de 2023

## **DEDICATORIA**

*Cada paso en este desafiante camino fue un latido hacia nuestras metas, un recordatorio constante de que la perseverancia construye puentes hacia lo inalcanzable; el día de hoy queremos agradecer primero que todo a Dios por ser la guía de este proceso y poder dedicar nuestro trabajo de grado a nuestras familias quienes con su apoyo, amor y paciencia han estado para nosotros.*

*Hoy tenemos grabada la frase “cada día tiene su propio afán”, ya que este camino es un reto que ha forjado nuestro carácter y ha sido superado gracias a nuestra perseverancia, paciencia y compromiso.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Nariño por permitirnos culminar nuestros estudios de pregrado.

Al proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la innovación en la agricultura campesina, familiar y comunitaria tendiente a mejorar los medios de vida de la población vulnerable frente a los impactos del COVID-19, en la subregión centro del departamento de Nariño”

A nuestra directora M.Sc. Diana Melisa Chaves, a nuestros jurados M.Sc. Diego Mejía España y M.Sc. Laura Inés Latorre por sus concejos, aportes y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.

Al grupo de investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria (TEA) y el Grupo de Apoyo a la Investigación y el Desarrollo Agroalimentario (GAIDA) por su asesoría, colaboración y colocar a disposición sus laboratorios para el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

## RESUMEN

El brócoli y la coliflor, reconocidos por sus características distintivas y su considerable valor nutricional, han experimentado un notable aumento en su consumo. Dada su naturaleza delicada, estas hortalizas son propensas a importantes pérdidas poscosecha y complicaciones dentro de la cadena de suministro. Para abordar este problema, el estudio profundizó en el impacto del empaque y la temperatura de almacenamiento en los atributos fisicoquímicos. A lo largo de un período de almacenamiento de 14 días, se realizaron evaluaciones cada 3 días para floretes de brócoli y diariamente durante un período de 4 días para floretes de coliflor. Es importante destacar que las condiciones óptimas de almacenamiento surgieron a una temperatura de 4°C, junto con un empaque de plástico, lo que resultó en una reducción del 14.59% en el porcentaje de pérdida de peso. A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en parámetros como el contenido de fenoles totales, la capacidad antioxidante y el contenido de ácido ascórbico ( $P > 0,05$ ), se observaron resultados positivos al utilizar una temperatura de refrigeración de 4°C en combinación con un empaque biodegradable para las variables en estudio. En cuanto a las variaciones de color, el índice de pardeamiento y el índice de amarillamiento, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en función de la temperatura ( $P < 0,05$ ), resaltando que los floretes almacenados en condiciones ambientales experimentaron cambios más notorios.

Palabras clave: *Brassica oleracea* var. *Italica*, *Brassica oleracea* var. *Botritis*, condiciones de almacenamiento, empaque, índice de pardeamiento, índice de amarillamiento.

## **ABSTRACT**

Broccoli and cauliflower, recognized for their distinctive characteristics and significant nutritional value, have experienced a notable increase in consumption. Given their delicate nature, these vegetables are prone to significant post-harvest losses and complications within the supply chain. To address this issue, the study delved into the impact of packaging and storage temperature on physicochemical attributes. Over a 14-day storage period, evaluations were conducted every 3 days for broccoli florets and daily over a 4-day period for cauliflower florets. It is noteworthy that optimal storage conditions emerged at a temperature of 4°C, along with plastic packaging, resulting in a significant 14.59% reduction in the percentage of weight loss. Despite non-significant effects on parameters such as total phenol content, antioxidant capacity, and ascorbic acid content ( $P > 0.05$ ), favorable outcomes were observed when employing a refrigeration temperature of 4°C in conjunction with biodegradable packaging. In terms of color variations, browning index, and yellowness index, temperature exhibited statistically significant differences ( $P < 0.05$ ), highlighting that florets stored under ambient conditions underwent more pronounced alterations.

Key words: *Brassica Oleracea var. italica*, *Brassica Oleracea var. botrytis*, storage conditions, packaging, browning index, yellowing index.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo General.....</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
<b>5.1</b>	<b>Generalidades de hortalizas .....</b>	<b>9</b>
5.1.1	Pérdidas poscosecha en hortalizas .....	9
<b>5.2</b>	<b>Generalidades del brócoli.....</b>	<b>10</b>
5.2.1	Condiciones agronómicas del brócoli.....	10
5.2.2	Composición nutricional. ....	11
5.2.3	Criterios en la cosecha de brócoli .....	12
5.2.4	Criterios en la poscosecha de brócoli .....	13
5.2.5	Empaques y Embalajes.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>5.3</b>	<b>Generalidades de la coliflor .....</b>	<b>15</b>
5.3.1	Condiciones agronómicas de la coliflor.....	15
5.3.2	Composición nutricional. ....	15
5.3.3	Criterios en la cosecha de coliflor.....	16
5.3.4	Manejo poscosecha de la coliflor .....	17
5.3.5	Empaques y embalaje.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>6</b>	<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Selección y acondicionamiento de la materia prima .....</b>	<b>28</b>
<b>7.2</b>	<b>Almacenamiento de las muestras de brócoli y coliflor.....</b>	<b>29</b>
<b>7.3</b>	<b>Determinación de las características fisicoquímicas de brócoli y coliflor</b>	<b>30</b>
7.3.1	Pérdida de peso. ....	30
7.3.2	Color superficial. ....	31
7.3.3	Contenido de fenoles totales.....	32
7.3.4	Determinación de la capacidad antioxidante.....	34
7.3.5	Determinación de ácido ascórbico. ....	36
<b>7.4</b>	<b>Diseño experimental .....</b>	<b>37</b>

7.5	<b>Optimización de condiciones de almacenamiento en brócoli y coliflor</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>38</b>
8.1	<b>Resultados del seguimiento de propiedades fisicoquímicas en floretes de brócoli (<i>B. oleracea</i> var. <i>Itálica</i>)</b>	<b>38</b>
8.1.1	Pérdida de peso	38
8.1.2	Color superficial	41
8.1.3	Contenido de fenoles totales	45
8.2	<b>Resultados del seguimiento de propiedades fisicoquímicas de floretes de coliflor (<i>B. Oleracea</i> var. <i>botrytis</i>)</b>	<b>50</b>
8.2.1	Pérdida de peso	50
8.2.2	Color superficial	52
8.2.3	Contenido de fenoles totales	56
8.2.4	Capacidad antioxidante por ABTS	58
8.2.5	Contenido de ácido ascórbico	60
8.3	<b>Optimización de las condiciones de almacenamiento</b>	<b>62</b>
8.3.1	Resultados de la optimización en brócoli y coliflor	62
8.3.2	Validación de condiciones de almacenamiento en brócoli	63
8.3.3	Validación de condiciones de almacenamiento en Coliflor	72
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>80</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>95</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Composición nutricional de 100 g de brócoli fresco comestible</i> .....	11
<b>Tabla 2.</b> <i>Composición nutricional de 100 g de coliflor fresco comestible</i> .....	16
<b>Tabla 3.</b> <i>Matriz experimental. Diseño experimental Completamente al Azar (DCA)</i> .....	37
<b>Tabla 4.</b> <i>Objetivos de optimización de las variables de respuesta</i> .....	38

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Comparación de brócoli adecuado y brócoli en deterioro.</i> .....	13
<b>Figura 2.</b> <i>Envasado de brócoli con películas o láminas .. ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<b>Figura 3.</b> <i>Coliflor lista para la cosecha.</i> .....	16
<b>Figura 4.</b> <i>Empaque y embalaje de la coliflor</i> .....	20
<b>Figura 5.</b> <i>Recepción y selección de materia prima (brócoli y coliflor)</i> .....	28
<b>Figura 6.</b> <i>Acondicionamiento de material de estudio (brócoli y coliflor)</i> .....	28
<b>Figura 7.</b> <i>Acondicionamiento y empaque de material de estudio</i> .....	29
<b>Figura 8.</b> <i>Almacenamiento de las muestras de brócoli y coliflor</i> .....	29
<b>Figura 9.</b> <i>Medición de pérdida de peso en muestras de brócoli y coliflor</i> .....	30
<b>Figura 10.</b> <i>Medición de color en muestras de brócoli y coliflor</i> .....	31
<b>Figura 11.</b> <i>Medición de fenoles totales en floretes de brócoli y coliflor</i> .....	32
<b>Figura 12.</b> <i>Curva de calibración para la determinación del contenido de fenoles totales ..</i>	33
<b>Figura 13.</b> <i>Medición de capacidad antioxidante en floretes de brócoli y coliflor</i> .....	34
<b>Figura 14.</b> <i>Curva de calibración para concentración de ABTS.</i> .....	35
<b>Figura 15.</b> <i>Medición de ácido ascórbico en floretes de brócoli y coliflor</i> .....	36
<b>Figura 16.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del peso de floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	39
<b>Figura 17.</b> <i>Gráfica de interacciones para porcentaje de pérdida de peso en floretes de brócoli</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 18.</b> <i>Seguimiento al índice de amarillamiento en floretes de brócoli, almacenado en dos temperaturas y empaques diferentes.</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 19.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 20.</b> <i>Gráfica de interacciones para diferencia de color (<math>\Delta E</math>) en floretes de brócoli</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 21.</b> <i>Seguimiento al contenido de fenoles totales en floretes de brócoli, almacenado a temperatura y empaque diferente</i> .....	45

<b>Figura 22.</b> <i>Gráfica de interacciones para contenido de fenoles totales en floretes de brócoli</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 23.</b> <i>Seguimiento de la capacidad antioxidante por ABTS en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	47
<b>Figura 24.</b> <i>Gráfica de interacciones para capacidad antioxidante por ABTS en floretes de brócoli</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 25.</b> <i>Seguimiento del comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	49
<b>Figura 26.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	51
<b>Figura 27.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	54
<b>Figura 28.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del color de floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	53
<b>Figura 29.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	56
<b>Figura 30.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante de coliflor (Brassica oleracea botrytis), bajo las condiciones de estudio</i> .....	58
<b>Figura 31 .</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en coliflor, bajo las condiciones de estudio.</i> .....	60
<b>Figura 32.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	63
<b>Figura 33.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	65
<b>Figura 34.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del índice de amarillamiento en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	66
<b>Figura 35.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	68
<b>Figura 36.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	70
<b>Figura 37.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio</i> .....	71
<b>Figura 38.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso de floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	72
<b>Figura 39.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio</i> .....	74

<b>Figura 40.</b> Seguimiento al comportamiento del índice de pardeamiento en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio .....	75
<b>Figura 41.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio.....</i>	<i>76</i>
<b>Figura 42.</b> <i>Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio.....</i>	<i>78</i>
<b>Figura 43.</b> <i>Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio .....</i>	<i>79</i>

## 1 INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción hortícola se caracteriza principalmente por ser destinada al mercado interno, debido a que su producción se da a pequeña escala. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, (2021), el 75% de los predios de los productores hortícolas tiene un tamaño inferior a 3 ha.

A nivel regional, Nariño es uno de los principales productores de hortalizas después de Boyacá, Cundinamarca y Antioquia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), 2021). Entre las hortalizas que actualmente tienen una participación significativa en cuanto a cantidad producida, se encuentran las crucíferas: brócoli y coliflor.

La producción de estas hortalizas se ubica principalmente en los municipios de Ipiales, Pasto, Pupiales, Túquerres, Gualmatán, Potosí y Cumbal (MADR, 2017b, 2017a). Los productores de estas zonas se caracterizan por poseer pequeñas áreas sembradas y generalmente se encuentran agrupados en asociaciones o cooperativas.

Una problemática presente en el sector hortofrutícola es el elevado porcentaje de pérdidas postcosecha debido a ineficiencias en la cadena de producción (Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas, 2016). En el marco del desarrollo del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la innovación en la agricultura campesina, familiar y comunitaria tendiente a mejorar los medios de vida de la población vulnerable frente a los impactos del COVID-19, en la subregión centro del departamento de Nariño”, ejecutado por AGROSAVIA y la Universidad de Nariño, se determinó que las pérdidas de los productos hortícolas se incrementan, entre otras etapas, durante el almacenamiento, esto debido a que no se tiene un adecuado manejo poscosecha o aplicación de tecnologías que prolonguen el tiempo de conservación de las características fisicoquímicas del producto en fresco (Galindo & Español, 2016).

Diversas investigaciones han abordado la influencia de la temperatura en la conservación de hortalizas, como se ha observado en los estudios realizados por Gao et al.

(2018), Zhan et al. (2012) y Khathir et al. (2019). Estas investigaciones han señalado la incidencia significativa de la temperatura en la rápida degradación de propiedades fisicoquímicas y de calidad en estos productos. Se destaca especialmente la pérdida de compuestos antioxidantes y su efecto en la frescura y apariencia de las hortalizas. En este contexto, se resalta la importancia de controlar cuidadosamente la temperatura durante la fase de poscosecha, ya que esto contribuye a preservar de manera más prolongada las valiosas propiedades de estos productos.

Por otro lado, el empaque se constituye como una medida complementaria al control de factores de almacenamiento para preservar por más tiempo las propiedades fisicoquímicas de las hortalizas. Sin embargo, y teniendo en cuenta la afección ambiental que hoy en día se ha producido por los residuos de plástico, se hace necesario el uso de una alternativa biodegradable que además de contribuir a alargar la vida útil de las hortalizas, genere un menor impacto ambiental negativo (Rivera, 2020).

De acuerdo con lo expuesto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento y empaque sobre las propiedades fisicoquímicas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*), producidos en el corregimiento de Gualmatán-Municipio de Pasto.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente los volúmenes de pérdida y el desperdicio de los alimentos es una de las situaciones más preocupantes a nivel mundial, tanto así que su reducción se convirtió en una meta que hace parte del doceavo objetivo de desarrollo sostenible llamado: producción y consumo responsables (Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2019).

En Colombia, según estimaciones realizadas por la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas (2016), de la oferta disponible de alimentos se pierde y desperdicia un equivalente al 34%. De estos alimentos, un 64% son pérdidas principalmente

ocasionadas en las etapas de producción, poscosecha y almacenamiento, y el 36% restante son desperdicios generados en las etapas de distribución y consumo.

Así mismo, del total de alimentos desperdiciados un 62% corresponde a frutas y verduras y un 25% a raíces y tubérculos, siendo las mismas categorías que en el contexto internacional. Sin embargo, las cifras estimadas para Colombia son significativamente superiores (Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas, 2016).

Problemáticas mencionadas anteriormente como las pérdidas de alimentos a lo largo de la cadena, no son ajenas a los productores regionales, lo que principalmente puede estar asociado a las limitaciones técnicas y de manejo en cosecha y poscosecha, condiciones de almacenamiento, transporte, infraestructura, empaquetamiento y sistemas de mercado (Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas, 2016).

Información recolectada de los productores beneficiarios del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la innovación en la agricultura campesina, familiar y comunitaria tendiente a mejorar los medios de vida de la población vulnerable frente a los impactos del COVID-19, en la subregión centro del departamento de Nariño”, evidencian que la mayoría no realizan transformaciones agroindustriales, lo que hace que sean totalmente dependientes de la venta de los productos en fresco y por consiguiente de las prácticas de manejo poscosecha que implementen con el fin de prolongar el tiempo de conservación de sus productos agrícolas y así, garantizar que llegue al consumidor con las características que se desea.

Entre los destinos de venta de su producción se encuentran principalmente Cali, Putumayo, Valle del Cauca y plazas de mercado regionales. Los productores realizan una mínima selección y clasificación de los productos, estos son embalados sin empaque individual en canastas plásticas, costales de fique o cajas de cartón dependiendo de la exigencia del mercado y posteriormente se realiza el transporte hacia los diferentes destinos. Dentro de la producción agrícola de los beneficiarios, hortalizas como el brócoli y la coliflor son las de mayor porcentaje de pérdida debido a su naturaleza perecedera y sensibilidad.

Entre los cambios que dan lugar al deterioro de la calidad en el brócoli, se encuentran: la pérdida de agua, el cambio en el color por amarillamiento o pardeamiento de los floretes, la pérdida de firmeza y pudriciones ocasionadas por el ataque de hongos o bacterias. En el caso de la coliflor entre los cambios más importantes que ocurren en su etapa poscosecha se encuentran, la aparición de manchas negras en la pella, pardeamiento o amarillamiento por contacto directo con la luz solar, marchitamiento de las hojas envolventes de la cabeza y pudriciones ocasionadas por daños mecánicos, el ataque de hongos o bacterias (Galindo & Español, 2016).

Las condiciones óptimas de almacenamiento para el brócoli se dan a una temperatura de 0 °C y una humedad relativa de 95-100% logrando mantener sus características durante 14 a 21 días. Por su parte, la coliflor se mantiene estable de 21 a 28 días a una temperatura de 0 °C y una humedad relativa de 95-98% (López, 2003). Estas condiciones pueden ser alcanzadas si se cuenta con una cadena de frío, es decir, bodegas o almacenes frigoríficos, vehículos de transporte especiales y con registro de temperatura, además de sistemas especializados en mejorar la conservación de las hortalizas como envasado con atmósferas modificadas, recubrimientos, radiación UV, etc (Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2019).

Para el caso de la producción realizada por la agricultura campesina familiar no se cuenta con la gran mayoría de estas tecnologías y son de difícil acceso debido al incremento que tendrían los costos de producción y la ausencia del conocimiento requerido para su implementación. Sin embargo, si se logran controlar factores como temperatura y uso de empaques se lograría un avance en la implementación de buenas prácticas que logren la preservación de la calidad y el valor nutritivo (López, 2003).

Por otro lado, si las hortalizas no son empacadas pueden ser susceptibles de contaminación por el contacto directo a la hora de manipularlas y además quedar totalmente expuestas a las condiciones del ambiente (López, 2003).

Dentro de las problemáticas identificadas en las asociaciones de productores beneficiarios, se evidenció que la mayoría de usuarios no empacan sus productos; lo cual podría contribuir al aumento de pérdidas poscosecha. Por lo anterior, se establece la necesidad de encontrar alternativas de solución que a su vez contemplen opciones que generen menor impacto ambiental como la que pueden causar los plásticos convencionales ampliamente utilizados en el sector de los empaques alimentarios (Navia & Villada, 2013).

Los empaques biodegradables además de ser una opción que se acopla a las necesidades de los agricultores para la protección del producto (coliflor y brócoli) durante su almacenamiento y transporte, también responden a la nueva tendencia de los consumidores respecto al crecimiento de la conciencia ambiental, lo que además, podría ser una ventaja competitiva y de mayor valor agregado para las hortalizas estudiadas (Rivera et al., 2019).

De acuerdo con lo anterior, es importante conocer el efecto de algunos factores de almacenamiento como temperatura y empaque sobre diferentes propiedades fisicoquímicas de brócoli y coliflor. Con esto, se pretende generar soluciones que puedan implementar las familias campesinas productoras de estas hortalizas, con el fin de brindar un apoyo enfocado a disminuir la pérdida por desperdicios generada en estos productos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto de las condiciones de almacenamiento y el uso de empaques biodegradables sobre las propiedades fisicoquímicas de brócoli (*Brassica oleracea* var *Italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* var? *Botrytis*), producidos por la agricultura campesina, familiar y comunitaria en el corregimiento de Gualmatán-Municipio de Pasto?

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Reducir en 50% el desperdicio de alimentos per cápita en el mundo producido en la venta a nivel de los consumidores, las etapas poscosecha y las cadenas de producción y suministro; es una las metas que se establece como obligación hasta el 2030 en el doceavo

objetivo de desarrollo sostenible (Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), 2019).

En todo el mundo se producen alrededor de 25.310.691 toneladas de coliflor y brócoli por año. China es el mayor productor con 10.263.746 toneladas al año, India ocupa el segundo lugar con una producción anual de 8,199.000 toneladas; estos dos países representan el 70% de la producción mundial. (Atlas Big, 2020; Rocha & Cisneros, 2019).

Entre los principales importadores de brócoli y coliflor fresco se encuentran Reino Unido, Canadá y Estados Unidos, este último importó brócoli en alrededor de 305,8 toneladas con un precio de entre \$1.16 a \$1.48 dólares por kg (Asociación Mexicana de Horticultura Protegida AC (AMHPAC), 2020; Tridge, 2020).

En el departamento de Nariño el sector hortofrutícola aporta con 17.27% del PIB departamental y el 85.3% del PIB agrícola departamental, en este mismo sector el 90% de los productores no le agregan valor a su producto, por ende lo venden en mercados locales y en mercados de otros departamentos para consumo directo o para ser transformados (Gobernación de Nariño & SADR, 2019).

En el plan de desarrollo departamental de Nariño (2020-2023), se destaca la diversificación que ha tenido la oferta agrícola en la que se encuentran los cultivos tradicionales y nuevas especies agrícolas las cuales han sido elegidas por los productores en la búsqueda de mejores ingresos y una mayor estabilidad. Dentro de los cultivos que han adquirido mayor importancia a través de los años se encuentran el brócoli y la coliflor (Gobernación de Nariño, 2021).

El brócoli registró una producción de un total de 14.651 toneladas (t) a nivel nacional, de las cuales el departamento de Nariño aporta con 2.751 t, es decir, el 18,78 % siendo el segundo departamento con mayor producción después de Cundinamarca (MinAgricultura, 2020). Una de las iniciativas priorizadas en el Plan de Regional de Competitividad de Nariño (2010-2032) es precisamente el desarrollo y fortalecimiento de la cadena del brócoli

(Comisión Regional de la Competitividad de Nariño, 2014); por otra parte, la coliflor registró una producción de 6.697 toneladas (t) de las cuales Nariño produjo 2.253 t, es decir, lo equivalente al 33,64% del total Nacional consolidándose como el departamento con la mayor participación (MinAgricultura, 2020).

Actualmente en Nariño existen pequeños productores agrupados en diferentes asociaciones los cuales se dedican a producir estas hortalizas principalmente para ser comercializadas a nivel regional y nacional. La participación en los indicadores de exportación de estas hortalizas no es significativa, sin embargo, se encuentra dentro de los productos seleccionados con potencial exportador (FAO & Agencia de Desarrollo Rural (ADR), 2019).

La elevada producción de estas hortalizas hace necesaria la implementación de tecnologías y sistemas mejorados a lo largo de la cadena productiva para acceder a mercados más exigentes a nivel nacional e internacional y que además se disminuyan las pérdidas y desperdicios generados por las malas prácticas poscosecha (FAO & ADR, 2019).

Las condiciones de almacenamiento influyen significativamente sobre los productos, por ejemplo, las altas temperaturas aumentan la actividad de las enzimas y microorganismos responsables del deterioro de productos perecederos, se acelera la tasa respiratoria, velocidad de maduración y la deshidratación (López, 2003). Por otro lado, el empaque es considerado una opción viable para la conservación de las hortalizas, debido a que protege, uniformiza el producto a comercializar y da una buena presentación (López, 2003). Sin embargo, actualmente el empaque de estas hortalizas se suele realizar en bandejas de plástico recubiertas de películas de polietileno o bolsas plásticas (Galindo & Español, 2016).

Como alternativa al uso de plásticos, surgen los empaques biodegradables, cuyo fin principal es generar un menor impacto ambiental por su rápida degradación, en comparación con los empaques convencionales (Rivera, 2020). Además esta alternativa hace parte de las opciones que se presentan en el Plan para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo uso, desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como

apoyo a la tendencia de la reducción en la implementación de plásticos de un solo uso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Con el desarrollo de esta investigación se determinó las condiciones a las cuales se logra mantener las características fisicoquímicas del brócoli y coliflor fresco durante un mayor tiempo, con el fin de reducir las pérdidas y desperdicios generados durante las etapas finales de su cadena productiva y de esta forma brindar alternativas a la agricultura familiar campesina involucrada, para mejorar su competitividad, comercializar productos de mejor calidad y acceder a nuevos mercados.

Cabe resaltar que esta investigación hace parte del proyecto “Fortalecimiento de capacidades para la innovación en la agricultura campesina, familiar y comunitaria tendiente a mejorar los medios de vida de la población vulnerable frente a los impactos del COVID-19, en la subregión centro del departamento de Nariño”, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y en ejecución por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Parquesoft Nariño y Universidad de Nariño. Donde es importante resaltar que, como resultado parcial de este proyecto de investigación, se identificó una oportunidad de negocio en las hortalizas mínimamente procesadas. Por esta razón, se decidió respaldar esta iniciativa llevando a cabo un estudio para evaluar la viabilidad técnica de este producto, floretes de brócoli y coliflor empacados en materiales biodegradables.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento y empaque sobre las propiedades fisicoquímicas de brócoli (*B oleracea* var. *Italica*) y coliflor (*B oleracea* var. *Botrytis*), producidos por asociaciones del corregimiento de Gualmatán-Municipio de Pasto.

## 4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de brócoli y coliflor sometidos a diferentes condiciones de almacenamiento y empaque.
- Optimizar las condiciones de almacenamiento y empaque en brócoli y coliflor, con el fin de prolongar su tiempo de conservación.

## 5 MARCO TEÓRICO

### 5.1 Generalidades de hortalizas

Las hortalizas se definen como plantas herbáceas cultivadas con fines de autoconsumo y comercialización en diferentes mercados; se caracterizan por su gran contenido de nutrientes tales como vitaminas, minerales, fibra, antioxidantes, fotoquímicos y el gran aporte de agua al organismo. Las frutas y hortalizas son plantas o parte de estas, que pueden ser consumidas crudas o cocidas como acompañantes, estas pueden estar mínimamente procesadas. Dentro de estas se incluyen, las hojas, bulbos, tubérculos, tallos y semillas. (Latham, 2002)

Las hortalizas son un alimento saludable y bajo en calorías, lo que las hace una buena opción para mantener un peso saludable. Además, son una fuente importante de vitaminas, minerales y fibras, que contribuyen a proteger la salud, mantener una piel sana y mejorar la digestión (Agricultura, 2015; UNODC, 2017)

#### 5.1.1 *Pérdidas poscosecha en hortalizas*

Las pérdidas poscosecha son un fenómeno que se produce durante el almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos, y que se traduce en la disminución de la calidad y la cantidad de los productos. Estas pérdidas pueden tener un impacto significativo en la seguridad alimentaria, la economía y el medio ambiente, según

estudios realizados puede alcanzar valores cercanos al 44% a nivel mundial, siendo África donde se reportan mayores pérdidas entre 15 y 50 % (FAO & CIRAD, 2021).

En Colombia se desperdician alrededor de 9,76 millones de toneladas de comida al año de las cuales, 6.08 millones corresponden a frutas y verduras lo que representan 58% de los alimentos disponibles. Las mayores pérdidas ocurren en los primeros eslabones de las cadenas productivas que corresponden al 40,5% en la producción agropecuaria y 3.5% de pérdidas en poscosecha y almacenamiento (Beleño, 2018).

Las regiones con mayores pérdidas son la región centro oriente, conformada por los departamentos de Santander, Norte de Santander, Cundinamarca y Boyacá en cuarto lugar está la región del pacifico Chocó, Nariño, Cauca y Valle del Cauca un aproximado de 1.063.159 toneladas (17.1%) (DNP, 2016).

## **5.2 Generalidades del brócoli**

Según estudios realizados, su origen se remonta al Mediterráneo oriental en Asia menor, Líbano, Siria etc. El brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) pertenece a las crucíferas, familia que lleva por nombre genérico “Brasicas”. Esta hortaliza de invierno se adapta muy bien a diferentes regiones. Su parte comestibles es una cabeza principal compacta de hasta 15 cm de diámetro conformada por una agrupación de flores inmaduras de color verde de varias tonalidades (USAID, 2008; Zamora, 2016b).

### **5.2.1 Condiciones agronómicas del brócoli**

El brócoli tiene diferentes fases del cultivo las cuales son:

- **Crecimiento.** Durante este periodo se desarrollan las primeras hojas y tallo (ZUMPANGO, 2013).
- **Inducción florar.** Al pasar algunos días con bajas temperaturas la planta inicia la formación de la flor en el centro de la planta, de igual manera la planta sigue brotando hojas de tamaño más pequeño que en la fase de crecimiento (ZUMPANGO, 2013).

- **Formación de pellas.** La planta en la yema terminal desarrolla una pella y, al mismo tiempo, en las yemas axiales de las hojas ocurre la fase de inducción floral con formación de nuevas pellas, las cuales son más pequeñas que la pella principal. En la actualidad los cultivadores producen brócolis con una sola cabeza, ya que los brotes más pequeños no se comercializan (Corpaica, 2016).
- **Fructificación.** En esta etapa se forman los frutos (silicuas) y semillas, las cuales son de una tonalidad café claro u oscuro, redondeadas y pequeñas (ZUMPANGO, 2013).

### 5.2.2 Composición nutricional.

El brócoli se considera un alimento con gran contenido de componentes nutricionales tales como: Vitaminas A y C, Potasio y Calcio (Tabla 1). Además, contiene fibra, glucosinolatos y se le atribuye muchos beneficios a la salud por su alto contenido de yodo y sulforafano (Jaramillo et al., 2016).

**Tabla 1.** Composición nutricional de 100 g de brócoli fresco comestible

<b>Nutrientes</b>	<b>Valor</b>
Agua %	91
Energía (kcal)	28
Proteína	3.0
Grasa (g)	0.4
Carbohidratos (g)	5.2
Fibra (g)	1.1
Ca (mg)	48
P (mg)	66
Fe (mg)	0.9
Na (mg)	27
K (mg)	325
Vitamina A (UI)	1542
Tiamina (mg)	0.07
Riboflavina (mg)	0.12
Niacina (mg)	0.64

Ácido ascórbico (mg)	93.2
Vitamina B6 (mg)	0.16

Fuente: Haytowitz y Mattheews (1984) citado por (Zamora, 2016b)

### 5.2.3 Criterios en la cosecha de brócoli

Para obtener los criterios de cosecha o momento óptimo de recolección se tiene en cuenta diferentes parámetros importantes para favorecer la calidad y la vida útil durante la poscosecha y comercialización (Jaramillo et al., 2016).

En brócoli hay que tener en cuenta que se cosecha las inflorescencias, por lo que su manejo posterior deber ser cuidadoso para evitar el estrés, ya que esto hace que su vida útil disminuya y el proceso de senescencia ocurra mucho más rápido.

Según Andrade (2021); Jaramillo et al. (2016), los criterios o los lineamientos para la recolección del brócoli son los siguientes:

#### Planta

- **Ciclo.** Se debe tener en cuenta los días que pasan desde la siembra hasta su cosecha, según las condiciones ambientales, entre los 75 y 80 días.
- **Altura de la planta.** Esta debe tener una altura significativa ya que se corta con una longitud de tallo de 8-10 mm para evitar la deshidratación.
- **Porte de las hojas.** Deben estar erectas para permitir el desarrollo de la pella y su fácil recolección.

#### Pella o cabeza del brócoli

- **Situación de la pella.** Debe tener un diámetro que puede variar entre 7 a 20 cm, dependiendo del mercado al cual va dirigido. En Colombia recomiendan en plazas de mercado tamaños de 10 a 15 cm (230-450 g).
- **Forma.** Tener una forma esférica o ligeramente aplanada es la idónea.

- **Uniformidad y compactación.** Deben ser firmes al tacto, de color verde o verde azulado además tener granos finos, no tener amarillamiento ni apertura floral (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se debe cosechar a horas de la mañana, para proteger el producto de los rayos directos del sol y evitar su deshidratación.
- **Tronco hueco.** Un defecto que podría ocurrir por las malas prácticas agrícolas por exceso de abonos nitrogenados.

**Figura 1.** Comparación de brócoli adecuado y brócoli en deterioro.



*Nota.* Esta figura muestra los cambios de un brócoli con características adecuadas, una pella compacta y con un color uniforme. En el lado derecho, brócoli en deterioro con amarillamiento. Fuente: (Andrade, 2021).

#### **5.2.4 Criterios en la poscosecha de brócoli**

Dentro del manejo poscosecha se incluye todas las operaciones y procedimientos que se llevan a cabo desde la finca hasta su consumidor, se realizan con el fin de preservar la calidad, con respecto a características físicas, químicas y biológicas (Andrade, 2021; Jaramillo et al., 2016).

##### **5.2.4.1 Selección y clasificación**

- Brócoli con cabezas compactas, firmes y floretes cerrados.
- Tamaño y grado homogéneo de acuerdo con la variedad sembrada.
- Color verde intenso oscuro o el característico de la variedad.

- Sin presencia de desórdenes fisiológicos.
- Libres de daños fitosanitarios y mecánicos.
- Libres de humedad exterior anormal.

#### **5.2.4.2 Almacenamiento**

Las pellas o inflorescencias del brócoli tienen estructuras perecederas debido a su alto contenido de agua, estas presentan un metabolismo acelerado lo cual se manifiesta en la tasa respiratoria y la susceptibilidad a déficits hídricos; por lo que, se necesita una temperatura de 0°C y una humedad relativa mayor a 95% para poder garantizar una vida de almacenamiento de (21-28 días). Cuando el brócoli es almacenado a una temperatura de 5°C puede disminuir su vida útil a 14 días, y cuando se aumenta su temperatura, los días de vida útil disminuyen drásticamente (Andrade, 2021; Guaigua, 2021).

#### **5.2.4.3 Cambios bioquímicos que afectan la calidad nutricional y comercial del producto.**

Cuando el brócoli se almacena a una temperatura de 20°C se presenta el proceso de senescencia y con estos diferentes cambios en la calidad (Guaigua, 2021).

Los cambios se pueden manifestar así:

- Alteración del color superficial, pasando de un color verde intenso a un verde amarillo el cual no es apto para comercializarse.
- Reducción del contenido de proteínas totales y aumento de proteínas solubles, esto afectando la calidad nutricional del producto, que ocurre por la acumulación de amonio en los tejidos y puede afectar las características organolépticas del producto.
- Disminución del contenido de antioxidantes, ya que disminuye el contenido de ácido ascórbico y hay una pérdida de valor nutricional.
- Disminución del contenido de clorofilas y aumento de las enzimas que degradan la clorofila y provocan el color amarillo en el brócoli.

### 5.3 Generalidades de la coliflor

La coliflor pertenece a la familia de las crucíferas, al género *Brassica oleracea*. Es una hortaliza de gran importancia a nivel económico, a pesar de que las áreas sembradas son pocas. Esta es nativa de Europa a Asia occidental, existen diferentes variedades capaces de adaptarse a distintos pisos térmicos, es una planta herbácea que posee un tallo resistente de aproximadamente 50 cm de altura, poco ramificada y con grandes hojas de color verde. Es muy utilizada en la gastronomía, puede consumirse en fresco, encurtidos o procesados (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1991; SENA, 1976).

#### 5.3.1 Condiciones agronómicas de la coliflor

La coliflor tiene un ciclo que se divide en diferentes fases:

**Fase juvenil.** Durante esta fase se inicia la formación de las primeras hojas y las raíces ya empiezan a adaptarse al suelo, tiene una duración aproximada de 6-8 semanas, la cantidad de hojas formadas es diferente dependiendo de la variedad (Fueyo, 2012).

**Fase de inducción floral.** La planta sigue su proceso de formación de hojas y además comienzan los cambios fisiológicos para formar las inflorescencias (pella). La temperatura es un factor importante en esta variación, cuando se acumulan horas de frío hace que se forme las pellas, con esto se busca tener buenos rendimientos (Fueyo, 2012).

**Fase de formación de cabeza.** Después que se observa la inducción floral, la cabeza tarda aproximadamente 25 días para llegar hasta su madurez comercial, aquí se observa que aumenta su diámetro y masa, además del incremento del tamaño de las hojas permitiendo envolver la pella y protegerla del sol (Jaramillo & Diaz, 2005).

#### 5.3.2 Composición nutricional.

La coliflor es una hortaliza que posee un gran contenido nutricional como se puede observar en la Tabla 2, además que se considera un alimento altamente beneficioso para la salud humana. Es baja en calorías y rica en vitaminas y potasio.

**Tabla 2.** *Composición nutricional de 100 g de coliflor fresco comestible*

<b>Nutriente</b>	<b>Valor</b>
Agua (%)	92
Energía (kcal)	24
Proteína	2.0
Grasa (g)	0.2
Carbohidrato (g)	4.9
Fibra (g)	0.9
Ca (mg)	29
P (mg)	46
Fe (mg)	0.6
Na (mg)	15
K (mg)	355
Vitamina A (UI)	16
Tiamina (mg)	0.08
Riboflavina (mg)	0.06
Niacina (mg)	0.63
Ácido ascórbico	71.5
Vitamina B6 (mg)	0.23

Fuente: Haytowitz y Mattheews (1984) citado por (Zamora, 2016a).

### **5.3.3 Criterios en la cosecha de coliflor.**

La cosecha se realiza cuando las inflorescencias de la coliflor tienen su máximo tamaño, deben estar compactas y sin iniciar la apertura de las flores. La recolección se realiza de forma manual, principalmente en horas de la mañana para evitar golpes de sol (Ibarra & Moncayo, 1998).

Para realizar la cosecha se debe hacer entre los 80 y 115 días después de realizarse el trasplante. Un índice muy importante que se debe observar es el color de la inflorescencia según la variedad, pero debe cosecharse antes de que la coliflor tenga una tonalidad amarilla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (Theodoracopoulos et al., 2008).

**Figura 2.** *Coliflor lista para la cosecha.*



Fuente: (Theodoracopoulos et al., 2008)

Las cabezas deben presentar firmeza, estar compactas, con color blanco uniforme y con muy buena apariencia, el producto se debe deshojar, dejando una pulgada del tallo. Para que una coliflor se considere de calidad se recomienda que tenga todas sus características, además que se encuentre en un tamaño adecuado y ausencia de amarillamiento, ausencia de defectos debidos al manejo y pudriciones (Theodoracopoulos et al., 2008).

La coliflor debe presentar un peso aproximado de 600 a 800 g cuando es pequeño, medio de 800 a 1000 g y grande de 1000 a 1500 g.

Según Guerreros (2016), dos indicadores físicos de cosecha son el tiempo y el diámetro de la inflorescencia después del amarre y blanqueado, que son etapas que consisten en amarrar las hojas externas junto al centro de la pella en el momento que se empieza a formar, para que estas protejan la inflorescencia de las quemaduras solares y conserve su color blanco.

#### ***5.3.4 Manejo poscosecha de la coliflor***

Dentro del manejo poscosecha se incluye todas las actividades que se pueden implementar para que la hortaliza sea de excelente calidad desde que se cosecha hasta el consumidor final (Jaramillo & Diaz, 2005).

##### ***5.3.4.1 Selección y clasificación.***

Según (SENA, 1976), se clasifican en tres clases de acuerdo a lo establecido en la NTC 1374.

**Clase extra.** Esta debe ser la coliflor de máxima calidad, debe tener la forma adecuada, con una cabeza firme y compacta, además de estructura granular tupida, de un color blanco cremoso parejo.

**Clase I.** La coliflor debe ser de buena calidad, pero su nivel de exigencia es menor ya que permite que presente deficiencias mínimas en forma y desarrollo, de igual manera una pequeña variación en el color y una leve cantidad de pelusa. Pero debe ser firme con estructura tupida, libre de manchas, daños por animales, insectos, babosas o algún tipo de magulladura.

**Clase II.** La coliflor baja aún más sus estándares, pero debe cumplir con unas exigencias mínimas. Puede presentar algún tipo de deformación de manera leve, una estructura menos tupida, variación del color incluso que tenga una tonalidad amarilla o que presente algún tipo de daño por manejo siempre y cuando siga siendo apto para el consumo humano.

Estas son seleccionadas y clasificadas según su tamaño y el peso que tengan, están la clase extra, I y II donde se exigen que deben estar frescas, sanas y limpias, libre de restos de pesticidas o fertilizantes y libre de exceso de humedad.

#### **5.3.4.2 Temperatura y humedad relativa óptima**

La temperatura en almacenamiento debe ser de 0°C y 95% de humedad relativa, con estas condiciones se estima una vida aproximada de 14 a 21 días (Zamora, 2016a)

#### **5.3.4.3 Aspectos fisiológicos**

Existen diferentes aspectos los cuales influyen directamente en la calidad de los productos, según las características y condiciones de almacenamiento se puede alcanzar una vida útil prolongada; entre estos aspectos se encuentran:

**Susceptibilidad al etileno.** Este es un gas sintetizado por las plantas, el cual cumple funciones específicas de transformación; según la etapa en la que se encuentre la fruta u hortaliza su concentración puede variar, ya que a medida que se acerca a la maduración esta aumenta. Las hortalizas al ser cosechadas presentan susceptibilidad a la presencia de etileno, por lo cual se deben definir las condiciones de transporte y almacenamiento de cargas mixtas, buscando que no se almacenen juntas las hortalizas con frutas productoras de etileno (Jaramillo & Diaz, 2005).

**Tasa de respiración.** La tasa de respiración de la coliflor ya cosechada se va incrementando de los 5 a los 15°C, lo que va reduciendo su vida útil. Según investigaciones las temperaturas adecuadas para almacenamiento en frío están entre 0 y 5°C (Galindo & Español, 2016).

#### **5.3.4.4 Parámetros de calidad postcosecha para las crucíferas**

**Pérdida de peso.** La pérdida de peso en hortalizas es un fenómeno natural que se debe a la evaporación del agua. La pérdida de agua se ve afectada por las características del producto, las condiciones de empaque y almacenamiento, y las condiciones ambientales. Un porcentaje de pérdida de peso elevado puede afectar la calidad del producto, su vida útil y valor comercial (Martínez, 2016; FAO, 1995)

**Color.** El brócoli y la coliflor son hortalizas crucíferas que pueden presentar cambios de color durante la maduración. Los cambios de color naturales son el resultado de la maduración de los floretes. Otros cambios de color son producidos por pudriciones, daños mecánicos o pardeamiento (Galindo & Español, 2016; A. Simón, 2008)

**Textura.** Idealmente la cabeza de brócoli debe ser firme y compacta. Sin embargo, estas características pueden verse afectadas durante el tiempo de almacenamiento por la humedad, la pérdida de agua, la actividad enzimática y entre otros factores que pueden contribuir a la degradación de la estructura del tallo y la inflorescencia (Martínez-Hernández et al., 2013).

**Pérdida de ácido ascórbico.** Este es uno de los micronutrientes más relacionados a las frutas y hortalizas. Esta vitamina es muy sensible a la oxidación química y enzimática, así como soluble en agua, este es muy utilizada como indicador en el monitoreo de la calidad (Marques et al., 2004).

### 5.3.5 *Empaques y Embalajes*

Colombia es un país que se destaca por no empaclar sus productos para su comercialización ya que en la mayoría de los casos se hace comercialización a granel, sin embargo, dependiendo del cliente objetivo se está incluyendo el empaque de los productos, lo que permite un mejor manejo y puede evitar daños. En algunos supermercados el producto es empacado en láminas o películas plásticas (Figura **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Los productores están adecuando esta alternativa para poder obtener un mejor precio en sus productos. Sin embargo otras crucíferas como el coliflor se realiza según su tamaño color, peso clase o mercado al que va dirigido (Galindo & Español, 2016).

Ya seleccionados se pueden empaclar en canastillas plásticas o cajas de cartón que cumplan los requisitos establecidos en la NTC 1374 (Bmc, 2007). Las condiciones son:

- La coliflor debe ser empacado en materiales rígidos, madera, cartón, plástico o sus combinaciones. No se permite algún tipo de relleno.
- Las cajas deben ser de superficies lisas y que permita aireación del producto.

**Figura 3.** *Empaque y embalaje del brócoli y la coliflor.*



Fuente: (Galindo & Español, 2016). F

#### **5.4 Generalidades de los empaques**

El empaque juega un papel muy importante, ya que este es el encargado de contener y proteger los productos durante su almacenamiento, comercialización y distribución. Además, es el encargado de mantener la vida útil del producto, lo que le permite servir de barrera simple a la influencia de diferentes factores externos e internos (Honorio, 2017).

Los empaques además de ser una barrera, deben cumplir otras funciones, la estética del producto depende del tipo de empaque que se utilice, debe ser un empaque que no genere contaminación, ya que este puede traer grandes repercusiones sociales y ambientales (Honorio, 2017).

Según el tipo de embalaje que se utilice, puede proporcionar al producto empacado la protección necesaria durante el almacenamiento, transporte y distribución para evitar que sufra algún tipo de daño. Estos beneficios que brindan, permiten que se planteen nuevos retos dentro de las operaciones logísticas de las cadenas de valor de los productos hortofrutícolas (Argueta et al., 2015).

Mantener la calidad de los alimentos es muy importante ya que mejora la calidad de vida; el monitoreo continuo permite proteger a los consumidores de las enfermedades transmitidas por los alimentos y maximiza la eficiencia de la producción (Ghaani et al., 2016).

##### **5.4.1 Funciones de los empaques**

Los empaques deben cumplir ciertas características especiales según la Cámara de Comercio de Bogotá ( 2019), las funciones más importantes son:

- **Función de localización e identificación.** Esta función tiene relación con la forma y el aspecto gráfico de los envases y empaques, con su diseño, color, concepto de la marca y signos que permita su identificación.

- **Función de protección y conservación.** El empaque, envase y/o embalaje debe proteger el producto de cualquier daño físico, químico o mecánico durante su manipulación, transporte y comercialización. Además, los empaques de frutas y hortalizas deben mantener un ambiente óptimo para prolongar su vida útil, por tal razón se utilizan materiales especiales que permiten retardar la pérdida de agua y las propiedades fisicoquímicas. Adicionalmente se deben tener en cuenta factores como Resistencia, Cierre, Versatilidad, Ergonomía, Dispensación y Hermeticidad

- **Función Logística:** Desde este punto de vista, es necesario hablar de los factores básicos directamente relacionados con el peso, el área y el costo. El empaque debe identificarse a sí mismo y proporcionar información útil sobre el producto.

#### 5.4.2 Tipos de empaques para productos hortofrutícolas

Para determinar qué tipo de empaque utilizar se debe tener en cuenta la naturaleza del producto, la vida útil, las condiciones de temperatura y humedad relativa etiqueta o rotulación, resistencia físico-mecánica y química del empaque (Honorio, 2017).

Los empaques utilizados para la comercialización de productos hortofrutícolas son los siguientes:

**Cartón corrugado o madera comprimida:** las cajas y los cartones son materiales livianos para transportar los productos, limpios, de superficie suave, que permite el etiquetado de una manera fácil y eficiente por el tamaño y forma. Estos pueden ser elaborados con láminas sencillas, dobles o triples, las cuales permiten la ventilación del calor, respiración del producto y circulación del aire frío (Honorio, 2017).

**Plástico:** Este material es utilizado principalmente para evitar la contaminación de los alimentos. Sin embargo, la necesidad de los consumidores por encontrar alimentos de mayor calidad ha llevado a la innovación de nuevos envases que combinen las propiedades biofísicas de las películas de plásticos con recubrimientos de biopolímeros para mantener la

calidad nutricional y sensorial del producto. Además, ofrece muchas ventajas incluyendo marketing, porque permite la visibilidad del producto al momento de ser comprado, sin embargo, está expuesto a la luz, produciendo gases y vapores dentro, siendo este un gran inconveniente. Los tipos de películas plásticas abarcan polietileno de baja densidad (LDPE), papel de aluminio laminado (LAF), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), polietileno (PE) (Opara & Mditshwa, 2013).

**Bandejas cubiertas con film plástico:** Este tipo de empaque permite conservar las características de los productos hortofrutícolas, ayuda a evitar la deshidratación y el daño mecánico, además de protegerlo de posibles patógenos del medio ambiente y crear condiciones que favorecen la respiración y maduración lenta y controlada (Honorio, 2017).

#### **5.4.3 Empaques biodegradables.**

Los empaques deben estar encaminados a las nuevas tendencias que llevan a la influencia de mejorar las condiciones y que estos no impacten negativamente al medio ambiente. Un envase biodegradable se define como aquel que tiene la capacidad de degradarse sin ayuda y además sin dejar residuos perjudiciales para el medioambiente, tenga o no un proceso de reciclaje (Rivera, 2020).

Los empaques biodegradables presentan algunas ventajas siendo las más importantes, que no producen residuos y reducen las emisiones de carbono. A pesar de que son productos novedosos estos también presentan ciertas desventajas tales como: que pocos bioplásticos son derivados de residuos agrícolas y su reciclaje tiende a ser complicado. La industria hoy en día se ha centrado en invertir mayor cantidad de recursos científicos y económicos para la investigación de envases biodegradables, estos materiales proceden de fuentes renovables, ya sea extraídos de la biomasa, como la celulosa o el almidón, o bien producidos por microorganismos como los polihidroxialcanoatos (PHA)(Rivera, 2020).

Existen muchas investigaciones donde se desarrollan diferentes tipos de empaques biodegradables a base de almidón y fibras vegetales, pero a pesar de que actualmente se

conocen empresas que manejan este tipo de empaques, no es una presentación comercial para los productos hortofrutícolas. Además, el reemplazo total de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables es un trabajo complejo por lo que existen constantes investigaciones. Se ha podido realizar la sustitución de algunos polímeros sintéticos por otros naturales, en aplicaciones específicas con los que se han podido desarrollar empaques como películas, protectores, envolturas, platos, etc. (Villada et al., 2007).

Los biopolímeros naturales provienen de cuatro principales fuentes: origen marino (quitina/quitosan), origen animal (colágeno/gelatina), origen vegetal (lípidos, proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poli láctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)) (Villada et al., 2007).

## **6 ANTECEDENTES**

Autores como Tian et al. (2016), evaluaron el uso de diferentes métodos de refrigeración (enfriamiento en vacío, agua helada, en cámara frigorífica y un control) para prolongar la vida útil del brócoli, y determinar su efecto sobre variables como la velocidad de enfriamiento, pérdida de peso, frecuencia respiratoria, clorofila, vitamina C, contenido de azúcar reductor y propiedades sensoriales. Los resultados mostraron que el tratamiento de enfriamiento en vacío mantuvo la calidad del brócoli durante el transporte y almacenamiento.

Paulsen et al. (2018) en su trabajo de investigación realizaron el análisis de las condiciones de los empaques para preservar la calidad durante un ciclo de tiempo en floretes de brócoli listos para consumir. Los factores evaluados fueron; el efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento, sobre variables de respuesta como: la pérdida de peso, la composición de atmósfera interna, la tasa de respiración, el color, la textura, contenido de glucosinolatos, la capacidad antioxidante y los atributos sensoriales a lo largo del tiempo de almacenamiento. La investigación demostró que el envasado en atmósfera modificada es una

tecnología apropiada para prolongar la vida útil, ya que a 4°C mantiene su calidad sensorial durante 21 días de almacenamiento.

Gao et al. (2018) realizaron un estudio simulando el exceso de la temperatura en diferentes etapas de almacenamiento, teniendo como variables de respuesta la pérdida de peso, el color, la tasa de fuga de electrolitos tisulares, clorofila total, ácido ascórbico y el análisis sensorial. Las cabezas de brócoli fueron empacadas y se almacenaron durante varios días a 5°C y por 13 días a 4, 10 y 25 °C con una humedad relativa del (60-70) % en la oscuridad. Según los resultados obtenidos, los autores afirman que el brócoli se ve afectado significativamente por las etapas de pre-almacenamiento, por ende, las temperaturas y tiempos cortos de almacenamiento permiten prolongar la vida útil del brócoli.

En el estudio llevado a cabo por Khatun et al. (2018), se investigó el impacto de diferentes métodos de lavado (agua corriente y con hipoclorito de sodio 200 ppm) y técnicas de envasado (control, polietileno no perforado, polietileno perforado al 0,5 %, polietileno perforado 1%, polietileno perforado 1.5% y cartón reciclado) en la vida útil y la calidad de la coliflor. Diversas variables de respuesta fueron evaluadas, incluyendo la pérdida de peso, la incidencia de enfermedades, la compacidad, la vida útil, la acidez, el contenido de vitamina C y los sólidos solubles totales. Los resultados indicaron que el tratamiento más efectivo consistió en el lavado con la solución de hipoclorito de sodio y el envasado en bolsas de polietileno perforado al 0,1%, ya que lograron extender la vida útil de la coliflor hasta 6 días en comparación con el grupo de control.

Raseetha & Nadirah (2018), analizaron el efecto de diferentes empaques (bolsas de plástico, película adhesiva y papel blanco) sobre la calidad (actividad antioxidante, contenido fenólico total y color) del brócoli y la coliflor cortados a temperatura de refrigeración. Los resultados evidenciaron que el mejor empaque es el papel blanco debido a que mantuvo la calidad hasta por 21 días de almacenamiento a 8 – 10°C.

Cai et al. (2019) en su investigación evaluaron el efecto que tiene la 24-Epibrassionolida (EBR) sobre el amarillamiento poscosecha del brócoli, en diferentes

concentraciones desde 0 a 20  $\mu\text{M}$ , sus variables de respuesta fueron los cambios de color, la fluorescencia de la clorofila, estructura de cloroplastos y actividad enzimática. Estas se mantuvieron a temperatura de 4°C por 24 días para estimar vida útil. Las bajas concentraciones de EBR inhibieron efectivamente el amarillamiento del brócoli, en específico la concentración de 2  $\mu\text{M}$  de EBR prolonga la vida útil del brócoli.

Mashabela et al. (2019) en su estudio determinaron el efecto que tienen diferentes tipos de películas de envasado en atmósfera modificada y cómo esta afecta la calidad poscosecha y los compuestos bioactivos de la coliflor precortada en cierto tiempo de almacenamiento. Se evaluaron diferentes películas con concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  distintas y sus variables de respuesta abarcaron color, atributos sensoriales, contenido de ácido ascórbico, contenido total de fenoles, flavonoides, propiedades antioxidantes y contenido de glucosinolatos. Con esto se logró concluir que las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$  tienen un efecto positivo que prolonga sobre los parámetros de la coliflor a una temperatura de almacenamiento de 5 ° C y una humedad relativa de 85%, hasta por 12 días.

Khathir et al.(2019) estimaron la vida útil realizando una cinética de pérdida de sólidos solubles totales (SST), basada en las ecuaciones de Arrhenius y calculando el valor de  $Q_{10}$ . Las coliflores fueron almacenadas a temperaturas extremas de 50 - 70°C, se determinaron los valores de SST hasta que las coliflores perdieron su calidad. Además, se realizó un control almacenando la coliflor a temperatura ambiente. Los autores concluyen que la vida útil real a temperatura ambiente es hasta de 8 días y a medida que se aumenta la temperatura se pierden los SST. Estos resultados estimados de vida útil no coincidieron con la vida útil real, por el bajo contenido de carbohidratos en la coliflor, por lo tanto, los autores recomiendan estimar la vida útil de la coliflor utilizando otros parámetros como humedad y ácido ascórbico.

Sahoo et al. (2021) se enfocaron en buscar alternativas que ayuden a prolongar la vida útil de la coliflor utilizando diferentes pretratamientos. Las muestras fueron tratadas con agua ozonizada, aceite esencial de orégano y aceite esencial de canela. Luego fueron

empacadas en películas con atmósferas modificadas, sus variables de respuesta fueron la pérdida de peso, análisis de textura, pH, sólidos solubles totales, ácido ascórbico, fenoles totales, análisis microbiológico y análisis sensorial. Los mejores resultados se obtuvieron con el agua ozonizada, ya que esta permitió mantener la calidad de la coliflor hasta por 28 días a 4°C.

Varastehf & Zamanis (2022) realizaron un estudio donde se analizó las características cualitativas y bioquímicas del brócoli sin recubrir y al ser recubierto con celofán y goma tragacanto a diferentes concentraciones (0, 0.1, 0.2, 0.4%). Las variables de respuesta fueron pérdida de peso, contenido de vitamina C, fenoles totales, contenido de flavonoides, capacidad antioxidante y propiedades organolépticas. Según los resultados obtenidos el recubrimiento con goma tragacanto es un biomaterial que se puede utilizar como sustituto de la película de celofán ya que permite mantener la calidad del brócoli y prolongar su vida útil hasta por 21 días a una temperatura de 4°C y una humedad relativa del 90 %.

Paulsen et al. (2022) implementaron empaques de materiales biodegradables (polibutileno-adipato-cotereftalato y poli-lactida) para poder estudiar el comportamiento de las cabezas de brócoli, como control se utilizaron brócolis sin empaque y brócolis envueltos en polietileno lineal de baja densidad. Los parámetros evaluados fueron composición del gas en el empaque, pérdida de peso, firmeza, color, análisis sensorial, contenido de glucosinolatos, contenido de clorofila y carotenoides. Como resultado se obtuvo que la película poli-lactida fue la más eficiente, ya que permite mantener la calidad de las cabezas de brócoli hasta por 21 días a una temperatura de 2°C.

## **7 METODOLOGÍA**

La investigación se llevó a cabo a nivel experimental en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y en el laboratorio para la investigación y conservación de alimentos del grupo de investigación GAIDA de la Universidad de Nariño, sede Torobajo, Pasto (Nariño), Altura 2527 m.s.n.m.

### 7.1 Selección y acondicionamiento de la materia prima

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó cabezas de brócoli y coliflor cultivadas por agricultores de las asociaciones Corazón de María y COOPHSUR del corregimiento de Gualmatán, en el municipio de Pasto. Estas se seleccionaron de acuerdo con las condiciones generales de calidad (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 4.** *Recepción y selección de materia prima (brócoli y coliflor)*



Una vez seleccionadas, se retiraron las hojas externas y el tallo sobrante, se lavaron con abundante agua potable para eliminar material contaminante y posteriormente fueron desinfectadas mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 10 minutos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 5.** *Acondicionamiento de material de estudio (brócoli y coliflor)*





Los floretes de brócoli y coliflor fueron separados del tallo, cortados de forma uniforme, empacados en bolsas de polipropileno de 21 x 30 cm y bolsas biodegradables de 21x30 cm de almidón de maíz por la marca colombiana “MAHÍZ®” (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 6.** *Acondicionamiento y empaque de material de estudio*



## 7.2 Almacenamiento de las muestras de brócoli y coliflor

Los floretes empacados se almacenaron a temperatura ambiente y temperatura de refrigeración, en la oscuridad (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 7.** *Almacenamiento de las muestras de brócoli y coliflor*



### 7.3 Determinación de las características fisicoquímicas de brócoli y coliflor

Se evaluaron propiedades como pérdida de peso, fenoles totales, color superficial, ácido ascórbico y actividad antioxidante, con el fin de establecer el efecto de la temperatura y empaque sobre las características de calidad fisicoquímicas de brócoli y coliflor. Las mediciones se realizaron de acuerdo al tiempo de seguimiento establecido para cada hortaliza. Para las muestras de brócoli se estableció un tiempo de 15 días de seguimiento realizando mediciones cada tres días para un total de 5 mediciones, y para las muestras de coliflor se estableció un tiempo de 5 días con mediciones cada día para un total de 5 mediciones.

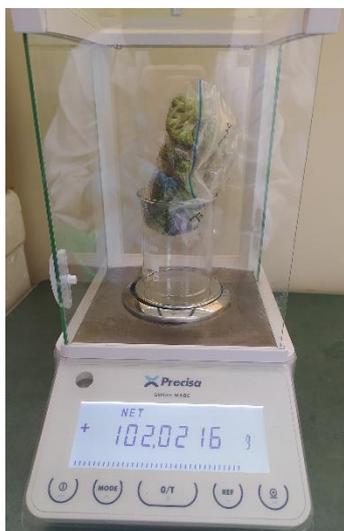
#### 7.3.1 Pérdida de peso.

Se llevó a cabo según la metodología empleada por Gao et al. (2018), con algunas modificaciones:

Se realizó el seguimiento de la pérdida de peso durante los días de almacenamiento, las mediciones se realizaron en una balanza analítica precisa modelo 520 PB-A (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El porcentaje de peso se calculó de acuerdo con la Ecuación 1.

$$\% \text{ de pérdida de peso} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso actual}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

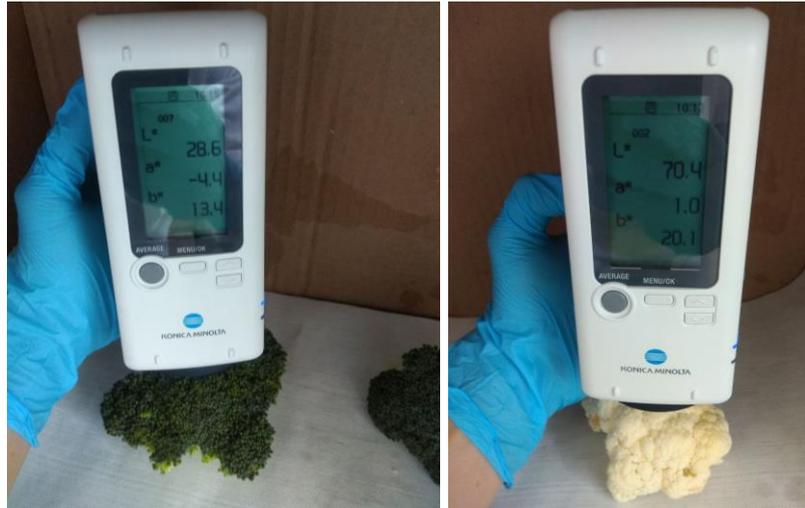
**Figura 8.** *Medición de pérdida de peso*



### **7.3.2** *Color superficial.*

Se determinó mediante la medición de las coordenadas del espacio de color (CIEL\*a\*b\*) expresadas en valores L\*, a\* y b\*, utilizando el espectrofotómetro portátil Konica Minolta, modelo CR-20 ( **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La medición se realizó directamente en la parte superior de los floretes de brócoli y coliflor, tomando tres floretes aleatorios del empaque de cada tratamiento para cada día de seguimiento. Adicionalmente se mantuvo el mismo lugar y condiciones de iluminación con el fin de evitar alteraciones en las mediciones asociadas a estos factores.

**Figura 9.** *Medición de color en muestras de brócoli y coliflor*



Para efectos de comparación y con el fin de evidenciar las diferencias de color con respecto al día inicial, se calculó el diferencia de color ( $\Delta E$ ) propuesta por Williamson & Benkeblia, (2015) (Ecuación 2).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Adicionalmente, para el caso de los floretes de coliflor, a partir de estos parámetros de color se calculó el índice de pardeamiento (BI) utilizando las ecuaciones 3 y 4 reportadas por Maskan (2001).

$$BI = \frac{[(100(x - 0.31))]}{0.17} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$x = \frac{(a-1.75L)}{(5.645L+a-3.012b)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En el caso de floretes de brócoli, a partir de estos parámetros de color se calculó el índice de amarillamiento (YI) utilizando la ecuación 5, definida por Ordóñez-Santos et al. (2017):

$$YI = \frac{142.86b}{L} \quad (\text{Ecuación 5})$$

### 7.3.3 Contenido de fenoles totales

Se llevó a cabo según la metodología establecida por Mejía et al., (2021), con algunas modificaciones (Figura 10).

**Figura 10.** *Medición de fenoles totales en floretes de brócoli y coliflor*



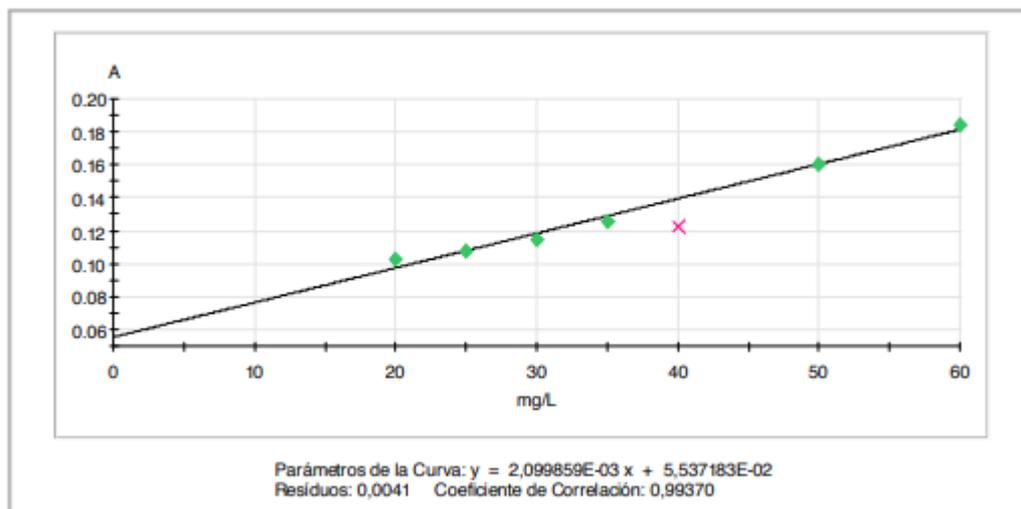
Para la extracción de los compuestos fenólicos se pesaron 5 gramos de muestra y se adicionaron 10 mL de una solución metanol-agua en relación 3:2. Esta mezcla se maceró con ayuda de un mortero hasta obtener partículas muy pequeñas. Se llevó la muestra a un tubo falcón de 50 mL y centrifugó a 4500 rpm durante 10 min a 20 °C. Se descartó el precipitado y el sobrenadante fue analizado.

En viales ámbar se agregaron 625  $\mu\text{L}$  de agua destilada, 20  $\mu\text{L}$  del sobrenadante de la muestra, 1250  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio (20% P/V) y 125  $\mu\text{L}$  del reactivo de folin. Se agitó los viales en vortex durante 30 segundos y dejó reposar en oscuridad a temperatura ambiente por 2 horas.

Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro Génesis 10UV-Vis Scanning Thermo Fisher Scientific a 760 nm.

Se utilizó la curva de calibración (Figura 11) y la ecuación 6 definida por (Mejía et al., 2021):

**Figura 11.** *Curva de calibración para la determinación del contenido de fenoles totales*



$$\text{Resultado ((mg AG)/ (g de muestra))} = \frac{x \cdot V \cdot VM}{VE \cdot W} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- X= concentración equivalente a ácido gálico en celda (mg/L) (A partir del cálculo de la regresión lineal de la muestra con respecto a la curva de calibración)
- V= Volumen total de la Solución en la celda de espectrofotometría (L)
- VM= Volumen total de extracto (mL)
- VE= Volumen de extracto colocado en la celda de espectrofotometría (mL)
- W= Peso de la muestra (g)

#### 7.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante

Se siguió la metodología reportada por Leos-Rivas et al., (2016) y Mejía et al., (2021) con algunas modificaciones (Figura 12).

Se preparó la solución madre de ABTS 7 mM, se pesaron 38,8 mg de ABTS y se llevó a un balón aforado con 10 mL de agua destilada, se le adicionó 6,6 mg de persulfato de potasio. Una vez formado el radical ABTS, se diluyó con metanol hasta obtener un valor de  $0,9 \pm 0,2$  en longitud de onda de máxima absorbancia (734 nm).

El extracto se obtuvo mediante maceración, para lo cual se pesaron 2,5 gramos de muestra y se siguió la metodología de extracción empleada en la determinación de fenoles totales.

En viales ámbar, se mezclaron 20  $\mu\text{L}$  de extracto y 1980  $\mu\text{L}$  de la solución de trabajo de ABTS, se agitaron en vortex durante 30 s y se dejó reaccionar durante 7 min. Una vez pasado este tiempo se midió la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro Génesis 10 UV-Vis Scanning Thermo Fisher Scientific (Figura 13).

**Figura 12.** *Medición de capacidad antioxidante en floretes de brócoli y coliflor*



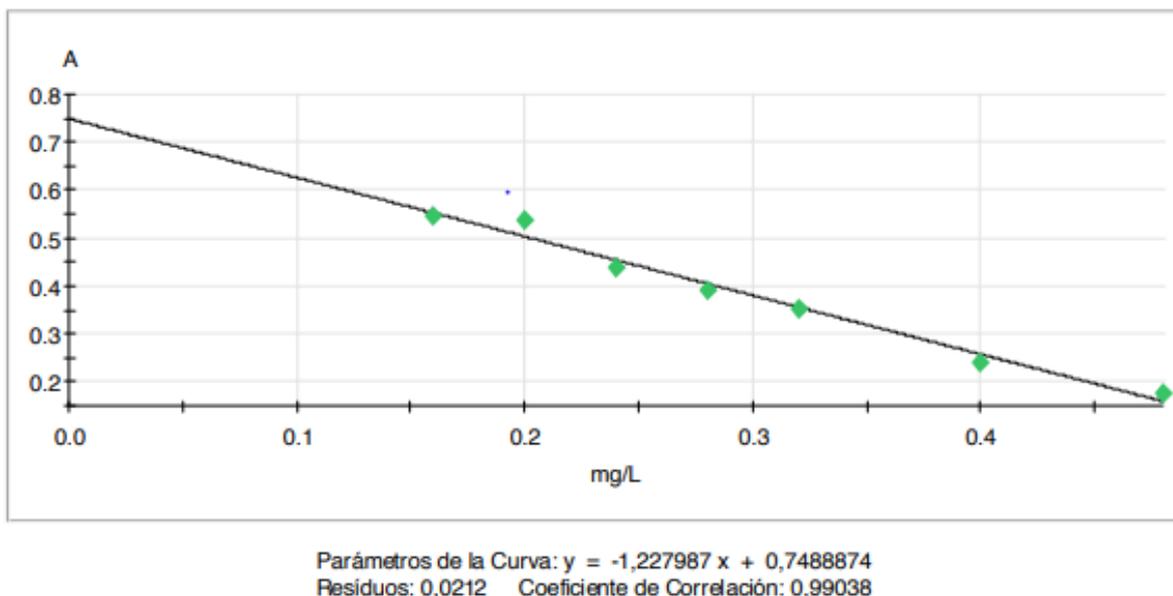
El resultado leído en el espectrofotómetro se emplea para el cálculo de capacidad antioxidante usando la ecuación 7 y la curva de calibración (Figura 13), definida por (Mejía et al., 2021):

$$\text{Resultado ((mg ET)/(g de muestra))} = \frac{x \cdot VM}{W} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- X: concentración equivalente a trolox en celda (mg/ mL).
- VM: Volumen total de extracto metanólico
- W: peso de la muestra (g)

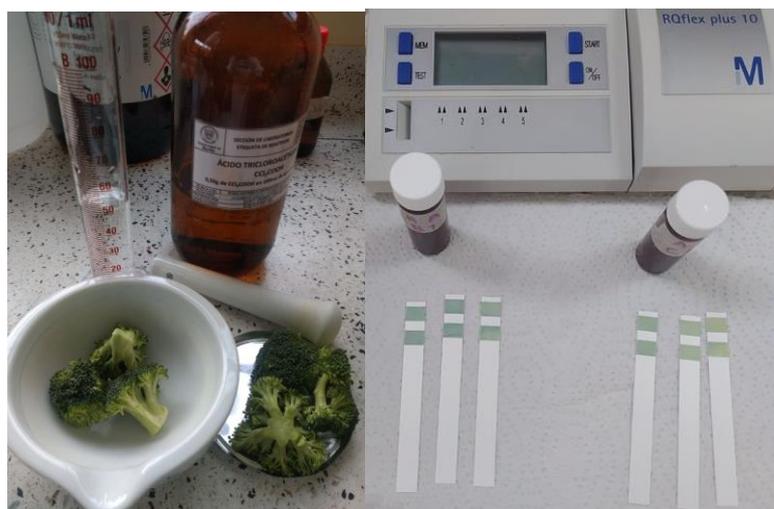
**Figura 13.** *Curva de calibración para concentración de ABTS*



### 7.3.5 Determinación de ácido ascórbico.

Se determinó por reflectometría, según la metodología descrita por Mejía et al., (2021), con algunas modificaciones (Figura 14). Para ello, se pesaron 50 gramos de muestra (floretes de brócoli o coliflor) y se añadieron 50 mL de solución de ácido tricloroacético 0.5 % para triturar en un mortero. Posteriormente se filtró y se obtuvo el extracto.

**Figura 14.** Medición de ácido ascórbico en floretes de brócoli y coliflor



Se tomó una alícuota de 1 mL del filtrado en un vial ámbar, se añadió 0,8 mL de la solución buffer pH 7 y 0,1 mL de la solución acuosa de 1,4-Dithiothreitol (15,4 mg/mL), se mezcló en agitador vortex y dejó reaccionar por 15 minutos.

Se agregó 0,1 mL de la solución acuosa de N-ethylmaleimide (50 mg/ mL) y se procedió a analizar esta muestra tratada después de 1 minuto utilizando test de ácido ascórbico Reflectoquant ® con un rango de medición de (25- 450 mg/L).

El resultado ([mg/L]) leído en el reflectometro se emplea para el cálculo del contenido de ácido ascórbico usando la ecuación 8, definida por (Mejía et al., 2021):

$$\text{Contenido de ácido ascórbico total (mg/g)} = \frac{X*V}{P} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- X: valor de medición
- V: volumen de solución (L)
- P: peso muestra (g)

#### 7.4 Diseño experimental

Se determinó el efecto del empaque y la temperatura sobre las características fisicoquímicas de brócoli y coliflor, aplicando un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2x2, donde el factor uno correspondió al tipo de empaque, con dos niveles, así: bolsa comercial y bolsa biodegradable; el factor dos fue la temperatura de almacenamiento, cuyos niveles fueron 4°C y 17°C, para un total de 4 tratamientos con 3 repeticiones (Tabla 3). Se realizó un seguimiento de las propiedades fisicoquímicas durante 15 días en las muestras de brócoli realizando mediciones cada tres días para un total de 5 mediciones, y para las muestras de coliflor se estableció un tiempo de seguimiento de 5 días con mediciones cada día para un total de 5 mediciones.

**Tabla 3.** *Matriz experimental. Diseño experimental Completamente al Azar (DCA)*

Ensayo	Empaque	Temperatura (°C)
1	Empaque plástico comercial	17
2	Empaque biodegradable	17
3	Empaque biodegradable	4
4	Empaque plástico comercial	4

**Análisis estadístico:** El análisis estadístico se llevó a cabo con ayuda del programa Statgraphics© centurión XVII. Con los datos obtenidos de cada día evaluado, se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación mediante la prueba de Tukey a un 5% de nivel de significancia.

### 7.5 Optimización de condiciones de almacenamiento en brócoli y coliflor

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el objetivo 1, se realizó una optimización para determinar según los factores analizados, cuáles fueron las mejores condiciones de almacenamiento de brócoli y coliflor teniendo en cuenta los objetivos establecidos en la Tabla 4.

**Tabla 4.** *Objetivos de optimización de las variables de respuesta*

<b>Variable de respuesta</b>	<b>Objetivo</b>
Pérdida de peso	Minimizar
Índice de pardeamiento	Minimizar
Índice de amarillamiento	Minimizar
Contenido de fenoles totales	Maximizar
Contenido de ácido ascórbico	Maximizar
Actividad antioxidante	Minimizar

Con las mejores condiciones encontradas se realizó una validación de los resultados obtenidos, midiendo nuevamente todos los parámetros descritos anteriormente en el objetivo 1.

**Análisis estadístico:** El análisis de los resultados se realizó con ayuda del programa Statgraphics© centurión XVII, mediante la realización del análisis de varianza y prueba de comparación utilizando la prueba LSD de Fisher y Tukey a un 5% de nivel de significancia.

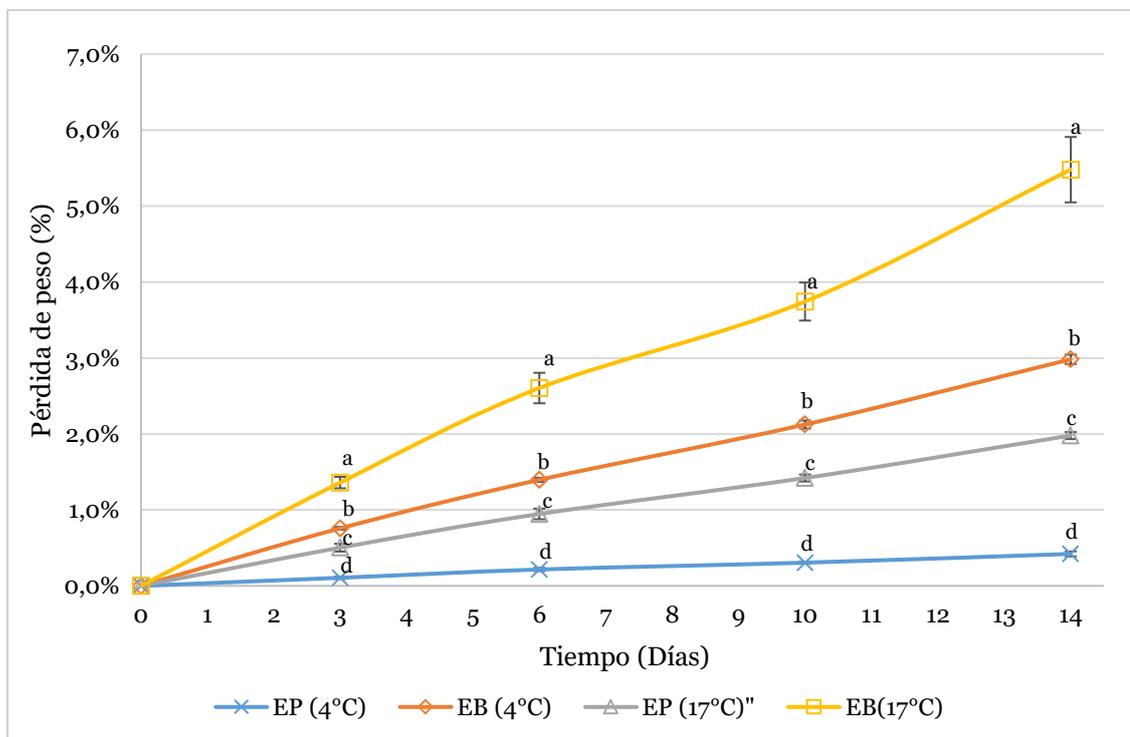
## 8 RESULTADOS

### 8.1 Resultados del seguimiento de propiedades fisicoquímicas en floretes de brócoli (*B. oleracea* var. *Itálica*)

#### 8.1.1 Pérdida de peso

En la Figura 15, se observa el comportamiento de la pérdida de peso de las muestras de brócoli cortado en floretes desde el día 0 y hasta el día 14 después de ser empacadas y almacenadas. Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza mostraron que existe un efecto significativo de la temperatura, el tipo de empaque empleado y su interacción, sobre la pérdida de peso presentada en cada uno de los días de medición durante el seguimiento (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 15.** Seguimiento al comportamiento del peso de floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). n: número de muestra. n=3. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

Cada una de las rectas indica un incremento progresivo en la pérdida de peso ocurrida con el transcurso de los días del seguimiento, siendo los floretes de brócoli en empaque biodegradable los que presentan mayor porcentaje de pérdida.

Los resultados muestran que el empaque plástico genera una reducción en el porcentaje de pérdida de peso, con un 0,42 % y 1,98% a 4 y 17°C respectivamente, mientras que los floretes de brócoli empacados en empaque biodegradable presentaron un porcentaje de pérdida de peso mayor incluso a una baja temperatura, con 2,98 % y 5,48% a 4 y 17°C respectivamente.

A partir del análisis de medias realizado para cada uno de los días mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%, se concluye que el efecto que tiene la temperatura a lo largo del seguimiento puede explicarse como un comportamiento directamente proporcional, por otra parte, en el factor empaque se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con una clara disminución de pérdida de peso en empaque plástico (Figura 15).

Aunque existe un mayor incremento de pérdida de peso en el empaque biodegradable en comparación con el empaque plástico, es importante destacar que, a una temperatura de 4°C, esta pérdida no supera los valores máximos permitidos (6%) para mantener la calidad del producto, según Paulsen et al. (2022). Además, el empaque biodegradable ayuda a evitar la rápida pudrición del brócoli, lo cual lo convierte en una alternativa de tratamiento más favorable

La temperatura es un factor importante en la pérdida de peso en las hortalizas debido a la pérdida de agua que tienen durante el tiempo de almacenamiento, adicionalmente los cortes realizados durante el proceso de transformación en floretes exponen los tejidos internos y se acelera su tasa respiratoria (Martínez, 2016).

El empaque plástico combinado con un almacenamiento a 4 °C presenta menor porcentaje de pérdida de peso, cuando se aumenta la temperatura este porcentaje también aumenta y ocurre de la misma forma en el empaque biodegradable (Figura 15)

Lo anterior indica que el mejor tratamiento para reducir la pérdida de peso en los floretes de brócoli, es cuando estos están empacados en empaque plástico y almacenados a 4 °C; dicho comportamiento puede deberse a la baja permeabilidad del material de empaque lo cual evita el contacto con la atmosfera exterior y la perdida de agua como consecuencia de una alta tasa respiratoria. Si bien, una menor pérdida de peso puede asociarse a una mejor calidad del producto, de acuerdo a lo observado a lo largo del seguimiento de los floretes de brócoli, la baja permeabilidad del empaque también ocasiona la acumulación de malos olores y acelera la degradación del tejido estructural de la hortaliza.

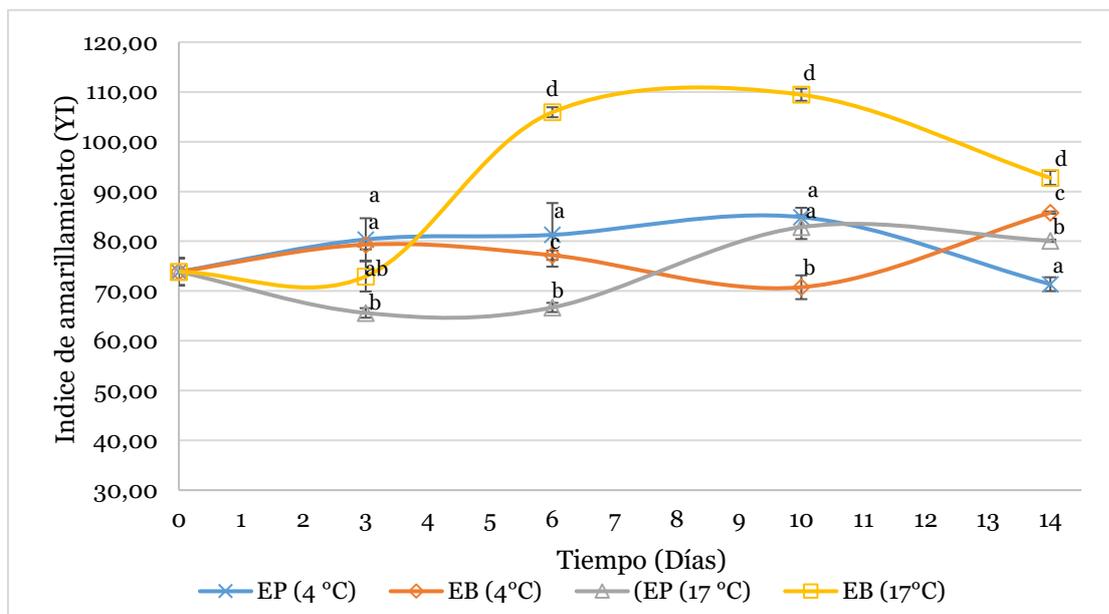
De acuerdo a los resultados reportados en la investigación de López et al., (2015), se encontró que el uso de biopelículas y empaques biodegradables en tomates tuvo efectos similares a los presentados en esta investigación, ya que se observó una reducción en el porcentaje de pérdida de peso y se estimó que su utilización permite la salida de gases producidos por la actividad metabólica de la hortaliza, lo cual contribuyó a mantener su calidad y frescura durante cierto tiempo.

### **8.1.2 Color superficial**

#### **Índice de amarillamiento (YI)**

En la Figura 16 se evidencia el comportamiento del índice de amarillamiento en floretes de brócoli durante el tiempo de seguimiento establecido (14 días). El análisis de varianza realizado indica que existe un efecto significativo del tipo de empaque empleado en el almacenamiento, sobre el índice de amarillamiento presentado en cada uno de los días de medición y de igual manera con la temperatura, exceptuando el día 3 (Anexo A2).

**Figura 16.** *Seguimiento al índice de amarillamiento en floretes de brócoli, almacenado en dos temperaturas y empaques diferentes*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* *Elaboración propia.*

El comportamiento en los diferentes tratamientos es lineal hasta el día 3, al cuarto día en el empaque biodegradable a 17°C aumenta considerablemente en comparación con los otros tratamientos, lo cual fue percibido como un amarillamiento en los floretes de brócoli. En los diferentes tratamientos se observa un incremento inicial en el índice de amarillamiento hasta el día 10 y una posterior disminución, esta variación puede ser explicada por el cambio en la muestra de medición en cada uno de los días.

Al realizar un análisis de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%, se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, siendo mejor el almacenamiento en empaque plástico a 4 °C, en el cual produjo un menor aumento en el índice de amarillamiento.

Para evaluar el cambio en la coloración de los floretes de brócoli hacia tonos amarillentos durante la totalidad del seguimiento, se realizó un análisis de los resultados mostrados en el día 14, donde se obtuvo que existe una incidencia altamente significativa

( $p < 0,001$ ) de los factores sobre el índice de amarillamiento presentado. Sin embargo, la interacción de estos dos factores no influye en la variable de respuesta, lo que quiere decir que el efecto del empaque no depende de la temperatura, ya que, sus efectos son individuales y no se ven afectados por la presencia del otro factor.

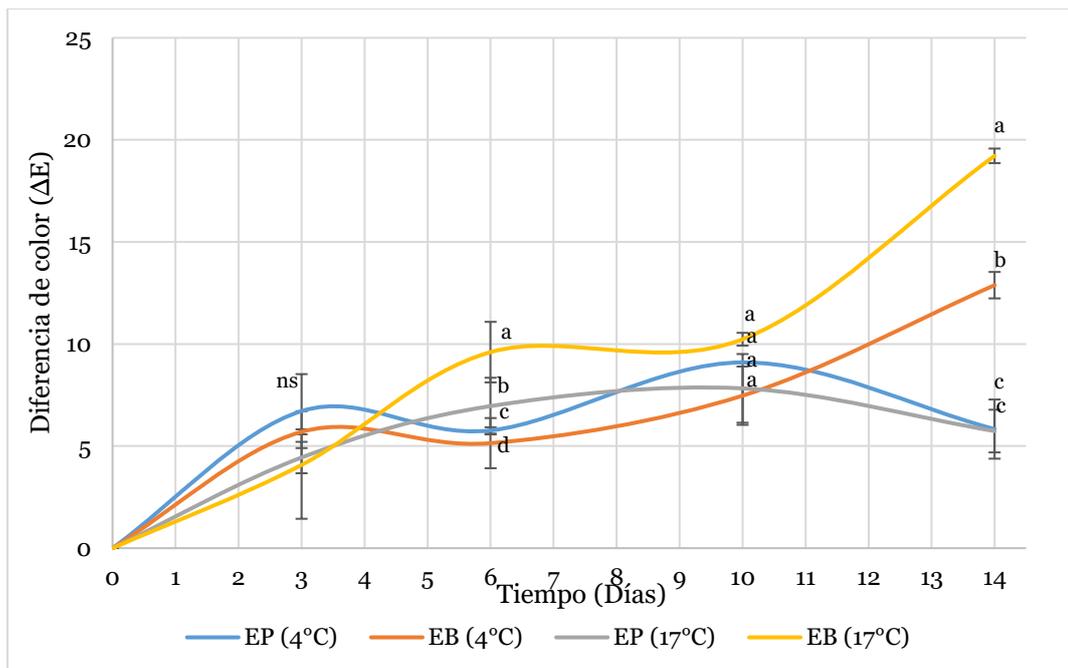
De acuerdo a Zhang et al. (2023), la reducción de la clorofila es la causa del amarillamiento del brócoli. Se ha determinado que la vida útil del brócoli a temperatura ambiente (20°C) es de alrededor de tres días, perdiendo gran parte de la clorofila durante este tiempo. Mientras que, a 4°C el brócoli cambia su color a amarillo el día 15 de su vida útil.

Por otra parte, el etileno se considera como uno de los principales compuestos que afectan los cambios en la calidad del brócoli, su papel como promotor de la senescencia y acelerador del metabolismo, afirma su participación en la degradación de la clorofila y el incremento de la actividad enzimática (Cai et al., 2019).

### **Diferencia de color ( $\Delta E$ )**

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se evidencia el comportamiento de la diferencia de color ( $\Delta E$ ) en los floretes de brócoli durante el seguimiento de 14 días. Se observa una tendencia similar entre los tratamientos desde el día 0 hasta el día 3, mientras que desde el día 3 hasta el final del seguimiento se muestra una mayor diferencia de color en los tratamientos con empaque biodegradable, en comparación con los floretes almacenados en empaque plástico.

**Figura 17.** *Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza realizado, los factores presentan un efecto significativo sobre la variación de la diferencia de color a partir del día 6 (Anexo A3). Al realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey para los resultados del día 6 y 14 se encontró que si existen diferencias significativas entre los tratamientos. Como se puede observar los floretes de brócoli almacenados en empaque plástico presentaron menor diferencia de color al final del seguimiento.

Lo anterior indica que si existe un cambio en la coloración de los floretes de brócoli y este es levemente percibido como una diferencia de color ( $\Delta E$ ), a partir del día 10 se observó una degradación general de los floretes de brócoli hasta no ser apto para consumo; por lo que, como refleja la gráfica, la diferencia de color se hizo mucho más notoria.

El tipo de empaque utilizado tiene un impacto significativo en la conservación del color del brócoli. Las bolsas biodegradables son más permeables por lo que los floretes tienen una mayor exposición al oxígeno lo que acelera el proceso de deterioro y altera el color

de forma más rápida. Por otra parte, las bolsas plásticas permiten ser una barrera más efectiva lo que resulta en cambios más sutiles de la diferencia de color.

De igual manera, al día 14 del seguimiento la interacción de los factores presenta una incidencia significativa (Anexo A3), es decir, el efecto del empaque depende de los niveles de la temperatura, por lo que, cuando se utiliza un empaque plástico a 4°C no existe gran diferencia de color, pero utilizando un empaque biodegradable el brócoli tiende a tener una diferencia de color mayor, lo mismo ocurre cuando se somete el brócoli a altas temperaturas,

En base a estos resultados, se puede concluir que, el empaque plástico a una temperatura de 4°C es la opción más favorable. Este tratamiento muestra una menor variación en el color, lo que indica una mejor preservación de la apariencia visual del brócoli.

El cambio de color del brócoli hacia tonalidades amarillas y la disminución de su pigmentación verde son fenómenos normales asociados con la maduración y el envejecimiento. El proceso puede ser influenciado por la presencia de etileno, especialmente en productos frescos cortados donde el estrés causado por las heridas aumenta la producción de esta hormona gaseosa, acelerando la pérdida del color verde (Lorente, 2015).

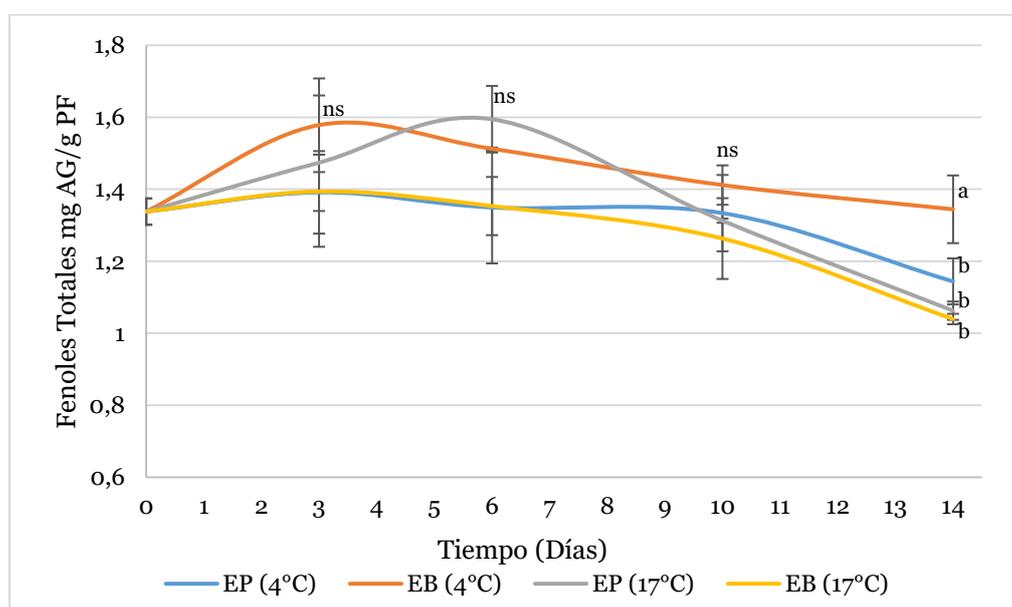
Según el estudio realizado por Rodov et al., (2022), el uso de empaques biodegradables presenta un mayor potencial como material de empaque para frutas y verduras en comparación con los empaques derivados del petróleo. Esto se debe a su alta permeabilidad al vapor de agua, lo cual reduce la condensación dentro del paquete.

Estos hallazgos respaldan la idea de que los empaques biodegradables son una opción más favorable en términos de conservación de la calidad de los productos frescos como el brócoli. Aunque pueden presentar algunos cambios de color, evitan la acumulación de olores indeseables, y en última instancia, contribuyen a una mejor preservación de la frescura y la calidad de los alimentos (Parra, 2015).

### 8.1.3 Contenido de fenoles totales

En la Figura 18 se presenta el comportamiento del contenido de fenoles totales durante el tiempo de almacenamiento. En los 3 primeros días este tiene un incremento en todos los tratamientos, llegando hasta el día 10 donde presenta un comportamiento estable y una posterior disminución en los cuatro días finales.

**Figura 18.** Seguimiento al contenido de fenoles totales en floretes de brócoli, almacenado a temperatura y empaque diferente



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

El contenido de fenoles totales de los floretes de brócoli al inicio del seguimiento es similar al reportado por Centeno et al. (2017), donde se encontraron valores para brócoli de 1,62 mg GAE /g PF.

De acuerdo al análisis de varianza realizado, los factores no presentan un efecto significativo sobre la variación del contenido de fenoles totales durante los 10 primeros días, sin embargo si se presenta en el día 14 (Anexo A4). Al realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey para los resultados del día 14, se encontró que no existe

diferencia significativa entre los tratamientos almacenados en empaque plástico y el tratamiento almacenado en empaque biodegradable a 17 °C. Mientras que, si se presenta dicha diferencia con el tratamiento en empaque biodegradable a 4 °C, que como se puede observar, presenta un contenido de fenoles totales mayor. (Figura 18).

Los cambios durante el almacenamiento en el contenido fenólico de vegetales frescos cortados, a menudo se caracterizan por que hay un crecimiento inicial causado por el estrés abiótico que promueve el aumento de la actividad de la fenilalanina-amonio-liasa (PAL) (Amodio et al., 2014).

Según la investigación realizada por Amodio et al. (2014), los cortes en vegetales propician una mayor degradación de los compuestos fenólicos ya que se encuentran más expuestos los tejidos y se aceleran las reacciones de oxidación.

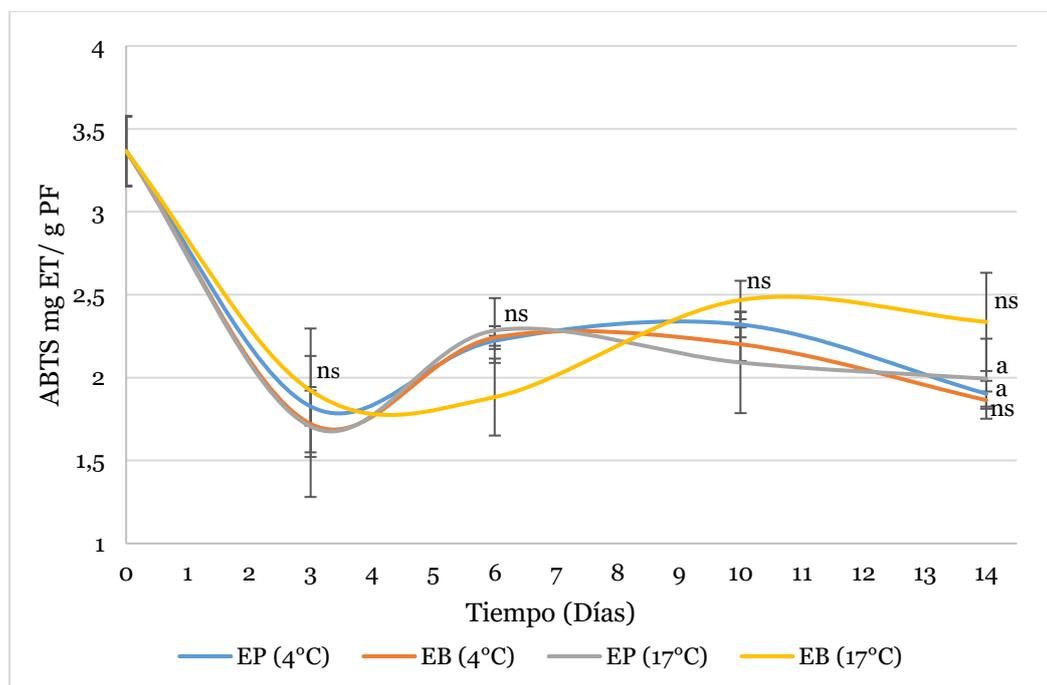
Según los resultados reportados Mahn & Paz, (2017) en su investigación en floretes de brócoli almacenados a diferentes temperaturas, se encontró un comportamiento similar al mostrado en esta investigación, ya que desde el día 0 al día 6 obtuvieron un aumento en el contenido de fenoles totales en los floretes almacenados a bajas temperaturas seguido de una ligera disminución.

De lo anterior, se puede concluir que un almacenamiento a 4°C es clave en la reducción de la pérdida del contenido de fenoles totales en los floretes de brócoli y de igual forma el empaque biodegradable logra mejores resultados en este aspecto, en comparación con el empaque plástico.

#### **8.1.4 Capacidad antioxidante por ABTS**

. En la Figura 19 se observa el comportamiento de la capacidad antioxidante en floretes de brócoli durante el tiempo de almacenamiento (14 días). Desde el día 0 al 3 se presenta una disminución de la capacidad antioxidante, al día 4 se estabiliza hasta el día 10 y al final del seguimiento para todos los tratamientos se presenta una disminución.

**Figura 19.** Seguimiento de la capacidad antioxidante por ABTS en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la capacidad antioxidante medida cada uno de los días, indica que los factores (empaque y temperatura) no tienen un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) sobre esta desde el inicio del seguimiento hasta el día 10, sin embargo, en el día 14 se presenta un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) por parte de la temperatura (Anexo A5).

La comparación de medias realizada mediante la prueba de Tukey, muestra que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados obtenidos en el día 14 en empaque plástico y a diferente temperatura (4 y 17 °C) (Figura 19).

Una temperatura de 4 °C y cualquier tipo de empaque reducen la capacidad antioxidante en comparación a utilizar una temperatura ambiente (17 °C) en el

almacenamiento, resaltando que la mayor capacidad antioxidante es medida en floretes de brócoli que han sido almacenados en empaque biodegradable a 17 °C.

Los cortes realizados durante el proceso de transformación de los floretes de brócoli y las condiciones de almacenamiento proporcionan un alto estrés y aceleran su actividad metabólica por esta razón los primeros días de almacenamiento se observa una pérdida significativa de capacidad antioxidante y a medida que transcurre el tiempo aumenta y se mantiene hasta el final del seguimiento (Lemoine et al., 2009). La disminución de la capacidad antioxidante está asociada a la acción de la polifenol-oxidasa (PPO), la cual al final del seguimiento reduce su actividad (Mahn & Paz, 2017).

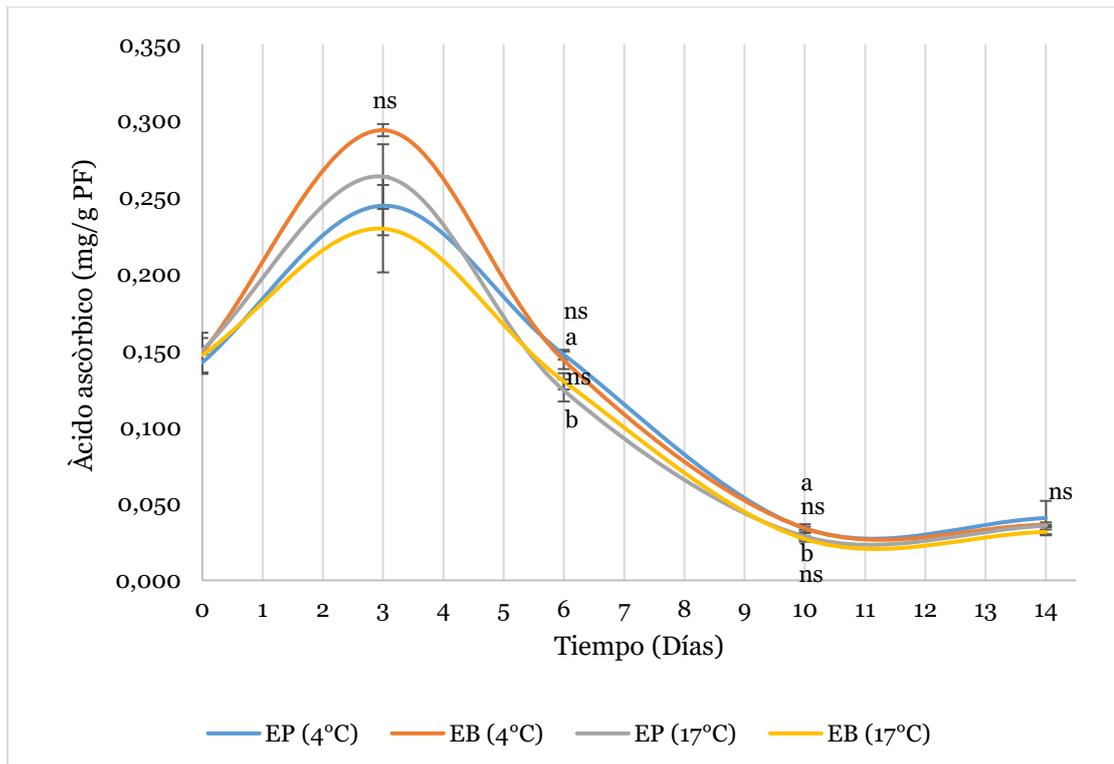
En el estudio de Xu et al. (2020), se encontraron valores similares de capacidad antioxidante en brócoli ((3,24 - 3,608) mg ET/g PF ) lo que respalda y valida los hallazgos de esta investigación.

Se concluye que el tipo de empaque utilizado en la investigación, ya sea plástico o biodegradable, no afecta significativamente la capacidad antioxidante; en comparación con la temperatura empleada, donde resulta más eficiente el almacenamiento a 4°C.

#### **8.1.5 Contenido de ácido ascórbico**

La Figura 20 muestra el comportamiento del contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento de los floretes de brócoli. Se observa un aumento desde el día 0 hasta el día 4, seguido de una disminución hasta el día 10 y una posterior estabilización hasta el día 14.

**Figura 20.** *Seguimiento del comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA), se presentaron diferencias significativas respecto a la temperatura en los días 6 y 10 de seguimiento ( $p < 0,05$ ), el tipo de empaque y su interacción no presentaron diferencias significativas en todos los días de seguimiento ( $p > 0,05$ ) (Anexo A6).

Al realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%, a los días 6 y 10 de seguimiento respecto a la temperatura, se evidencia que hay diferencias entre los tratamientos. A una temperatura de 4°C se presenta un mayor contenido de ácido ascórbico respecto a una temperatura de 17°C (Figura 20).

De acuerdo a los datos reportados por Aquino et al. (2011) y Araújo & Shirai (2016), se encontraron valores de contenido de ácido ascórbico en brócoli dentro de un rango de 78 mg/ 100 PF a 118,42 mg/100 PF, lo cual es similar a lo presentado en esta investigación.

La disminución en el contenido de ácido ascórbico se debe a la sensibilidad de este a factores como la luz, la temperatura y la exposición al oxígeno. (Techavuthiporn et al., 2008)

El ácido ascórbico es un componente importante del brócoli y su contenido puede sufrir pérdidas durante el almacenamiento, especialmente si no se mantienen condiciones adecuadas de temperatura. El uso de temperaturas de refrigeración puede contribuir a una mayor retención de ácido ascórbico en el brócoli a lo largo del tiempo de almacenamiento (Simón, 2008a).

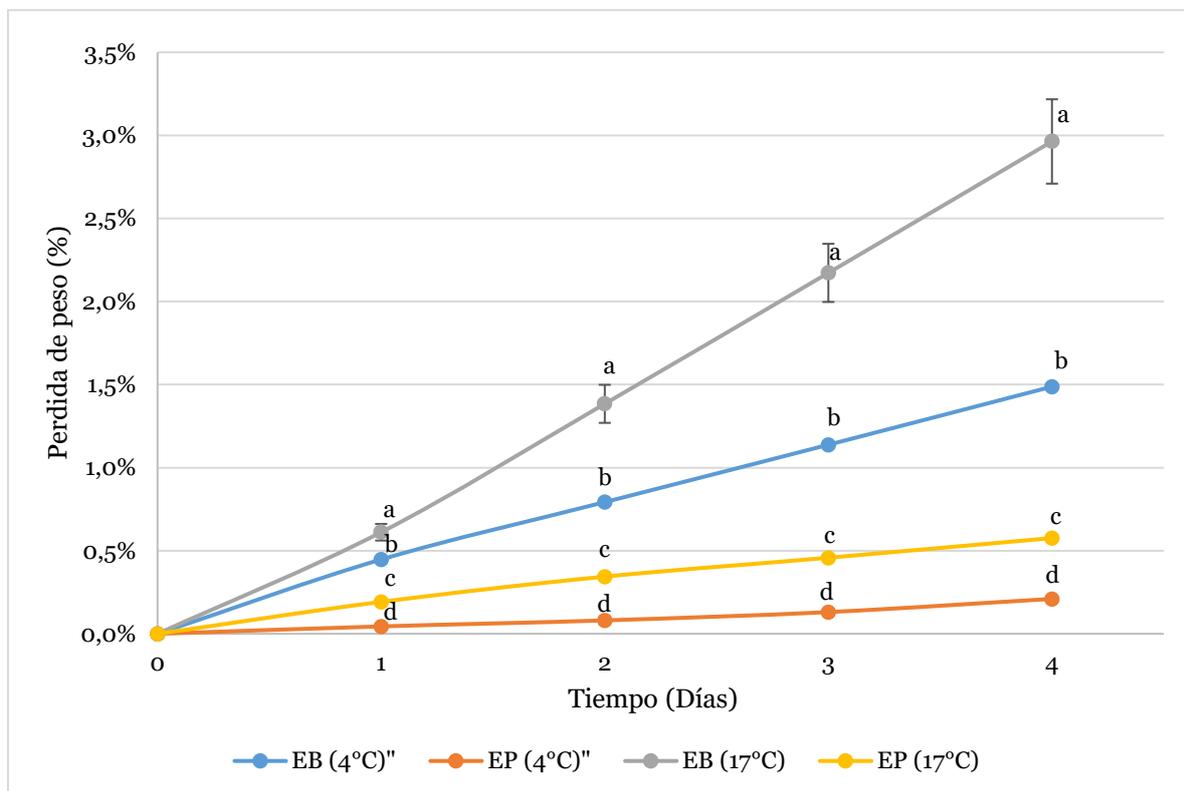
En conclusión, el contenido de ácido ascórbico se redujo en un mismo porcentaje independientemente del tipo de empaque utilizado para los floretes de brócoli durante la mayor parte del seguimiento, sin embargo, una temperatura de 4°C si resulta favorable en su conservación. Teniendo en cuenta que los valores medidos en el día 10 son muy bajos respecto al contenido inicial, se puede estimar que para este punto del seguimiento ya se perdió un gran porcentaje de este compuesto y por tanto este debería ser el tiempo límite de almacenamiento dada la sensibilidad de esta variable.

## **8.2 Resultados del seguimiento de propiedades fisicoquímicas de floretes de coliflor (*B. oleracea* var. *Botrytis*)**

### **8.2.1 Pérdida de peso**

En la Figura 21, se observa el comportamiento de la pérdida de peso de las muestras de coliflor desde el día 0 y hasta el día 4. La recta con pendiente positiva en cada uno de los casos indica el incremento progresivo en la pérdida de peso, ocurrida con el transcurso de los días del seguimiento. Además, se observa una clara diferencia entre tratamientos realizados en empaque biodegradable (2,22%) y en empaque plástico (0,39%), ya que este último redujo la pérdida de peso de los florestes de coliflor, en mayor proporción que el empaque biodegradable a las temperaturas de almacenamiento establecidas.

**Figura 21.** *Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) realizado para la pérdida de peso, existe un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) de los factores (empaque y temperatura), en cada uno de los días de seguimiento, mientras que su interacción solo lo presenta sobre esta variable de respuesta ( $p < 0,05$ ) en los días 2 y 3 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

El análisis de las medias demuestra que los diferentes niveles de los factores tienen un impacto significativo en la pérdida de peso de los floretes (Figura 21). Esto sugiere que tanto el tipo de empaque utilizado como la temperatura influyen en la cantidad de peso perdido durante el proceso de almacenamiento evaluado en cada día del seguimiento.

Lo anterior indica, que las condiciones óptimas de almacenamiento para preservar la frescura de los floretes de coliflor implican empacarlos en empaque plástico y mantenerlos a una temperatura de 4°C. A pesar de que la pérdida de peso es significativamente mayor en floretes empacados en material biodegradable en comparación con los envases plásticos, al concluir el seguimiento a 4°C, se constata que mantienen su calidad para el consumo. Esto valida la idoneidad del empaque biodegradable para el almacenamiento de los floretes.

Según los resultados de Logegaray et al., (2013), quienes evaluaron la pérdida de peso en coliflor empacada en varios materiales y almacenada a 4°C, encontraron resultados similares a los expuestos esta investigación. La coliflor en bolsas plásticas experimentó una menor pérdida de peso y conservó su calidad por más tiempo. Además, los envases biodegradables resultaron beneficiosos al permitir la salida de gases y evitar su acumulación al interior del empaque.

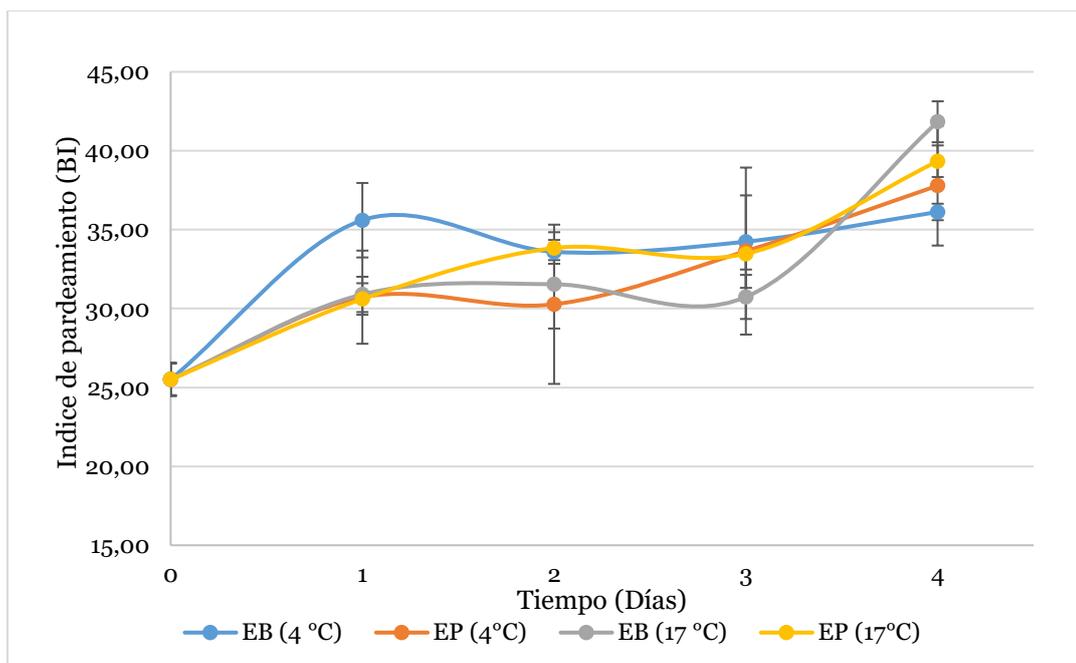
En un estudio realizado por Loma (2010), se registraron menores pérdidas de peso en coliflor almacenada en empaques de polietileno de alta densidad y una baja temperatura. Además, sugiere limitar el almacenamiento a un máximo de 6 días, ya que una prolongación de este periodo tiende a aumentar la pérdida de peso lo cual conlleva a la pérdida de la vida útil del producto.

### **8.2.2 Color superficial**

#### ***Índice de pardeamiento***

Como se observa en la Figura 22, en los floretes de coliflor almacenados a 17 °C el índice de pardeamiento incrementa con el transcurso del tiempo de seguimiento, de igual manera en floretes de coliflor almacenados a 4 °C, el índice de pardeamiento tiene un incremento inicial y posteriormente tiende a mantenerse constante e incrementar.

**Figura 22.** Seguimiento al comportamiento del índice de pardeamiento en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) para cada uno de los días de seguimiento, se obtuvo que el efecto de la temperatura y el empaque no afectan de forma estadísticamente significativa el índice de pardeamiento (Anexo B1). Lo cual indica que, si hay un cambio en el color de los floretes de coliflor, sin embargo, dichos cambios no se ven influenciados por el tipo de empaque que se utilice o por la temperatura de almacenamiento, sin embargo, los floretes de coliflor, almacenados a 17°C y empaque biodegradable, exhiben el mayor aumento en el índice de pardeamiento, lo que podría indicar una disminución en la calidad.

Los valores de coordenadas CIELAB obtenidos se encuentran en el rango para la coliflor, como lo indican Raseetha & Nadirah, (2018). En su estudio encontraron coordenadas que abarcan  $L^*$  (65,07 -87,43),  $b^*$  (25,75– 17,4) y su conclusión respalda la idoneidad de las bolsas plásticas para el envasado de crucíferas durante el almacenamiento.

Simón et al.,( 2008), reportaron que la temperatura no tiene un efecto significativo en la variación del índice de pardeamiento evaluado en coliflor mínimamente procesado.

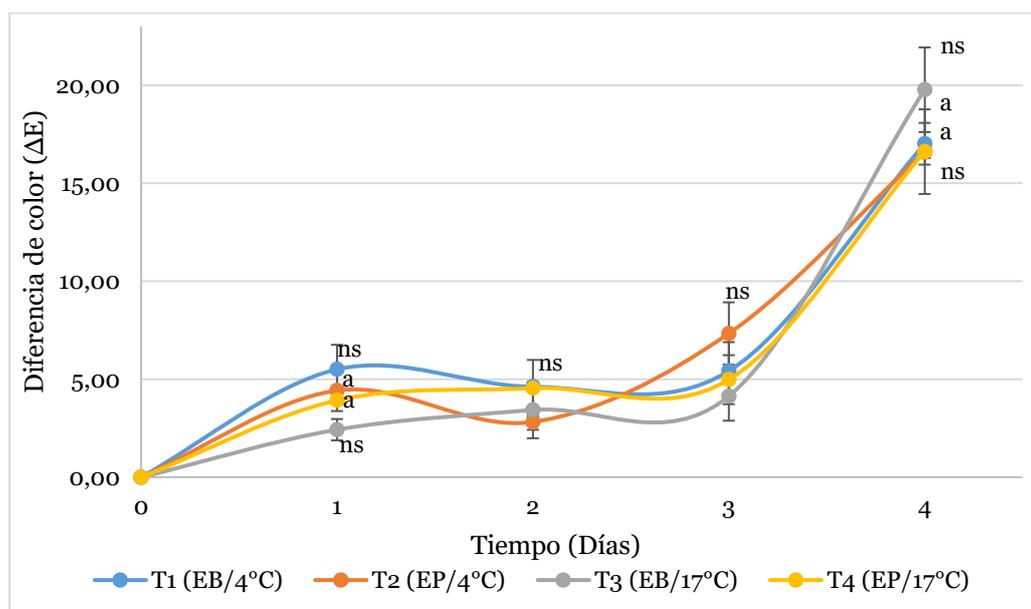
Evaluando este parámetro durante 20 días almacenado a una temperatura de 4°C empacadas con atmosferas modificadas, respaldando los resultados obtenidos en esta investigación.

Por otra parte, los resultados reportados por Mashabela et al., (2019) muestran que la diferencia de color no presenta cambios significativos durante el almacenamiento de la coliflor, además reportaron que las coordenadas de color  $b^*$  tiene una relación directamente con la vida útil de la coliflor cortada y esta se ve beneficiada por el almacenamiento a una temperatura de refrigeración y un empaque permeable.

### ***Diferencia de color ( $\Delta E$ )***

De la Figura 23, se puede inferir que, hay un aumento de la diferencia de color ( $\Delta E$ ) para los floretes de coliflor en todos los tratamientos. Este comportamiento indica un cambio en el color, el cual se hace más evidente a partir del día 3 de almacenamiento. Donde hay un incremento en la diferencia de color en todos los tratamientos.

**Figura 23.** Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

A partir del análisis de varianza (ANOVA) evaluado en cada uno de los días del seguimiento, se obtuvo que el empaque presenta un efecto estadísticamente significativo solo en el día 4 y la temperatura en el día 1. Lo que indica que el tipo de empaque utilizado no tiene un impacto significativo en la diferencia de color observada durante la mayoría del seguimiento y de igual forma la temperatura. (Anexo B3).

Según el análisis de medias mediante la prueba de Tukey realizada para los niveles de empaque en los días 1 y 4 del seguimiento, no hay diferencias estadísticamente significativas en los resultados obtenidos en cada tratamiento tomando como referencia un empaque plástico y una baja temperatura, en cada caso donde tuvo un efecto significativo la temperatura y el empaque respectivamente.

De acuerdo a la evaluación visual realizada, el pardeamiento en los floretes de coliflor es perceptible, sin embargo, no se encuentra en un nivel tan alto que genere una mala apariencia, por lo cual se considera que se encuentra dentro de los límites aceptables.

El color o la apariencia es el factor de calidad más importante para los consumidores. En la mayoría de los casos el color blanco de la coliflor representa su frescura y calidad deseable. El color afecta la aceptabilidad del producto. Cuanto menores sean los cambios en la diferencia de color total de la coliflor durante el almacenamiento, indica una mejor condición de conservación del producto (Mohi et al., 2019).

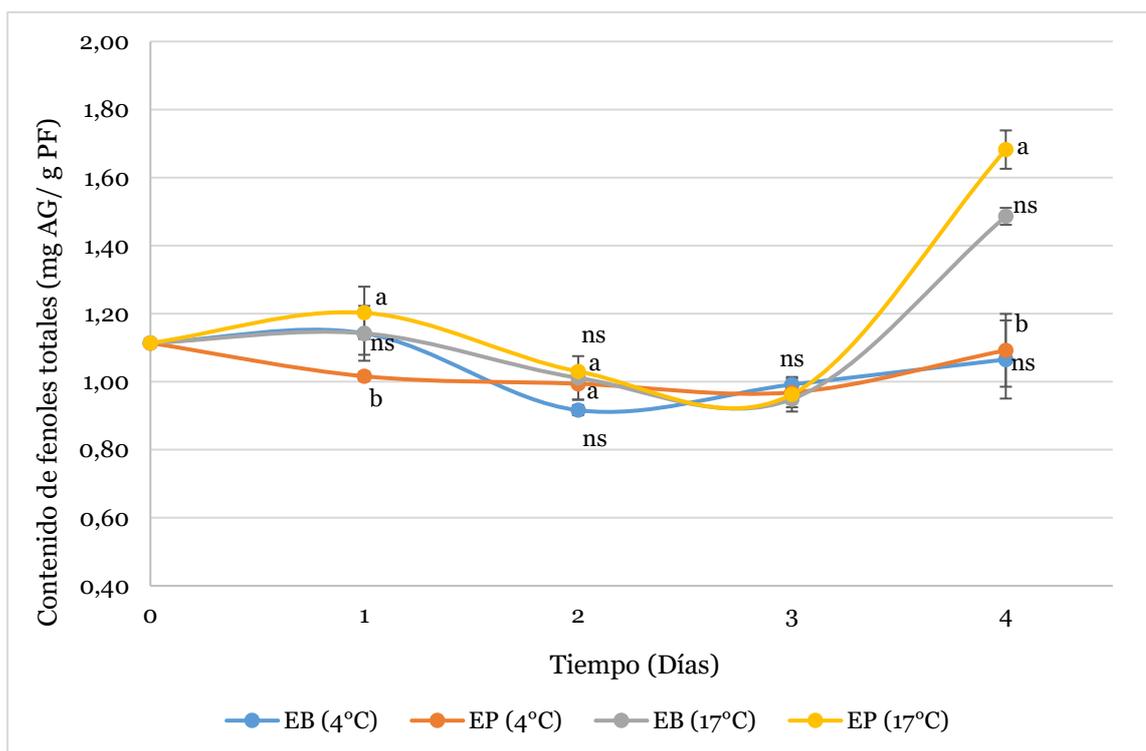
Por otra parte, los resultados reportados por Mashabela et al., (2019) muestran que la diferencia de color en coliflor mínimamente procesado presenta cambios significativos durante un periodo de almacenamiento cercano a los 8 días, además reportaron que las coordenadas de color  $b^*$  tiene una relación directamente con la vida útil de la coliflor cortada

y esta se ve beneficiada por el almacenamiento a una temperatura de refrigeración y un empaque permeable.

### 8.2.3 Contenido de fenoles totales

En la Figura 24 se muestra el comportamiento del contenido de fenoles totales en las muestras de coliflor a lo largo de un período de almacenamiento de 4 días. Se observa un patrón interesante en el que se produce un aumento en el contenido de fenoles totales en los floretes de coliflor almacenados a 17 °C en el cuarto día del seguimiento. Este incremento en el contenido de fenoles puede ser indicativo de un proceso de maduración o respuesta fisiológica de la coliflor durante el almacenamiento (Rosas, 2011).

**Figura 24.** Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales en coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) realizado para todos los días del seguimiento, la temperatura tiene un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre el contenido de fenoles totales durante los días 1, 2 y 4. Por otro lado, el tipo de empaque no presenta un efecto significativo durante la totalidad del seguimiento (Anexo B4).

Al realizar el análisis de medias mediante la prueba de Tukey se encuentra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos realizados a 4 y 17 °C en los días 1 y 4 del seguimiento, y se identifica el almacenamiento en un empaque plástico y a 4°C como el mejor tratamiento para la conservación del contenido de fenoles totales en los floretes de coliflor (Figura 24).

Se observa que el contenido de fenoles totales en floretes de coliflor almacenados a una temperatura a 17 °C es mayor en comparación con la temperatura a 4°C.

El incremento en el contenido de fenoles totales está asociado al incremento de la temperatura y la implementación de empaque plástico. De acuerdo a Zárate-martínez et al., (2016), el estrés causado provoca que la actividad metabólica en hortalizas aumente y por ende se presenta la producción de compuestos fenólicos como mecanismo de defensa.

Según los resultados obtenidos se presentaron picos de incremento y reducción del contenido de fenoles debido a la continuidad de su actividad metabólica y las reacciones de oxidación y degradación ocasionadas por las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, teniendo en cuenta lo anterior, resulta ser un mejor tratamiento el que permita obtener menores cambios bruscos en el contenido de fenoles ya que una reducción indicaría una degradación del producto, y un incremento también se asocia a malas condiciones de almacenamiento (Zea & Sánchez, 2012).

En el estudio llevado a cabo por Ali et al., (2018), se obtuvieron resultados similares a los reportados en la presente investigación en relación al contenido de fenoles totales. Los investigadores encontraron que la temperatura de almacenamiento es un factor que tiene influencia en el contenido de fenoles totales en los productos vegetales. Además,

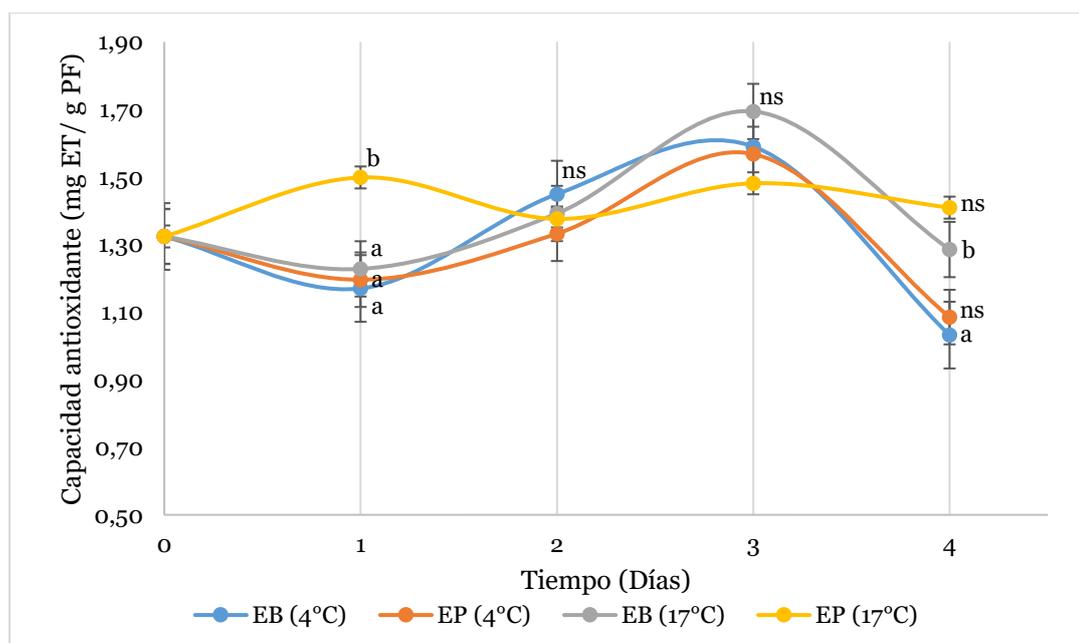
determinaron que condiciones de refrigeración a 4°C, mostraron una tendencia de estabilización en el contenido de fenoles a lo largo del tiempo.

Estos hallazgos son consistentes con los resultados obtenidos en la presente investigación, lo que respalda la importancia de la temperatura de almacenamiento en la preservación de los fenoles.

#### 8.2.4 Capacidad antioxidante por ABTS

En la Figura 25 se muestra el comportamiento de la capacidad antioxidante en las muestras de coliflor a lo largo de los 4 días de almacenamiento. Se observa que, en general, los valores para todos los tratamientos en el día cuatro del seguimiento se mantienen dentro del rango presentado en el día cero del seguimiento. Es decir, no se observa un cambio significativo en la capacidad antioxidante en ese período de tiempo. Sin embargo, es importante mencionar que se observa un ligero aumento en la capacidad antioxidante en el día tres del seguimiento, seguido de una ligera disminución nuevamente en el día cuatro.

**Figura 25.** Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) realizado para cada uno de los días de seguimiento existe una incidencia del tipo de empaque empleado en la capacidad antioxidante ( $p < 0.05$ ) en el día 1 y de la temperatura en el día 1 y 4 ( $p < 0,05$ ) (Anexo B5).

Al realizar el análisis de medias mediante la prueba de Tukey se encuentra que existen diferencias estadísticamente significativas para el día 1 entre el tratamiento en EP a 17°C y los demás tratamientos realizados; ya que presenta un gran incremento en este periodo inicial. En el día 4 existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos realizados en empaque biodegradable a 17 y 4 °C, siendo este último el que muestra un mejor comportamiento con una ligera reducción de la capacidad antioxidante. (Figura 25).

Al final del seguimiento se obtiene una menor capacidad antioxidante en los floretes de coliflor almacenados a 4°C, a esta temperatura se da una ligera degradación de la capacidad antioxidante de la coliflor fresca, sin embargo, no ocurre el incremento de dicha capacidad antioxidante como consecuencia del estrés generado por una elevada temperatura o un empaque poco permeable, lo cual, aunque el resultado parezca beneficioso, la razón por la que ocurre ese comportamiento no lo es.

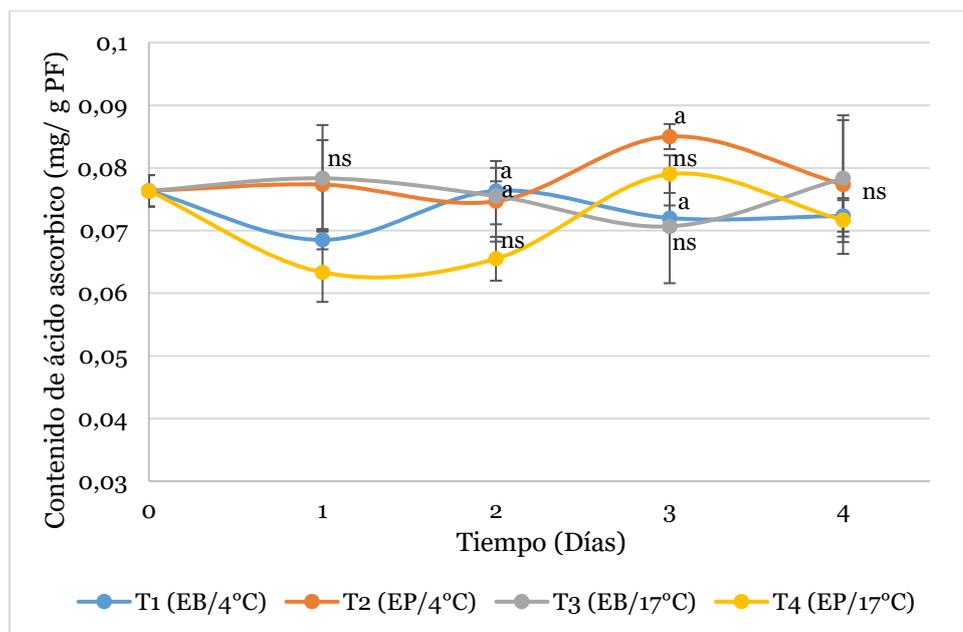
Según los resultados presentados por Raseetha & Nadirah, (2018), en su investigación en crucíferas los valores obtenidos en capacidad antioxidante fueron similares a los encontrados en esta investigación. Además, cabe resaltar que en su investigación el empaque si presento diferencias estadísticamente significativas en temperaturas de 8-10°C. Siendo este resultado diferente al de esta investigación ya que, el factor más importante sobre la capacidad antioxidante es la temperatura y no el tipo de empaque.

En el estudio realizado por Güleç et al., (2013), en varios vegetales y frutas, se evaluó la capacidad antioxidante utilizando el método ABTS. En el caso específico de la coliflor, se obtuvieron valores similares de capacidad antioxidante en un rango de  $700 \mu\text{mol} \pm 100 \mu\text{mol}/100 \text{ g}$ . Aunque estos valores no son los más altos en comparación con otros vegetales, es importante destacar que el comportamiento y los valores iniciales de la coliflor se asemejan a los encontrados en la investigación mencionada. La capacidad antioxidante es un indicador importante de la presencia de compuestos antioxidantes en los alimentos, que pueden tener efectos beneficiosos para la salud al proteger al organismo contra el estrés oxidativo.

### **8.2.5 Contenido de ácido ascórbico**

En la Figura 26 se muestra el comportamiento del contenido de ácido ascórbico en las muestras a lo largo del tiempo de almacenamiento. Se observa una alta variabilidad en los resultados, lo cual puede estar relacionado con la alta sensibilidad del compuesto de estudio. A pesar de esta variabilidad, se puede apreciar que, de forma general, el contenido de ácido ascórbico se mantiene dentro de un rango similar a lo largo del tiempo de almacenamiento. Esto indica que el contenido de ácido ascórbico en las muestras no experimenta cambios drásticos durante ese período.

**Figura 26.** *Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en coliflor, bajo las condiciones de estudio.*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . ns: no significativo. (EP) Empaque plástico, (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) no existe un efecto significativo de la temperatura en los resultados obtenidos para el contenido de ácido ascórbico en los floretes de coliflor. Por otro lado el tipo de empaque si presenta una incidencia significativa en los días 2 y 3 (Anexo B6).

De acuerdo al análisis de medias, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los días 2 y 3, evaluando el empaque plástico y biodegradable a una temperatura de 4°C. De acuerdo a lo observado los cambios en el contenido de ácido ascórbico se dan de forma similar en todos los tratamientos sin importar el empaque o la temperatura, sin embargo para el final del seguimiento se presenta un contenido mayor en los floretes almacenados a 4°C en empaque plástico (Figura 26).

Los resultados de la investigación de Simón et al., (2008), discrepan los hallazgos del presente estudio en cuanto al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en el brócoli durante el almacenamiento. El estudio sugiere que el ácido ascórbico puede retenerse de

manera estable a temperaturas de refrigeración y que el tipo de empaque empleado no afecta significativamente este parámetro.

Por otra parte, los resultados obtenidos son respaldados por los encontrados por Gebczyński & Kmiecik, (2007), ya que, la coliflor en cuanto al contenido de ácido ascórbico está dentro de un rango de  $62,2 \pm 1,6$  -  $98,9 \pm 1,8$  mg /100 PF, lo que determina que los valores encontrados en la investigación son congruentes a los reportados en literatura tanto para coliflor fresco y su comportamiento en el tiempo de almacenamiento.

### **8.3 Optimización de las condiciones de almacenamiento**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el desarrollo del objetivo específico 1, y los criterios de optimización para mejorar la estabilidad de las características fisicoquímicas evaluadas establecidos en la Tabla 4, se escogió el mejor tratamiento en cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados en las dos hortalizas, brócoli (y coliflor).

#### **8.3.1 Resultados de la optimización en brócoli y coliflor**

El almacenamiento a temperatura de refrigeración (4°C) presento mejores resultados en cuanto a la estabilidad de las propiedades fisicoquímicas evaluadas, manteniendo la calidad y frescura del brócoli y coliflor con una notable reducción en el porcentaje de pérdida de peso, el cambio de color y manteniendo en cantidades aceptables el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y contenido de ácido ascórbico.

De igual manera, el empaque plástico permite reducir el porcentaje de pérdida de peso, el cambio en la coloración y en el contenido de ácido ascórbico mientras que el almacenamiento en empaque biodegradable ayuda a mantener en mejores condiciones el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante.

A lo largo del desarrollo de esta investigación se percibieron efectos no deseados en los floretes de brócoli y coliflor almacenados en empaque biodegradable, como la acumulación de malos olores y la pérdida de la estructura del material vegetal; y junto al

impacto medioambiental negativo que representa el uso del empaque plástico, se consideran factores importantes para lograr una conclusión más completa.

En cuanto al tiempo de seguimiento establecido en brócoli (15 días), se concluyó que este era muy extenso debido a la naturaleza perecedera de la hortaliza y las operaciones del producto mínimamente procesado; por lo cual, se decidió reducirlo a 10 días ya que este tiempo se determinó como óptimo para preservar una calidad apta para consumo.

Al evaluar las propiedades fisicoquímicas de la coliflor durante los cuatro días de seguimiento se observaron buenos resultados manteniendo la calidad y frescura de la hortaliza, por lo que para el seguimiento de validación se propuso aumentar un día más de seguimiento, para un total de 5 días, realizando las mediciones cada día.

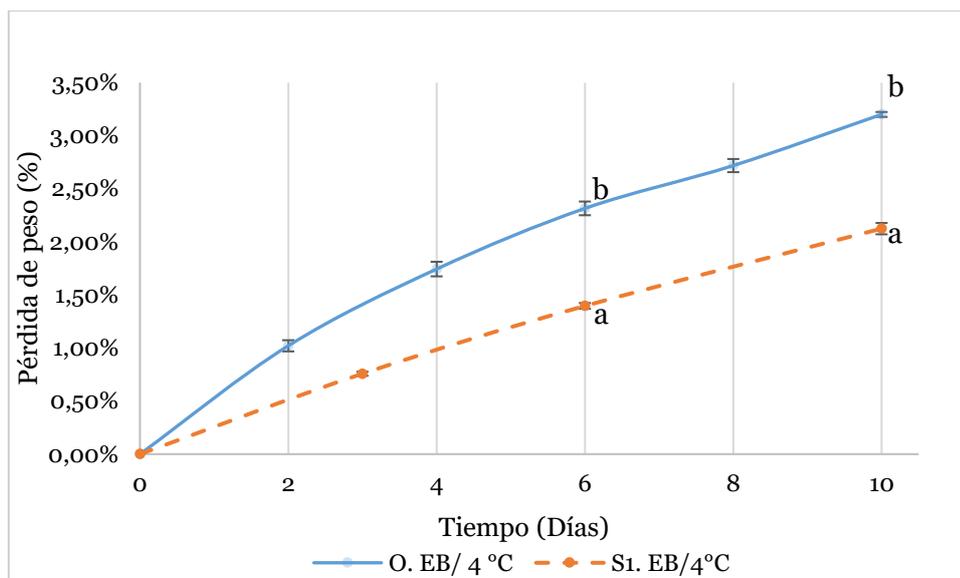
Por todo lo anterior, se seleccionó un empaque biodegradable y un almacenamiento a 4°C como las mejores condiciones, y con base a esta selección se realizó una validación mediante un nuevo seguimiento a floretes de brócoli y coliflor, con las mismas características fisicoquímicas a evaluar.

### **8.3.2 Validación de condiciones de almacenamiento en brócoli**

#### ***Pérdida de peso***

Como se observa en la Figura 27, la pérdida de peso presenta un incremento con tendencia lineal con el transcurso de los días en los dos seguimientos, sin embargo, los floretes estudiados en el seguimiento de validación presentaron una mayor pérdida de peso de forma general durante todos los días de seguimiento y para el día final el porcentaje de pérdida de peso alcanzó el 2,12 % y 3,2 % en cada uno de los casos. Este comportamiento puede ser explicado por la variación en la materia prima, y el contenido de agua de la misma, es posible que las cabezas de brócoli empleadas para el seguimiento de validación presentaran un mayor contenido de agua y por lo tanto tuvieran una mayor pérdida de peso.

**Figura 27.** Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

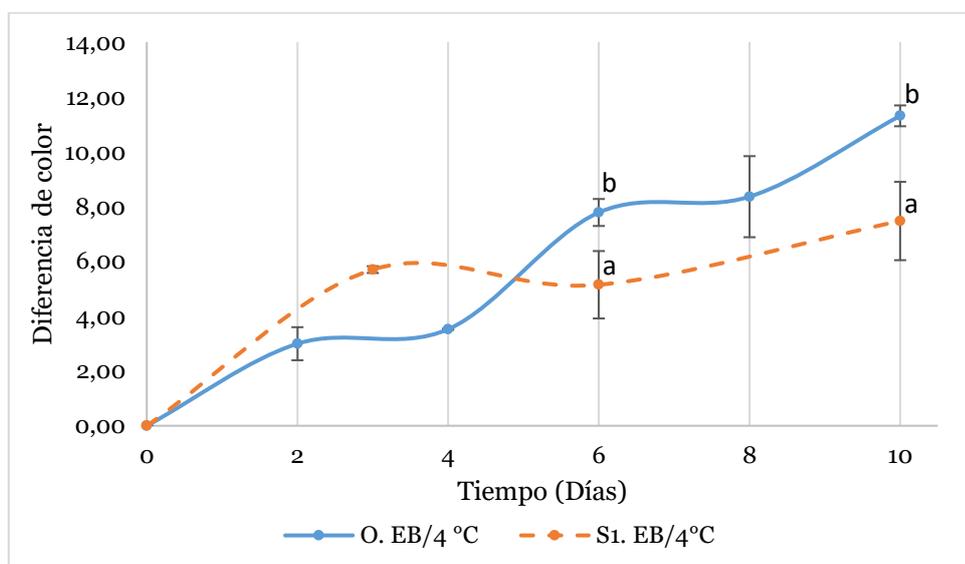
De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias realizada para la pérdida de peso (%) mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo D1), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de la pérdida de peso para los dos seguimientos, lo cual indica que hubo una variación alta en los resultados posiblemente causada por los factores mencionados previamente. Si bien, se esperaba similitud en los datos recolectados debido a la implementación de las mismas condiciones de estudio, existen factores externos que no se controlaron en esta investigación y pudieron influir de forma significativa. Aunque la diferencia para el día final del seguimiento alcanza el 1%, si se hace una interpretación general de estos resultados, este rango de pérdida de peso no es alto de acuerdo a los límites establecidos por Paulsen et al., (2022), por lo que el tiempo de seguimiento y las condiciones de almacenamiento establecidas en esta investigación causan una baja pérdida de peso en los floretes de brócoli y por lo tanto no se ve afectada la calidad del producto.

### ***Color superficial***

### **Diferencia de color ( $\Delta E$ )**

Como se observa en la Figura 28, la diferencia de color incrementa con el transcurso de los días de seguimiento, esto quiere decir que, en ambos casos los floretes de brócoli sufren cambios en su coloración lo cuales llegan a ser notorios y percibidos.

**Figura 28.** Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

Al realizar al análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias para la diferencia de color utilizando el método de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo C2), se obtuvo que existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados obtenidos durante el primer seguimiento y el seguimiento de validación en los días 6 y 10.

En el primer seguimiento realizado bajo las condiciones de temperatura y empaque establecidas, se da el mayor aumento en la diferencia de color durante los primeros 3 días alcanzando un valor de 5.69 y posteriormente hasta llegar a los 10 días del seguimiento se da

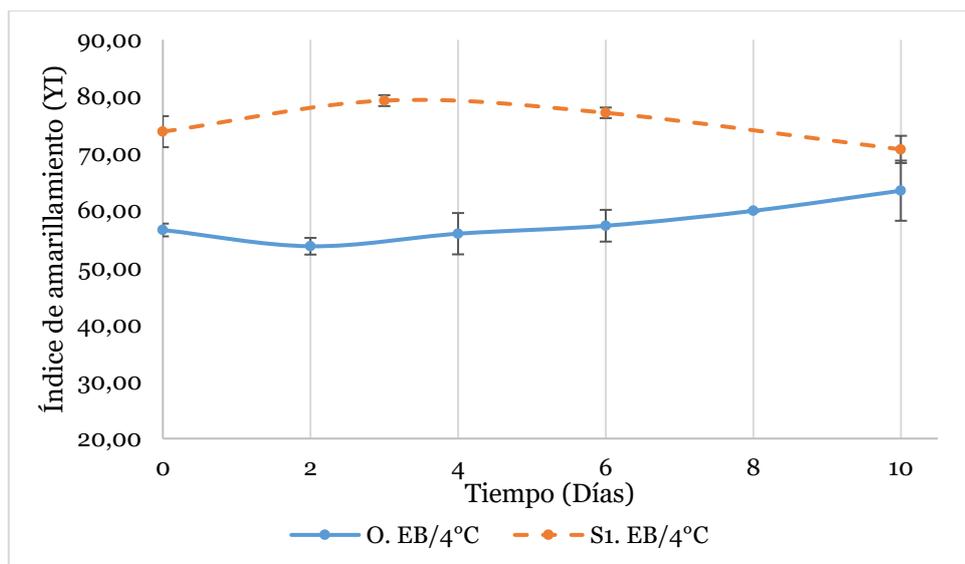
un aumento menor hasta un valor de 7.47. En el seguimiento de validación la diferencia en el color a los 4 días de seguimiento fue menor (3.52), sin embargo, a partir de este punto los floretes de brócoli sufrieron un mayor cambio en su coloración y al finalizar el seguimiento la diferencia en el color fue mayor respecto al primer seguimiento realizado alcanzando un valor de 11.31.

Lo anterior se traduce a un cambio en la coloración, el cual va en aumento con el pasar del tiempo de almacenamiento, dicho cambio puede ser percibido mediante la aparición de manchas negras o un amarillamiento general de los floretes. De acuerdo a lo observado a lo largo de los seguimientos este cambio es leve y puede considerarse como aceptable en cuanto a los requerimientos de calidad visual exigidos por un consumidor.

### ***Índice de amarillamiento (YI)***

De la Figura 29, se puede inferir que, existe muy poca variación del color de los floretes de brócoli hacia tonos amarillentos en los seguimientos realizados. Este comportamiento puede estar asociado a los beneficios del almacenamiento a una baja temperatura para este tipo de hortalizas. De igual forma se observa, que se presentan diferencias en el índice de amarillamiento de los floretes de brócoli al iniciar cada seguimiento, lo cual puede estar asociado a la variación de la materia prima. En este caso, los floretes de brócoli empleados en el seguimiento de validación resultaron con tonos menos amarillentos, es decir, un mejor color.

**Figura 29.** *Seguimiento al comportamiento del índice de amarillamiento en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* (EB) Empaque biodegradable. (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento.

*Fuente:* Elaboración propia.

En el primer seguimiento realizado el valor de índice de amarillamiento (YI) en los floretes de brócoli fresco se encontró alrededor de 73.88 y tuvo un aumento hacia valores de 85.74, es decir un 16.05 % al finalizar el seguimiento (14 días), sin embargo, las mediciones realizadas el día 10 del seguimiento presentaron un valor más bajo (70.76) con una reducción del 4.22 %. Este comportamiento indica que se mantuvo una misma coloración en los floretes de brócoli hasta el día 10, el cual fue seleccionado en la optimización.

En el seguimiento de validación realizado a 10 días de seguimiento los valores de índice de amarillamiento (YI) pasaron de 53.76 a 63.52 lo cual indica un aumento del 18,15 %, es decir hubo un cambio del color verde en los floretes de brócoli hacia tonos más amarillentos.

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de los porcentajes de variación en el índice de amarillamiento (Anexo C3), el porcentaje al finalizar el primer seguimiento y el seguimiento de validación son similares, sin embargo, el tiempo de seguimiento establecido difiere en 4 días. A los 10 días de seguimiento el porcentaje de variación en el índice de amarillamiento es diferente entre los dos seguimientos, debido a la

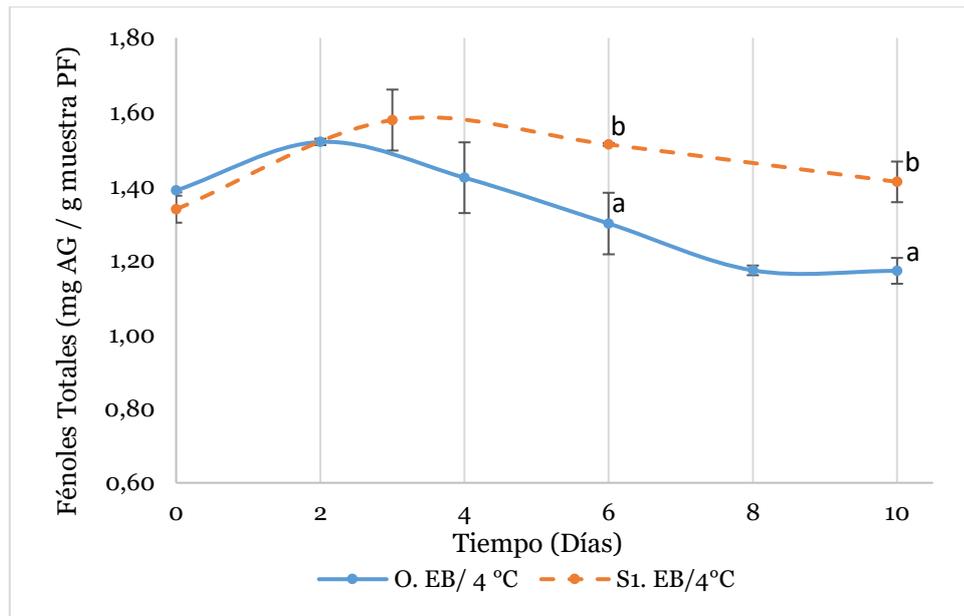
disminución presentada en el primer seguimiento la cual pudo ser causada por factores externos los cuales no se controlaron en el desarrollo de esta investigación.

Entre las posibles causas puede encontrarse la coloración inicial de los floretes empleados en los dos seguimientos, realizando un análisis conjunto de los resultados obtenidos en el Índice de amarillamiento y la diferencia de color ( $\Delta E$ ), los floretes de brócoli, utilizados en el primer seguimiento presentaban una coloración más amarillenta al inicio del seguimiento y tuvieron un menor cambio durante el transcurso del mismo, por otro lado, los floretes utilizados en el seguimiento de validación mostraron coloración más blanca el momento de iniciar el seguimiento y su cambio hacia tonos más amarillentos fue mayor teniendo en cuenta su condición de partida, pero no superior al límite máximo establecido durante el primer seguimiento.

### ***Contenido de fenoles totales***

En la Figura 30, se observa que el contenido de fenoles obtenido en los floretes de brócoli empleados para los dos seguimientos se encuentra dentro de un mismo rango. De igual manera, su comportamiento en el transcurso de los días de seguimiento presenta tendencias similares, con un ligero incremento al día 2 del seguimiento y su posterior disminución.

**Figura 30.** *Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias por medio de la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo C4), se obtuvo para la variable de contenido de fenoles totales, que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en los dos seguimientos realizados al día 0, mientras que para los días 6 y 10 si se presentó una diferencia estadísticamente significativa.

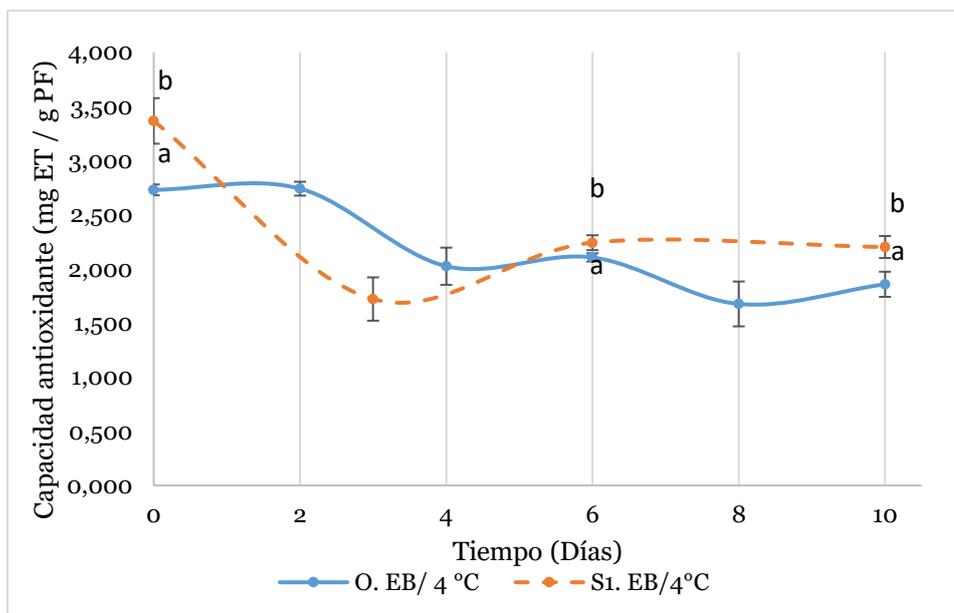
Cabe resaltar que los floretes empleados para el seguimiento de validación presentaron una mayor pérdida de fenoles totales al final del seguimiento con una reducción del 15.61 % en comparación con el primer seguimiento en el cual no hubo una reducción con respecto al valor inicial.

### **Capacidad antioxidante por ABTS**

De la Figura 31, se puede mencionar que la capacidad antioxidante presentó valores similares en los floretes evaluados al momento inicial para los dos seguimientos, siendo

ligeramente inferior la capacidad antioxidante en los floretes empleados para el seguimiento de validación.

**Figura 31.** Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* *Elaboración propia.*

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias realizado para la capacidad antioxidante utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo C5), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos para los dos seguimientos durante los días 0, 6 y 10.

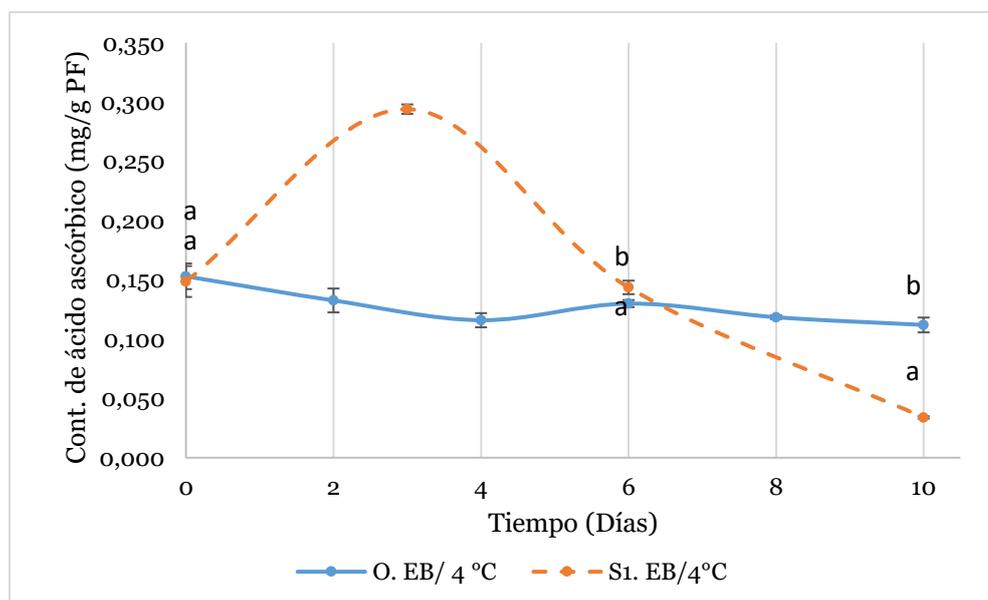
El comportamiento de esta variable de respuesta indica una clara disminución a lo largo de los días de seguimiento, con un total del 34.58% en el primer seguimiento y un 31.95% en el seguimiento de validación. Si bien la capacidad antioxidante al finalizar el seguimiento de validación es inferior a la obtenida en el primer seguimiento, el porcentaje de

disminución fue menor en ese caso y la reducción puede ser explicada por que el valor inicial fue menor.

### **Contenido de ácido ascórbico**

Como se observa en la Figura 32, el contenido de ácido ascórbico inicial ha sido muy similar en los floretes evaluados en los dos seguimientos, sin embargo, su comportamiento presenta grandes variaciones. Los resultados obtenidos en el primer seguimiento indican un aumento brusco al día 3, seguido de una disminución lineal hasta alcanzar un 23% del contenido inicial para el día 10 de almacenamiento, en el caso del seguimiento de validación la disminución se da de forma controlada y en una menor proporción hasta alcanzar un 73 % del valor inicial.

**Figura 32.** Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de brócoli, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente:* Elaboración propia.

Esta variación en los datos afecta su confiabilidad, y se recomienda elegir una metodología diferente para la determinación del contenido de ácido ascórbico y una mayor rigidez del seguimiento ya que el compuesto de estudio es muy sensible.

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias realizado para el contenido e ácido ascórbico utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo C6), no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los resultados obtenidos en los dos seguimientos en el día 0, pero si en los días 6 y 10.

### **8.3.3 Validación de condiciones de almacenamiento en Coliflor**

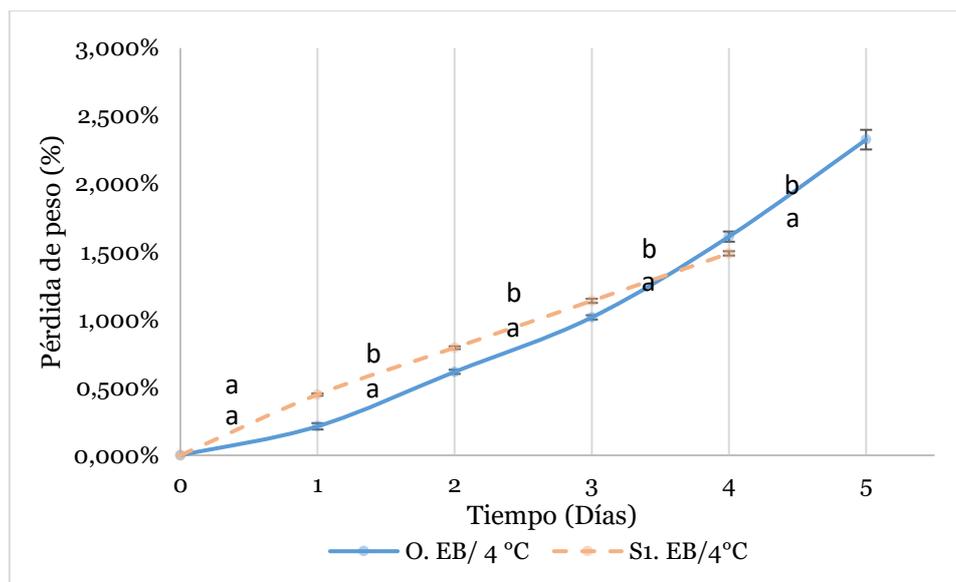
Se seleccionó empaque biodegradable y un almacenamiento a 4°C como las mejores condiciones y con base a esta selección se realizó una validación mediante un nuevo seguimiento a floretes de coliflor, con las mismas características fisicoquímicas a evaluar.

Se presenta el comportamiento de cada una de las características evaluadas en los floretes de coliflor durante un tiempo de 4 y 5 días para el primer seguimiento y la validación posterior a la optimización de los resultados respectivamente.

#### ***Pérdida de peso***

De la Figura 33, se puede mencionar que a medida incrementa el tiempo de almacenamiento se observa un comportamiento de la pérdida de peso que tiende a ser lineal en los dos seguimientos realizados. En los tres primeros días los floretes de coliflor estudiados durante la optimización presentaron una tasa de pérdida de peso ligeramente inferior a la obtenida en el seguimiento previo, y a partir del día cuatro se presenta el comportamiento contrario, es decir, una mayor pérdida de peso en los floretes estudiados en el seguimiento de optimización.

**Figura 33.** *Seguimiento al comportamiento de la pérdida de peso de floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio*



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

En los dos seguimientos realizados se obtuvieron resultados similares, sin embargo, de acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de comparación de medias realizada mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo D1), para la pérdida de peso (%), se presentó que las medias son estadísticamente diferentes en los dos seguimientos realizados. Las pequeñas variaciones observadas se pueden asociar a otros factores como el estado de las cabezas de coliflor al momento de iniciar los seguimientos, errores del equipo de medición, la variación de temperatura al interior del refrigerador empleado para el almacenamiento y entre otros factores que resultan difíciles de controlar en esta investigación.

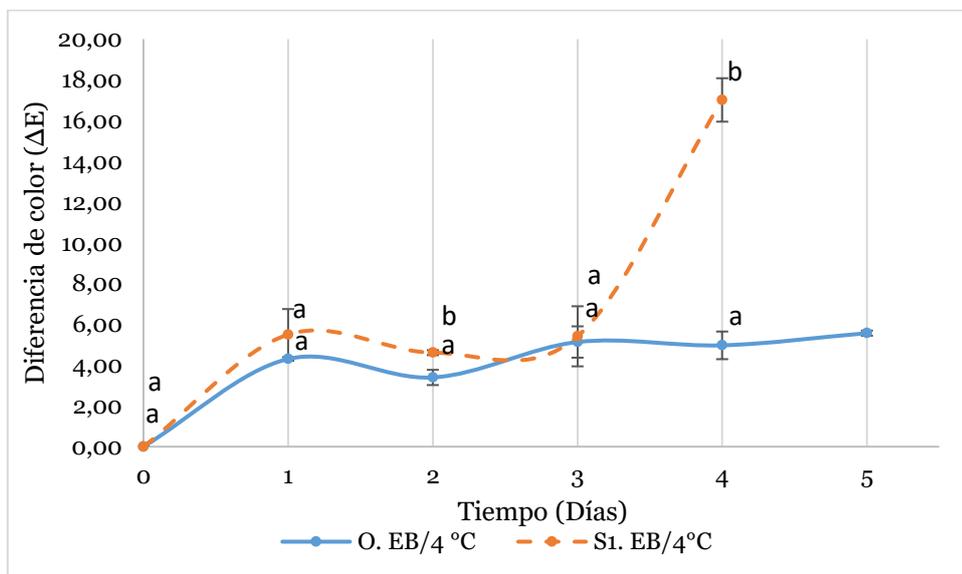
### ***Color superficial***

#### ***Diferencia de color ( $\Delta E$ )***

De la Figura 34. *Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio*, se puede inferir que, se presenta un incremento

de la diferencia de color en los floretes de coliflor sometidos a los dos seguimientos bajo las mismas condiciones.

**Figura 34.** Seguimiento al comportamiento de la diferencia de color en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias realizado utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo D2), se obtuvo para la variable de diferencia de color ( $\Delta E$ ), que no existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados obtenidos durante los días 1 y 3 en el primer seguimiento y el seguimiento de validación, y por el contrario si se presentó en los días 2 y 4, donde en este último se presenta la mayor diferencia debido a la alta variación presentada en el primer seguimiento.

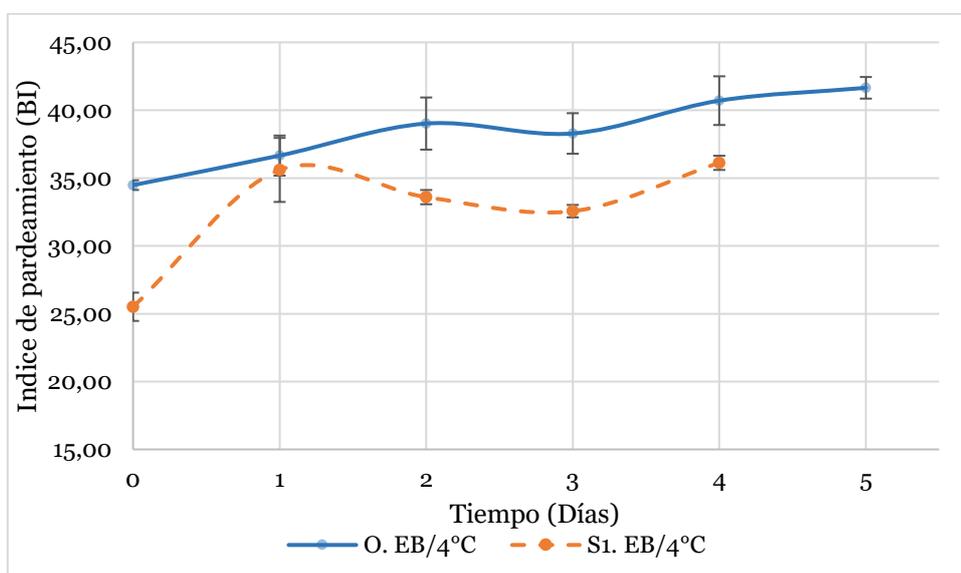
El comportamiento en ambos casos indica que se da un cambio de color notorio al comparar el color de la coliflor fresca y al pasar 1 día de almacenamiento, posteriormente el aumento se da de forma paulatina con el transcurso del tiempo de seguimiento; a excepción

de los resultados obtenidos para el día 4 de almacenamiento en los floretes de coliflor estudiados durante el primer seguimiento. En este caso, se observa un aumento brusco en la diferencia de color, el cual puede deberse a un cambio de color general de los floretes, lo cual puede indicar o no, la aparición de manchas negras o amarillamiento, por otro lado, a la aparición de pequeñas manchas negras las cuales pudieron ser captadas de forma particular por el lente del colorímetro al momento de realizar la medición y de esta forma afectar la medición o incluso puede asociarse a un error específico del equipo o la técnica de medición.

### ***Índice de pardeamiento (BI)***

Como se observa en la Figura 35, hay un incremento en el índice de pardeamiento en los floretes de coliflor de los dos seguimientos realizados, lo cual indica un cambio en el color hacia tonos más oscuros posiblemente asociado a la aparición de manchas negras debido a daños ocasionados por una mala manipulación, daños por frío o defectos fisiológicos. Si bien en ambos casos los resultados presentan un comportamiento similar, se evidencia que los floretes de coliflor empleados en el primer seguimiento presentan un índice de pardeamiento menor (25,51) en comparación con los floretes de coliflor empleados en el seguimiento de validación (34,48).

**Figura 35.** Seguimiento al comportamiento del índice de pardeamiento en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable.

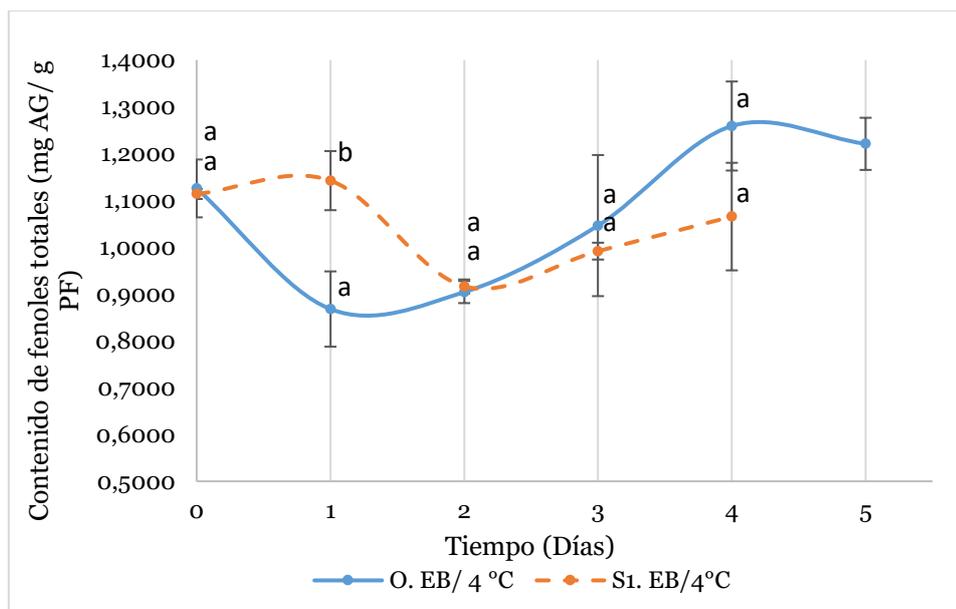
*Fuente: Elaboración propia.*

Lo anterior puede ser explicado por una diferencia en las condiciones en las que se obtuvieron las cabezas de coliflor destinadas para el desarrollo de los dos seguimientos, ya que las que se utilizaron para el seguimiento de validación presentaron algunos defectos fisiológicos y un color más amarillento lo cual pudo ser una causa del incremento del índice de pardeamiento. Al realizar un análisis del incremento que sufrió el índice de amarillamiento en cada uno de los seguimientos, en el primer seguimiento se encuentra que hubo un aumento del 41.59 % con respecto al valor inicial, mientras que para el seguimiento de validación fue tan solo del 20.79 %. Este comportamiento puede ser explicado teniendo en cuenta que con el transcurso de los días de seguimiento tiende a mantenerse constante el índice de amarillamiento, por lo tanto, es posible que se diese un mayor amarillamiento en los floretes de coliflor que inicialmente presentaban una coloración más blanca.

### ***Contenido de fenoles totales***

En la Figura 36, se observa que los resultados obtenidos para el contenido de fenoles totales en los floretes de coliflor evaluados en los dos seguimientos se encuentran dentro de un mismo rango, si bien la variabilidad de estos es alta en el transcurso del tiempo de seguimiento su comportamiento también es similar, con una notable reducción al día 2 del seguimiento y un posterior aumento progresivo los días siguientes.

**Figura 36.** *Seguimiento al comportamiento del contenido de fenoles totales en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio*



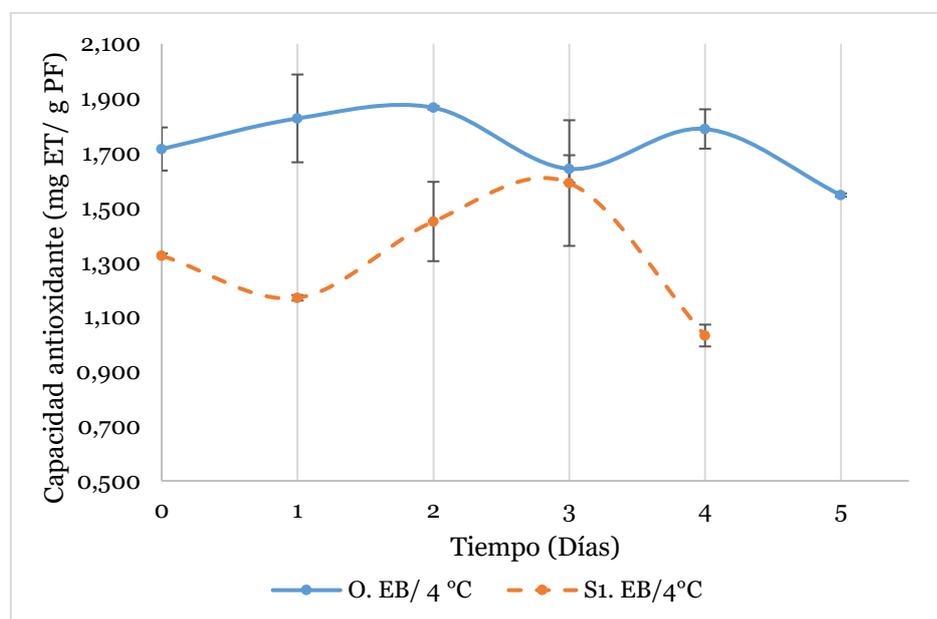
*Nota.* Los datos (media  $\pm$  DE) en el mismo día con diferentes letras fueron significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).  $n=3$ . (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable. *Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación de medias realizado utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% (Anexo D4), se obtuvo para el contenido de fenoles totales, que no existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados obtenidos durante el primer seguimiento y el seguimiento de validación a excepción del día 1; lo cual indica que los floretes de coliflor presentaron un contenido de fenoles totales y un comportamiento similar durante los seguimientos.

### **Capacidad antioxidante por ABTS**

Como se observa en la Figura 37, existe una elevada variabilidad en los resultados obtenidos para los dos seguimientos realizados a los floretes de coliflor. Como se ha mencionado previamente, dicha variabilidad se asocia a la actividad metabólica de la hortaliza y su respuesta al estrés causado por su procesamiento y almacenamiento. También se puede apreciar que existe una diferencia entre la capacidad antioxidante inicial obtenida para los floretes en los dos seguimientos, a partir de esto, se puede decir que las muestras eran diferentes en cuanto a esta variable de respuesta.

**Figura 37.** Seguimiento al comportamiento de la capacidad antioxidante en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



*Nota.* (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable.

*Fuente:* Elaboración propia.

En cuanto al comportamiento, existe un ligero incremento de la capacidad antioxidante en los días 1, 2 y 3 del seguimiento, siendo estos los días que más actividad metabólica debería presentar debido a su procesamiento y posteriormente se nota una disminución percibida los días 4 y 5 en los seguimientos realizados, lo cual podría indicar la degradación natural de los compuestos antioxidantes al transcurrir este periodo de tiempo.

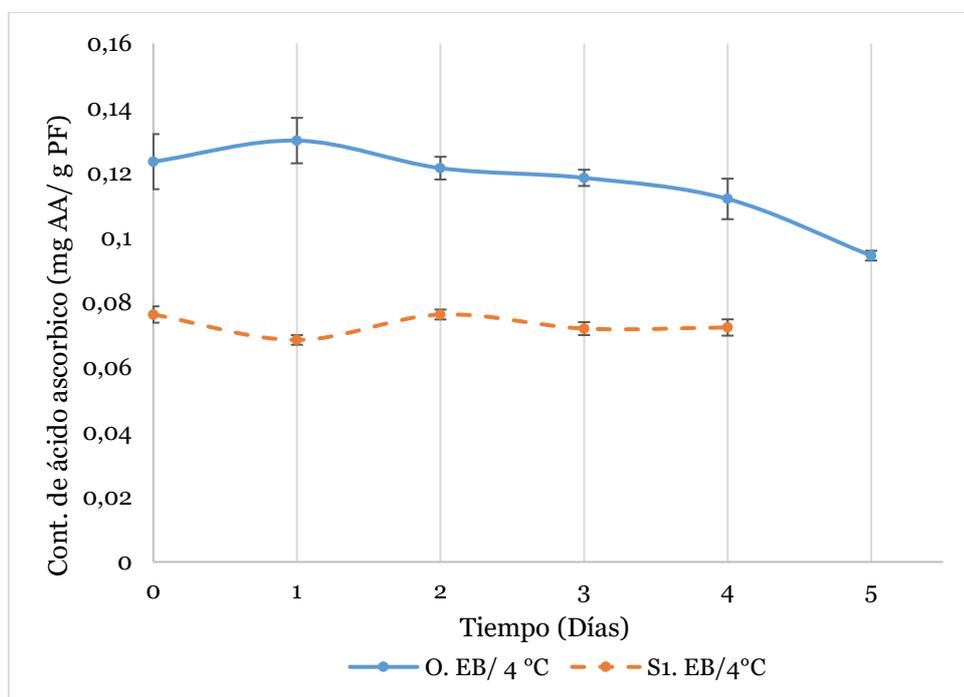
El porcentaje de reducción de la capacidad antioxidante presentado en los floretes de coliflor empleados en el primer seguimiento alcanzó el 21.96 %, por otro lado en los floretes empleados en el seguimiento de validación este porcentaje fue menor con solo el 9.85 % a los 5 días del seguimiento.

Lo anterior establece un rango de pérdida de capacidad antioxidante en los floretes de coliflor en las condiciones evaluadas, lo cual indica que es un valor que se puede asumir con el fin de proporcionar una mayor vida útil a la hortaliza en cuestión.

### **Contenido de ácido ascórbico**

De la Figura 38 se puede afirmar que, el contenido de ácido ascórbico tiende a disminuir ligeramente en los dos seguimientos realizados. Se observa una clara diferencia en el contenido de ácido ascórbico inicial de los floretes de coliflor estudiados en los dos seguimientos, siendo en el primer seguimiento menor (0,07633 mg AA/ g PF) y de igual manera presentando una menor disminución en comparación con los resultados obtenidos en el seguimiento de validación. El contenido de ácido ascórbico inicial depende en gran medida de la variedad y condiciones de cultivo de la hortaliza, por lo cual, para efectos de esta investigación resulta más importante el comportamiento que esta variable de respuesta presente bajo las condiciones de estudio, que en este caso fue similar en los dos seguimientos realizados.

**Figura 38.** Seguimiento al comportamiento del contenido de ácido ascórbico en floretes de coliflor, bajo las condiciones de estudio



Nota. (O) Optimización. (S1) Primer seguimiento. (EB) Empaque biodegradable.

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de pérdida del contenido de ácido ascórbico en los floretes de coliflor almacenados bajo las condiciones establecidas fue del 0.4 % en el primer seguimiento y del 27.3 % en el seguimiento de validación. Existe una gran diferencia entre estos resultados la cual puede estar asociada al contenido medido al momento de iniciar el seguimiento, ya que en los floretes que se midió un menor contenido de ácido ascórbico también se presentó una menor pérdida de este en el seguimiento y de forma contraria en el seguimiento de validación.

## **9 CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos demuestran que el empaque plástico utilizado para el almacenamiento de floretes de brócoli y coliflor a 4°C es altamente efectivo para reducir la pérdida de peso durante el periodo de almacenamiento. Sin embargo, este permite que se genere malos olores por lo que se obtuvieron mejores resultados almacenado a empaque biodegradable a 4°C. Además, esta combinación de empaque y temperatura ha demostrado ser óptima para preservar el color y minimizar el índice de pardeamiento y amarillamiento, lo que contribuye a mantener una apariencia atractiva y fresca para el consumidor.

La optimización del tratamiento con el empaque biodegradable a 4°C ha mostrado resultados prometedores en términos de contenido de fenoles, capacidad antioxidante y ácido ascórbico. Estos parámetros fisicoquímicos importantes para la calidad nutricional y la salud han sido preservados adecuadamente en floretes de brócoli y coliflor almacenados en empaques biodegradables. Esta conclusión resalta la viabilidad de utilizar materiales más sostenibles y amigables con el medio ambiente para el envasado de alimentos.

La adopción de empaques biodegradables para el almacenamiento de floretes de brócoli y coliflor no solo mejora la calidad del producto, sino que también tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al reducir la dependencia de empaques plásticos de un solo uso, esta investigación destaca cómo la industria alimentaria puede contribuir a la sostenibilidad y disminuir la contaminación ambiental asociada con los residuos plásticos.

**10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agricultura, O. de las N. U. para la alimentacion y la. (2015). *Una huerta para todos*.

Ali, A., Chong, C. H., Mah, S. H., Abdullah, L. C., Choong, T. S. Y., & Chua, B. L. (2018).

Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried piper betle extracts. *Molecules*, 23(2).

<https://doi.org/10.3390/molecules23020484>

Almenar, E., Samsudin, H., Auras, R., Harte, B., & Rubino, M. (2008). Postharvest shelf life

extension of blueberries using a biodegradable package. *Food Chemistry*, 110(1), 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.066>

Amodio, M. L., Derossi, A., & Colelli, G. (2014). Modeling phenolic content during storage of

cut fruit and vegetables: A consecutive reaction mechanism. *Journal of Food Engineering*, 140, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.04.006>

Andrade, J. (2021). *ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PARA BRÓCOLI (Brassica oleraceae) Y APIO (Apium graveoleas) EN CENTROS DE DISTRIBUCIÓN DEL CANTON AMBATO (Tesis de ingeniería agroindustrial)*.

Aquino, A. C. M. D. S., Silva, M. H. M. D., Rocha, A. K. S., & Castro, A. A. (2011). Estudo da

influência de diferentes tempos e métodos de cocção na estabilidade dos teores de clorofila e ácido ascórbico em brócolis (*Brassica oleraceae*). *Scientia Plena*, 7(1), 1–6.

[www.scientiaplena.org.br011501-1](http://www.scientiaplena.org.br011501-1)

Argueta, C., Soto, O. C., Gámez, H. M., & Moreno, J. P. (2015). Minimum cost package size

analysis in the supply chain: A case study in Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.06.009>

Barreto, L., & Rojas, N. (2021). *CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL ACIDO ASCORBICO DURANTE LA CONSERVACIÓN POR REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN DE LA*

*PULPA DE CAMU CAMU ( Myrciaria Dubia (H.B.K.) Mc Vaugh).*

- Bmc. (2007). Documento de condiciones especiales. In *Revista Brasileira de Ergonomia* (Vol. 9, Issue 2, p. 10).  
<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Cai, J., Luo, F., Zhao, Y., Zhou, Q., Wei, B., Zhou, X., & Ji, S. (2019). 24-Epibrassinolide treatment regulates broccoli yellowing during shelf life. *Postharvest Biology and Technology*, 154(May), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.04.019>
- Camara de comercio de Bogota. (2019). Guía práctica sistema de empaque, envase, embalaje y etiquetas. *Camara de Comercio de Bogotá*, 22.  
<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14388#:~:text=La Dirección Internacional de Negocios,exportar bienes desde nuestro país.>
- Castañeda, C., Martinez, J. D., & Puerta, N. (2016). Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia. In Grupo de Comunicaciones y Relaciones Públicas (Ed.), *Departamento Nacional de Planeación* (Vol. 39).
- Centeno, M., Gómez, J., & Cerón, A. (2017). Efecto Del Tratamiento Termico En Compuestos Bioactivos Y Propiedades Fisicoquimicas En Brocoli. *Jóvenes En La Ciencia*, 3(2), 95–100.  
<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1682>
- Comisión Regional de la Competitividad de Nariño. (2014). *Plan regional de Competitividad del Departamento de Nariño*. 1–13.
- De Araújo, V. R., & Shirai, M. A. (2016). Aplicação de revestimento comestível de quitosana

em brócolis minimamente processado. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 34(2), 1–10. <https://doi.org/10.5380/cep.v34i2.51312>

Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas. (2016). Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia. In Grupo de Comunicaciones y Relaciones Públicas (Ed.), *Departamento Nacional de Planeación* (Vol. 39).

DNP. (2016). *Colombianos botan 9,76 millones de toneladas de comida al año*.

<https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-año.aspx>

FAO. (1995). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos*.

FAO, & Agencia de Desarrollo Rural (ADR). (2019). *Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con encoque territorial. Departamento de Nariño*.

FAO, & CIRAD. (2021). *Frutas y Hortalizas*.

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/1231/es/>.

Fueyo, M. (2012). La coliflor . Un cultivo rentable para la horticultura asturiana. *SERIDA*, 2, 9–14.

Galindo, J., & Español, J. (2016). *Cosecha y poscosecha de la lechuga, el brócoli y la coliflor*.

Gao, J., Si, Y., Zhu, Y., Luo, F., & Yan, S. (2018). Temperature abuse timing affects the rate of quality deterioration of postharvest broccoli during different pre-storage stages. *Scientia Horticulturae*, 227(September 2017), 207–212.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.034>

- Gebczyński, P., & Kmiecik, W. (2007). Effects of traditional and modified technology, in the production of frozen cauliflower, on the contents of selected antioxidative compounds. *Food Chemistry*, *101*(1), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.021>
- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*, *51*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
- Gobernación de Nariño. (2021). *Plan de Desarrollo Departamental: Mi Nariño, en Defensa de lo Nuestro, 2020-2023*. Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño, & (SADR), S. de A. y D. R. (2019). *Plan departamental de extension agropecuaria del departamento de Nariño PDEA - Nariño* (p. 222).
- Guaigua, S. (2021). *Evaluación del efecto de la luz led blanca en el amarillamiento del brócoli (Brassica oleracea L. var. Italica) en poscosecha. (tesis de ingeniería agronomica)*.
- Guerreros, S. (2016). *Evaluacion del comportamiento productivo de dos variedades de coliflor hibrido (Brassica oleracea L.var.Botrytis), a diferentes densidades de plantacion, bajo ambiente atemperado en el centro experimental de cota cota. (tesis de ingeniería agronomica)*.
- Güleç, A., Nergiz, R., Akyol, A., & Acar, J. (2013). Phenolic content and ascorbic acid are major contributors to antioxidant capacity of fruits and vegetables commonly consumed in Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *11*(3–4), 463–468.
- Honorio, G. (2017). *EMPACADO DE VERDURAS Y FRUTAS FRESCAS*.
- Huanchi, R. (2013). *Determinación de la permeabilidad en empaques plasticos*.
- Ibarra, A., & Moncayo, A. (1998). *Manejo Post-cosecha y comercialización de coliflor*.

- Jaramillo, J., Aguilar, P., Valencia, C., Saldarriaga, A., Martínez, A., Forero, C., Arguello, O., & Franco, G. (2016). *Modelo tecnológico para el cultivo de brocoli Brassica oleracea L. var. Itálica, en el departamento de Antioquia.*
- Jaramillo, J., & Diaz, C. (2005). *El Cultivo de las Crucíferas.*
- Khathir, R., Agustina, R., Nurba, D., & Putra, D. (2019). Shelf-life estimation of cauliflower based on total soluble solids by using the Arrhenius and Q 10 approach Shelf-life estimation of cauliflower based on total soluble solids by using the Arrhenius and Q 10 approach. *Earth and Environmental Science*, 365. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/365/1/012006>
- Khatun, A., Molla, M. M., Alam, M., & Uddin, M. (2018). Effect of chlorine wash and packaging techniques on shelf life and quality of cauliflower ( Brassica oleracea var . botrytis L .). *Eco Friendly Agril*, 11(Febrero), 21–27.
- Konica Minolta. (2023). *Entendiendo el espacio de color CIE Lab.* Sensing Americas.
- Latham, M. (2002). *NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO.* FAO. <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>
- Lemoine, M. L., Civello, P., Chaves, A., & Martínez, G. (2009). Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage. *Lwt*, 42(6), 1076–1081. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.01.009>
- Logegaray, V. R., Frezza, D., León, A., & Chiesa, A. (2013). *FACTORES DE PRECOSECHA Y CALIDAD DE COLIFLOR ( Brassica oleracea var . botrytis ) MÍNIMAMENTE PROCESADA PREHARVEST FACTORS AND QUALITY OF MINIMALLY PROCESSED CAULIFLOWER ( Brassica oleracea var . botrytis ).* 29, 151–159.
- Loma, J. (2010). El manejo de poscosecha y su incidencia en el tiempo de vida útil de la coliflor (Brassica oleracea) cultivada en el Canton Latacunga. In *titutional environment*

*and entrepreneurial cognitions: A comparative business systems perspective.*  
*Entrepreneurship theory and Practice.* (Issue 564).

López, A. (2003). *Manual para la preparacion y venta de frutas y hortalizas* (151st ed.).

BOLETIN DE SERVICIOS AGRICOLAS DE LA FAO.

López, C. ., López, M. ., Gutiérrez, J., Arenales, I., Huerta, A., Vargas, A., & Hernández, A.

(2015). *EFEECTO DE BIOPELICULAS SOBRE CALIDAD POSCOSECHA DE TOMATE*

“OJO DE VENADO” (*Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme*).

Lopez Camelo, A. (2003). *Manual para la preparacion y venta de frutas y hortalizas* (151st

ed.). BOLETIN DE SERVICIOS AGRICOLAS DE LA FAO.

Lorente, G. (2015). *producción y el consumo de vegetales listos para consumir* (Issue June).

Mahn, A., & Paz, M. (2017). Evolution of total polyphenols content and antioxidant activity

in broccoli florets during storage at different temperatures. *Journal of Food Quality*,  
 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3742183>

Marques, R. M. B., von Atzingen, M. C., & Pinto e Silva, M. E. M. (2004). Análisis Sensorial Y

Ácido Ascórbico De Hortalizas En Fresco Y Ultracongeladas Sensory Evaluation and

Ascorbic Acid of Frozen and Fresh Vegetables Análise Sensorial E Ácido Ascórbico De

Hortalizas En Fresco E Ultraconxeladas. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 4(4), 240–

245. <https://doi.org/10.1080/11358120409487765>

Martínez-Hernández, G. B., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., & Artés, F. (2013).

Comparative behaviour between kailan-hybrid and conventional fresh-cut broccoli

throughout shelf-life. *Lwt*, 50(1), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.010>

Martínez, J. A. Q. (2016). Dinamica de la perdida de peso en hortalizas de hoja durante el

almacenamiento. [https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/Wp-](https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/Wp-Content/Uploads/2016/09/Tesis_Dinamica_perdida_peso_hojas.Pdf)

[Content/Uploads/2016/09/Tesis\\_Dinamica\\_perdida\\_peso\\_hojas.Pdf](https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/Wp-Content/Uploads/2016/09/Tesis_Dinamica_perdida_peso_hojas.Pdf).

- Mashabela, M., Mahajan, P. V, & Sivakumar, D. (2019). Influence of different types of modified atmosphere packaging films and storage time on quality and bioactive compounds in fresh-cut cauliflower. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(May), 100374. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100374>
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2)
- MinAgricultura. (2020). *Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo*. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=1>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena de las Hortalizas. *Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*, 22.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017a). Indices de producción de Brocoli. In *Agronet* (pp. 5–8).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017b). Indices de producción de Coliflor. In *Agronet* (pp. 5–8).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1991). Coliflor. In *Aspectos Técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Plan para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo uso. In *Plan Nacional Para La Gestión Plásticos De De Los Sostenible Un Solo Uso*.
- Mistriotis, A., Giannoulis, A., Giannopoulos, D., & Briassoulis, D. (2011). Analysis of the effect of perforation on the permeability of biodegradable non-barrier films. *Procedia Food Science*, 1, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.006>
- Mohi, K., Omid, M., Rajabipour, A., Tajeddin, B., & Soltani Firouz, M. (2019). Quality and

- shelf-life prediction of cauliflower under modified atmosphere packaging by using artificial neural networks and image processing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163(May). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104861>
- Navia, D. P., & Villada, H. S. (2013). IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN EN EMPAQUES BIODEGRADABLES EN CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 173–180.
- Opara, U. L., & Mditshwa, A. (2013). A review on the role of packaging in securing food system : Adding value to food products and reducing losses and waste. *Academic Journals*, 8(22), 2621–2630. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6931>
- Ordóñez-Santos, L. E., Martínez-Girón, J., & Arias-Jaramillo, M. E. (2017). Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chemistry*, 233, 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.114>
- Parra, M. (2015). *Interacciones entre “Pythium ultimum” y bacterias de la rizosfera en la patogénesis de la podredumbre del tallo del brócoli.*
- Paulsen, E., Barrios, S., Baenas, N., Moreno, D. A., Heinzen, H., & Lema, P. (2018). Effect of temperature on glucosinolate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 138(June 2017), 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.006>
- Paulsen, E., Lema, P., Martínez-romero, D., & García-viguera, C. (2022). Use of PLA / PBAT stretch-cling film as an ecofriendly alternative for individual wrapping of broccoli heads. *Scientia Horticulturae*, 304(April), 111260. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111260>
- Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Mazzeo, T., Contino, D., Gallo, M., Riso, P., Fogliano, V., & Porrini, M. (2010). Effect of different cooking methods on color,

- phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4310–4321.  
<https://doi.org/10.1021/jf904306r>
- Phuong, N. T. H., Uchino, T., & Tanaka, F. (2018). Effect of Packaging Films on the Quality of Broccoli. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 63(2), 339–346.  
<https://doi.org/10.5109/1955403>
- Raseetha, S., & Nadirah, S. (2018). Effect of different packaging materials on quality of fresh-cut broccoli and cauliflower at chilled temperature. *International Food Research Journal*, 25(August), 1559–1565.
- Rivera, C. (2020). Los empaque Biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los Consumidores. *Tencencia*.
- Rivera, C., Contreras, F., Ariza, W., Bonilla, S., & Cruz, A. (2019). Los Empaques Biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los Consumidores. *Realidad Empresarial*, 7, 2–8.
- Rodov, V., Porat, R., Sabag, A., Kochanek, B., & Friedman, H. (2022). Microperforated Compostable Packaging Extends Shelf Life of Ethylene-Treated Banana Fruit. *Foods*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/foods11081086>
- Rosas, C. (2011). Contenido de compuestos bioactivos y su contribución a la capacidad antioxidante durante la maduración de piña cv. “Esmeralda.” In *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.*  
[https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/179/1/Rosas\\_Dominguez\\_2011\\_MC.pdf](https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/179/1/Rosas_Dominguez_2011_MC.pdf)
- Sahoo, N., Fasake, V., Dash, S. K., Pal, U. S., & Dhalsamant, K. (2021). Effect of ozone and antimicrobial treatments on the shelf life of cauliflower under modified atmosphere packaging. *Association of Food Scientists y Technologists, t m.*

SENA. (1976). *Cultivo comercial de coliflor* (Issue 7).

Simón, A. (2008). Características de calidad y composición de distintos cultivares de coliflor con destino al procesamiento mínimo. *ITEA Información Técnica Económica Agraria*, 104(1), 31–41.

Simón, Ana, González, E., & Rodríguez, D. (2008). Effect of film and temperature on the sensory, microbiological and nutritional quality of minimally processed cauliflower. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1628–1636.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01672.x>

Techavuthiporn, C., Nakano, K., & Maezawa, S. (2008). Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.007>

Theodoracopoulos, M., & Lardizabal, R. (2008). *Producción de brócoli*.

Theodoracopoulos, M., Lardizabal, R., & Arias, S. (2008). *Producción de coliflor*.

UNODC. (2017). *El cultivo de las hortalizas* (p. 24).

Upadhyay, A., Kumar, P., Kardam, S. K., & Gaikwad, K. K. (2022). Ethylene scavenging film based on corn starch-gum acacia impregnated with sepiolite clay and its effect on quality of fresh broccoli florets. *Food Bioscience*, 46, 101556.  
<https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101556>

Varastehf, F., & Zamanis, S. (2022). Quality Preservation and Shelf Life Extension of Broccoli Florets Using Tragacanth Gum Coating. *J.Agr.Sci.Tech*, 24, 899–910.

Villada, H., Acosta, H., & Velasco, R. (2007). *Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables*. 4, 5–13.

Williamson, D., & Benkeblia, N. (2015). Effects of Gibberellic Acid and Calcium Chloride on

- Colour, Phenolic Compounds, Carotenoids and Quality Attributes of White Cabbage (*Brassica oleracea*) during Storage under Refrigeration. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics*, September, 239–245. <https://doi.org/10.19070/2326-3350-1500043>
- Xu, Y., Xiao, Y., Lagnika, C., Song, J., Li, D., Liu, C., Jiang, N., Zhang, M., & Duan, X. (2020). A comparative study of drying methods on physical characteristics, nutritional properties and antioxidant capacity of broccoli. *Drying Technology*, 38(10), 1378–1388. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1656642>
- Zamora, E. (2016a). El cultivo de la coliflor. In *Departamento de Agricultura y Ganaderia* (Issue Figura 2).
- Zamora, E. (2016b). *El cultivo del brocoli*.
- Zárate-martínez, W., González-morales, S., Universidad, C., Agraria, A., Narro, A., Ramírez-godina, F., Autónoma, U., Antonio, A., Robledo-olivo, A., Autónoma, U., Antonio, A., Juárez-maldonado, A., Autónoma, U., Antonio, A., & Rica, U. D. C. (2016). *Efecto de los ácidos fenólicos en el sistema antioxidante de plantas de tomate ( Solanum Effect of phenolic acids on the antioxidant system of tomato. Cmm*, 1–11.
- Zea, J. A., & Sánchez, L. P. (2012). Estudio del contenido de fenoles y actividad antioxidante de guayaba en diferentes estados de madurez. *Acta Biologica Colombiana*, 17(3), 611–624.
- Zhan, L., Hu, J., Li, Y., & Pang, L. (2012). Combination of light exposure and low temperature in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 72, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.05.001>
- Zhang, X., Yang, Q., Luo, M., Song, M., Zhou, Q., Chen, J., & Ji, S. (2023). Insights into profiling of p-coumaric acid treatment on delaying the yellowing of broccoli.

*Postharvest Biology and Technology*, 201, 112371.

<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2023.112371>

ZUMPANGO, C. universitario U. (2013). *El cultivo del brocoli*.

## 11 ANEXOS

### Anexo A

Pruebas estadísticas realizadas para los resultados obtenidos en floretes de brócoli.

### Anexo A1

Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso (%), durante el seguimiento

		<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,000170253	0,0000	0,000603501	0,0000	0,000603501	0,0000	0,00123221	0,0000
<b>B:Temperatura</b>	1	0,000075	0,0000	0,000281301	0,0000	0,000281301	0,0000	0,00276033	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,00000320333	0,0047	0,0000170408	0,0051	0,0000170408	0,0051	0,00006627	0,0058
<b>RESIDUOS</b>	8	0,0000017		0,00000936667		0,00000936667		0,0000382333	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,000250157		0,000911209		0,000911209		0,00409705	

### Anexo A2

Análisis de varianza (ANOVA) para el índice de amarillamiento, durante el seguimiento.

		<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						

<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	336,0	0,0016	108,198	0,0019	1008,33	0,0000	546,615	0,0000
<b>B:Temperatura</b>	1	29,6668	0,2034	816,074	0,0000	117,488	0,0003	185,26	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	52,4674	0,1027	1548,98	0,0000	1241,07	0,0000	2,26201	0,1771
<b>RESIDUOS</b>	8	123,693		41,9348		26,6111		8,25947	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	541,827		2515,19		2393,5			

### Anexo A3

Análisis de varianza (ANOVA) de diferencia de color, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	11,3982	0,0743	108,198	0,0019	1008,33	0,0000	316,161	0,0000
<b>B:Temperatura</b>	1	1,43021	0,4880	816,074	0,0000	117,488	0,0003	29,1896	0,0005
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,317815	0,7407	1548,98	0,0000	1241,07	0,0000	31,0239	0,0004
<b>RESIDUOS</b>	8	21,6577		41,9348		26,6111		7,48382	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	34,8039		2515,19		2393,5		383,859	

### Anexo A4

Análisis de varianza (ANOVA) de fenoles totales (mg AG/ g PF), durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,00104533	0,8295	0,00063075	0,8163	0,0215901	0,1107	0,111844	0,0005
<b>B:Temperatura</b>	1	0,001323	0,8087	0,00033075	0,8663	0,000602083	0,7722	0,023541	0,0310
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,0536003	0,1498	0,122614	0,0101	0,0122241	0,2142	0,0374642	0,0109
<b>RESIDUOS</b>	8	0,16895		0,0875648		0,053724		0,0275878	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,224919		0,21114		0,0881402		0,200437	

### Anexo A5

Análisis de varianza (ANOVA) de capacidad antioxidante ABTS (mg ET/ g PF), durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,0048	0,8264	0,0660083	0,1389	0,00104533	0,8581	0,069312	0,2173
<b>B:Temperatura</b>	1	0,009408	0,7592	0,109443	0,0672	0,0501813	0,2365	0,237445	0,0382
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,0780853	0,3874	0,13272	0,0481	0,184512	0,0397	0,109061	0,1315
<b>RESIDUOS</b>	8	0,747755		0,195549		0,245141		0,309173	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,840048		0,503721		0,48088		0,724992	

### Anexo A6

Análisis de varianza (ANOVA) de contenido de ácido ascórbico, durante el seguimiento.

		<i>Día 3</i>		<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>		<i>Día 14</i>	
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,000176333	0,5314	0,00000408333	0,7246	0,00000208333	0,4821	0,0000440833	0,2783
<b>B:Temperatura</b>	1	0,00154133	0,0892	0,00102675	<b>0,0004</b>	0,000114083	<b>0,0006</b>	0,0000800833	0,1556
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,00520833	<b>0,0075</b>	0,0000700833	0,1691	0,00000208333	0,4821	8,33333E-8	0,9609
<b>RESIDUOS</b>	8	0,003298		0,000245333		0,0000306667		0,000260667	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,010224		0,00134625		0,000148917		0,000384917	

### Anexo B

Pruebas estadísticas realizadas para los resultados obtenidos en floretes de Coliflor.

### Anexo B1

Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso, durante el seguimiento.

		<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,0000512533	<b>0,0000</b>	0,000229688	<b>0,0000</b>	0,000553521	<b>0,0000</b>	0,00128899	<b>0,0000</b>



<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,12953	0,6224	0,353194	0,6784	5,71568	0,1728	9,65477	0,0381
<b>B:Temperatura</b>	1	9,63562	0,0022	0,216062	0,7451	9,96666	0,0835	5,79616	0,0908
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	4,96383	0,0132	6,34374	0,1057	0,865206	0,5764	5,58463	0,0959
<b>RESIDUOS</b>	8	3,95053		15,2642		20,4094		12,5505	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	18,6795		22,1772		36,957		33,586	

#### Anexo B4

Análisis de varianza (ANOVA) para contenido de fenoles totales, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,00324723	0,4015	0,00699867	0,0738	0,0000572033	0,8248	0,0374418	0,0510
<b>B:Temperatura</b>	1	0,0260774	0,0363	0,0129495	0,0233	0,00175208	0,2410	0,765934	0,0000
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,0260774	0,0363	0,00261075	0,2447	0,0010416	0,3575	0,021463	0,1207
<b>RESIDUOS</b>	8	0,0331022		0,0132476		0,00874171		0,0569544	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,0885042		0,0358065		0,0115926		0,881793	

#### Anexo B5

Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad antioxidante ABTS, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,0975603	0,0127	0,000133333	0,9037	0,000225333	0,9157	0,0235853	0,1334
<b>B:Temperatura</b>	1	0,0660083	0,0304	0,0133333	0,2468	0,0413013	0,1775	0,249985	0,0006
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,0448963	0,0622	0,00770133	0,3701	0,0272653	0,2640	0,00374533	0,5243
<b>RESIDUOS</b>	8	0,0765627		0,0683307		0,151131		0,067616	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,285028		0,0894987		0,219923		0,344932	

### Anexo B6

Análisis de varianza (ANOVA) para contenido de ácido ascórbico, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>									
<b>A:Empaque</b>	1	0,0000285208	0,4044	0,000102083	0,0493	0,000341333	0,0060	0,00000208333	0,8529
<b>B:Temperatura</b>	1	0,0000130208	0,5685	0,000075	0,0825	0,0000403333	0,2383	8,33333E-8	0,9704
<b>INTERACCIONES</b>									
<b>AB</b>	1	0,000426021	0,0093	0,0000520833	0,1368	0,0000163333	0,4408	0,000102083	0,2170
<b>RESIDUOS</b>	8	0,0002945		0,000152333		0,000198667		0,000454667	
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	11	0,000762062		0,0003815		0,000596667		0,000558917	

### Anexo C

Pruebas estadísticas realizadas para los resultados obtenidos en la optimización en floretes de Brócoli.

#### Anexo C1

Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>
<i>Entre grupos</i>	1	1,265	0,0000	1,73989	0,0000
<i>Intra grupos</i>	4	0,00957867		0,00713533	
<i>Total (Corr.)</i>	5	1,27458		1,74703	

#### Anexo C2

Análisis de varianza (ANOVA) para índice de amarillamiento, durante el seguimiento.

<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Día 6</i>		<i>Día 10</i>	
		<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>
<i>Entre grupos</i>	1	589,368	0,0003	78,6698	0,0474
<i>Intra grupos</i>	4	17,2476		39,3097	
<i>Total (Corr.)</i>	5	606,615		117,98	

**Anexo C3**

Análisis de varianza (ANOVA) para la diferencia de color, durante el seguimiento.

		<b>Día 6</b>		<b>Día 10</b>	
<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	10,4356	0,0233	22,0842	0,0103
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	3,26608		4,22904	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	13,7017		26,3132	

**Anexo C4**

Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de fenoles totales, durante el seguimiento.

		<b>Día 6</b>		<b>Día 10</b>	
<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,0682027	0,0113	0,0864	0,0031
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,0137951		0,00842957	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,0819978		0,0948296	

**Anexo C5**

Análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad antioxidante, durante el seguimiento.

		<b>Día 6</b>		<b>Día 10</b>	
<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,027744	0,0401	0,177504	0,0180
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,0123733		0,0474773	

<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,0401173		0,224981	
----------------------	----------	-----------	--	----------	--

### Anexo C6

Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de ácido ascórbico, durante el seguimiento.

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Día 6</b>		<b>Día 10</b>	
		<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,000280167	0,0212	0,009126	0,0000
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,0000826667		0,00008	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,000362833		0,009206	

### Anexo D

Pruebas estadísticas realizadas para los resultados obtenidos en la optimización en floretes de Coliflor.

### Anexo D1

Análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso, durante el seguimiento.

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Día 1</b>		<b>Día 2</b>		<b>Día 3</b>		<b>Día 4</b>	
		<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>						
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,0819002	0,0001	0,0473482	0,0001	0,022326	0,0007	0,0229402	0,0063
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,00124333		0,000650667		0,000986		0,00333467	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,0831435		0,0479988		0,023312		0,0262748	

**Anexo D2**

Análisis de varianza (ANOVA) para índice de amarillamiento, durante el seguimiento.

		<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<i>Entre grupos</i>	<b>1</b>	1,66637	0,5478	44,0971	0,0092	49,2035	0,0009	31,515	0,0044
<i>Intra grupos</i>	<b>4</b>	15,5023		7,93841		2,44576		3,76406	
<i>Total (Corr.)</i>	<b>5</b>	17,1686		52,0355		51,6493		35,2791	

**Anexo D3**

Análisis de varianza (ANOVA) para la diferencia de color, durante el seguimiento.

		<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						
<i>Entre grupos</i>	<b>1</b>	2,14562	0,1737	2,23138	0,0059	0,118161	0,7846	217,587	0,0001
<i>Intra grupos</i>	<b>4</b>	3,14084		0,311019		5,53286		3,18874	
<i>Total (Corr.)</i>	<b>5</b>	5,28647		2,5424		5,65102		220,776	

**Anexo D4**

Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de fenoles totales, durante el seguimiento.

		<i>Día 1</i>		<i>Día 2</i>		<i>Día 3</i>		<i>Día 4</i>	
<i>Fuente</i>	<i>Gl</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Valor-P</i>						

<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,112888	0,0097	0,000218407	0,4952	0,00447174	0,5670	0,0561634	0,0879
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,020911		0,00155459		0,046065		0,0444993	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,133799		0,00177299		0,0505368		0,100663	

### Anexo D5

Análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad antioxidante, durante el seguimiento.

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Día 1</b>		<b>Día 2</b>		<b>Día 3</b>		<b>Día 4</b>	
		<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>						
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,646817	0,0021	0,260417	0,0077	0,004056	0,7214	0,857304	0,0001
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,0517947		0,0422267		0,1108		0,013568	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,698611		0,302643		0,114856		0,870872	

### Anexo D6

Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de ácido ascórbico, durante el seguimiento.

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>Día 1</b>		<b>Día 2</b>		<b>Día 3</b>		<b>Día 4</b>	
		<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Valor-P</b>						
<b>Entre grupos</b>	<b>1</b>	0,00567337	0,0001	0,00306004	0,0000	0,00324338	0,0000	0,00236017	0,0005
<b>Intra grupos</b>	<b>4</b>	0,0001025		0,0000291667		0,0000205		0,0000906667	
<b>Total (Corr.)</b>	<b>5</b>	0,00577587		0,00308921		0,00326388		0,00245083	