

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**"TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN LA VIDA POSCOSECHA  
DE FLORETES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica*)  
cv. AVENGER"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERA AGRÓNOMA**

**XIMENA MASIEL GALINDO JARA**

**LIMA-PERÚ**

**2024**

---

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

# TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN LA VIDA POSCOSECHA DE FLORETES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv. AVENGER

## ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

8%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443](http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443)

Internet Source

1%

2

[repositorio.uaaan.mx:8080](http://repositorio.uaaan.mx:8080)

Internet Source

1%

3

[sedici.unlp.edu.ar](http://sedici.unlp.edu.ar)

Internet Source

1%

4

[dehesa.unex.es](http://dehesa.unex.es)

Internet Source

1%

5

[revistas.unal.edu.co](http://revistas.unal.edu.co)

Internet Source

1%

6

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Internet Source

1%

7

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Internet Source

<1%

8

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Internet Source

<1%

[s2d280551d41b6de2.jimcontent.com](http://s2d280551d41b6de2.jimcontent.com)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“TRATAMIENTOS HIDROTÉRMICOS EN LA VIDA POSCOSECHA  
DE FLORETES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica*) cv.  
AVENGER”**

**XIMENA MASIEL GALINDO JARA**

Tesis para optar el Título de:

**INGENIERA AGRÓNOMA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto  
**PRESIDENTE**

---

Ing. M.S. Andrés Virgilio Casas Díaz  
**ASESOR**

---

Ing. Mg. Sc. Karin Cecilia Coronado Matutti  
**MIEMBRO**

---

Ing. Mg. Sc. Sarita Maruja Moreno Llacza  
**MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi amada madre,  
quien siempre ha estado a mi lado  
alentándome por el buen camino, siendo un  
ejemplo de madre y mujer, por ser el pilar  
de la familia y por darme el maravilloso  
hogar en el que crecí.

Infinitas Gracias.!

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, agradezco a Dios.

Agradezco a mi familia, en especial a mis valiosas mamá y hermana por darme su apoyo incondicional para cumplir mis metas.

Al Ing. Andrés Casas Díaz por su orientación, conocimientos, experiencia, consejos y apoyo desinteresado.

A mis amigas, en especial Zenhya y Gaby quienes me acompañaron en el proceso.

Al Sr. Carlos del Laboratorio de Poscosecha y a los integrantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM; la Sra. Marlene, a los señores encargados de la biblioteca BAN y a todos aquellos que de alguna forma u otra me brindaron su apoyo o guiaron durante este largo proceso y aventura que fue mi tesis.

## ÍNDICE GENERAL

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>II.</b>  | <b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1         | CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BRÓCOLI.....  | 3         |
| 2.2         | DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....  | 3         |
| 2.2.1       | Características de la especie. ....  | 3         |
| 2.2.2       | Órgano de consumo .....  | 4         |
| 2.3         | IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI.....   | 4         |
| 2.4         | PRINCIPALES CULTIVARES .....   | 5         |
| 2.5         | COSECHA .....  | 6         |
| 2.6         | MANEJO POSCOSECHA .....  | 7         |
| 2.6.1       | Temperatura y humedad relativa óptima .....  | 7         |
| 2.7         | FISIOLOGÍA POSCOSECHA DEL BRÓCOLI.....   | 7         |
| 2.8         | TRATAMIENTOS TÉRMICOS .....  | 8         |
| 2.8.1       | Métodos de tratamientos térmicos .....   | 9         |
| 2.8.2       | Efectos térmicos sobre la fisiología poscosecha.....                                     | 10        |
| 2.8.3       | Tratamientos térmicos en vegetales frescos cortados.....                                 | 13        |
| 2.8.4       | Tratamiento térmico en brócoli .....   | 13        |
| 2.9         | VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS .....   | 14        |
| 2.9.1       | Efectos del procesado .....  | 14        |
| 2.9.2       | Factores que afectan la calidad poscosecha de los productos mínimamente procesados ..... | 15        |
| 2.10        | PARÁMETROS DE CALIDAD .....  | 17        |
| 2.10.1      | Parámetros de calidad físico-química .....   | 17        |
| 2.10.2      | Parámetros de calidad funcional .....  | 17        |
| 2.11        | DESÓRDENES POSCOSECHA.....   | 18        |
| 2.11.1      | Fisiopatías.....   | 18        |
| 2.11.2      | Enfermedades .....   | 18        |
| <b>III.</b> | <b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>  | <b>19</b> |
| 3.1         | UBICACIÓN .....  | 19        |
| 3.2         | MATERIALES Y EQUIPOS.....  | 19        |
| 3.2.1       | Material vegetal: .....  | 19        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.2 Materiales generales: .....                              | 19        |
| 3.2.3 Instrumentos o equipos de laboratorio: .....             | 20        |
| 3.2.4 Insumos:.....  | 20        |
| 3.3 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO.....                           | 20        |
| 3.4 TRATAMIENTOS A EVALUAR.....                                | 23        |
| 3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO .....                                   | 23        |
| 3.6 VARIABLES EVALUADAS .....                                  | 24        |
| 3.6.1 Parámetros Físicos:.....                                 | 24        |
| 3.6.2 Parámetro Físico-Química .....                           | 26        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>                        | <b>28</b> |
| 4.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICAS .....                    | 28        |
| 4.1.1 Pérdida de peso (porcentaje).....                        | 28        |
| 4.1.2 Color superficial.....                                   | 32        |
| 4.1.3. Diámetro ecuatorial y longitud .....                    | 40        |
| 4.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE FISICO QUÍMICO .....               | 45        |
| 4.2.1. Intensidad Respiratoria (Tasa de CO <sub>2</sub> )..... | 45        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                                    | <b>51</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>                                | <b>53</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                    | <b>54</b> |
| <b>VIII. ANEXOS.....</b>                                       | <b>64</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Propiedades nutricionales del brócoli por cada 100 g.....  | 5  |
| Tabla 2: Descripción de los tratamientos .....  | 23 |
| Tabla 3: Valores de los parámetros del color del Sistema CIE (L*, a*, b*, H° y C*) en floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 47°, 52° y 57°C durante 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5.....                                     | 38 |
| Tabla 4: Mediciones promedio de la longitud y diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos térmicos a diferentes temperaturas de inmersión en agua (47°, 52° y 57°C) y sin tratamiento (testigo) durante la refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5. .... | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Flujograma de operaciones para la instalación del ensayo y aplicación del tratamiento hidrotérmico de floretes de brócoli ( <i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i> ) cv. Avenger. ....  | 22 |
| Figura 2: Espacio del Color CIE $L^*a^*b^*$ .....   | 25 |
| Figura 3: Sistema estático para la medición de la respiración, con la muestra en un contenedor de vidrio herméticamente cerrado.....  | 26 |
| Figura 4: Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes de brócoli aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 8 días de refrigeración ( $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ ).....   | 29 |
| Figura 5: Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 18 días de refrigeración ( $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ ). ....  | 29 |
| Figura 6: Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 25 días de refrigeración ( $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ ). ....  | 30 |
| Figura 7: Variación en el tiempo de la luminosidad media del color ( $L^*$ ), medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos ( $47^{\circ}$ , $52^{\circ}$ y $57^{\circ}\text{C}$ ) y sin tratamiento (testigo) durante 25 días de refrigeración a $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ . .... | 34 |
| Figura 8: Valores promedio de las coordenadas colorimétricas $a^*$ y $b^*$ , medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos a diferentes temperaturas, durante 25 días de refrigeración a $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ .....   | 35 |
| Figura 9: Diagrama cromático $\text{CIE}L^*a^*b^*$ y ubicación de coordenadas colorimétricas del Tratamiento 1 y Tratamiento T3 (inicio y final).....   | 36 |
| Figura 10: Valores promedio de los parámetros colorimétricos $h^{\circ}$ , medidos en floretes aplicados con tratamientos hidrotérmicos durante 25 días de refrigeración a $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ .....   | 38 |
| Figura 10: Valores promedio de los parámetros colorimétricos $C^*$ , medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos ( $47^{\circ}$ , $52^{\circ}$ y $57^{\circ}\text{C}$ ) y sin tratamiento (testigo) durante 25 días de refrigeración a $3-5^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR}=68\% \pm 5$ .....           | 39 |
| Figura 11: Izquierda: Planos ( $a^*,b^*$ ) con diferentes valores $L^*$ constante. Derecha: plano ( $C^*L^*$ ) con ángulo de tono $h^{\circ}$ constante. ....   | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 12: Promedios del porcentaje de disminución de diámetro en floretes aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 4 días de refrigeración (3-5°C). .....  | 41 |
| Figura 13: Porcentaje promedios de la disminución de diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 8 días de refrigeración (3-5°C). .....  | 41 |
| Figura 14: Promedios del porcentaje de pérdida de diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 25 días de refrigeración (3-5°C). .....  | 42 |
| Figura 15: Comportamiento porcentual promedio en la disminución de los diámetros de floretes de brócoli durante los 25 de refrigeración (3-5°C). .....   | 43 |
| Figura 16: Comportamiento porcentual promedio en la disminución de la longitud de floretes de brócoli durante los 25 de refrigeración (3-5°C). .....   | 43 |
| Figura 17: Tasa de CO <sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos a diferentes temperaturas de inmersión en agua, en el primer día de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5). .....    | 46 |
| Figura 18: Tasa de CO <sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos después de 8 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5). .....   | 47 |
| Figura 19: Tasa de CO <sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos (a diferentes temperaturas de inmersión en agua) después de 18 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5). ..... | 47 |
| Figura 20: Tasa de CO <sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos (a diferentes temperaturas de inmersión en agua) después de 25 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5). ..... | 48 |
| Figura 21: Comportamiento de la tasa respiratoria (mLCO <sub>2</sub> /Kg*h) de floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico, durante 25 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5). ...  | 49 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| Anexo 1: Gráfico boxplot del porcentaje de pérdida de peso a los 8 días .....  | 64 |
| Anexo 2: ANOVA del porcentaje de pérdida de peso a los 8 días.....   | 64 |
| Anexo 3: Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida peso a los 8 días ( $\alpha=0.05$ ).....                                  | 64 |
| Anexo 4: Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 18 días ( $\alpha=0.05$ ).....                              | 65 |
| Anexo 5: Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 25 días ( $\alpha=0.05$ ).....                              | 65 |
| Anexo 6: Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 8, 18 y 25 días<br>( $\alpha=0.05$ ).....                   | 65 |
| Anexo 7: Estado morfológico de los floretes del tratamiento 3 a los 18 días de<br>refrigeración .....                        | 66 |
| Anexo 8: Prueba de Tukey para el indicador $L^*$ , a los 8 y 14 días ( $\alpha=0.05$ ).....                                  | 67 |
| Anexo 9: ANOVA para el indicador luminosidad ( $L^*$ ) de todos los tratamientos y días...                                   | 67 |
| Anexo 10: ANOVA para la coordenada $a^*$ y gráfico de barras de la prueba Tukey a los<br>8 días.....                         | 67 |
| Anexo 11: ANOVA para la coordenada $b^*$ (eje CIELab color amarillo) .....   | 68 |
| Anexo 12: ANOVA para el ángulo del tono ( $h^\circ$ ) ( $\alpha=0.05$ ).....   | 68 |
| Anexo 13: Variación del tono del color (ángulo $h^\circ$ ) en los días 1,8, 18 y 25 comparados<br>con el color inicial. .... | 69 |
| Anexo 14: Cambio de color de los floretes a un tono verde pardo en el día 25.....  | 70 |
| Anexo 15: ANOVA para el ángulo del tono ( $h^\circ$ ).....   | 70 |
| Anexo 16: ANOVA para el parámetro de color croma ( $C^*$ ).....  | 70 |
| Anexo 17: Gráfico boxplot de porcentaje de disminución de diámetro a los 4 días .....  | 71 |
| Anexo 18: ANOVA de % de disminución de diámetro a los 4 días .....   | 71 |
| Anexo 19: ANVA del % de disminución de diámetro a los 8 días de refrigeración.....   | 71 |
| Anexo 20: ANOVA del porcentaje del diámetro perdido de los días 4 y 8 .....  | 72 |
| Anexo 22: Prueba de Tukey para intensidad respiratoria en el día 1 ( $\alpha=0.05$ ).....                                    | 73 |
| Anexo 23: Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 8 ( $\alpha=0.05$ ).....                                | 73 |
| Anexo 24: Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 18 ( $\alpha=0.05$ ).....                               | 73 |

|  |    |
|--|----|
| Anexo 25: Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 25 ( $\alpha=0.05$ )..... | 73 |
| Anexo 26: Cuadro resumen de intensidad de respiración en los días 8, 11 y 18 .....             | 74 |
| Anexo 27: ANVA de doble factor para la tasa de respiración .....                               | 74 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de las temperaturas de tratamientos hidrotérmicos en la vida poscosecha de floretes de brócoli cv Avenger bajo condiciones de refrigeración, mediante el método de inmersión en agua caliente. Primero, se realizó una preselección, luego un mínimo procesamiento del material vegetal cortando las pellas hasta floretes e inmediatamente después se realizó el siguiente flujo de operaciones: selección, clasificación, lavado-desinfección, aplicación del tratamiento hidrotérmico a 3 temperaturas de agua caliente (47°, 52° y 57°C), preenfriamiento, secado con aire forzado y refrigeración a 3-5°C y 68%  $\pm$ 5 de Humedad Relativa. Los tratamientos fueron evaluados al día 1, 8, 14, 18 y 25 días de refrigeración, como también a los 4 días para la variable de dimensión (diámetro y longitud). Los resultados obtenidos para la variable pérdida de peso (%) registraron que el tratamiento a 47°C (T1) mantuvo la menor pérdida de peso en todas las fechas de evaluación. El tratamiento hidrotérmico presentó efecto sobre el indicador del color verde -a\* en el día 8 de refrigeración, mas no sobre el indicador del color amarillo +b\*, ya que no evidenció diferencias significativas entre tratamientos, a su vez estos resultados se pueden traducir como evidencia del efecto térmico en la degradación de la clorofila. Con relación a los resultados de la variable intensidad de respiración (tasa de CO<sub>2</sub> producida), se observó una curva de comportamiento a lo largo del tiempo de refrigeración donde la declinación fue a los 18 días en todos los tratamientos. Además, el estrés térmico y el procesamiento al que fueron sometidos los floretes provocó una alta tasa de respiración mayor a 155.1 mLCO<sub>2</sub>/Kg\*h. En general, el tratamiento a 47°C obtuvo una menor disminución de diámetro del florete, menor pérdida de peso y menor descenso del ángulo de tono (h°) del color.

**Palabras clave:** floretes de brócoli, poscosecha, hidrotérmico, temperaturas, color.

## **ABSTRACT**

The objective of this research work was to evaluate the effect of hydrothermal treatment temperatures on the postharvest life of broccoli florets cv Avenger under refrigeration conditions, using the hot water immersion method. First, a preselection was carried out, then a minimum processing of the plant material by cutting the pellets to florets and immediately afterwards the following flow of operations was carried out: selection, classification, washing-disinfection, application of hydrothermal treatment at 3 hot water temperatures (47 °, 52° and 57°C), precooling, forced air drying and refrigeration at 3-5°C and 68% ±5 Relative Humidity. The treatments were evaluated at day 1, 8, 14, 18 and 25 days of refrigeration, as well as at 4 days for the dimension variable (diameter and length). The results obtained for the weight loss variable (%) recorded that the treatment at 47°C (T1) maintained the lowest weight loss on all evaluation dates. The hydrothermal treatment had an effect on the green color indicator -a\* on day 8 of refrigeration, but not on the yellow color indicator +b\*, since it did not show significant differences between treatments, in turn these results can be translated as evidence of the thermal effect on chlorophyll degradation. In relation to the results of the variable respiration intensity (rate of CO<sub>2</sub> produced), a behavior curve was observed throughout the refrigeration time where the decline was after 18 days in all treatments. Furthermore, the thermal stress and processing to which the florets were subjected caused a high respiration rate greater than 155.1 mLCO<sub>2</sub>/Kg\*h. In general, the treatment at 47°C obtained a smaller decrease in floret diameter, a smaller weight loss and a smaller decrease in the tone angle (h°) of the color.

**Keywords:** broccoli florets, postharvest, hydrothermal, temperatures, color.

## I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, aproximadamente un tercio de las frutas y verduras frescas se pierden porque su calidad cae por debajo de un límite de aceptación (Fallik y Zoran, 2017), siendo mayores las pérdidas en países en vías de desarrollo como el Perú debido a la falta de tecnología y malas prácticas de poscosecha. Según INIA (2003), el brócoli se comercializa en nuestro país en estado fresco para el mercado interno en cantidades limitadas; y su manejo en la poscosecha es deficiente porque es un vegetal perecedero con una corta vida útil.

Sin duda, debido a que el brócoli tiene antioxidantes y alto contenido de compuestos bioactivos nutricionales, su consumo ha ido aumentando durante los últimos años (Bidchol et al., 2011). Actualmente, la producción nacional de brócoli en el Perú mostró una tendencia creciente en los últimos 17 años, a un ritmo del 15% anual (MINAGRI, 2017).

Los tratamientos óptimos poscosecha para productos frescos buscan ralentizar los procesos fisiológicos de senescencia y maduración, reducir/inhibir el desarrollo de trastornos fisiológicos y minimizar el riesgo de crecimiento y contaminación microbiana (Mahajan et al., 2014). Habiendo la necesidad de realizar estudios para identificar cuáles serían las técnicas más adecuadas de conservación de productos hortícolas o determinar cuál sería el conjunto de tratamientos y su respectiva secuencia para obtener un efecto sinérgico que prolongue la vida útil de las hortalizas. Se han aplicado diferentes técnicas para dicho fin tales como por ejemplo desinfección, irradiación, inmersión en baños químicos, tratamientos térmicos, absorbedores de etileno, refrigeración, atmósferas modificadas y controladas, recubrimientos comestibles y radiación ultravioleta (UV-C), (Artés y Allende, 2005).

En cuanto al brócoli, inmersiones en agua caliente en conjunción con otros métodos físicos son una alternativa para reducir las pérdidas de calidad durante la poscosecha de los floretes, y en Perú, la literatura que trata acerca del tema es aún limitada. Tratamientos térmicos podrían utilizarse para mantener la calidad físico-química y nutricional de frutas y verduras, dando una atención especial a los efectos en la calidad sensorial.

En ese sentido el presente trabajo tiene como objetivo general evaluar el efecto de tratamientos térmicos en parámetros de la vida poscosecha de floretes de brócoli. Además, el presente estudio busca determinar la temperatura del tratamiento hidrotérmico más efectiva en la conservación poscosecha de floretes de brócoli y evaluar de forma individual los tratamientos hidrotérmicos en la conservación de la calidad comercial de floretes de brócoli, durante el almacenamiento refrigerado.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BRÓCOLI

Font Quer, P (1980), cita la clasificación del brócoli de la siguiente manera:

Reino ..... Vegetal  
División ..... Angiosperma  
Clase ..... Dicotiledónea  
Familia ..... Crucíferas  
Género ..... Brassica  
Especie ..... Oleracea  
Variedad ..... Italica  
Nombre Común ..... Brócoli

### 2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

#### 2.2.1 Características de la especie.

El brócoli es una planta anual, pero puede comportarse como perenne bajo ciertas condiciones climáticas. Su eje grueso puede llegarse a desarrollar entre 2 a 6 cm de diámetro y su eje corto entre 20 a 70 cm de longitud, sobre el cual se colocan las hojas en entrenudos cortos. Puede tolerar heladas suaves cuando no hay inflorescencia, de lo contrario, la congelación hace que las flores posteriormente se pudran.

A diferencia de las coliflores, la pella que forma el brócoli es más pequeña, las hojas erectas de color verde oscuro y un poco rizadas, además que las raíces son pivotantes y tienen raíces secundarias y superficiales. El brócoli solo forma una cabeza principal compacta, las otras laterales son más débiles, más oscuras y se desarrollan sobre un tallo floral menos corto. En general, es mucho menos exigente que la coliflor.

### **2.2.2 Órgano de consumo**

Los órganos comestibles del brócoli son las yemas florales, el tallo y en algunos casos, las hojas. Las yemas florales corresponden a la inflorescencia de tipo corimbo compuesto, el cual contiene a los primordios florales sostenidos en los tallos florales que, a su vez, se encuentran sobre pedúnculos suculentos. A diferencia de la coliflor, la parte comestible corresponde a estadios florales iniciales, su color es verde y su compactación es menor.

## **2.3 IMPORTANCIA DEL BRÓCOLI**

La Dirección General de Políticas Agrarias (MINAGRI, 2017) reportó el aumento de la producción de brócoli en el Perú, del año 2000 al 2016, cuyas áreas cosechadas las cuales pasaron de 670 ha a 4 090 ha, con un crecimiento anual del 11%. Así también, las mejoras en el rendimiento (aumento de 3% anual) explicaron la subida de la producción.

Por otro lado, teniendo en cuenta la importancia del brócoli por su valor nutritivo y beneficio para la salud en enfermedades como la diabetes y el cáncer. En el 2017 el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (MINCETUR, 2017) incluyó al brócoli para el lanzamiento de la nueva marca peruana “SUPERFOOD”.

La demanda de exportación de las crucíferas, especialmente la del brócoli ha ido en aumento significativo durante los últimos años. Por ejemplo, el brócoli que se produce en México, tiene potencial demanda en Estados Unidos, aunque el 75% de lo que se exporte llegue congelado, y el otro 25% llegue fresco. Otros países compradores son los de Europa, Canadá y Japón (Jiménez, 2001).

El brócoli tiene una gran importancia nutricional por su valor nutritivo por unidad de peso de producto comestible ya que posee un alto contenido de vitamina C, alto contenido en fibras solubles, bajo contenido en calorías y alto contenido en potasio (Stoppani y Francescangeli, 2000).

**Tabla 1: Propiedades nutricionales del brócoli por cada 100 g.**

| Componente         | Brócoli crudo |        | Brócoli cocido |        |
|--------------------|---------------|--------|----------------|--------|
|                    | Contenido     | Unidad | Contenido      | Unidad |
| Agua               | 91,00         | %      | 90,00          | %      |
| Carbohidratos      | 5,30          | G      | 5,56           | g      |
| Proteínas          | 2,65          | G      | 2,78           | g      |
| Lípidos            | 0,66          | G      | 0,56           | g      |
| Calcio             | 47,68         | Mg     | 113,89         | mg     |
| Fósforo            | 66,23         | Mg     | 47,68          | mg     |
| Fierro             | 0,86          | Mg     | 1,17           | mg     |
| Potasio            | 325,17        | Mg     | 162,78         | mg     |
| Sodio              | 27,15         | Mg     | 11,11          | mg     |
| Vitamina A (valor) | 1543,05       | UI     | 1411,11        | UI     |
| Tiamina            | 0,07          | Mg     | 0,08           | mg     |
| Riboflavina        | 0,12          | Mg     | 0,21           | mg     |
| Niacina            | 0,66          | Mg     | 0,78           | mg     |
| Ácido ascórbico    | 93,38         | Mg     | 62,78          | mg     |
| Valor energético   | 26,49         | Cal    | 27,78          | cal    |

**Fuente:** Gebhardt y Matthews, 1988.

## 2.4 PRINCIPALES CULTIVARES

El desarrollo de las variedades del brócoli ha ido aumentando en los últimos años. Se ha creado variedades para el consumo fresco, consumo agroindustrial, para huertos caseros, para duración en ciclo de siembra a cosecha, para obtener un determinado número de inflorescencias secundarias o laterales, para hacerlas más resistentes a problemas patológicos, fisiológicos, entre otros.

Para los huertos, se recomienda cultivares que tengan varias inflorescencias, para el consumo fresco se recomienda cultivares que tengan la pella precoz y grande, para la agroindustria, cultivares más tardíos y con flores pequeñas.

- **Cultivares precoces** (menos de 90 días): Emperor, Chancellor, Dandy Early, Green Comet, Green Duke, Premium Crop, Sprinter y Zeus.

- **Cultivares intermedios** (entre 90 y 110 días): Idol, Legend, Citation, Clipper, Green Belt, Green Valiant, Idol, Legend, Ninja y Pirata.
- **Cultivares tardíos** (más de 110 días): Legacy, Arcadia, Climax, Marathon, RS19015, Shogun, Samurai, y Viking.
- **Cultivar Avenger** (70 a 90 días después del trasplante): Es un híbrido con procedencia japonesa. Posee excelentes características de calidad y un rendimiento promedio de 18tn/ha (Haro-Maldonado, 2009). Es de color verde intenso, tiene pocos brotes laterales, floretes uniformes y cabeza grande y compacta, lo cual hace que haya un buen empaquetamiento y aprovechamiento de floretes para el proceso (Sakata seed)

La ficha técnica de Sakata Seed Sudamérica indica las siguientes ventajas:

- Evita que la acumulación de agua pudra el cultivo.
- Se aprovechan mejor los nutrientes.
- Disminuye las pérdidas en la industria de congelados por lo que hace aumentar su rendimiento.

## 2.5 COSECHA

La cosecha es de forma manual en las primeras horas de la mañana cuando hay alta humedad para evitar la deshidratación. Comienza cuando el tallo alcanza una longitud de 5 a 6 cm y se las cosecha en su estado de inflorescencia inmadura, lo cual hace que sea altamente perecedero, por lo que se recomienda disminuir la temperatura rápidamente. en condiciones de alta humedad con el fin de evitar la deshidratación. Luego, se van recolectando más floretes a medida que se van produciendo los rebrotes laterales. Una cosecha de calidad, implica que las flores estén bien compactas, que tengan color verde oscuro brillante, con el tallo cortado a la longitud requerida ([www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/brocoli.htm](http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/brocoli.htm), anónimo, 2004).

## **2.6 MANEJO POSCOSECHA**

Durante el transcurso de todo el proceso debe aplicarse control de calidad en cada una de las etapas, requisito indispensable si se desea obtener elevados rendimientos, siendo necesario para ello el partir de una materia prima de óptimas condiciones. Para lograr esto es importante que dicho control se realice en las distintas fases de recepción, procesamiento y de productos terminados, controles que van desde una inspección de atributos físicos hasta organolépticos y microbiológicos. El repollo de buena calidad se reconoce por cabezas firmes, hojas envolventes que se cubren unas y otras, libres de daños de insectos, enfermedades o rajaduras y de buen tamaño. En el brócoli, el color verde intenso y la compactibilidad son características deseables. El mercado acepta cabezas de menor tamaño de brócoli que de coliflor, y aún varias cabezas pequeñas o los tallos laterales atados en un manojo pueden ser de calidad excelente.

### **2.6.1 Temperatura y humedad relativa óptima**

Es muy importante que el brócoli se encuentre en refrigeración, a una temperatura de 0°C y una humedad relativa mayor a 95 %. El tiempo de vida útil depende de la temperatura de almacenamiento, si es a 5 °C puede durar hasta 14 días y si es a 10 °C, puede durar solo 5 días (Lemoine, 2009).

El enfriamiento se puede realizar de diferentes formas, ya sea inyectando a los cartones encerados, una mezcla de hielo-agua (liquid-icing); o realizando un enfriamiento con aire forzado.

## **2.7 FISIOLÓGÍA POSCOSECHA DEL BRÓCOLI**

El proceso de cosecha de un órgano implica la separación del mismo de la planta madre. En consecuencia, se produce estrés severo debido a que los órganos cosechados pierden drásticamente las aportaciones de minerales, energía, nutrientes y hormonas que provienen de la planta madre, lo cual desencadena un rápido proceso de senescencia. El indicador de senescencia más notorio en el brócoli es que los sépalos de las flores inmaduras empiezan a perder rápidamente la clorofila (King y Morris, 1994).

El brócoli posee una alta tasa respiratoria en la postcosecha, pero técnicas como el almacenamiento refrigerado (King y Morris, 1994) y atmósferas controladas con alta concentración de CO<sub>2</sub> y bajas de O<sub>2</sub> (Aharoni y col, 1985) pueden reducirla y prolongar la vida postcosecha.

Cuando se almacena a 20°C, el contenido de ácidos grasos disminuye en tanto que los lípidos aumentan su peroxidación, el cual está relacionado con el deterioro producido en la postcosecha (Zhuang y col, 1997). El daño y el corte que se realiza durante la cosecha del brócoli, produce la senescencia rápida debido a un aumento de etileno de 5 a 10 veces, lo cual podría ser reducido con refrigeración (Tian y col, 1994; Pogson y Morris, 1997).

La pérdida de clorofila en brócoli puede ser retrasada por inhibidores de la síntesis de etileno y acelerada por la aplicación exógena de etileno y ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico (ACC) (Aharoni y col, 1985; Tian y col, 1994). Las citoquininas retrasan notablemente la senescencia postcosecha de brócoli, posponen la pérdida de clorofila, de proteína y la deshidratación, de todos modos, su aplicación comercial no se encuentra permitida (Costa y col, 2004).

## **2.8 TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

El tratamiento térmico debe generar una situación de estrés que no sea demasiado intensa y que permita al tejido recuperarse luego de un cierto tiempo. En general, luego de los tratamientos, los frutos o vegetales son almacenados a temperaturas entre 15 °C y 20 °C de modo de poder evaluar rápidamente el efecto del calor aplicado sobre diversos procesos de maduración y senescencia postcosecha. Así, por ejemplo, el tratamiento térmico retrasa la maduración en frutillas (Vicente y col, 2002) o en manzana (Fallik et al, 1996) durante el almacenamiento a 20 °C. Sin embargo, el efecto del tratamiento térmico puede suavizarse o incluso desaparecer si el material es almacenado a bajas temperaturas. En frutillas, el efecto benéfico del tratamiento térmico mencionado previamente (Vicente y col, 2002) se torna nulo si el fruto es almacenado durante más de 2 semanas a 0 °C.

En frutas y verduras es un método eficiente, fácil, seguro y económico. Es un medio efectivo para el control de la descomposición poscosecha, así como para el mantenimiento de calidad poscosecha. A lo largo de los años, los tratamientos térmicos han sido empleados para lograr

soluciones poscosecha como desinfestaciones de insectos y enfermedades, control de caries y descomposición de frutas u hortalizas, alivio de lesiones por frío, modificar las respuestas de los productos a otras tensiones y para mantener la calidad de la fruta durante el almacenamiento. Asimismo, se ha utilizado con éxito para mantener la firmeza de tomates, papas, zanahorias y fresas; preservar el color en el brócoli, el kiwi, lechuga, apio y espárragos; evitar la maduración excesiva en melones; y mejorar la vida útil de las uvas, melocotones, ciruelas, etc. (Pongener *et al.*, 2018). La termoterapia ha sido utilizada desde hace más de un siglo para liberar de patógenos.

La combinación de temperatura y tiempo para diferentes tratamientos térmicos varía, para aire caliente de 35°C a 39°C durante días o en agua caliente hasta 63 ° C por menos de un minuto. Normalmente, las temperaturas más altas son empleadas para la desinfestación de insectos y control de microorganismos.

Los tratamientos térmicos, aplicados durante tiempos relativamente cortos, se usan para controlar la descomposición provocada por organismos como los hongos, debido a que estos patógenos están en la superficie del producto. Al someterlo a altas temperaturas se logra un efecto diferencial sobre los tejidos y sobre los hongos, bacterias e insectos, pero se debe de tener cuidado de causar daño al producto tratado. Aun así, se da una situación de estrés leve en el producto del cual es posible recuperarse; por ello, antes de usar este tipo de tecnología, es importante definir el tiempo de tratamiento y la temperatura adecuada (Wasim, 2018).

### **2.8.1 Métodos de tratamientos térmicos**

El calor se puede aplicar a las frutas y verduras de varias maneras; baños de agua caliente, calor del vapor o el aire caliente o mediante el lavado con agua caliente y cepillado. Sin embargo, los principales factores que deben considerarse al desarrollar tratamientos de calor poscosecha son (a) sensibilidad térmica de los organismos patógenos objetivo, (b) ubicación de los patógenos en o sobre el producto, y (c) sensibilidad térmica del producto o fruto. Estos factores determinan en gran medida la temperatura, duración y tipo de tratamiento térmico requerido. Los tratamientos térmicos en forma de aire caliente o baño de agua caliente, se han comercializado para el control de enfermedades poscosecha y varias frutas, como las papayas, mangos y frutas de hueso (Fallik *et al.*, 1996).

Hay tres maneras de efectuar el tratamiento térmico:

- a. Inmersión en agua caliente o asperjado:** usada inicialmente para controlar hongos y más adelante para la desinfección de insectos. Es efectiva para controlar hongos debido a que las esporas están en la superficie. El tiempo de aplicación para muchas hortalizas y frutas dura más de 10 minutos a altas temperaturas (entre 50 a 60 °C) (Lurie, 1998).
- b. Vapor:** Es un método por el cual se calienta el material con aire que esté entre 40 a 50 °C saturado con vapor de agua para eliminar larvas y huevos de insectos. (Lurie, 1998). Es utilizado como tratamientos cuarentenarios.
- c. Aire caliente:** Aquí se hace uso de cámaras de calentamiento con aire forzado y sin forzado, pero en general, este tratamiento es más lento a diferencia de los tratamientos con agua o vapor. Sin embargo, este tipo de tratamiento es útil para estudiar los efectos fisiológicos del choque térmico (Klein y Lurie, 1991). Asimismo, es útil para el control de plagas en productos que sean sensibles al calentamiento, como por ejemplo la mosca del Mediterráneo, la mosca oriental en papayas y la mosca del melón (Armstrong et al., 1989). La exposición a altas temperaturas con aire caliente forzado también puede reducir el ataque de *Botrytis cinerea* (Klein y Lurie, 1991); y de *Penicillium expansum* en manzanas (Fallik et al, 1996).

### 2.8.2 Efectos térmicos sobre la fisiología poscosecha

Se ha demostrado que los tratamientos térmicos de alta temperatura generan una situación de estrés leve y transitorio que retrasa el proceso normal de maduración o senescencia poscosecha. Asimismo, en muchos casos el estrés generado hace que el tejido se torne más resistente frente a una nueva situación de estrés, permitiendo atenuar y/o retrasar desórdenes fisiológicos que ocurren durante el almacenamiento (Pongener *et al.*, 2018).

Entre los efectos generados podemos mencionar:

#### **a. Termotolerancia:**

En general, las altas temperaturas inducen la síntesis de un tipo específico de proteínas, las proteínas de choque térmico (HSP). El desarrollo de termotolerancia ha sido asociada a la acumulación de HSP y la pérdida de ésta con la desaparición de las HSP (Lurie, 1998). El desarrollo de termotolerancia es dependiente de la temperatura de exposición, esta debe ser

suficiente para iniciar la síntesis de HSP, pero no excesiva como para inhibir la transcripción de las HSP. Temperaturas de 35-40 °C han probado ser efectivas, dependiendo del producto.

#### **b. Daño por frío**

Se ha observado que los tratamientos térmicos permiten disminuir el daño por frío. Por ejemplo, en pomelos almacenados a bajas temperaturas se observó que la aplicación de un tratamiento térmico disminuyó la incidencia del daño por frío. En manzanas, tratamientos aplicados antes del almacenamiento refrigerado, disminuyen la acumulación de - farneseno y por lo tanto la formación de escaldaduras como consecuencia de la oxidación de este compuesto (Klein y Lurie, 1991). En granadas tratadas con agua caliente a 45 °C por 4 minutos, y luego almacenadas a 2 °C por 90 días, los síntomas debido al daño por frío fueron reducidos significativamente.

El tratamiento térmico podría inducir mecanismos de tolerancia a las bajas temperaturas a través de la estimulación de la síntesis de poliaminas (Mirdehghan, 2007).

#### **c. Ablandamiento**

Se ha demostrado que los tratamientos térmicos pueden retrasar la degradación de la pared celular debido a que provoca una inhibición temporaria de la transcripción de genes que codifican para proteínas asociadas a la degradación de la pared, conduciendo a un retraso en el ablandamiento del fruto (Martínez y Civello, 2008).

En frutilla un tratamiento térmico a 45 °C y 3 horas con aire caliente redujo la actividad de enzimas de degradación de pared como la glucanasa, xilosidasa, poligaracturonasa y galactosidasa (Vicente y col, 2005 (a)).

#### **d. Cambio de color**

Los tratamientos térmicos postcosecha pueden retrasar la degradación de algunos pigmentos. Por ejemplo, pueden inhibir síntesis de antocianinas en espárragos y disminuir el pardeamiento en lechugas (Saltveit, 2000). La síntesis de carotenoides también es inhibida por temperaturas superiores a 30 °C, por ejemplo, en tomate, la inhibición de la síntesis de licopeno es causada por la inhibición de la transcripción de genes de fitoeno-sintasa. (Lurie, 1996).

#### **e. Síntesis de etileno**

La inhibición de la maduración como respuesta al tratamiento térmico está mediada por su efecto sobre la hormona de maduración: el etileno. Durante el periodo de calentamiento no sólo es inhibida la producción endógena de etileno sino también la respuesta al etileno exógeno, aunque la inhibición es reversible (Lurie, 1998). Este fenómeno se debería a la inhibición de la síntesis de ARNm relacionado a la producción de etileno y a los receptores del mismo necesarios para la maduración. Por ejemplo, estrés con altas temperaturas sobre kiwi inhibieron la síntesis de etileno y disminuyeron significativamente la actividad de las enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa (Antunes y Sfakiotakis, 2000).

El tratamiento térmico debe generar una situación de estrés que no sea demasiado intensa y que permita al tejido recuperarse luego de un cierto tiempo. En general, luego de los tratamientos, los frutos o vegetales son almacenados a temperaturas entre 15 °C y 20 °C de modo de poder evaluar rápidamente el efecto del calor aplicado sobre diversos procesos de maduración y senescencia postcosecha. Así, por ejemplo, el tratamiento térmico retrasa la maduración en frutillas (Vicente y col, 2002) o en manzana (Fallik et al, 1996) durante el almacenamiento a 20 °C. Sin embargo, el efecto del tratamiento térmico puede suavizarse o incluso desaparecer si el material es almacenado a bajas temperaturas. En frutillas, el efecto benéfico del tratamiento térmico mencionado previamente (Vicente y col, 2002) se torna nulo si el fruto es almacenado durante más de 2 semanas a 0 °C.

#### **f. Intensidad de respiración**

Dentro de los factores que afectan la actividad respiratoria el más importante es la temperatura, puesto que tiene un efecto muy marcado en las reacciones fisiológicas como la respiración (Carballo, 2003). En el rango de 0 a 30°C el incremento de temperatura causa un crecimiento exponencial en la respiración. La ley de Van't Hoff dice que la velocidad de las reacciones biológicas aumenta 2 a 3 veces por cada 10 °C de aumento en la temperatura.

El aumento en la velocidad de respiración produce una más rápida pérdida de azúcares y otros compuestos involucrados con características de la calidad organoléptica del producto como son el sabor y aroma. (Cantwell y Suslow, 1997).

Dependiendo de la temperatura se puede producir estrés por frío o estrés por calor. El segundo caso se produce cuando la temperatura aumenta por encima del rango fisiológico y por ende se reduce la tasa de respiración. Cuando el tejido alcanza temperaturas cercanas a

la muerte térmica el metabolismo es alterado, las enzimas se desnaturalizan y la tasa respiratoria se hace negativa. Muchos tejidos pueden tolerar altas temperaturas por periodos cortos de tiempo (minutos). Esta propiedad se usa para favorecer la muerte de hongos sobre la superficie de algunas frutas. Además, se utilizan golpes térmicos (exposición corta a temperaturas altas) que pueden modificar la respuesta del tejido a otros daños de estrés (Carballo, 2003).

### **2.8.3 Tratamientos térmicos en vegetales frescos cortados**

Los tratamientos térmicos de alta temperatura también han sido ensayados en vegetales frescos cortados. Por ejemplo, un tratamiento térmico en agua a 45°C por períodos cortos preservó la firmeza y el contenido de sólidos solubles en kiwi cortado (Beirão-da-Costa y col, 2006). En cebollas mínimamente procesadas, el tratamiento térmico permitió mantener el contenido de azúcares solubles constante (Hong y col, 2000). En el caso de duraznos el tratamiento con agua a 50 °C por 10 minutos, cuatro horas antes del corte permitió controlar el pardeamiento y retener la firmeza durante el almacenamiento (Koukounaras y col, 2008). Un shock térmico a 45 °C en discos de tomate protegió los componentes de la membrana del daño causado por el almacenamiento a baja temperatura (Saltveit, 2005).

### **2.8.4 Tratamiento térmico en brócoli**

Desde hace ya algunos años se ha estado estudiando también el efecto de los tratamientos térmicos de alta temperatura en brócoli. Tratamientos con agua caliente (Forney, 1995; Tian y col, 1996, 1997) y aire caliente (Terai y col, 1999) demostraron retrasar el amarilleamiento y reducir la tasa de producción de etileno en cabezas enteras de brócoli. Suzuki y col. (2005) mencionan que la inhibición en la producción de etileno en brócoli tratado térmicamente podría deberse a la supresión de la expresión de la enzima ACC sintasa. Funamoto y col. (2002) indicaron que el tratamiento de brócoli con aire caliente a 50 °C durante 2 horas reduce la degradación de clorofila, debido a la disminución de la actividad de enzimas que degradan clorofila. Costa y col. (2005) hallaron que las actividades de clorofilasa, Mg-dequelatasa y peroxidasa disminuyeron por la aplicación de un tratamiento con aire caliente a 48 °C durante 3 horas.

## **2.9 VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS**

La tendencia de consumo en la actualidad, son productos frescos debido a que la población mundial ahora tiene mayor conciencia en mejorar hábitos alimenticios (Lemoine, 2009). El procesado mínimo comprende distintas operaciones que pueden resumirse en: recepción; elección y clasificación; pre-enfriado; acondicionamiento; pelado; cortado; lavado/desinfección; tratamientos; escurrido; envasado; refrigeración.

### **2.9.1 Efectos del procesado**

#### **a. Intensidad respiratoria y deshidratación**

La tasa de respiración aumenta por el estrés causado en el procesado. Asimismo, los productos mínimamente procesados, consumen O<sub>2</sub> del envase con mayor velocidad (Cantwell y Suslow, 1997).

El aumento de la relación superficie/volumen en los productos procesados incrementa enormemente la pérdida de agua. En kiwi, por ejemplo, el trozado y el pelado incrementa la pérdida de peso respecto al fruto entero (Agar y col, 1999).

#### **b. Producción de etileno**

El etileno aumenta cuando se realiza el corte. Generalmente, su producción es proporcional al nivel de estrés generado. Por ejemplo, en tomate, el etileno aumenta 20 veces, y en kiwi, 16 veces (Watada y col, 1990).

#### **c. Alteraciones microbiológicas**

El corte produce contaminación si es que el vegetal no es previamente desinfectado (Díaz-Cinco y col, 2005).

#### **d. Alteraciones del color**

Durante el almacenamiento por un largo periodo, se reduce la concentración de pigmentos verdes y aumenta la pigmentación amarilla debido a la degradación de la clorofila (Lemoine, 2009). A nivel celular, se produce la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, las cuales, a su vez, se polimerizan y dan lugar a la formación de melanina. La coloración amarillenta se puede inhibir con citoquininas y colocando el almacenamiento a bajas temperaturas, con bajos niveles de O<sub>2</sub> y altos niveles de CO<sub>2</sub> (Shewfelt et al., 1983; Bastrash et al., 1993).

### **e. Pérdida de nutrientes y características organolépticas**

Se pierden nutrientes (principalmente la vitamina C) cuando se lava el producto o cuando elimina agua por alguna de sus partes; y las características organolépticas como el aroma cambia por la peroxidación de los ácidos grasos insaturados, lo cuales es a su vez catalizada por la lipoxigenasa produciendo cetonas y aldehídos de olores característicos.

## **2.9.2 Factores que afectan la calidad poscosecha de los productos mínimamente procesados**

Para obtener un producto de calidad hay que tener en cuenta factores como:

### **a. Variedad y estado de madurez**

La selección del material vegetal debe realizarse previamente al procesado del producto dando suma importancia a la buena elección de la variedad debido a que cada una tiene un comportamiento particular en el procesado; estas pueden diferir en su tasa de respiración, cambio de color y en la pérdida de la firmeza (Kim y col, 1993).

La selección del estado de madurez es también esencial para el procesado. En el caso de frutos, se debe seleccionar producto lo suficientemente maduro como para que los aromas y sabores propios se hayan desarrollado, pero no sobre maduro ya que se deterioraría rápidamente.

### **b. Sanidad**

Debe partirse de una materia prima con las mejores características sanitarias, la implementación de las buenas prácticas agrícolas (BPA), las buenas prácticas de manufactura (BPM) y el análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC, HACCP), son necesarias para asegurar la inocuidad de estos productos.

Para reducir la carga microbiana generalmente se utiliza agua adicionada con hipoclorito sódico. Existen otras alternativas químicas como son el uso de peróxido de hidrógeno, la utilización de ozono, ácidos orgánicos y ácido peroxiacético.

Otro posible tratamiento es la utilización de antimicrobianos naturales como los aceites esenciales, así como también bacterias lácticas.

Entre los tratamientos físicos que se pueden utilizar se encuentran los tratamientos térmicos, las radiaciones ionizantes gamma y las no ionizantes como la radiación ultravioleta UV-C y la radio frecuencia.

### **c. Temperatura de almacenamiento**

Este uno de los factores más importantes para mantener un buen nivel de calidad de los productos recién cosechados. Importante mantener la cadena de frío hasta el consumo del producto ya que, la temperatura determina que tan rápido se dan las reacciones químicas. Por ejemplo, si la temperatura aumentara de 0°C a 10°C, la respiración celular se duplicaría o se triplicaría (Ley de Van't Hoff) haciendo que los sustratos sean consumidos con mayor velocidad y que la vida media y calidad del producto disminuya. Como ya se mencionó previamente, la tasa respiratoria de los vegetales frescos cortados generalmente es más alta que el producto intacto. En algunos casos como en arvejas, uvas y zucchinis es ligeramente mayor, mientras que en kiwi y en lechuga el incremento en la tasa respiratoria como consecuencia del procesamiento es mayor al 100 % (Watada y col, 1996). Asimismo, temperaturas crecientes también aceleran el desarrollo microbiano. La temperatura recomendada para la comercialización y distribución de los productos frescos cortados oscila entre 0 y 5 °C.

Aunque es necesario que los productos recién cosechados se sometan a temperaturas frías, se debe tener cuidado con aquellos sensibles al frío. El daño por frío va a depender de la variedad, temperatura y tiempo de almacenamiento del producto.

### **d. Consideraciones especiales para el brócoli**

La vida útil del brócoli termina cuando aparece sus flores amarillas, y este tiempo de vida útil depende del cultivar (Cantwell y Suslow, 1997).

Según Cantwell y Suslow, 1997 la vida útil de diferentes cultivares de brócoli almacenados a 5 °C, y 95 por ciento de Humedad Relativa se puede clasificar en:

- Corta (< 20 días): Zeus, Cruiser, Baccus, Mariner, Brigadier, De Cicco.
- Media (20 a 25 días): Green Lady, Galaxy, Embassy, Pinnacle, Emperor, Gem, Green, Valiant.
- Larga (>25 días): Shogun, Greenbelt, Packman, Skiff, Marathon, Pirate.

## **2.10 PARÁMETROS DE CALIDAD**

### **2.10.1 Parámetros de calidad físico-química**

Estos parámetros están muy relacionados con los índices de cosecha y apariencia externa, considerándose en conjunto parámetros agronómicos de la calidad. En el brócoli, el indicador de calidad es el tamaño, la apariencia de la pella que debe tener floretes cerrados de color verde oscuro. No debe tener ningún florete amarillo ni tonalidades pardas en las partes del tallo (Cantwell y Suslow, 2005).

Las normas de calidad de EE.UU. (US FANCY), uno de los principales países importadores de brócoli, determinan estándares de calidad para el brócoli procesado y congelado las cuales consisten en panes de brócoli que deben estar libres de descomposición y daños causados por sobremaduración, decoloración, congelamiento, marchitez, suciedad, insectos, daño mecánico u otros daños (Carranza, 1994).

### **2.10.2 Parámetros de calidad funcional**

De acuerdo a los estudios epidemiológicos, el brócoli contribuye a la disminución del riesgo de contraer cáncer debido a sus compuestos bioactivos como la vitamina C, clorofila, carotenoides, glucosinatos y compuestos fenólicos que aumentan su nivel antioxidante (Podsdek, 2007).

Así, según la definición de alimento funcional “*son aquellos alimentos que, en forma natural o procesada, contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos para la salud que van más allá de la nutrición*” (Vidal, 2008). Los compuestos funcionales (biocompuestos), evaluados generalmente en bráscicas, son la vitamina C y los compuestos fitoquímicos.

Cabe resaltar que la variación del contenido de los compuestos funcionales depende del cultivar, del estado de maduración y cosecha, de las condiciones del cultivo y las condiciones del manejo en la postcosecha (Jeffery et al., 2003; Vallejo et al., 2002).

## **2.11 DESÓRDENES POSCOSECHA**

### **2.11.1 Fisiopatías**

#### **a. Amarillamiento de los floretes (Floret -bead- yellowing)**

Puede deberse al almacenamiento en temperaturas altas, a la sobremadurez de la cosecha o contacto con etileno. Cabe resaltar que el color amarillento producido por la senescencia no debe confundirse con el color verde claro amarillento presente en las áreas que no estuvieron expuestas a radiación solar (Cantwell y Suslow, 1997).

#### **b. Pardeamiento de los florets (Brown floret -bead).**

El pardeamiento puede deberse a un desbalance nutricional lo cual hace que algunas áreas de los floretes mueran y se tornen de color pardas (Cantwell y Suslow, 1997).

#### **c. Daño Físico**

El mal manejo al cosechar el brócoli hace que los daños en los floretes se incrementen y empiecen a pudrirse.

### **2.11.2 Enfermedades**

Las enfermedades de pudrición pueden tener origen bacteriano como la Erwinia, Pseudomonas, que causa la pudrición blanda. Asimismo, se dan las enfermedades causadas por hongos, pero son menos comunes que las pudriciones (Cantwell y Suslow, 1997).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN**

El experimento se ejecutó en las instalaciones del Laboratorio de Horticultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el distrito de La Molina del departamento de Lima.

Ubicación geográfica:

|              |                  |
|--------------|------------------|
| Latitud      | : 12° 05'        |
| Longitud     | : oeste 76° 56'  |
| Altitud      | : 242,7 m.s.n.m. |
| Departamento | : Lima           |
| Provincia    | : Lima           |
| Distrito     | : La Molina      |

#### **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1 Material vegetal:**

Se utilizaron 30 inflorescencias de brócoli (*Brassica oleracea Var. italica*) cultivar Avenger, recién cosechados. Seleccionando las cabezas verdes con un grado de desarrollo apto para la comercialización, libres de enfermedades y de cualquier tipo de daño, los cuales fueron trasladados inmediatamente al laboratorio para ser procesados hasta obtener floretes.

##### **3.2.2 Materiales generales:**

- 2 recipientes rectangulares de plástico
- 6 bandejas pequeñas de plástico
- 3 bandejas grandes de plástico
- 1 jarra 1 litro para medir
- 12 frascos pequeños de vidrio con tapa

- 3 frascos medianos de vidrio con tapa
- Cuchillos
- Papel toalla
- Guantes
- Mallas tipo tul o velo de novia color blanco
- Marcadores indelebles

### **3.2.3 Instrumentos o equipos de laboratorio:**

- 2 termómetros (Marca: HANNA)
- 1 ventilador (Marca: MIRAY)
- Equipo de baño de maría digital (Marca: JEITECH, Modelo: BW-20G BATH WATER)
- Balanza digital (Marca: AEADAM, Modelo: EBL-6202I)
- Oxímetro (Marca: WITTGAS, Modelo: Oxibaby M+O2/CO2)
- 2 vernier (Control Company Traceable)
- Colorímetro (CROMAMETER marca Konika Minolta, modelo CR-400)
- Refrigerador Modelo LSP 1139

### **3.2.4 Insumos:**

- Hielo embolsado de 3.5 kg
- 10 litros de agua destilada
- Lejía
- Alcohol 96°

## **3.3 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO**

Las inflorescencias de brócoli empleadas en el ensayo fueron cosechadas con las características descritas en el punto 3.2.1. de campos cultivados de la Universidad Nacional Agraria la Molina, ubicados frente a los Laboratorios de Suelos.

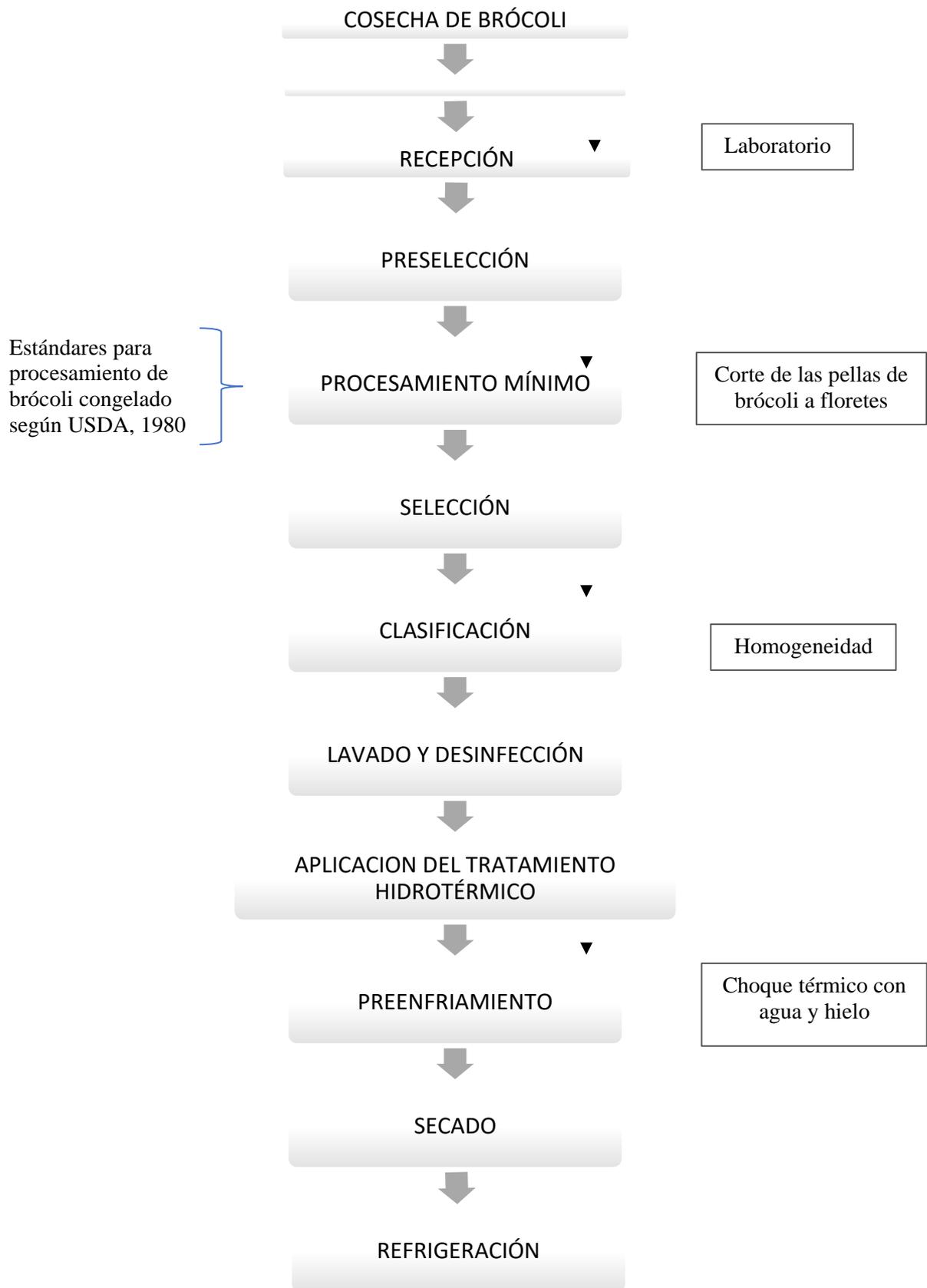
Para la obtención del material vegetal e inicio de la instalación del ensayo se eligió el día con mayor cantidad de volumen de cosecha. Aproximadamente 2 horas después de finalizar toda la cosecha del día (horas de la tarde), se transportó el material vegetal en jabas hacia el Laboratorio de Horticultura de la UNALM donde se procedió a realizar el flujo de

operaciones para el tratamiento hidrotérmico: la preselección, mínimo procesamiento del material vegetal, selección, clasificación, lavado- desinfección, aplicación del tratamiento hidrotérmico, pre enfriamiento, secado y refrigeración o almacenamiento. Dicho día se consideró como el día cero o día de aplicación de los tratamientos.

En el laboratorio primero se realizó una preselección de las inflorescencias, descartando aquellas con daño, golpe por el traslado, falta de compactibilidad, color desuniforme o por algún otro defecto.

Teniendo en cuenta las medidas sanitarias pertinentes (esterilización de los materiales en general) se inició el procesamiento del material vegetal cortando las pellas de brócoli hasta “floretes” según los estándares de procesamiento para brócoli congelado (USDA, 1980). Donde la denominación de floretes refiere a las inflorescencias del brócoli con pedúnculo o porciones adjuntas al tallo con o sin hojas anexas que pueden variar en un largo de 2,5 a 9 cm. Los floretes pueden cortarse longitudinalmente. Luego se seleccionarán 24 floretes con el corte del tallo recto, sin daños y sin heridas físicas visibles; paralelamente se irán clasificando en 4 grupos homogéneos según la semejanza de tamaño, color y peso. Luego se lavaron y desinfectaron con agua en una solución de hipoclorito de sodio a 0.01 % para retirar y disminuir el material particulado adherido a los floretes. Posteriormente se aplicarán 3 tratamientos hidrotérmicos con inmersión en agua caliente durante 2 minutos y a temperaturas de 47°C, 52°C y 57°C. Inmediatamente después se sometieron a un choque térmico de agua con hielo para disminuir la temperatura de los floretes hasta los 10 °C ± 2 °C (pre enfriamiento). Una vez finalizados los tratamientos, se someterán a un proceso de secado por 1 hora, empleando un ventilador de aspas a baja velocidad, para minimizar el exceso de agua presente en los floretes.

Finalmente se almacenarán en cámaras de frío a una temperatura de 3-5°C y 68% ±5 de Humedad Relativa. A continuación, se presenta el flujograma de operaciones realizadas:



**Figura 1:** Flujograma de operaciones para la instalación del ensayo y aplicación del tratamiento hidrotérmico de floretes de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) cv. Avenger.

### 3.4 TRATAMIENTOS A EVALUAR

Se evaluaron 4 tratamientos (incluido el tratamiento control o testigo) bajo un único tiempo de inmersión de 2 minutos y todos bajo las mismas condiciones de almacenamiento en una cámara de frío a 3-5°C y 68% ±5 de Humedad Relativa, los cuales se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 2: Descripción de los tratamientos**

| Tratamientos | Temperatura de inmersión en agua caliente | Tiempo de refrigeración | Descripción   |
|--------------|---|-------------------------|---|
| T0           | Ninguna                                   |                         | Testigo, no se aplicó ningún tratamiento.                           |
| T1           | 47°C                                      | Durante 25 días (todos) | Tratamiento térmico con agua a 47°C durante 2 minutos de inmersión. |
| T2           | 52 °C                                     |                         | Tratamiento térmico con agua a 52°C durante 2 minutos de inmersión. |
| T3           | 57 °C                                     |                         | Tratamiento térmico con agua a 57°C durante 2 minutos de inmersión. |

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño experimental empleado fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 3 tratamientos y un testigo con 6 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue conformada por un 1 florete de brócoli, resultando un total de 24 unidades experimentales

$$Y_{kn} = \mu + T_k + \epsilon_{kn}$$

Donde:

- $Y_{kn}$  : Es la variable de respuesta: pérdida de peso, tasa respiratoria, longitud, diámetro y color sobre los tratamientos hidrotérmicos y el testigo.
- $\mu$  : Media global
- $T_k$  : Es el efecto del k-ésimo tratamiento
- $\epsilon_{kn}$  : Es el error aleatorio experimental del  $Y_{kn}$

Para el análisis estadístico de las variables respuesta se utilizó el software estadístico R (versión 3.5) y Yupana, la herramienta web interactiva para el análisis de datos en la investigación agropecuario e industrial. Se ejecutó un análisis de varianza simple (ANOVA) para analizar las varianzas entre medias de cada evaluación y a lo largo del tiempo de refrigeración. Finalmente se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

### **3.6 VARIABLES EVALUADAS**

Las evaluaciones de las variables respuesta se realizaron a los 1, 8, 11, 18 y 25 días después de aplicados los tratamientos. Excepto por las variables de dimensión (longitud y diámetro) donde las evaluaciones fueron en los días 1, 4, 8 y 25. Donde el día 1 fue el primer día de refrigeración y de aplicados los tratamientos.

#### **3.6.1 Parámetros Físicos:**

##### **a. Pérdida de peso**

La cantidad de vapor de agua eliminada por la fruta u hortaliza es directamente proporcional a la diferencia entre su concentración interna y la de la atmosfera que lo rodea, a este fenómeno se le conoce como transpiración, y en el caso particular de los productos hortofrutícolas cosechados y almacenados se traduce físicamente en una pérdida de peso real y definitiva, por lo que a esta pérdida de peso neto se le denomina “Pérdida Fisiológica de Peso”. Dicha pérdida fue medida tomando los pesos de cada florete en 4 evaluaciones: desde el inicio de aplicación del tratamiento (día1) y a los 8, 18 y 25 días. Para esta medición se utilizó balanza digital marca AEADAM con dos decimales y +/- 0.1 gr. de precisión.

Luego de obtener las mediciones se calculó el porcentaje de pérdida de peso respecto al primer día de evaluación, utilizando la siguiente formula:

$$\% PP = \frac{(Peso\ inicial - Peso\ en\ el\ día\ x\ de\ evaluación) * 100}{Peso\ Inicial}$$

##### **b. Color superficial**

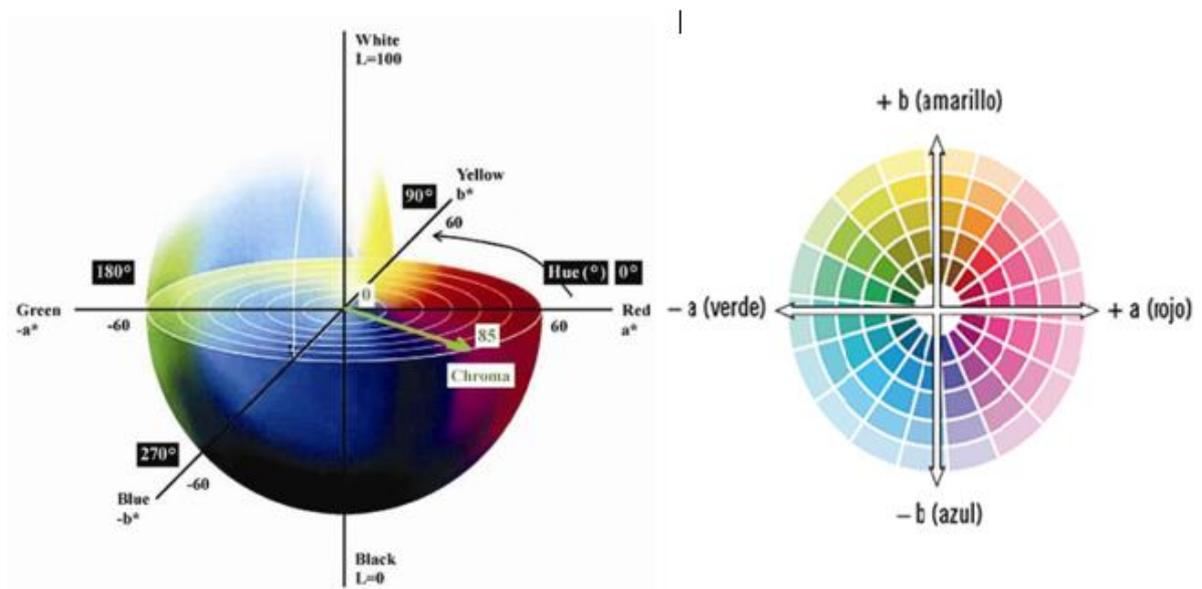
Para identificar los cambios de color que el ojo humano no percibe, uno de los métodos más conocidos, rápido y no destructivo, es el sistema espacial tridimensional CIELab (Figura 2). Éste fue el método desarrollado para evaluar el color de las muestras con ayuda de un

colorímetro (Minolta modelo CR-400) para obtener las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , midiendo 3 veces en el área central del florete. Luego se calcularon los parámetros psicométricos del color (espacio CIELCH); croma ( $C^*$ ) y el ángulo del tono Hue ( $h^\circ$ ), pudiendo evaluar así los cambios de color que ha sufrido el brócoli durante el almacenamiento en refrigeración.

El ángulo Hue ( $h^\circ$ ) y croma ( $C^*$ ) se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$h^\circ = 180^\circ + \tan^{-1} (b^*/a^*) \text{ cuando } a < 0 \text{ y } b > 0$$

$$C^* = ((a^* 2 + b^* 2))^{1/2}$$



**Figura 2:** Espacio del Color CIE  $L^*a^*b^*$

**Fuente:** <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

### c. Longitud y diámetro ecuatorial

Utilizando el Vernier digital como instrumento de medición. Se medirán las siguientes dos variables morfológicas:

- Longitud (medida del extremo inferior del tallo al otro extremo superior de las inflorescencias).
- Diámetro ecuatorial del florete

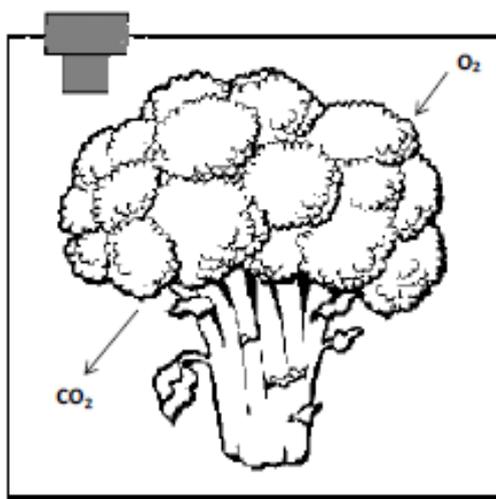
### 3.6.2 Parámetro Físico-Química

#### a. Intensidad Respiratoria (Tasa de CO<sub>2</sub>)

La actividad respiratoria es muy importante porque nos proporciona una ventana a través de la cual podemos determinar la actividad metabólica de los tejidos vegetales. Este proceso fisiológico puede cuantificarse, en teoría, midiendo: la cantidad de sustrato consumido, O<sub>2</sub> absorbido, **CO<sub>2</sub> producido**, energía liberada (calor, ATP) o H<sub>2</sub>O liberada. Sin embargo, en la práctica los métodos para determinar la respiración cuantifican el intercambio gaseoso asociado con el proceso de CO<sub>2</sub> desprendido, O<sub>2</sub> consumido y el calor desprendido, siendo el CO<sub>2</sub> el gas que se evalúa con mayor frecuencia debido a su relativa facilidad para cuantificarlo.

Existen diferentes métodos para la medición de la respiración con dos enfoques generales: sistema estático y sistema dinámico.

En el presente ensayo se utilizó un sistema estático. Saltveit (1997) describe la metodología para el proceso de medición de la respiración en un sistema estático, el cual consiste en colocar el producto en un contenedor herméticamente sellado para medir la acumulación de dióxido de carbono o el agotamiento del oxígeno en la atmósfera lo largo del tiempo. Este método se emplea durante breves períodos de horas, especialmente con productos más pequeños o piezas de tejidos como meristemas, flósculos o brotes.



**Figura 3:** Sistema estático para la medición de la respiración, con la muestra en un contenedor de vidrio herméticamente cerrado.

Se utilizó el oxímetro como equipo de medición para la variable intensidad respiratoria o tasa de CO<sub>2</sub> de los floretes de brócoli (concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) durante un periodo de 1 hora, tomando como referencia a Salveit (1997).

Para calcular la tasa de respiración en un sistema estático, necesitamos conocer los siguientes datos:

- Volumen de envase
- Peso del tejido
- Concentración de dióxido de carbono inicial
- Duración del tiempo
- Concentración final de CO<sub>2</sub>.

Finalmente se aplicó la siguiente fórmula para el cálculo de la tasa de CO<sub>2</sub>:

$$\text{Tasa de CO}_2 \text{ (mL CO}_2 \text{ / Kg x h)} = \frac{\left(\frac{\% \text{CO}_2 \text{ final} - \% \text{CO}_2 \text{ inicial}}{100}\right) \times \text{Volumen del envase (ml)}}{\text{peso del florete (Kg)} \times \text{tiempo (h)}}$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICAS

#### 4.1.1 Pérdida de peso (porcentaje)

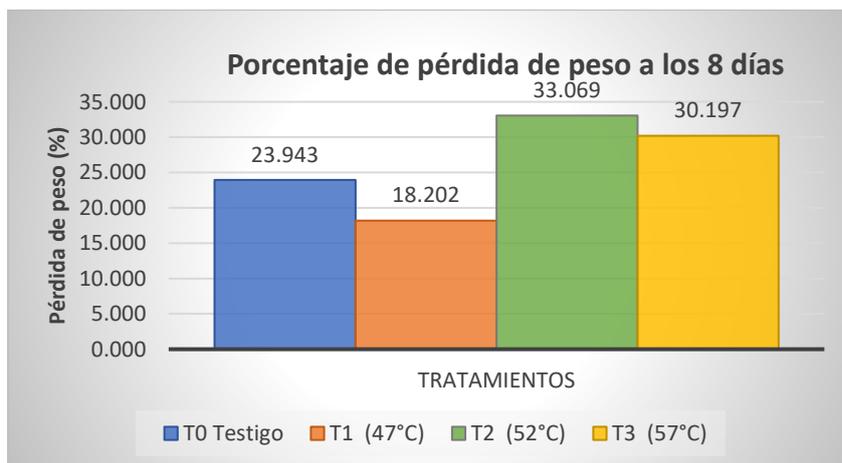
La mayoría de las frutas y hortalizas contienen entre el 80 a 95 por ciento de agua por peso, parte del cual se pierde por transpiración y/o respiración. Luego de ser cosechadas las hortalizas continúan perdiendo agua, la cual ya no puede ser recuperada (Ryall y Lipton, 1979). La pérdida de agua por transpiración es el factor más importante en la reducción del peso en el brócoli (Pantástico, 2004).

El análisis de los datos obtenidos determinó que la pérdida de peso promedio (%) de los floretes sometidos a tratamientos hidrotérmicos y el testigo, se incrementaron significativamente a medida que transcurre el tiempo; a los 8, 18 y 25 días de refrigeración. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Carranza (1994) y Martínez (1997) quienes mencionan, en sus respectivos estudios que la pérdida de peso de brócoli se incrementó progresivamente con el tiempo de almacenamiento refrigerado.

#### a. Evaluación al día 8 de iniciado el ensayo

En la figura 4 se muestran los promedios de pérdida de peso (%) luego de 8 días de refrigeración ( $T^{\circ}= 3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}= 68\% \pm 5$ ) de floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidrotérmicos (T1, T2 y T3), observándose que el T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ) presenta la menor pérdida de peso (18%) respecto al valor del primer día de evaluación. Al ordenarlos en forma ascendente, desde el tratamiento con menor porcentaje de pérdida de peso, resulta el siguiente orden: T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ), T0 (testigo), T3 ( $57^{\circ}\text{C}$ ) y T2 ( $52^{\circ}\text{C}$ ). Asimismo, el único tratamiento con menor dispersión de datos es el T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ) lo cual demuestra que tanto la media como los valores medidos son muy cercanos (Anexo 1).

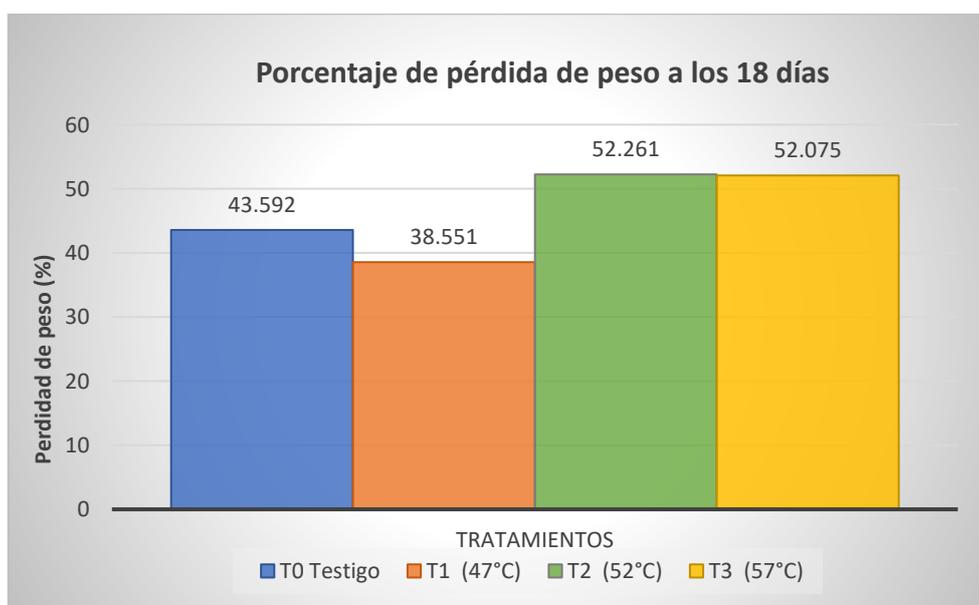
El análisis ANOVA correspondiente a los 8 días de refrigeración (Anexo 2) muestra diferencias significativas y a través de la prueba Tukey se comprueba que el T1 produce resultados diferentes a los demás tratamientos y al testigo, por otro lado, T2 y T3 tiene resultados similares entre sí (Anexo 3).



**Figura 4:** Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes de brócoli aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 8 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

### b. Evaluación a los 18 días de iniciado el ensayo

En la figura 5 se muestran los promedios de pérdida de peso (%) luego de 18 días de refrigeración ( $T^{\circ}= 3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}= 68\% \pm 5$ ) de floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidrotérmicos, observándose que el T1 (47°C) continúa siendo el tratamiento con menor pérdida de peso seguida del tratamiento testigo y en la prueba de Tukey, T1 y el testigo resultaron con baja diferencia significativa ( $\alpha=0.1$ ). Los demás tratamientos (T2 y T3) resultaron con las mayores pérdidas de peso y estadísticamente similares (Anexo 4).

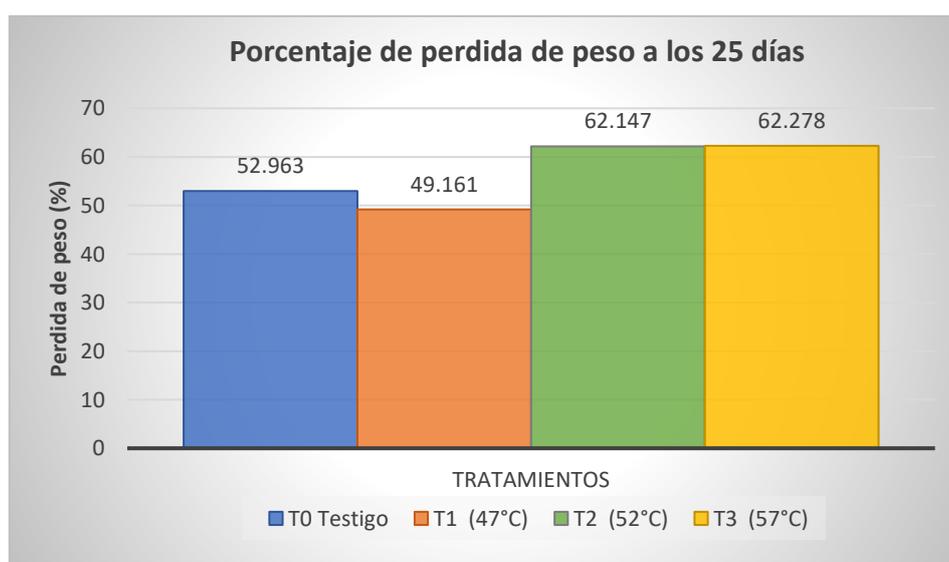


**Figura 5:** Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 18 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

### c. Evaluación a los 25 días de iniciado el ensayo

A los 25 días de refrigeración ( $T^{\circ}= 3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}= 68\% \pm 5$ ) todos los tratamientos experimentaron poco más del 50% de pérdida promedio del peso respecto al valor del primer día de evaluación, excepto el T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ). Como se observa en la Figura 6, el tratamiento 1 sometido a  $47^{\circ}\text{C}$  de inmersión en agua caliente resultó con una pérdida de peso ligeramente menor a los demás tratamientos (49.1%).

Al realizarse la prueba de comparaciones múltiples Tukey ( $\alpha < 0.05$ ) correspondiente (Anexo 5) se obtuvieron resultados estadísticamente similares para el tratamiento testigo y T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ); de igual forma entre los tratamientos T2 ( $52^{\circ}\text{C}$ ) y T3 ( $57^{\circ}$ ). Es decir después de 25 días no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de dichos tratamientos. Según **Lemoine (2009)**, el brócoli almacenado a  $5^{\circ}\text{C}$  puede tener una vida útil de 14 días y según **Cantwell y Suslow (1997)** a esa misma temperatura y 95% HR, la vida útil de cultivares precoces (Zeus, Avenger) es corta (menor a 20 días). Entonces se puede inferir que en fechas próximas a los 25 días todos los tratamientos, incluido el testigo, son afectados por la senescencia celular lo cual se traduce como pérdida de la vida útil. Finalmente, según **Page et. al, 2001** los cambios que se observan en las hortalizas verdes durante el almacenamiento son la pérdida de clorofila, aumento progresivo de la transpiración, deterioro celular y finalmente la muerte celular, todo esto a consecuencia de la interrupción del suministro de nutrientes, hormonas y nutrientes después de la cosecha. Es decir, rápida senescencia y vida útil muy corta.



**Figura 6:** Promedios del porcentaje de pérdida de peso en floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico a los 25 días de refrigeración ( $3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}=68\% \pm 5$ ).

En la mayoría de las hortalizas los síntomas de pérdida de agua se hacen evidentes cuando el producto pierde entre 5 a 10% de su peso por transpiración (Ryall y Lipton,1979). Estos cambios están asociados a la pérdida de calidad y una consiguiente disminución de la aceptación y precio del producto. Finalmente, la pérdida de agua puede determinar la disminución del peso de un lote de hortalizas hasta el extremo de hacer que éste ya no reúna los requisitos mínimos de peso para el grado de calidad en que fue inicialmente clasificado. El porcentaje exacto de pérdida de peso debido a la transpiración depende de la estructura y condición general del producto, de la humedad relativa y la temperatura, del movimiento del aire y de la presión atmosférica (Ryall y Lipton, 1979).

**Thompson J.F. et. al** (1998) determinó la pérdida de peso máxima en un rango de 4-6%, comercialmente aceptable en cabezas de brócoli fresco para la características cualitativas (sabor), sin embargo se debe considerar que el producto utilizado en el presente trabajo fueron floretes; es decir brócoli mínimamente procesado, por lo cual, como resultado del procesamiento de corte de las inflorescencias y por la exposición térmica de los tratamientos aplicados; existe un severo estrés del producto que consecuentemente genera mayor respiración y transpiración. **Cantwell y Suslow** (1997) indicaron que la tasa de respiración de los floretes es ligeramente superior al doble de la tasa de las cabezas de brócoli intactas por unidad de peso.

En general los resultados indican un aumento progresivo de la pérdida de peso conforme aumenta el tiempo de refrigeración. El tratamiento T1 (47°) resultó con la menor pérdida de peso durante todas las evaluaciones; registrando una pérdida del 18% de su peso inicial, a los 8 días de refrigeración, de 38.5% a los 18 días y de 49% a los 25 días. Sin embargo, las diferencias entre las medias de T1 y el testigo no son estadísticamente significativas a partir del día 8 (Anexo 6), Por lo tanto, se podría inferir que antes de los 8 días, los floretes mantienen una vida útil óptima. Además, se observó que la pérdida de peso aumentó drásticamente a partir del día 8 debido, posiblemente, al estrés del procesamiento de corte, baja humedad relativa o a causa de los efectos adversos del calor sobre las paredes celulares, por dichas causas se pudo producir una considerable deshidratación.

Además, el brócoli tiene una alta sensibilidad a la humedad lo cual supone que una de las principales causas de la pérdida de agua fue la transpiración elevada, debido a la baja humedad relativa de refrigeración (68%  $\pm$ 5) en el que fueron almacenados los tratamientos.

**Cantwell y Suslow** (2005), recomiendan que la humedad relativa óptima debe ser mayor al 95% para mantener la calidad poscosecha del brócoli almacenado a temperaturas de 0 a 5°C.

**Lizarme** (2015), registró un trabajo de tratamientos hidrotérmicos con chile poblano donde se mostró que el uso solo del tratamiento en inmersión en agua caliente no previene la pérdida de agua. De igual forma en el presente trabajo no se puede asumir que el tratamiento prevenga la pérdida de agua ya que el porcentaje de pérdida fue progresivo.

También se pudo observar que a partir de los 18 días de refrigeración el T3 (57°C), sufrió pérdida de la calidad sensorial en la firmeza y textura (Anexo 7). Al respecto **Hernández (2014)**, en su estudio con hortalizas mínimamente procesadas mencionó que el tratamiento térmico a 60°C durante 2 minutos con adición de ácidos afecta principalmente la textura en brócoli y coliflor, debido al efecto que tiene en la pared celular, en especial sobre las sustancias pécticas, lo que provoca rompimiento de la estructura y ocasiona cambios en la permeabilidad y la flexibilidad de los tejidos.

Finalmente, en el presente trabajo no se encontraron resultados similares al de otros trabajos en la poscosecha de brócoli, quizá porque los trabajos realizados usaron otros cultivares y trabajaron con las pellas o inflorescencias enteras de brócoli mas no con floretes.

#### **4.1.2 Color superficial**

Para el consumidor ésta es una de las características que afectan la percepción de calidad de un producto (Francis, 1995), y esa percepción de calidad cambia ante los primeros síntomas de senescencia del tejido vegetal. En el caso del brócoli, el color es el parámetro de calidad físico-químico más importante para su comercialización, pues el consumidor le da mucha importancia a la uniformidad del color de la pella, prefiriendo el color verde oscuro-brillante (Cantwell y Suslow, 2005). Según la ficha técnica de Sakata Seed Corporation en Sudamérica, la coloración del brócoli cultivar Avenger es verde intenso o color verde-azulado.

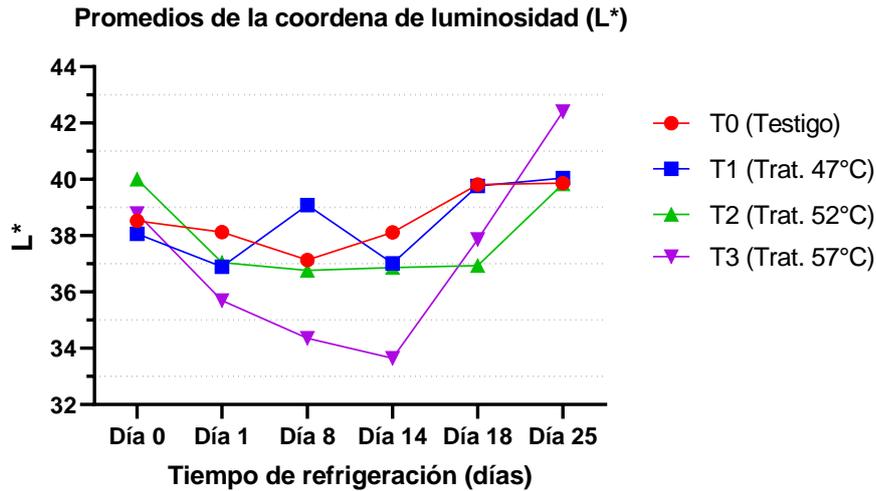
##### **a. Coordenadas CIELab**

Las variables colorimétricas obtenidas directamente en el sistema CIELAB fueron la coordenada L\*, coordenada a\* del eje verde-rojo (valores negativos indican color verde, los positivos indican rojo) y coordenada b\* del eje azul-amarillo (valores negativos indican azul y positivos indican amarillo). El componente L\* corresponde a la luminosidad del color (L=0

significa negro y  $L=100$  blanco),  $a^*$  y  $b^*$  son los dos componentes cromáticos cuyos valores van desde -60 a 60 (León et al., 2006).

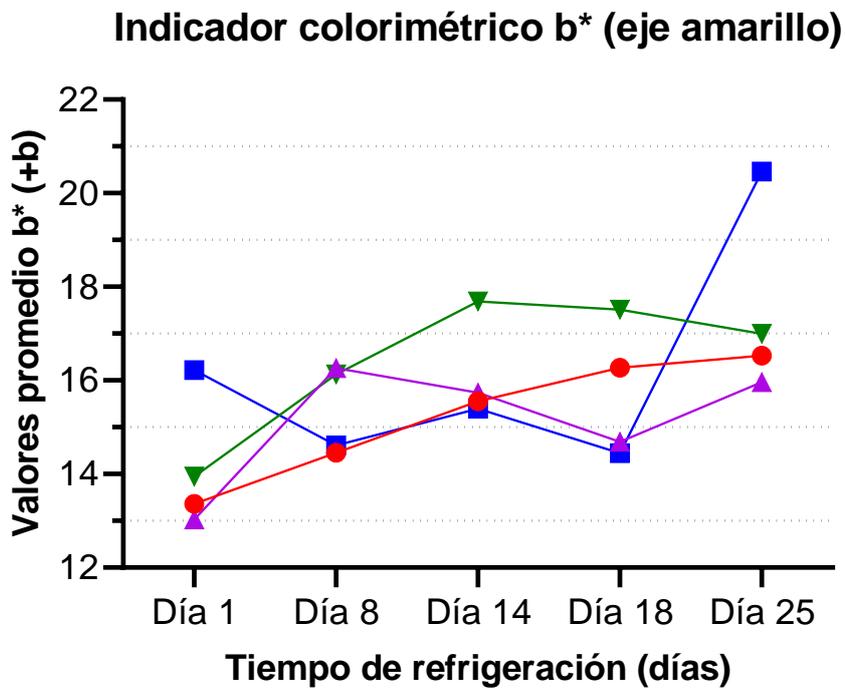
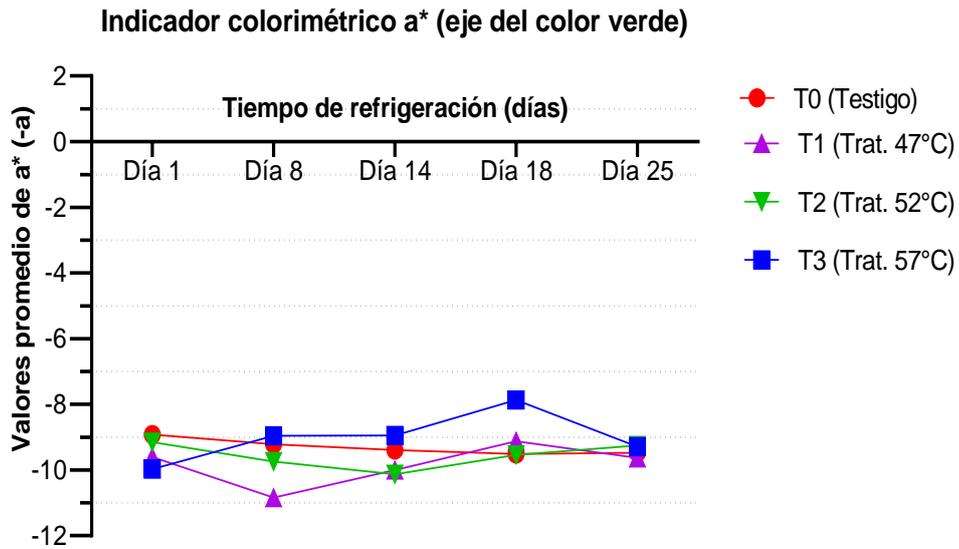
En la figura 7 se presenta la variación promedio de la luminosidad ( $L^*$ ) a lo largo de 25 días de refrigeración de las muestras aplicadas con tratamiento hidrotérmico y sin tratamiento (T0, testigo). Se observa que a partir de los 14 días todos los tratamientos, incluido el testigo, incrementaron sus valores  $L^*$  respecto al día 1 de refrigeración, esto puede indicar mayor claridad y colores verdes o amarillos más definidos. El mayor incremento se observó a los 25 días en el T3 (hidrotratamiento a 57°C) con 18.78%, seguido del T1 (47°C) con 8.5% y el menor fue para el T0 (testigo sin hidrotratamiento) con 4.5% de incremento. Lemoine, (2009) reportó resultados similares tanto en muestras de brócoli con tratamiento térmico de aire caliente a 48°C por 3 horas (4%), como en las muestras testigo (9%). Por otro lado, un estudio sobre el almacenamiento de brócoli con y sin film plástico reportó un incremento de la luminosidad a partir de los 15 días hasta los 21 días de almacenamientos (Cano, 2016). Al respecto Ren et al., (2005) indicó que el incremento de los valores de  $L^*$  durante el almacenamiento poscosecha es debido, normalmente, a la senescencia del brócoli indicando así colores amarillos más definidos. Según la prueba de comparación Tukey (Anexo 8), a los 14 días de refrigeración el tratamiento con la mayor temperatura de inmersión en agua (T3) fue el único que mostró diferencias significativas con los demás tratamientos (T0, T1 y T2) y a los 8 días mostró diferencias significativas con el T1 (47°C).

El resultado ANOVA (Anexo 9) mostró evidencias estadísticas para rechazar la hipótesis nula, es decir los factores tratamiento térmico de inmersión en agua caliente y tiempo de refrigeración; así como de la interacción de ambos sí produjeron un efecto sobre los valores medios del indicador  $L^*$  del color externo, en las muestras de brócoli evaluadas.

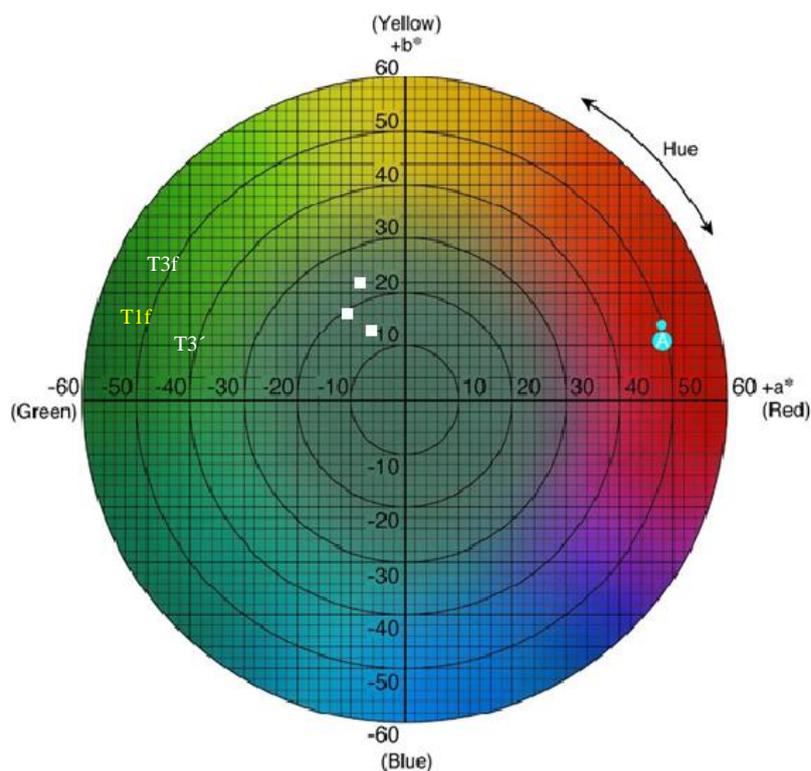


**Figura 7:** Variación en el tiempo de la luminosidad media del color (L\*), medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos (47°, 52° y 57°C) y sin tratamiento (testigo) durante 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5.

Respecto a los resultados ANOVA (Anexo 10 y Anexo 11) para el indicador  $a^*$ , se obtuvieron diferencias significativas en el factor tiempo y entre tratamientos; sólo en el día 8 de refrigeración. Para el indicador  $b^*$  sólo se obtuvieron diferencias significativas para el factor tiempo de refrigeración y no existen diferencias significativas entre tratamientos. En el día 8, los valores más altos del indicador colorimétrico  $a^*$  (-a, color verde) corresponden al tratamiento 3 (inmersión en agua a 57°C) con un promedio de -8.9, mientras que los valores más bajos al tratamiento 1 (inmersión en agua a 47°C) con un promedio de -10.84 (Figura 8). Teniendo en cuenta que los valores más negativos representan colores verdes más intensos y los valores menos negativos cercanos al origen son verdes oscurecidos (Figura 9), se puede decir que los floretes del T3 cambiaron a colores verdes oscurecidos (green dark) y el T1 a verdes más intensos. Por otro lado, el indicador colorimétrico  $b^*$  (tendencia a colores amarillos) muestra en la Figura 7 que a partir de los 14 días de refrigeración los promedios más altos corresponden al tratamiento de inmersión en agua a 52°C (T2) y en el día 25 al tratamiento T3; mientras que los promedios más bajos a los 18 y 25 días fueron para el T1, en los días 14 y 18 los promedios más bajos para el T3. En el testigo (sin tratamiento hidrotérmico) se pudo notar que a lo largo del tiempo hubo aumento constante del amarillamiento en las inflorescencias.



**Figura 8:** Valores promedio de las coordenadas colorimétricas a\* y b\*, medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos a diferentes temperaturas, durante 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5.



**Figura 9:** Diagrama cromático CIELa\*b\* y ubicación de coordenadas colorimétricas del Tratamiento 1 y Tratamiento T3 (inicio y final).

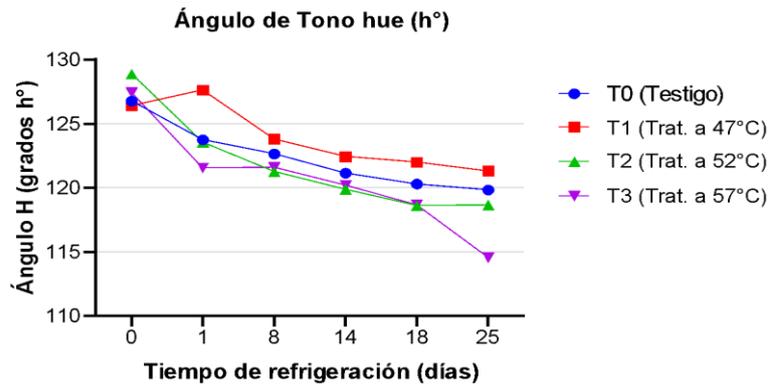
### b. Parámetros colorimétricos C\* y h°

El croma (C\*) y hue (h°) son combinaciones de las coordenadas a\* y b\*, su comportamiento permite diferenciar más fácilmente la vividez (colorido) y el tono del color.

En el ángulo h°, expresado en grados sexagesimales, los valores pueden variar desde 0° (rojo), 90° (amarillo), 180° (verde), 270° (azul). Los valores promedio obtenidos para el parámetro h° oscilaron entre los 114.56 ° y 128.89° (Tabla 1), lo cual indica que se encuentran en el segundo cuadrante del diagrama colorimétrico y corresponden a las tonalidades entre verde y amarillo. En la Figura 10, se observa la disminución constante del ángulo h, es decir todos los tratamientos experimentaron disminución de la tonalidad verde con tendencia final a tonos verde oscurecidos. El tratamiento a 47°C (T1) obtuvo el **menor descenso** del ángulo h° con un valor inicial de 127° hasta 121.3° para el día 25; lo cual puede indicar una mayor conservación del color verde en los floretes de brócoli. Al respecto **Lemoine et al., (2008)** también indicó una mayor retención del color verde en brócolis aplicados con tratamiento combinado de aire caliente a 48°C y UV-C. Por otro lado, el T3 (57°C) resultó con la mayor disminución de h° llegando hasta 114.56°, equivalente a un color verde pardo debido muy probablemente a una mayor degradación de la clorofila. En

el análisis ANOVA respectivo (Anexo 12) sólo existieron diferencias significativas ( $\alpha= 5\%$ ) entre tratamientos en los días 1 y 25 y en el factor tiempo, mas no por la interacción de ambos factores.

La disminución significativa encontrada en los valores del ángulo de tono  $h^\circ$  a medida que se incrementa el tiempo de refrigeración implica cambios del color verde natural (Anexo 13). En los vegetales verdes, los cambios visuales del color están asociados con la degradación de la clorofila y evitar la oxidación-degradación durante el procesado o almacenamiento se considera como una medida de calidad (Bautista-Villareal *et al.*, 2016). Debido a que los vegetales son ácidos, y que en el tratamiento térmico se liberan generalmente ácidos presentes en vacuolas celulares, generando así un descenso en el pH del medio. En condiciones ácidas las clorofilas pierden magnesio, transformándose en otras sustancias llamadas feofitinas y cambiando su color verde característico por un color verde pardo oliváceo con tonos marrones poco atractivo para el consumidor. Dicha pérdida es irreversible en medio acuoso. Ese efecto puede producirse por el escaldado de las verduras previo a su congelación, en el enlatado, etc. También le afecta negativamente el oxígeno, la luz y golpes para el almacenamiento prolongado. (Ahmed *et al.*, 2002, citado por Bautista-Villareal *et al.*, 2016). En los últimos días de evaluación del presente estudio se pudo observar el cambio de color a tonos verde pardo (Anexo 14) principalmente para el tratamiento 3 de inmersión en agua a  $52^\circ\text{C}$ . Al respecto, Kidmose *et al.* (2002) indican que la conversión de clorofilas a feofitinas depende tanto de la temperatura aplicada como del factor tiempo de exposición y pH del medio utilizado. Por otro lado, el amarillamiento de las inflorescencias en otras condiciones es un rasgo característico de la senescencia y también está dada principalmente por la degradación de clorofilas. El catabolismo comienza en los complejos proteína-clorofila en las membranas tilacoidales de los cloroplastos. Una vez liberada, la clorofila sufre la eliminación del fitol por la enzima clorofilasa para dar un compuesto hidrosoluble que será modificado hacia metabolitos no fluorescentes de clorofila (Lemoine, 2009). Diferentes trabajos han demostrado la reducción del amarilleamiento en cabezas de brócoli tratadas con agua caliente (Tian *et al.*, 1997) o aire caliente (Funamoto *et al.*, 2002, citado por Lemoine, 2009).



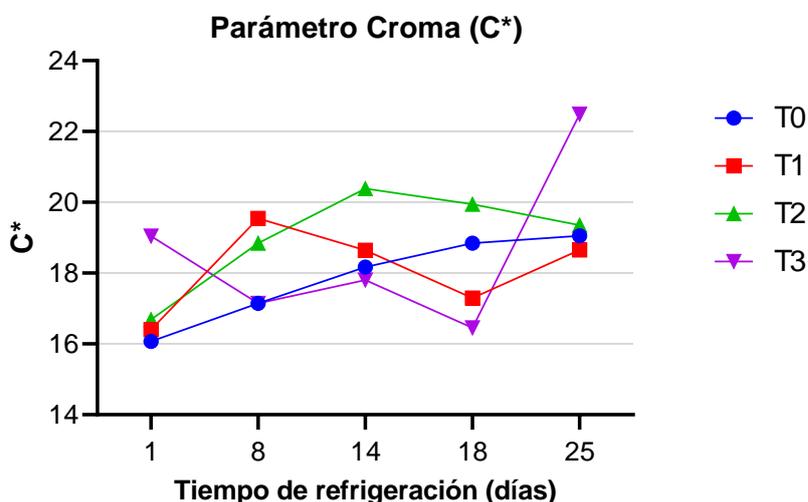
**Figura 10:** Valores promedio de los parámetros colorimétricos  $h^\circ$ , medidos en floretes aplicados con tratamientos hidrotérmicos durante 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68%  $\pm$ 5

**Tabla 3:** Valores de los parámetros del color del Sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $H^\circ$  y  $C^*$ ) en floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidrotérmicos de 47°, 52° y 57°C durante 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68%  $\pm$ 5.

| Tratamiento  | Día   | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$  | $h^\circ$ | $C^*$  |       |        |        |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|--------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| T0 : Testigo | Dia0  | 38.52 | +2.10 | -8.48  | +0.67     | 11.48  | +1.97 | 126.77 | +4.08  | 14.3  | +1.83 |
|              | Dia1  | 38.13 | +1.48 | -8.92  | +1.24     | 13.362 | +1.99 | 123.74 | +1.6   | 16.07 | +2.29 |
|              | Dia8  | 37.14 | +1.90 | -9.22  | +1.42     | 14.452 | +2.66 | 122.65 | +1.94  | 17.15 | +2.97 |
|              | Dia14 | 38.11 | +2.03 | -9.39  | +1.61     | 15.557 | +2.84 | 121.16 | +1.05  | 18.17 | +3.25 |
|              | Dia18 | 39.81 | +1.61 | -9.51  | +1.51     | 16.268 | +2.49 | 120.3  | +1.53  | 18.85 | +2.87 |
|              | Dia25 | 39.86 | +1.90 | -9.48  | +1.32     | 16.531 | +2.28 | 119.83 | +1.03  | 19.06 | +2.62 |
| T1: 47°C     | Dia0  | 38.07 | +1.72 | -8.31  | +1.13     | 11.23  | +1.09 | 126.42 | +2.19  | 13.98 | +1.48 |
|              | Dia1  | 36.89 | +1.21 | -9.60  | +1.07     | 13.025 | +3.72 | 127.62 | +11.43 | 16.4  | +2.54 |
|              | Dia8  | 39.09 | +1.37 | -10.84 | +1.05     | 16.258 | +2.27 | 123.81 | +1.15  | 19.55 | +2.47 |
|              | Dia14 | 37.02 | +2.15 | -10.00 | +1.07     | 15.739 | +1.61 | 122.43 | +0.84  | 18.65 | +1.92 |
|              | Dia18 | 39.77 | +1.78 | -9.13  | +1.21     | 14.687 | +2.60 | 122    | +1.69  | 17.3  | +2.82 |
|              | Dia25 | 40.05 | +1.94 | -9.64  | +2.12     | 15.966 | +4.08 | 121.31 | +1.27  | 18.65 | +4.58 |
| T2: 52°C     | Dia0  | 40.01 | +2.38 | -9.08  | +0.44     | 11.268 | +0.67 | 128.89 | +1.63  | 14.48 | +0.69 |
|              | Dia1  | 37.05 | +2.48 | -9.15  | +1.96     | 13.947 | +3.69 | 123.55 | +1.86  | 16.69 | +4.15 |
|              | Dia8  | 36.77 | +2.50 | -9.74  | +1.44     | 16.13  | +2.83 | 121.25 | +1.45  | 18.85 | +3.14 |
|              | Dia14 | 36.86 | +1.24 | -10.13 | +0.84     | 17.69  | +1.97 | 119.88 | +1.61  | 20.39 | +2.07 |
|              | Dia18 | 36.93 | +0.64 | -9.54  | +0.50     | 17.516 | +1.17 | 118.6  | +1.14  | 19.95 | +1.22 |
|              | Dia25 | 39.84 | +1.21 | -9.25  | +1.01     | 16.997 | +2.40 | 118.65 | +1.17  | 19.35 | +2.58 |
| T3: 57°C     | Dia0  | 38.78 | +1.52 | -8.00  | +0.32     | 10.523 | +1.28 | 127.43 | +2.94  | 13.23 | +1.15 |
|              | Dia1  | 35.70 | +1.98 | -9.98  | +1.48     | 16.222 | +2.16 | 121.56 | +1.22  | 19.05 | +2.59 |
|              | Dia8  | 34.36 | +1.78 | -8.96  | +1.28     | 14.613 | +2.44 | 121.59 | +1.29  | 17.14 | +2.72 |
|              | Dia14 | 33.64 | +4.64 | -8.94  | +1.08     | 15.397 | +2.05 | 120.2  | +1.06  | 17.81 | +2.3  |
|              | Dia18 | 37.86 | +2.83 | -7.87  | +1.50     | 14.448 | +3.02 | 118.66 | +1.58  | 16.46 | +3.35 |
|              | Dia25 | 42.40 | +3.35 | -9.29  | +1.30     | 20.463 | +3.34 | 114.56 | +2.21  | 22.49 | +3.48 |

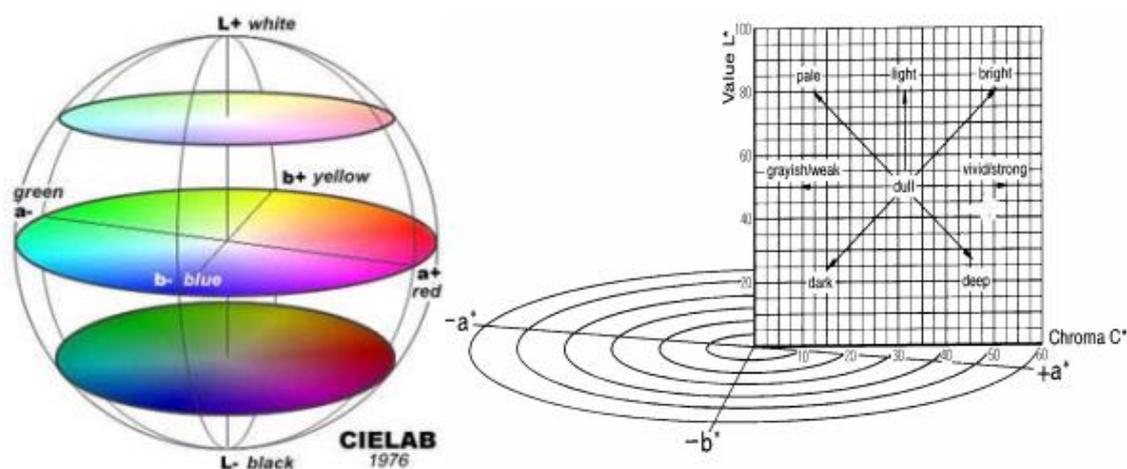
**Nota:** Los valores de la tabla indican: Media  $\pm$  desviación estándar

Respecto al parámetro de color  $C^*$  o croma, el análisis ANOVA mostró que existen diferencias significativas ( $\alpha > 0.05$ ) para el factor tiempo de refrigeración; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas para el factor efecto de los tratamientos térmicos ni para la interacción de ambos (Anexo 15 y Anexo 16). En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos para el parámetro  $C^*$ , en todas las muestras sometidas a tratamientos hidrotérmicos a lo largo del tiempo se obtuvieron valores con tendencia creciente en un rango desde 13.23 hasta 22.49. Para el tratamiento de  $47^\circ\text{C}$  (T1), por ejemplo, osciló desde 13.98 (día 1) y 18.65 (día 25), lo cual según el plano CIE  $C^*L^*$  agruparía a colores con claridad y croma oscuro (*dark*) considerando un ángulo de tono constante (Figura 11). Finalmente, esto confirma que a lo largo del tiempo de almacenamiento los floretes cambian su color verde natural del brócoli hasta colores más verdes pardos o cromas oscuras.



**Figura 10:** Valores promedio de los parámetros colorimétricos  $C^*$ , medidos en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos ( $47^\circ$ ,  $52^\circ$  y  $57^\circ\text{C}$ ) y sin tratamiento (testigo) durante 25 días de refrigeración a  $3\text{-}5^\circ\text{C}$  y  $\text{HR}=68\% \pm 5$

Con los resultados obtenidos para los parámetros  $a^*$  y  $h^\circ$  que se muestran en la Tabla 3, se puede afirmar que los tratamientos térmicos tuvieron efecto sobre la variable color (verde) de los floretes de brócoli y por ende en la degradación de la clorofila. Esto coincide con lo señalado por Ahmed *et al.* (2002) quien concluyó que el color de las espinacas y hojas de mostaza definitivamente se fue degradando durante el proceso térmico. Monzini *et al.* (1975) demostraron el ablandamiento de los vegetales sometidos a tratamiento térmico de escaldado e identificaron el deterioro en el color de los vegetales, especialmente en la tonalidad verde.



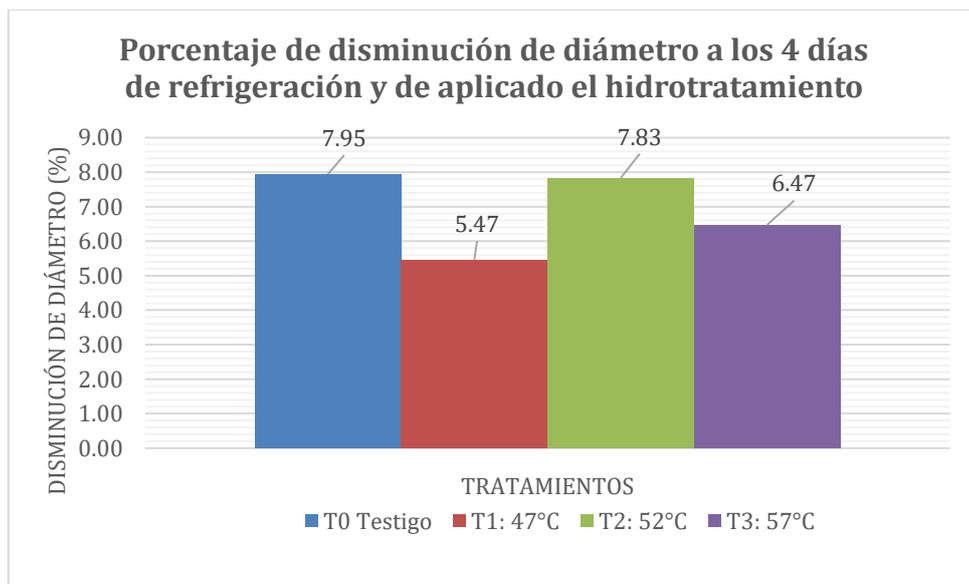
**Figura 11:** Izquierda: Planos ( $a^*, b^*$ ) con diferentes valores  $L^*$  constante. Derecha: plano ( $C^*L^*$ ) con ángulo de tono  $h^\circ$  constante.

#### 4.1.3. Diámetro ecuatorial y longitud

El tamaño del florete es uno de los caracteres comerciales en el brócoli (Wescott y Callan, 1990), tanto México como Estados Unidos considera al diámetro y longitud como características de calidad para la comercialización de brócoli.

##### a. Evaluación del diámetro al día 4 de iniciado el ensayo

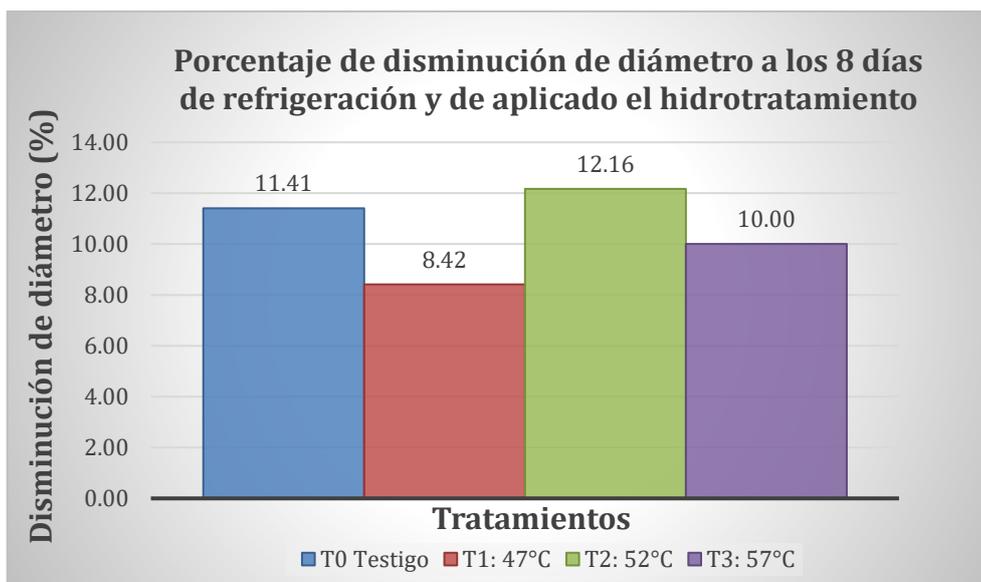
En el Figura 12 se muestran los promedios de la disminución de diámetro (%) luego de 4 días de refrigeración ( $T^\circ = 3-5^\circ\text{C}$  y  $HR = 68\% \pm 5$ ) de floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidro térmicos ( $T_1, T_2$  y  $T_3$ ), se observó que el  $T_1$  ( $47^\circ\text{C}$ ) presenta la menor disminución de diámetro (5.47%) respecto al valor del primer día de medición, pero tiene una gran dispersión en el 50% de los datos centrales, en segundo lugar  $T_3$  ( $57^\circ\text{C}$ ) tuvo la menor pérdida de diámetro, con poca dispersión de datos (Anexo 17) y los otros tratamientos (testigo y  $T_2$ ) tuvieron los mayores porcentajes semejantes de disminución del diámetro y estadísticamente sus medias también son similares (Anexo 18).



**Figura 12:** Promedios del porcentaje de disminución de diámetro en floretes aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 4 días de refrigeración (3-5°C).

**b. Evaluación del diámetro al día 8 de iniciado el ensayo**

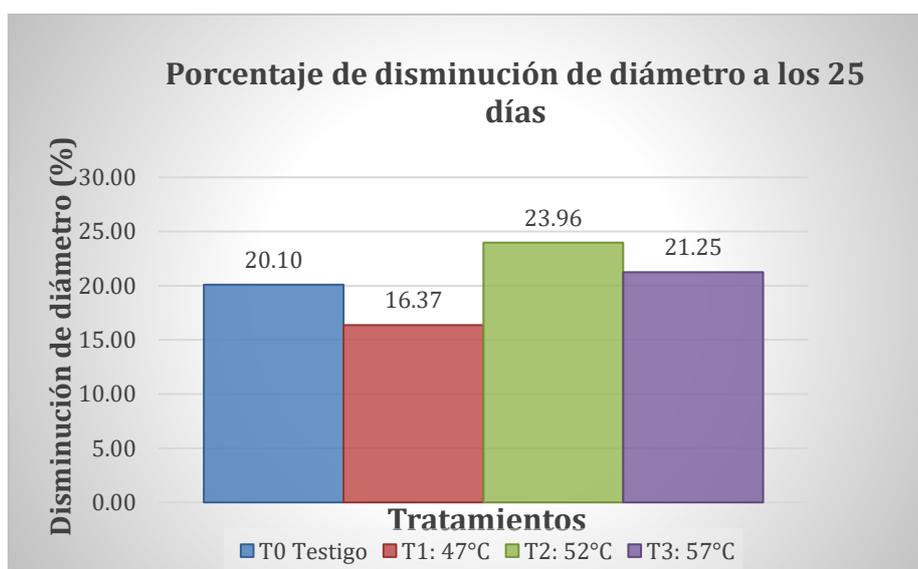
En el Figura 13 se muestran los promedios de pérdida de diámetro (%) luego de 8 días de refrigeración ( $T^{\circ}= 3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}= 68\% \pm 5$ ). Se observa que el T1 (47°C) aun presenta la menor pérdida de diámetro (8.42%) respecto al valor del primer día de medición, mientras que el T3 tiene la más alta disminución del diámetro. Sin embargo, en el ANVA correspondiente no existen diferencias significativas (Anexo 19)



**Figura 13:** Porcentaje promedios de la disminución de diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 8 días de refrigeración (3-5°C).

### c. Evaluación del diámetro al día 25 de iniciado el ensayo

Para el día 25 los promedios del porcentaje de disminución de diámetro (Figura 14) de floretes de brócoli sometidos a tratamientos hidrotérmicos (T1, T2 y T3) y en refrigeración ( $T^{\circ}= 3-5^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}= 68\% \pm 5$ ) se observó que el T1 ( $47^{\circ}\text{C}$ ) presenta la menor disminución de diámetro (16.37%), con los datos muy dispersos aun sobre el promedio final, el testigo T0 es el segundo con menor pérdida (20.09%), seguido del T3 y T2.

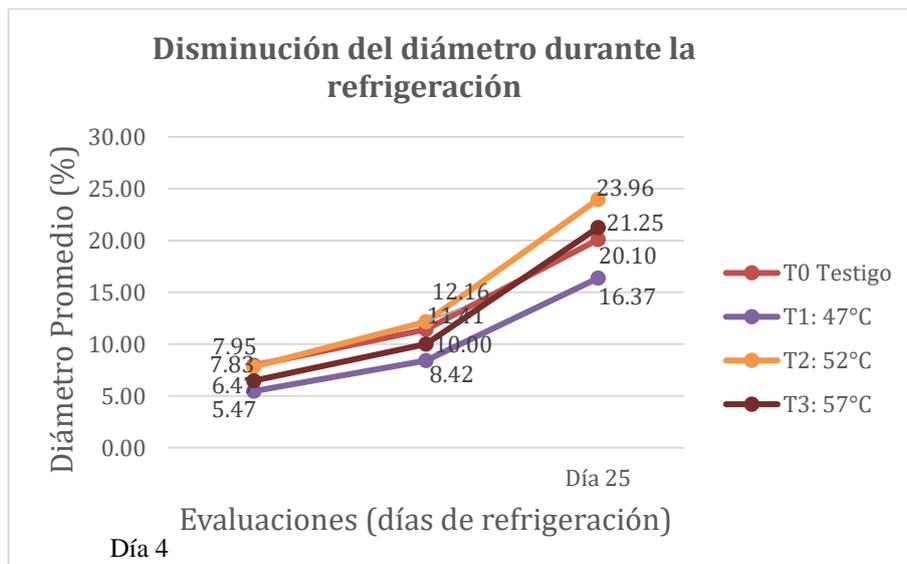


**Figura 14:** Promedios del porcentaje de pérdida de diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmico a los 25 días de refrigeración ( $3-5^{\circ}\text{C}$ ).

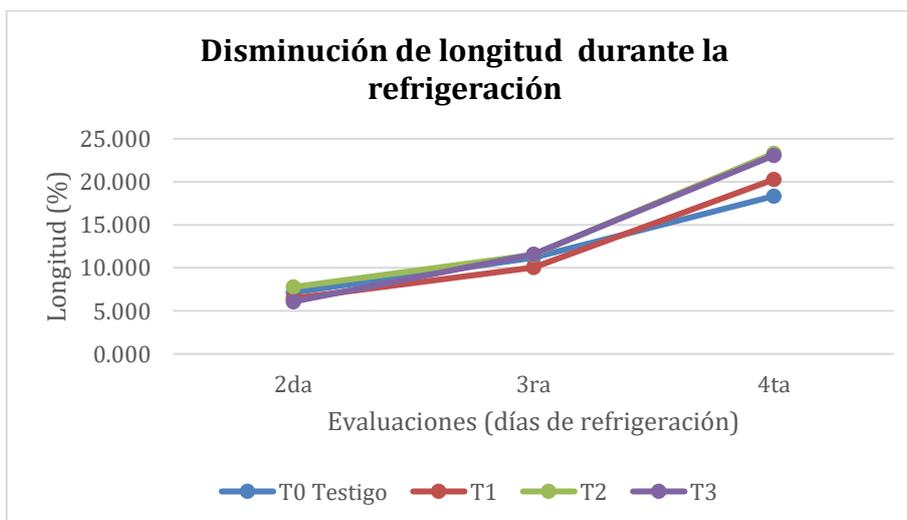
Inicialmente en la estadística descriptiva (gráficos Box Plot) se encontró que el tratamiento 1 gráficamente tiene menos % de diámetro perdido. Para probar esta idea inicial se utilizó el test ANOVA para analizar las diferencias significativas entre tratamientos para cada día de evaluación de manera independiente. El ANOVA correspondiente a cada evaluación no mostró diferencias significativas entre tratamientos (Anexo 20).

Como se observa en la Figura 15, en general el tratamiento 1 (inmersión a  $47^{\circ}\text{C}$ ) tuvo la menor disminución de diámetro en las 4 evaluaciones realizadas durante los 25 días de refrigeración. Es decir, las muestras del T1 lograron una mejor conservación de su diámetro ecuatorial, respecto al primer día de medición, a comparación con los otros tratamientos y el testigo. Estos resultados coinciden con los de la variable pérdida de peso donde T1 ( $47^{\circ}$ ) resultó también con la menor pérdida de peso durante todas las evaluaciones. Por lo cual se podría inferir que la disminución del diámetro ecuatorial está relacionado a la pérdida de peso del producto, evidenciando un cambio en la morfología del producto. Al respecto **Yirat**

et al., 2009 citado por García et al., 2011, mencionan que durante el periodo de almacenamiento, las propiedades físicas de frutas que presentaron mayor variación fueron el diámetro equivalente y forma (esfericidad); ésta variación fue influenciada por condiciones inherentes al almacenamiento como son la dificultad de homogeneizar las muestras al inicio de la experimentación y a la velocidad de degradación de las sustancias pécticas por depolimerización y solubilización que está relacionada con el ablandamiento de la fruta, además de que las células pierden peso debido a la transpiración, disminuyendo la presión de turgencia y debilitando finalmente la estructura y consistencia de las frutas.



**Figura 15:** Comportamiento porcentual promedio en la disminución de los diámetros de floretes de brócoli durante los 25 de refrigeración (3-5°C).



**Figura 16:** Comportamiento porcentual promedio en la disminución de la longitud de floretes de brócoli durante los 25 de refrigeración (3-5°C).

La Norma Oficial Mexicana NMX–FF–046–1982 de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial establece que para la calidad México Extra y México No. 1, el diámetro ecuatorial del florete debe ser mayor de 7 cm y que se encuentre en punto sazón cuando las yemas están cerradas y la inflorescencia esté compacta. Mientras que los grados y estándares de calidad de comercialización para floretes de brócoli congelado, emitidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006), establecen que el diámetro de cada florete no debe ser menor a 1.9 cm o mayor a 7.62 cm. A menos que se especifique lo contrario, la longitud de cada florete no debe ser inferior a 2.4 cm o más de 8.89 cm.

En la tabla 4 se muestran los promedios del diámetro ecuatorial (cm) y acorde a los parámetros de calidad para la comercialización de floretes de brócoli, mencionados en el párrafo anterior se puede afirmar que las muestras sometidas a tratamientos hidrotérmicos (T1, T2 y T3) logran mantener el diámetro con aceptabilidad comercial (diámetro mayor a 7 cm) hasta el día 8 de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5. Sin embargo, no podemos deducir qué tratamiento térmico sea el que nos de mejores resultados respecto al testigo, debido a que el análisis estadístico ANOVA no muestran diferencias significativas. De igual forma para la variable longitud, todos los tratamientos inclusive el testigo se encuentra dentro de los parámetros de aceptabilidad comercial según la USDA. En el análisis estadístico de la variable longitud, sólo se encontraron diferencias significativas en el día 8 de evaluación (Anexo 21).

Adicionalmente cabe mencionar que según los estándares de calidad para exportación a EE.UU. los cortes de brócoli se denominan en calibres representados con fracciones de números: 15/30, 20/40, etc. Las cifras representan el rango de diámetro de la cabeza y el rango de tamaño proporcional del tallo y cabeza. Además, los floretes se clasifican según su calidad, presentación y tipo de corte en, grado A, y grado B Esta etapa incluye un proceso de control de calidad y verificación de la clasificación de tipos de cortes (IICA. 2007).

**Tabla 4: Mediciones promedio de la longitud y diámetro en floretes de brócoli aplicados con tratamientos térmicos a diferentes temperaturas de inmersión en agua (47°, 52° y 57°C) y sin tratamiento (testigo) durante la refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5.**

| Variable      | Tiempo de Refrigeración | Tratamientos |        |        |       | Resultados |      |          |
|---------------|-------------------------|--------------|--------|--------|-------|------------|------|----------|
|               |                         | T0           | T1     | T2     | T3    | Promedio   | ANVA | C.V. (%) |
| Diámetro (cm) | Día 1                   | 7.79a        | 7.79a  | 8.20a  | 8.18a | 7.99       | ns   | 16.39    |
|               | Día 4                   | 7.18a        | 7.35a  | 7.56a  | 7.65a | 7.44       | ns   | 16.35    |
|               | Día 8                   | 6.90a        | 7.11a  | 7.20a  | 7.37a | 7.15       | ns   | 16.75    |
|               | Día 25                  | 6.24a        | 6.46a  | 6.26a  | 6.45a | 6.36       | ns   | 17.9     |
| Longitud (cm) | Día 1                   | 6.00a        | 6.29a  | 5.71a  | 5.53a | 5.89       | ns   | 8.57     |
|               | Día 4                   | 5.50a        | 5.89a  | 5.26a  | 5.20a | 5.49       | ns   | 9.11     |
|               | Día 8                   | 5.32a        | 5.66ab | 5.05ab | 4.89b | 5.23       | *    | 8.69     |
|               | Día 25                  | 4.90a        | 5.02a  | 4.38a  | 4.25a | 4.64       | ns   | 10.9     |

**Nota:** Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ), ns: no significativo, \* nivel de significancia (alfa) = 0.05

## 4.2 ANÁLISIS DE LA VARIABLE FISICO QUÍMICO

### 4.2.1. Intensidad Respiratoria (Tasa de CO<sub>2</sub>)

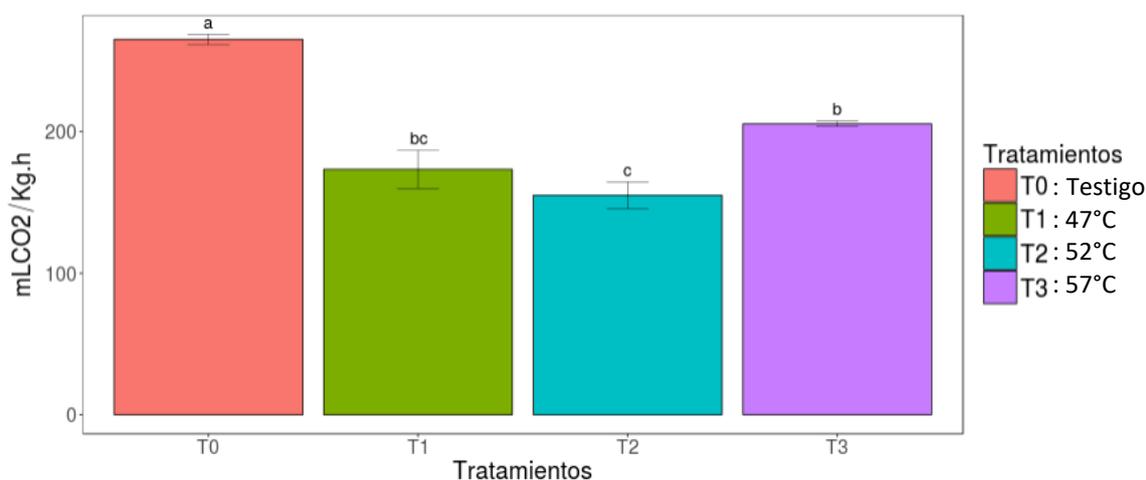
En general, existe una relación inversa entre la tasa respiratoria y la vida útil postcosecha de productos frescos. Cuanta más alta la tasa de respiración, menor vida útil del producto, es decir es más perecible. Esto se debe a que la respiración tiene un rol preponderante en la vida postcosecha de productos frescos ya que refleja la actividad metabólica de los tejidos con la pérdida de sustratos y síntesis de otros compuestos, involucrados con características de la calidad (firmeza, aroma, sabor, etc.); además implica la liberación de energía en forma de calor. Los productos y cultivares con mayor tasa de respiración tienden a tener una menor vida de almacenamiento que aquellas con baja tasa de respiración. Por ello, productos como brócoli, lechuga, espinaca y maíz dulce tienen una vida útil menor que productos con baja tasa de respiración como las manzanas, limones, cebollas y papas (Carballo, 2003).

#### a. Evaluación en el día 1

En la Figura 17 se muestra los promedios de la intensidad respiratoria en el primer día de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5, cuantificados en función a los mililitros de CO<sub>2</sub> producido en un Kg de producto fresco por hora. Se observa que el T2 (52°C) tiene la menor tasa de CO<sub>2</sub> promedio (155.10 mLCO<sub>2</sub>/Kg \*h), sin embargo, no se puede afirmar que el T2

sea el mejor tratamiento ya que sus valores son similares o cercanos a la tasa de CO<sub>2</sub> promedio del T1 (173.37 mLCO<sub>2</sub>/Kg \*h) y al realizarse la prueba Tukey (Anexo 22) dichos tratamientos (T1 y T2) tampoco resultaron con diferencias estadísticamente significativas. Entonces los tratamientos T1 y T2 resultan con la menor tasa de CO<sub>2</sub> y el testigo tuvo la mayor tasa de CO<sub>2</sub> (265.18 mLCO<sub>2</sub>/Kg \*h).

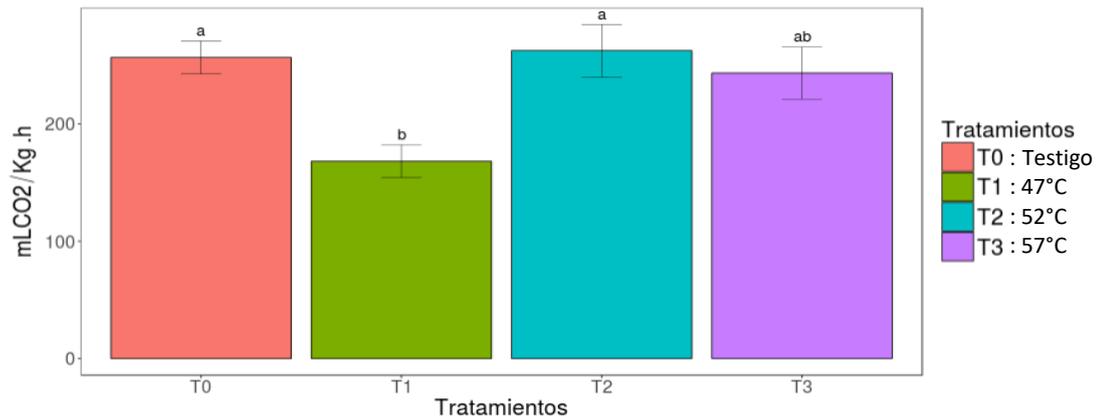
Los tratamientos aplicados con agua caliente (T1, T2 y T3) muestran las menores tasas de CO<sub>2</sub> y en la prueba Tukey resultaron con diferencias estadísticamente significativas respecto al testigo (sin inmersión en agua caliente). La disminución de la tasa respiratoria de los floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico puede indicar, muy probablemente, la influencia del efecto térmico del calor sobre actividad metabólica de las células. Al respecto Carballo (2003) y otros autores mencionan a la temperatura como uno de los factores más importantes que afecta a la intensidad respiratoria, puesto que influye en la velocidad de las reacciones enzimáticas del proceso respiratorio.



**Figura 17:** Tasa de CO<sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos a diferentes temperaturas de inmersión en agua, en el primer día de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

### b. Evaluación al día 8

En la Figura 18 se observa que el T1(47°C) tiene la menor tasa promedio de CO<sub>2</sub> producido (168.15 mLCO<sub>2</sub>/Kg \*h) después de 8 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5. Luego en la prueba de comparación Tukey ( $\alpha=0.05$ ) se verificó que la media de la tasa respiratoria del T1(47°C) es significativamente diferente a la de T2 (52°C) y al testigo T0 (Anexo 23).

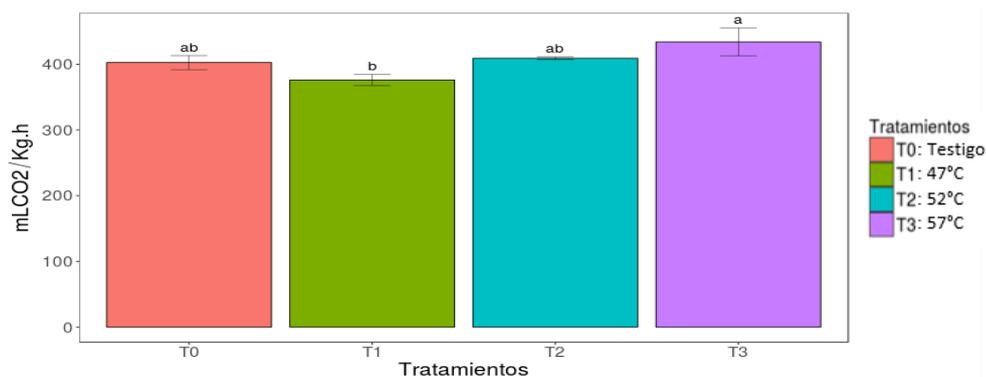


**Figura 18:** Tasa de CO<sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos después de 8 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

### c. Evaluación al día 18

A los 18 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5, se registraron los valores más altos de intensidad respiratoria de todas las mediciones realizadas para dicha variable. Con poco más del doble de los valores registrados en el día 1. En el Figura 19 se muestran los promedios de la tasa de CO<sub>2</sub> producida después de 18 días de refrigeración observándose que el T3 (57°C) tiene la mayor tasa de CO<sub>2</sub> promedio (433.8 mLCO<sub>2</sub> /Kg \*h) y el T1 (47°C) continúa con la menor tasa de CO<sub>2</sub> (375.9 mLCO<sub>2</sub> /Kg \*h), muy por debajo del T3, pero similar a los promedios del T2 y el testigo (T0).

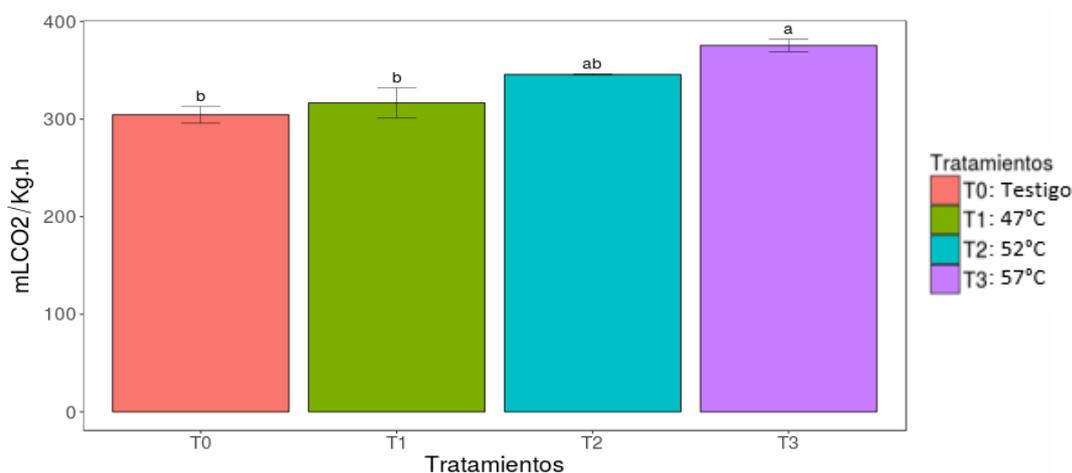
Los resultados del ANVA mostraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Luego en la prueba de comparación múltiple Tukey se verificó que el T3 (57°C) tiene diferencias significativas (alpha=0.1) respecto al tratamiento T1. Por otro lado, los tratamientos T1 y T2 no presentaron diferencias significativas respecto al testigo (T0) ni entre sí (Anexo 24).



**Figura 19:** Tasa de CO<sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos (a diferentes temperaturas de inmersión en agua) después de 18 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

#### d. Evaluación al día 25

En la Figura 20 se observa que el testigo tiene la menor tasa promedio de CO<sub>2</sub> producido (304.41 mLCO<sub>2</sub>/Kg \*h) después de 25 días de refrigeración a 3-5°C y HR=68% ±5, sin embargo, en la prueba de comparación Tukey (alpha=0.05) los tratamientos T1 y T2 resultaron ser estadísticamente similares al testigo y sólo el T3 presentó diferencias significativas respecto al testigo (Anexo 25).

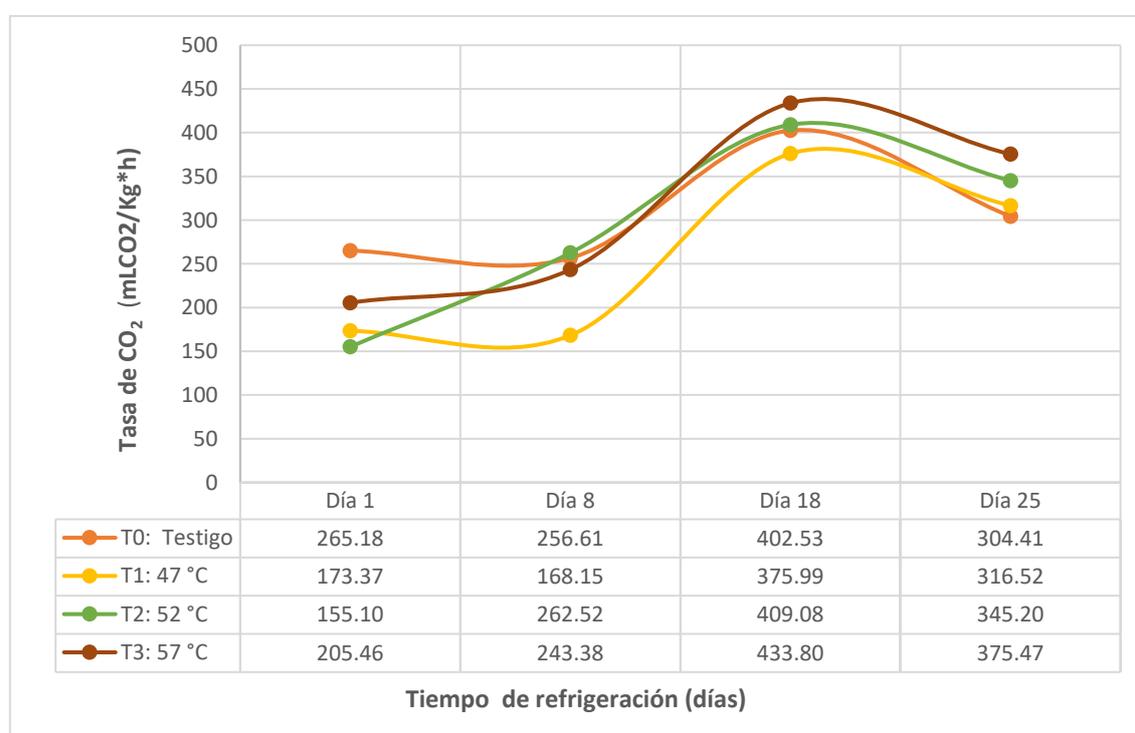


**Figura 20:** Tasa de CO<sub>2</sub> promedio producido, en mL, por los floretes de brócoli aplicados con tratamientos hidrotérmicos (a diferentes temperaturas de inmersión en agua) después de 25 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

De acuerdo a los resultados obtenidos durante los 25 días de refrigeración y según la Figura 21 observamos que la emisión de CO<sub>2</sub> en un inicio fue aumentando hasta llegar a un punto máximo en el día 18 (375.9-433.8 mL CO<sub>2</sub>/Kg\*h), la cual la definiremos como etapa uno, para luego decaer hasta un valor de 304.4-375.47 mL CO<sub>2</sub>/Kg\*h la cual definiremos como etapa dos. En la etapa 1 (18 primeros días de refrigeración) no se pudo observar una tendencia definida para los 4 tratamientos a la vez, salvo por el tratamiento T1 que se mantuvo con la menor tasa de CO<sub>2</sub> a los días 8, 11 y 18 días de refrigeración (Anexo 26). En la etapa 2 todos los tratamientos disminuyen drásticamente la intensidad respiratoria. En el ANVA correspondiente (Anexo 27), presentaron diferencias significativas para el factor tiempo de refrigeración y efecto de la temperatura del tratamiento hidrotérmico, así como por la interacción de ambos.

En general, los resultados obtenidos para la variable intensidad respiratoria, expresada en función de la tasa de CO<sub>2</sub> producido, mostraron una tendencia curva al pasar las semanas de evaluación. Éste comportamiento concuerda con lo señalado por **Villamizar y Ospina,**

(1995), quienes indicaron que, si se sigue la actividad respiratoria de una fruta u hortaliza a través del consumo de oxígeno o el desprendimiento del dióxido de carbono por kilogramo de producto fresco y por unidad de tiempo, a lo largo de su desarrollo, maduración fisiológica y organoléptica, y la senescencia, se obtendrá una curva o pauta respiratoria característica. Además, indicaron que la actividad respiratoria es más alta en las fases previas a la maduración y, declina luego con la edad y senescencia. De acuerdo a ésta premisa y según la **Figura 20** se observa que, la intensidad respiratoria declina drásticamente a partir de los 18 días de refrigeración en todos los tratamientos, entonces se puede inferir que a partir de los 18 días todas las muestras sufrieron el efecto de la senescencia y edad.



**Figura 21:** Comportamiento de la tasa respiratoria (mLCO<sub>2</sub>/Kg\*h) de floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico, durante 25 días de refrigeración (3-5°C y HR=68% ±5).

En estudios realizados en espinaca mínimamente procesada y con tecnologías poscosecha de factores combinados (tipo de envase y baño químico) durante el almacenamiento. Piagentini (1999), reportó que la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta durante los primeros 7 días de almacenamiento, alcanzando una concentración de 5.88 %, para disminuir a 4.75 % luego de 14 días, de acuerdo a su modelo de predicción desarrollado. El comportamiento de dichas concentraciones de CO<sub>2</sub> en espinaca coincide con la forma gráfica del presente estudio; es decir la concentración de CO<sub>2</sub> aumentó a los 8 (T2 y T3) y 18 días para luego disminuir a los 25 días de refrigeración (Figura 21).

Otros autores también han reportado un comportamiento similar de la concentración de dióxido de carbono en el interior de envases de otros productos vegetales. Piagentini et al. (1997) encontraron que la concentración de CO<sub>2</sub> aumentó a 12.00 % durante los primeros 4 días de almacenamiento a 4 °C, para luego disminuir a 7.40% a los 10 días, en el interior de las bolsas de OPP de repollo mínimamente procesado. Rij y Stanley (1987) indicaron que la concentración de CO<sub>2</sub> en los envases de brócoli envueltos en PVC almacenados a 5°C, aumentó a 11.00-12.00% durante los dos primeros días y luego disminuyó hasta un nivel de equilibrio del 9.00%.

La tasa de deterioro (perible) de los productos cosechados es generalmente proporcional a la tasa respiratoria, clasificando a los productos hortofrutícolas de acuerdo a su velocidad de respiración. De acuerdo a la tasa de respiración y grado de perecibilidad, el brócoli es clasificado como muy alto, con un rango mayor a 30 mL CO<sub>2</sub> /kg x h, para pellas a 5 °C (Salveit, 1997). Los rangos de las tasas respiratorias del brócoli, presentados en la bibliografía, varían según los autores, pero todos coinciden en que es muy alta. Según Gross, *et. al* (2002), clasifican al brócoli, espárrago, espinaca, hongos y col de bruselas dentro los productos hortofrutícolas con tasa respiratoria muy alta, con un rango mayor a 40 mg CO<sub>2</sub> /kg x h a 5°C y según Kader (1985) con un valor superior a 60mg CO<sub>2</sub> /kg x h a 5°C.

El aumento en la velocidad de respiración produce una más rápida pérdida de azúcares y otros compuestos involucrados en la calidad del producto como el sabor y aroma. Además, el aumento del metabolismo de vegetales mínimamente procesados resulta en un consumo más rápido de O<sub>2</sub> en el envase, por lo tanto, el rango de la tasa de respiración de vegetales frescos mínimamente procesados es más alto que del producto intacto (Cantwell y Suslow, 2005). En algunos casos como en arvejas, uvas y zucchinis es ligeramente mayor, mientras que en kiwi y en lechuga el incremento en la tasa respiratoria como consecuencia del procesamiento es mayor al 100 % (Watada y col, 1996). Los floretes de brócoli evaluados en el presente trabajo, el estrés generado por el tratamiento térmico, el procesamiento de corte y baja humedad relativa provocaron, probablemente, el alto rango de tasa respiratoria que fue mayor a 155.1 mLCO<sub>2</sub>/Kg\*h. Al respecto Cantwell y Suslow (1997) indicaron que la tasa de respiración es superior al doble de la tasa de las cabezas de brócoli enteras por unidad de peso.

## V. CONCLUSIONES

- El efecto de los tratamientos térmicos tuvo incidencia sobre los siguientes parámetros poscosecha: color (indicador verde  $-a^*$ ), pérdida de peso y tasa de  $\text{CO}_2$  de los floretes de brócoli.
- Los tratamientos térmicos tuvieron un efecto sobre el indicador verde ( $-a^*$ ) de la variable color (relacionado a la alteración de la clorofila). Los valores promedio obtenidos en el día 8 variaron entre las coordenadas -10.84 y -8.9 del eje X; resultando el T1 y T3 con los valores más bajos y altos respectivamente. Dichos valores fueron interpretados dentro del diagrama cromático CIELab; donde el T3 resultó con colores verdes oscuro, opacos u oliváceos y, por el contrario, el T1 con colores de tendencia a un verde intenso; color aceptable dentro de la percepción de calidad del brócoli, pero solo hasta los 8 días.
- Se registró la disminución constante del parámetro ángulo de tono ( $h^\circ$ ), es decir todos los tratamientos experimentaron cambios en la tonalidad del color verde, siendo el tratamiento a  $47^\circ\text{C}$  (T1) el que obtuvo el menor descenso.
- Se determinó que la temperatura de inmersión a  $47^\circ\text{C}$ , a los 8 días de refrigeración fue la más efectiva del presente estudio, debido a que registró las menores pérdidas de peso, diámetro e intensidad respiratoria. Por lo tanto, se concluye que el uso del tratamiento térmico a  $47^\circ\text{C}$  (T1) puede incidir positivamente en la vida poscosecha de floretes de brócoli hasta los 8 días de refrigeración.
- La conservación de la calidad comercial se perdió, en su totalidad, a los 25 días de refrigeración. No se observó signos de pudrición en ninguno de los tratamientos, sin embargo, las características de pérdida de peso y color no se encontraban dentro de los parámetros de aceptabilidad comercial del mercado.
- El tratamiento térmico no tuvo un efecto sobre el indicador del color amarillo  $+b^*$  ya que no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Por otro lado, visualmente se pudo observar que los tratamientos hidrotérmicos retardaron el amarillamiento típico causado por la senescencia en las inflorescencias, hasta el día 18 de refrigeración.

- Los resultados del diámetro ecuatorial y longitud lograron mantener sus valores dentro de la aceptabilidad comercial (mayor a 7 cm y longitud en el rango de 4.89 cm a 6.29 cm) en todos tratamientos, hasta el día 8 de almacenamiento refrigerado a 3-5°C y HR=68%  $\pm 5$ .
- El tratamiento hidrotérmico tuvo efecto sobre la intensidad respiratoria siendo el T1 el tratamiento con las menores tasas de CO<sub>2</sub> hasta el día 8 de refrigeración.
- En general, los resultados obtenidos para la variable intensidad respiratoria, expresada en función de la tasa de CO<sub>2</sub> producido, mostraron una tendencia curva al pasar las semanas de evaluación. La curva del comportamiento de la intensidad respiratoria declina drásticamente a partir de los 18 días de refrigeración en todos los tratamientos, entonces se puede inferir que a partir de los 18 días todas las muestras sufrieron el efecto de la senescencia y el tiempo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la combinación del tratamiento térmico con otras técnicas o tecnologías que, desde el punto de vista poscosecha optimizarán la vida útil del brócoli, tales como el envasado en películas plásticas flexibles, atmósferas modificadas, recubrimientos comestibles o adición de inhibidores de etileno. La combinación de diferentes métodos de conservación puede producir tres tipos de resultados: sinergismo, efecto aditivo, y antagonismo.
- Investigar la aplicación de otros métodos de tratamientos térmicos tales como el aire caliente y la aspersión. Que pueden resultar mejor que el tratamiento en agua caliente debido a que el calor húmedo hace que la clorofila se pierda más que el calor seco (Bautista-Villareal et al., 2016).
- Aumentar el número de repeticiones para mantener en un valor bajo el coeficiente de variabilidad.
- Se recomienda realizar más ensayos incluyendo el factor tiempo de inmersión en agua caliente y temperaturas de refrigeración para analizar su efecto en floretes aplicados con tratamiento hidrotérmico.
- En los próximos ensayos considerar otros parámetros a evaluar como: calidad sensorial (textura, sabor o apariencia comercial), sólidos solubles y contenido de clorofila.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agar, I.; Massantini, R.; Hess-Pierce, B. & Kader, A. (1999). Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of Food Science*, 64: 433-440. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15058.x>

Aharoni, N.; Philosoph, S.; Barkai, R. (1985). Modified atmospheres to delay senescence and decay of broccoli. *Proceedings of the fourth National Controlled Atmosphere Research Conference, Department of Horticultural Science*, 126: 169-177. doi: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb15058.x

Antunes, M. & Sfakiotakis, E. (2000). Effect of high temperature stress on ethylene biosynthesis, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3): 251-259. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521400001368>

Armstrong, J.; Hansen, J.; Hu, B. & Brown, S. (1989). High-temperature, forced-air quarantine treatment for papayas infested with tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 82(6):1667-1674.

<https://academic.oup.com/jee/article-abstract/82/6/1667/2215290?login=false>

Artés, F. & Allende, A. (2005). Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. *Emerging technologies for food processing*, 677-716.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780126767575500281>

Da-wen, Sun (2014). Emerging technologies for food processing. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mgJ0AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Emerging+technologies+for+food+processing&ots=J1\\_xpJnkis&sig=OKEXXdlqkgRlmyZ062\\_55kfaEso#v=onepage&q=Emerging%20technologies%20for%20food%20processing&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=mgJ0AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Emerging+technologies+for+food+processing&ots=J1_xpJnkis&sig=OKEXXdlqkgRlmyZ062_55kfaEso#v=onepage&q=Emerging%20technologies%20for%20food%20processing&f=false)

- Barth, M.; Perry, A.; Schmidt, S. & Klein, B. (1992). Misting affects market quality and enzyme activity of broccoli during retail storage. *Journal of Food Science*, 57(4): 954-957. Recuperado de:  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1992.tb14332.x>
- Bastrash, S.; Makhlof, J.; Castaigne, F. & Willemot, C. (1993). Optimal controlled atmosphere conditions for storage of broccoli florets. *Journal of Food Science*, 5(8):338-341. Recuperado de:  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04270.x>
- Bautista, M.; Núñez, A.; Amaya, C.; Báez, J.; Espinoza, A.; Rodríguez, A.; ... & Cárdenas, M. (2016). Influencia del tipo y tiempo de cocción en la degradación de clorofila en hortalizas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 411-416. <http://eprints.uanl.mx/23901/>
- Beirão-da-Costa, S.; Steiner, A.; Correia, L.; Empis, J. & Moldão-Martins, M. (2006). Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering*, 76(4): 616-625.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405004152>
- Bidchol, A.; Wilfred, A.; Abhijna, P.; Harish, R. (2011). Free radical scavenging activity of aqueous and ethanolic extract of *Brassica oleracea* L. var. itálica. *Food and bioprocess technology*, 4(7): 1137-1143. doi: 10.1007/s11947-009-0196-9
- Cantwell, M. & Suslow, T. (1997). Recommendations for maintaining postharvest quality. Department of Plant Sciences, University of California, Davis. Recuperado de:  
[www.postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Brocoli/html](http://www.postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Brocoli/html)
- Cantwell, M. & Suslow, T. (2002). Postharvest handling systems: Fresh-cut fruits and vegetables. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 3311: 445-464. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/313180473\\_Postharvest\\_handling\\_systems\\_Fresh-cut\\_fruits\\_and\\_vegetables](https://www.researchgate.net/publication/313180473_Postharvest_handling_systems_Fresh-cut_fruits_and_vegetables)
- Cantwell, M., & Suslow, T. (2001). Cabbage: Recommendation for maintaining postharvest quality. *Department of vegetable crops, University of California, Davis*. Recuperado de:  
[http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=8&ds=799](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=8&ds=799)

- Cantwell, M. & Suslow, T. (2005). Broccoli, Crisphead: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. *Post harvest Center. Department of Plant Sciences, University of California, Davis*. Recuperado de:  
[http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=6&ds=799](http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=6&ds=799)
- Carranza, M. (1994). *Envasado del brócoli (Brassica oleraceae var. itálica) en películas plásticas flexibles para el almacenamiento refrigerado*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Carballo, S. (2003). Actualización técnica en fisiología y manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Uruguay. Compendio de artículos del Seminario/ Taller de la INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9983/1/Seminario-Postcosecha-frutas-y-hortalizas-INIA-2003.pdf>
- Costa, M.; Civello, P.; Chaves, A. & Martínez, G. (2005). Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2): 191-199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521404002030>
- Costa, M.; Civello, P.; Chaves, A. & Martínez, G. (2005). *Effect of hot air treatments on senescence and quality parameters of harvested broccoli (Brassica oleracea L var Italica) heads*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(7): 1154-1160. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2081>
- Cultivo de brócoli. (2001). <https://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/brocoli.htm>
- Díaz, M.; Acedo, E. & García, A. (2005). Principales microorganismos patógenos y de deterioro. *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, Sonora, México CIAD AC*, 216-240.
- El cultivo de brócoli (en línea). 2018. Consultado el 18 feb. (2019). Recuperado de: [www.infoagro.com/hortalizas/brocoli.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/brocoli.htm)
- Escobar, A.; Márquez, C.; Restrepo, C. (2014). Aplicación de tratamiento térmico, recubrimiento comestible y baño químico como tratamientos poscosecha para la

conservación de hortalizas mínimamente procesadas. *Acta Agronómica*, 63(1): 1-12.  
doi: 10.15446/acag.v63n1.40149

Escribano, S. & Mitcham, E. (2014). Progress in heat treatments. *Stewart Postharvest Review*, 10(3):1

[http://www.agritech.tnau.ac.in/horticulture/pdf/tech\\_bulletin/Heat%20Treatment%20on%20Fruits.pdf](http://www.agritech.tnau.ac.in/horticulture/pdf/tech_bulletin/Heat%20Treatment%20on%20Fruits.pdf)

Fallik, E.; Klein, J.; Grinberg, S.; Lomaniec, E.; Lurie, S. & Lalazar, A. (1993). Effect of postharvest heat treatment of tomatoes on fruit ripening and decay caused by *Botrytis cinerea*. *Plant Disease*, 77(10): 985-988. doi: 10.1094/PD-77-0985.

Fallik, E.; Grinberg, S.; Gambourg, M.; Klein, J. & Lurie, S. (1996). Prestorage heat treatment reduces pathogenicity of *Penicillium expansum* in apple fruit. *Plant Pathology*, 45(1), 92-97.  
<https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3059.1996.d01-99.x>

Fallik, E. & Zoran, I. (2017). Novel Postharvest Treatments of Fresh Produce. Editorial Taylor & Francis Group.

Font, Q. (Ed. 2003). (1980). Botánica Pintoresca. España: Editorial Ramón Sopena S.A. p. 425- 453.

Forney, C. (1995). Hot water dips extend the shelf life of fresh broccoli. *Hortscience*, 30(5):1054-1057. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/30/5/article-p1054.xml>

Funamoto, Y.; Yamauchi, N.; Shigenaga, T. & Shigyo, M. (2002). Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 24(2): 163-170.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521401001351>

Gebhardt, S. & Matthews, R. (1988). Nutritive value of foods.  
[http://www7.uc.cl/sw\\_educ/hort0498/HTML/p162.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p162.html)

- Handerburg, R., Watada, A. & Wang, C. (1988). Almacenamiento comercial de frutas, legumbres y existencias de floristerías y viveros. San José, Costa Rica. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=O9m3fM-iQeQC&oi=fnd&dq=Almacenamiento+comercial+de+frutas,+legumbres+y+existencias+de+florister%C3%ADAs+y+viveros&ots=x70ha0P1U7&sig=AzPbVbapXiOIWoAnX0dyWobKP0k>
- Haro, M. & Maldonado, L. (2009). Guía técnica para el cultivo del brócoli en la serranía ecuatoriana. Riobamba, Ecuador. Editorial Freire. [https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25303&shelfbrowse\\_itemnumber=39522](https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25303&shelfbrowse_itemnumber=39522)
- Hong, G.; Peiser, G. & Cantwell, M. (2000). Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. *Postharvest Biology and Technology*, 20(1): 53-61. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521400001125>
- INFOAGRO. (2018). El cultivo de brócoli. [www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm)
- Jeffery, E.; Brown, A.; Kurilich, A.; Keck, A.; Matusheski, N.; Klein, B. & Juvik, J. (2003). Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of food composition and analysis*, 16(3): 323-330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157503000450>
- Jiménez, D. (2001). *Importancia del Cultivo del Brócoli (Brassica oleracea var. Itálica) en México*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria]. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1318/EL%20CULTIVO%20DEL%20BROCOLI%20\(Brassica%20oleracea%20var.%20italica\)%20EN%20EL%20NORTE%20DE%20GUANAJUATO.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1318/EL%20CULTIVO%20DEL%20BROCOLI%20(Brassica%20oleracea%20var.%20italica)%20EN%20EL%20NORTE%20DE%20GUANAJUATO.pdf?sequence=1)
- Kader, A. (1986). Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40: 99-100;102-104. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8932101>
- Klein, J., & Lurie, S. (1991). Postharvest heat treatment and fruit quality. *Postharvest News and information*, 2(1): 15-19.

- Kim, D.; Smith, N. & Lee, C. (1993). Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. *Journal of Food Science*, 58(5): 1115-1117. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1993.tb06127.x>
- King, G. & Morris, S. (1994). Early compositional changes during postharvest senescence of broccoli. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(5): 1000-1005. <https://journals.ashs.org/jashes/view/journals/jashes/119/5/article-p1000.xml>
- Koukounaras, A.; Diamantidis, G. & Sfakiotakis, E. (2008). The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1): 30-36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521407002967>
- Lamikanra, O.; Richard, O.; Parker, A. (2002). Ultraviolet induced stress response in fresh cut cantaloupe. *Phytochemistry*, 60(1): 27-32. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031942202000481>
- Lemoine, L. (2009). *Efecto de la aplicación de tecnologías limpias sobre la prolongación de la vida postcosecha de brócoli mínimamente procesado*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata]. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/51601>
- Lizarme, G. (2015). *Tratamiento hidrotérmico y uso de plástico extensible en la poscosecha del chile poblano (Capsicum annum)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1853>
- Lurie, S.; Handros, A.; Fallik, E. & Shapira, R. (1996). Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature (effects on tomato fruit ripening). *Plant Physiology*, 110(4): 1207-1214. <https://academic.oup.com/plphys/article/110/4/1207/6070117?login=false>
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest biology and technology*, 14(3): 257-269. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521498000453>
- Martínez, M. (1997). *Almacenamiento de brócoli (Brassica oleracea var. italica) en atmósfera controlada*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].

- Martínez, G. & Civello, P. (2008). Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1): 38-45.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521408000331>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2017). Análisis económico de principales frutas y verduras. Dirección General de Políticas Agrarias. Boletín del 2017.  
<https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/363>
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2017). Perú presenta al mundo su nueva marca “Superfoods Perú”. <https://www.mincetur.gob.pe/peru-presenta-al-mundo-nueva-marca-superfoods-peru/>
- Mirdehghan, S.; Rahemi, M.; Martínez, D.; Guillén, F.; Valverde, J.; Zapata, P.; ... Valero, D. (2007). Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines. *Postharvest biology and technology*, 44(1): 19-25.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521406003085>
- Pantástico, B. (2004). Fisiología de la posrecolección manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial Continental México.
- Podsędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food. Science and Technology*, 40(1): 1-11.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002364380500188X>
- Pogson, B., & Morris, S. (1997). Consequences of cool storage of broccoli on physiological and biochemical changes and subsequent senescence at 20 C. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(4): 553-558.  
<https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/122/4/article-p553.xml>
- Pongener, A.; Sharma, S. & Purbey, S. (2018). Heat treatment of fruits and vegetables. Postharvest disinfection of fruits and vegetables. *Academic Press*, 179-196.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128126981000091>
- Ryall, A. & Pentzer, W. (1982). Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Fruits and tree nuts. AVI Publishing Co., Inc.  
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19840322731?freeview=true>

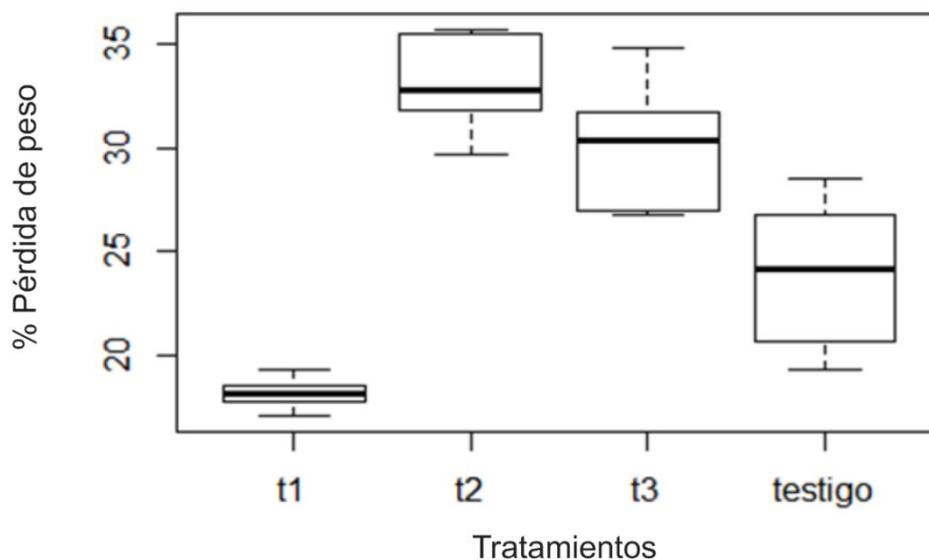
- Ryall, AL; Lipton, WJ. (2da Ed.). (1979). Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. Wesport, USA. The Avi Publishing Company
- Sakata Seed Sudamérica. (2017). Productos. Consultado 8 sep. 2018.  
<http://www.sakata.com.br/cas/productos/hortalizas/brasicas/brocoli>
- Saltveit, M. (1996). Physical and physiological changes in minimally processed fruit and vegetables Phytochemistry of fruit and vegetables. Editorial Oxford University
- Saltveit, M. (1997). Respiration and gas exchange: Measuring Respiration. Sacramento, USA. University of California Davis.
- Saltveit, M. (2000). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest biology and technology*, 21(1): 61-69.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521400001654>
- Saltveit, M. (2005). Influence of heat shocks on the kinetics of chilling-induced ion leakage from tomato pericarp discs. *Postharvest Biology and Technology*, 36(1): 87-92.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521404002583>.
- Schirra, M.; Mulas, M.; Fadda, A.; Mignani, I. & Lurie, S. (2005). Chemical and quality traits of 'Olinda' and 'Campbell' oranges after heat treatment at 44 or 46° C for fruit fly disinfestation. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5): 519-527.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643804001926>
- Shewfelt, R.; Batal, K. & Heaton, E. (1983). Broccoli storage: Effect of N6-benzyladenine, packaging, and icing on color of fresh broccoli. *Journal of Food Science*, 48(6): 1594-1597.  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1983.tb05039.x>
- Stoppani, M. & Francescangeli, N. (2000). El brócoli y su potencial: hortaliza top del tercer milenio.  
<https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/874/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Suzuki, Y.; Asoda, T.; Matsumoto, Y.; Terai, H. & Kato, M. (2005). Suppression of the expression of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in harvested broccoli with high temperature treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 36(3): 265-271. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521405000414>
- Sweeney, J., & Martin, M. (1958). Determination of chlorophyll and pheophytin in broccoli heated by various procedures. *Food Research* 23(6): 635-647. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1958.tb17615.x>
- Terai, H.; Kanou, M.; Mizuno, M. & Tsuchida, H. (1999). Inhibition of yellowing and ethylene production in broccoli florets following high temperature treatment with hot air. *Food Preservation Science*, 25(5): 221-227. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jafps1997/25/5/25\\_5\\_221/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jafps1997/25/5/25_5_221/_article/-char/ja/)
- Thompson, J.; Mitchell, F.; Rumsey, T.; Kasmire, R. & Crisosto, C. (2008). Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. California, Estados Unidos. [https://postharvest.ucdavis.edu/Bookstore/Commercial\\_Cooling\\_of\\_Fruits\\_Vegetables\\_-\\_Flowers/](https://postharvest.ucdavis.edu/Bookstore/Commercial_Cooling_of_Fruits_Vegetables_-_Flowers/)
- Thompson, A. (2003). Postharvest technology of fruits and vegetables Fruit and vegetables harvesting, handling and storage. Oxford, U.K. <https://www.nhbs.com/fruit-and-vegetables-book>
- Tian, M.; Downs, C.; Lill, R. & King, G. (1994). A role for ethylene in the yellowing of broccoli after harvest. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2): 276-281. <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/119/2/article-p276.xml>
- Tian, M.; Woolf, A.; Bowen, J.; Ferguson, I. (1996). Changes in color and chlorophyll fluorescence of broccoli florets following hot water treatment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(2): 310-313. <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/121/2/article-p310.xml>
- Toledo, J. (2003). Manual de cultivo del brócoli. Huaral, Perú. [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/895/1/Toledo-Cultivo\\_brocoli.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/895/1/Toledo-Cultivo_brocoli.pdf)

- Vallejo, F.; Tomás, F. & García, C. (2002). Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(11): 1293-1297.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.1183>
- Vicente, A.; Martínez, G.; Civello, P. & Chaves, A. (2002). Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 25(1): 59-71.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521401001429>
- Vidal, M. (2008). Alimentos funcionales, algunas reflexiones en torno a su necesidad, seguridad y eficacia y a cómo declarar sus efectos sobre la salud. *Humanitas: Humanidades Médicas: Tema del mes on-line*, (24):1-34.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6709475>
- Wasim, M. (2018). Postharvest Disinfection of Fruits and Vegetables. Sabour, India. Academic Press.  
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128126981/postharvest-disinfection-of-fruits-and-vegetables>
- Watada, A.; Able, K. & Yamauchi, N. (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 44(5): 116-122. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9103026>
- Watada, A.; Ko, N. & Minott, D. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest biology and Technology*, 9(2), 115-125.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521496000415>
- Wills, R.; Wimalasiri, P & Greenfield, H. (1984). Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 32(4), 836-838. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf00124a035>
- Zhuang, H.; Hildebrand, D. & Barth, M. (1997). Temperature influenced lipid peroxidation and deterioration in broccoli buds during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 10(1): 49-58.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521496000543>

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1:** Gráfico boxplot del porcentaje de pérdida de peso a los 8 días de refrigeración



**Anexo 2:** ANOVA del porcentaje de pérdida de peso a los 8 días

|             | GL | SC      | CM     | F      | P-valor   |
|-------------|----|---------|--------|--------|-----------|
| Tratamiento | 3  | 20842.8 | 6947.6 | 36.624 | 0.0000508 |
| Error       | 8  | 1517.6  | 189.7  |        |           |
| Total       | 11 | 22360.4 |        |        |           |

**Anexo 3:** Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida peso a los 8 días ( $\alpha=0.05$ )

| ##                   | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |      |          |         |       |
|----------------------|----------|------------|---------|----------|------|----------|---------|-------|
| ## t2 - t1 == 0      | 14.867   | 1.517      | 9.803   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ## t3 - t1 == 0      | 11.994   | 1.517      | 7.909   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ## testigo - t1 == 0 | 5.740    | 1.517      | 3.785   | 0.00602  | **   |          |         |       |
| ## t3 - t2 == 0      | -2.872   | 1.517      | -1.894  | 0.26198  |      |          |         |       |
| ## testigo - t2 == 0 | -9.127   | 1.517      | -6.018  | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ## testigo - t3 == 0 | -6.254   | 1.517      | -4.124  | 0.00268  | **   |          |         |       |
| ## ---               |          |            |         |          |      |          |         |       |
| ## Signif. codes:    | 0        | '***'      | 0.001   | '**'     | 0.01 | '*' 0.05 | '.' 0.1 | ' ' 1 |

**Anexo 4:** Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 18 días de refrigeración ( $\alpha=0.05$ )

| ## |                   | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |      |          |         |       |
|----|-------------------|----------|------------|---------|----------|------|----------|---------|-------|
| ## | t2 - t1 == 0      | 13.7105  | 1.9494     | 7.033   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ## | t3 - t1 == 0      | 13.5244  | 1.9494     | 6.938   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ## | testigo - t1 == 0 | 5.0417   | 1.9494     | 2.586   | 0.07649  | .    |          |         |       |
| ## | t3 - t2 == 0      | -0.1861  | 1.9494     | -0.095  | 0.99968  |      |          |         |       |
| ## | testigo - t2 == 0 | -8.6688  | 1.9494     | -4.447  | 0.00123  | **   |          |         |       |
| ## | testigo - t3 == 0 | -8.4827  | 1.9494     | -4.351  | 0.00158  | **   |          |         |       |
| ## | ---               |          |            |         |          |      |          |         |       |
| ## | Signif. codes:    | 0        | '***'      | 0.001   | '**'     | 0.01 | '*' 0.05 | '.' 0.1 | ' ' 1 |

**Anexo 5:** Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 25 días ( $\alpha=0.05$ )

| ## |                   | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |      |          |         |       |
|----|-------------------|----------|------------|---------|----------|------|----------|---------|-------|
| ## | t2 - t1 == 0      | 12.9861  | 1.9069     | 6.810   | <0.001   | ***  |          |         |       |
| ## | t3 - t1 == 0      | 13.1173  | 1.9069     | 6.879   | <0.001   | ***  |          |         |       |
| ## | testigo - t1 == 0 | 3.8026   | 1.9069     | 1.994   | 0.223    |      |          |         |       |
| ## | t3 - t2 == 0      | 0.1313   | 1.9069     | 0.069   | 1.000    |      |          |         |       |
| ## | testigo - t2 == 0 | -9.1834  | 1.9069     | -4.816  | <0.001   | ***  |          |         |       |
| ## | testigo - t3 == 0 | -9.3147  | 1.9069     | -4.885  | <0.001   | ***  |          |         |       |
| ## | ---               |          |            |         |          |      |          |         |       |
| ## | Signif. codes:    | 0        | '***'      | 0.001   | '**'     | 0.01 | '*' 0.05 | '.' 0.1 | ' ' 1 |

**Anexo 6:** Prueba de Tukey del porcentaje de pérdida de peso a los 8, 18 y 25 días ( $\alpha=0.05$ )

| DÍA 8                 |                   |          |            |         |          |      |          |         |       |
|-----------------------|-------------------|----------|------------|---------|----------|------|----------|---------|-------|
| ## Linear Hypotheses: |                   |          |            |         |          |      |          |         |       |
| ##                    |                   | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |      |          |         |       |
| ##                    | t2 - t1 == 0      | 14.867   | 1.517      | 9.803   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ##                    | t3 - t1 == 0      | 11.994   | 1.517      | 7.909   | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ##                    | testigo - t1 == 0 | 5.740    | 1.517      | 3.785   | 0.00602  | **   |          |         |       |
| ##                    | t3 - t2 == 0      | -2.872   | 1.517      | -1.894  | 0.26198  |      |          |         |       |
| ##                    | testigo - t2 == 0 | -9.127   | 1.517      | -6.018  | < 0.001  | ***  |          |         |       |
| ##                    | testigo - t3 == 0 | -6.254   | 1.517      | -4.124  | 0.00268  | **   |          |         |       |
| ##                    | ---               |          |            |         |          |      |          |         |       |
| ##                    | Signif. codes:    | 0        | '***'      | 0.001   | '**'     | 0.01 | '*' 0.05 | '.' 0.1 | ' ' 1 |

DÍA 18

```
##          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## t2 - t1 == 0      13.7105     1.9494   7.033 < 0.001 ***
## t3 - t1 == 0      13.5244     1.9494   6.938 < 0.001 ***
## testigo - t1 == 0   5.0417     1.9494   2.586 0.07649 .
## t3 - t2 == 0      -0.1861     1.9494  -0.095 0.99968
## testigo - t2 == 0  -8.6688     1.9494  -4.447 0.00123 **
## testigo - t3 == 0  -8.4827     1.9494  -4.351 0.00158 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

DÍA 25

```
##          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## t2 - t1 == 0      12.9861     1.9069   6.810 <0.001 ***
## t3 - t1 == 0      13.1173     1.9069   6.879 <0.001 ***
## testigo - t1 == 0   3.8026     1.9069   1.994  0.223
## t3 - t2 == 0       0.1313     1.9069   0.069  1.000
## testigo - t2 == 0  -9.1834     1.9069  -4.816 <0.001 ***
## testigo - t3 == 0  -9.3147     1.9069  -4.885 <0.001 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Anexo 7: Estado morfológico de los floretes del tratamiento 3 a los 18 días de refrigeración



**Anexo 8:** Prueba de Tukey para el indicador L\* (luminosidad) del color, a los 8 y 14 días ( $\alpha=0.05$ )

| Tukey's multiple comparisons- Día 14 | Mean Diff. | 95.00% CI of diff. | Significant? | Summary | Adjusted P Value |
|--------------------------------------|------------|--------------------|--------------|---------|------------------|
| T0 (Testigo) vs. T1                  | 1.098      | -2.121 to 4.318    | No           | ns      | 0.8107           |
| T0 (Testigo) vs. T2                  | 1.25       | -1.970 to 4.470    | No           | ns      | 0.743            |
| T0 (Testigo) vs. T3                  | 4.473      | 1.253 to 7.692     | Yes          | **      | 0.0024           |
| T1 vs. T2                            | 0.1517     | -3.068 to 3.371    | No           | ns      | 0.9993           |
| T1 vs. T3                            | 3.374      | 0.1545 to 6.594    | Yes          | *       | 0.0361           |
| T2 vs. T3                            | 3.222      | 0.002814 to 6.442  | Yes          | *       | 0.0497           |

| Tukey's multiple comparison- Día 8 | Mean Diff. | 95.00% CI of diff. | Significant? | Summary | Adjusted P Value |
|------------------------------------|------------|--------------------|--------------|---------|------------------|
| T0 (Testigo) vs. T1                | -1.948     | -5.168 to 1.271    | No           | ns      | 0.3958           |
| T0 (Testigo) vs. T2                | 0.3683     | -2.851 to 3.588    | No           | ns      | 0.9908           |
| T0 (Testigo) vs. T3                | 2.78       | -0.4397 to 6.000   | No           | ns      | 0.116            |
| T1 vs. T2                          | 2.317      | -0.9030 to 5.536   | No           | ns      | 0.2444           |
| T1 vs. T3                          | 4.728      | 1.509 to 7.948     | Yes          | **      | 0.0012           |
| T2 vs. T3                          | 2.412      | -0.8080 to 5.631   | No           | ns      | 0.2124           |

**Anexo 9:** ANOVA para el indicador luminosidad (L\*) de todos los tratamientos y días

|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F) |     |
|---|-----|--------|---------|---------|---------|-----|
| Día evaluación  | 5   | 300.03 | 60.06   | 13.107  | 3.5e-10 | *** |
| Tratamiento   | 3   | 48.8   | 16.25   | 3.547   | 0.01665 | *   |
| Día evaluación / Trat   | 15  | 180.8  | 12.05   | 2.631   | 0.00183 | **  |
| Residuals   | 120 | 549.8  | 4.58    |         |         |     |
| Signif. codes. 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |         |     |

**Anexo 10:** ANOVA para la coordenada a\* (eje color verde) y gráfico de barras de la prueba Tukey a los 8 días de refrigeración ( $\alpha=0.1$ )

|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F) |     |
|---|-----|--------|---------|---------|---------|-----|
| Día evaluación  | 5   | 25.11  | 5.022   | 3.141   | 0.0106  | *** |
| Tratamiento   | 3   | 12.29  | 4.097   | 2.562   | 0.0581  | .   |
| Día evaluación / Trat   | 15  | 25.08  | 1.672   | 1.045   | 0.4147  |     |
| Residuals   | 120 | 191.89 | 1.599   |         |         |     |
| Signif. codes. 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |         |     |

| Tukey's test- Día 8 | Mean Diff. | 90.00% CI of diff. | Significant? | Summary | Adjusted P Value |
|---------------------|------------|--------------------|--------------|---------|------------------|
| T0 (Testigo) vs. T1 | 1.627      | -0.2871 to 3.540   | No           | ns      | 0.1794           |
| T0 (Testigo) vs. T2 | 0.5267     | -1.637 to 2.691    | No           | ns      | 0.9175           |
| T0 (Testigo) vs. T3 | -0.2567    | -2.304 to 1.791    | No           | ns      | 0.987            |
| T1 vs. T2           | -1.1       | -3.031 to 0.8307   | No           | ns      | 0.4694           |
| T1 vs. T3           | -1.883     | -3.661 to -0.1056  | Yes          | ns      | 0.0786           |
| T2 vs. T3           | -0.7833    | -2.845 to 1.279    | No           | ns      | 0.7546           |

**Anexo 11:** ANOVA para la coordenada b\* (eje CIELab color amarillo)

|                       | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F)  |     |
|-----------------------|-----|--------|---------|---------|----------|-----|
| Día evaluación        | 5   | 571.5  | 114.31  | 18.225  | 2.01e-13 | *** |
| Tratamiento           | 3   | 30.5   | 10.15   | 1.618   | 0.1887   |     |
| Día evaluación / Trat | 15  | 158.6  | 10.57   | 1.686   | 0.0625   |     |
| Residuals             | 120 | 752.7  | 6.27    |         |          |     |

Signif. codes. 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

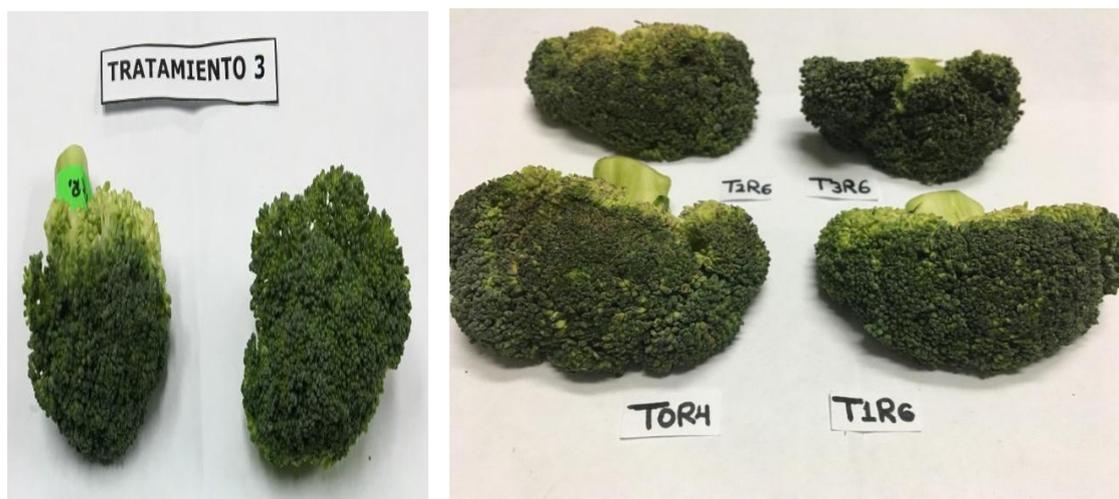
**Anexo 12:** ANOVA para el ángulo del tono (h°) ( $\alpha=0.05$ )

| Source of Variation                 | % of total variation | P value | P value summary | Significant? |
|-------------------------------------|----------------------|---------|-----------------|--------------|
| <b>Interaction</b>                  | 7.001                | 0.1401  | ns              | No           |
| <b>Tiempo (Row Factor)</b>          | 46.42                | <0.0001 | ****            | Yes          |
| <b>Tratamientos (Column Factor)</b> | 7.657                | <0.0001 | ****            | Yes          |

**Anexo 13:** Variación del tono del color (ángulo h°) en los días 1,8, 18 y 25 comparados con el color inicial.

| Día 0  | Día 1  | Día 8   | Día 18  | Día 25  |
|--|--|---|---|---|
|  |  |  |  |  |

**Anexo 14:** Cambio de color de los floretes a un tono verde pardo en el día 25.



Día 1

Día 25

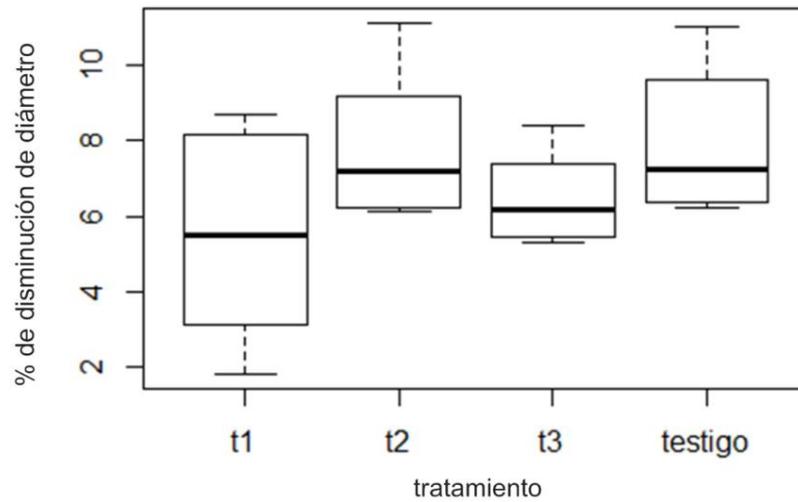
**Anexo 15:** ANOVA para el ángulo del tono (h°)

|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F)  |     |
|---|-----|--------|---------|---------|----------|-----|
| Día evaluación  | 5   | 1212.4 | 242.48  | 26.631  | <2e-19   | *** |
| Tratamiento   | 3   | 199.9  | 66.64   | 7.869   | 7.76e-05 | *** |
| Día evaluación / Trat   | 15  | 182.8  | 12.19   | 1.439   | 0.14     |     |
| Residuals   | 120 | 1016.3 | 8.47    |         |          |     |
| Signif. codes. 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |          |     |

**Anexo 16:** ANOVA para el parámetro de color croma (C\*)

|   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F)  |     |
|---|-----|--------|---------|---------|----------|-----|
| Día evaluación  | 5   | 490.5  | 98.10   | 13.501  | 1.91e-10 | *** |
| Tratamiento   | 3   | 21.7   | 7.23    | 0.995   | 0.398    |     |
| Día evaluación / Trat   | 15  | 166.4  | 11.09   | 1.527   | 0.106    |     |
| Residuals   | 120 | 871.9  | 7.27    |         |          |     |
| Signif. codes. 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |     |        |         |         |          |     |

**Anexo 17:** Gráfico boxplot de porcentaje de disminución de diámetro a los 4 días



**Anexo 18:** ANOVA de % de disminución de diámetro a los 4 días

```
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## tratamiento  3  25.201   8.4005   1.8662 0.1678
## Residuals  20  90.026   4.5013

sort(tapply(segunda$diametro,segunda$tratamiento,mean))

##           t1           t3           t2  testigo
## 5.465486 6.473759 7.830713 7.947836
```

**Anexo 19:** ANVA del % de disminución de diámetro a los 8 días de refrigeración

```
ANOVA - DÍA 8

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## tratamiento  3  49.08   16.36   1.26 0.315
## Residuals  20 259.76   12.99
```

```

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## tratamiento  3  49.08   16.36   1.26  0.315
## Residuals   20 259.76   12.99

TukeyHSD (anova,"tratamiento")

## Tukey multiple comparisons of means
## 95% family-wise confidence level
##
## Fit: aov(formula = diametro ~ tratamiento, data = tercera)
##
## $tratamiento
##           diff          lwr          upr          p adj
## t2-t1      3.7467806 -2.076974  9.570535  0.3021130
## t3-t1      1.5871178 -4.236637  7.410872  0.8701247
## testigo-t1 2.9925294 -2.831225  8.816284  0.4914151

```

**Anexo 20:** ANOVA del porcentaje del diámetro perdido de los días 4 y 8

ANOVA - DÍA 4

```

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## tratamiento  3  25.201   8.4005   1.8662  0.1678
## Residuals   20  90.026   4.5013

```

ANOVA - DÍA 8

```

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## tratamiento  3  49.08   16.36   1.26  0.315
## Residuals   20 259.76   12.99

```

**Anexo 21:** ANOVA para la variable longitud a los 8 días

|   | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F) |   |
|---|----|--------|---------|---------|---------|---|
| Tratamiento   | 3  | 204.58 | 68.194  | 3.2938  | 0.04168 | * |
| Residuals   | 20 | 141.08 | 20.704  |         |         |   |
| Signif. codes. 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 |    |        |         |         |         |   |

**Anexo 22:** Prueba de Tukey para intensidad respiratoria en el día 1 ( $\alpha=0.05$ )

| ##                   | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t )    |      |     |      |     |     |     |   |
|----------------------|----------|------------|---------|-------------|------|-----|------|-----|-----|-----|---|
| ## t2 - t1 == 0      | -17.65   | 11.25      | -1.569  | 0.44501     |      |     |      |     |     |     |   |
| ## t3 - t1 == 0      | 32.08    | 11.25      | 2.853   | 0.08177 .   |      |     |      |     |     |     |   |
| ## testigo - t1 == 0 | 91.81    | 11.25      | 8.164   | < 0.001 *** |      |     |      |     |     |     |   |
| ## t3 - t2 == 0      | 49.73    | 11.25      | 4.422   | 0.00943 **  |      |     |      |     |     |     |   |
| ## testigo - t2 == 0 | 109.46   | 11.25      | 9.733   | < 0.001 *** |      |     |      |     |     |     |   |
| ## testigo - t3 == 0 | 59.72    | 11.25      | 5.311   | 0.00338 **  |      |     |      |     |     |     |   |
| ## ---               |          |            |         |             |      |     |      |     |     |     |   |
| ## Signif. codes:    | 0        | '***'      | 0.001   | '**'        | 0.01 | '*' | 0.05 | '.' | 0.1 | ' ' | 1 |

**Anexo 23:** Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 8 ( $\alpha=0.05$ )

|                | Mean Diff. | 95.00% CI of diff. | Significant? | Summary | Adjusted P Value |
|----------------|------------|--------------------|--------------|---------|------------------|
| Testigo vs. T1 | 224.3      | 70.18 to 378.4     | Yes          | *       | 0.0242 A-B       |
| Testigo vs. T2 | -6.553     | -73.21 to 60.11    | No           | ns      | 0.8968 A-C       |
| Testigo vs. T3 | -31.28     | -253.9 to 191.3    | No           | ns      | 0.7796 A-D       |
| T1 vs. T2      | -230.8     | -318.4 to -143.2   | Yes          | **      | 0.0077 B-C       |
| T1 vs. T3      | -255.5     | -325.4 to -185.7   | Yes          | **      | 0.0034 B-D       |
| T2 vs. T3      | -24.72     | -181.4 to 132.0    | No           | ns      | 0.7281 C-D       |

**Anexo 24:** Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 18 ( $\alpha=0.05$ )

| TRAT | mean    | min     | max     | r | std    | ste    | sg |
|------|---------|---------|---------|---|--------|--------|----|
| T0   | 402.534 | 388.825 | 423.812 | 3 | 18.681 | 10.786 | ab |
| T1   | 375.995 | 363.964 | 391.566 | 3 | 14.138 | 8.162  | b  |
| T2   | 409.082 | 405.34  | 412.12  | 3 | 3.444  | 1.989  | ab |
| T3   | 433.805 | 392.035 | 462.329 | 3 | 36.971 | 21.345 | a  |

**Anexo 25:** Prueba de Tukey para intensidad de respiración para el día 25 ( $\alpha=0.05$ )

| TRAT | mean    | min     | max     | r | std    | ste    | sg |
|------|---------|---------|---------|---|--------|--------|----|
| T0   | 304.412 | 287.739 | 316.24  | 3 | 14.855 | 8.577  | b  |
| T1   | 316.523 | 299.381 | 346.893 | 3 | 26.373 | 15.227 | b  |
| T2   | 345.718 | 344.528 | 346.764 | 3 | 1.125  | 0.649  | ab |
| T3   | 375.472 | 363.136 | 384.471 | 3 | 11.052 | 6.381  | a  |

**Anexo 26:** Cuadro resumen de intensidad de respiración en los días 8, 11 y 18

| TRAT | mean    | min     | max     | r | std    | ste    | sg |
|------|---------|---------|---------|---|--------|--------|----|
| T0   | 256.607 | 230.108 | 278.075 | 3 | 24.376 | 14.074 | a  |
| T1   | 168.155 | 151.583 | 196.218 | 3 | 24.436 | 14.108 | b  |
| T2   | 262.518 | 221.541 | 298.652 | 3 | 38.783 | 22.391 | a  |
| T3   | 243.378 | 207.631 | 284.205 | 3 | 38.539 | 22.25  | ab |

| TRAT | mean    | min     | max     | r | std    | ste    | sg |
|------|---------|---------|---------|---|--------|--------|----|
| T0   | 191.569 | 156.972 | 223.045 | 3 | 33.147 | 19.138 | ab |
| T1   | 162.958 | 140.028 | 181.733 | 3 | 21.161 | 12.217 | b  |
| T2   | 284.834 | 221.328 | 359.281 | 3 | 69.625 | 40.198 | a  |
| T3   | 215.577 | 208.851 | 222.511 | 3 | 6.832  | 3.945  | ab |

| TRAT | mean    | min     | max     | r | std    | ste    | sg |
|------|---------|---------|---------|---|--------|--------|----|
| T0   | 402.534 | 388.825 | 423.812 | 3 | 18.681 | 10.786 | ab |
| T1   | 375.995 | 363.964 | 391.566 | 3 | 14.138 | 8.162  | b  |
| T2   | 409.082 | 405.34  | 412.12  | 3 | 3.444  | 1.989  | ab |
| T3   | 433.805 | 392.035 | 462.329 | 3 | 36.971 | 21.345 | a  |

**Anexo 27:** ANVA de doble factor para la tasa de respiración

| Factor 1              | Tiempo de refrigeración (Día de evaluación) |        |         |         |          |     |
|-----------------------|---|--------|---------|---------|----------|-----|
| Factor 2              | Efecto del tratamiento hidrotérmico         |        |         |         |          |     |
|                       | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr (>F)  |     |
| Día evaluación        | 4   | 390826 | 97706   | 133.533 | <2e-16   | *** |
| Tratamiento           | 3   | 27245  | 9082    | 12.412  | 7.05e-06 | *** |
| Día evaluación / Trat | 12  | 47662  | 3972    | 5.428   | 2.28e-05 | *** |
| Residuals             | 40  | 29268  | 732     |         |          |     |

Signif. codes. 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1