



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ESTUDIOS DE VIDA DE ANAQUEL DE CONSERVAS DE  
BRÓCOLI SUJETAS A DIFERENTES CONDICIONES DE  
PROCESO USANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS ACELERADO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

**MARIANA PAOLA AMBRIZ PÉREZ**



**MÉXICO, D.F.**

**2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Presidente</b>       | Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa |
| <b>Vocal</b>            | QFB Juan Diego Ortiz Palma Pérez               |
| <b>Secretario</b>       | Dra. Marisela Bernal González                  |
| <b>Primer Suplente</b>  | M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas           |
| <b>Segundo Suplente</b> | M. en A.I. Landy Irene Ramírez Burgos          |

Sitio donde se desarrolló el tema:

Laboratorios 301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química de la  
UNAM

**ASESOR:**

DRA. MA. DEL CARMEN DURÁN  
DOMÍNGUEZ DE BAZÚA

\_\_\_\_\_

**ASESOR TÉCNICO:**

M. en ADM. IND. LANDY I. RAMIREZ  
BURGOS

\_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE:**

MARIANA PAOLA AMBRIZ PÉREZ

\_\_\_\_\_

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química por aceptarme dentro de sus filas. Gracias por albergar mis sueños, emociones e ilusiones, por permitirme estudiar la profesión que amo, las mejores experiencias las obtuve aquí. Estoy orgullosa de pertenecer a esta institución que siempre la llevaré como estandarte ¡Orgullosamente UNAM!

A la Dra. Carmen Durán Domínguez de Bazúa que me brindó la oportunidad de participar en este proyecto y por darme la confianza de desarrollarlo. Con mucho cariño, admiración y respeto.

Agradezco al QFB Juan Diego Ortiz Palma Pérez, a la Dra. Marisela Bernal González, a la M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas y a la M. en A.I. Landy Irene Ramírez Burgos por el tiempo y la atención brindada en la revisión de este proyecto.

Mi sincero agradecimiento a mis profesores de licenciatura, gracias por compartirme sus conocimientos, sin ustedes no hubiera obtenido lo necesario para concluir mis materias.

Gracias a mis compañeros y amigos de la carrera, porque sin ustedes esta experiencia no hubiera sido igual.

## Dedicatorias

A mi mamá que ha sido testigo de esta experiencia maravillosa. Gracias por el amor incondicional que me brindas todos los días, por los consejos, por los valores por todos los momentos que me has entregado. Gracias por apoyarme en las dificultades que se me presentaron tanto académicas como personales, sin tí no lo hubiera logrado. Eres un ejemplo a seguir, mi fuente de energía, para realizar mis sueños. A veces nos exigimos tanto para alcanzar la felicidad sin notar que la felicidad es tenernos la una a la otra.

A mi papá que siempre me ha brindado su apoyo, por ser un hombre trabajador y de constante lucha. Gracias a todo tu esfuerzo he podido construir la base de mis sueños. Agradezco que formes parte de los momentos importantes de mi vida. Gracias por contagiarnos de esos momentos divertidos. Quiero que te sientas orgulloso de mí: aquí está la prueba.

A mi hermana que con ella he construido excelentes momentos que siempre los llevaré en mi corazón. Gracias por esas risas, por esos chistes, por esas pláticas y hasta esos juegos que nos caracterizan. Agradezco todo tu apoyo y por aguantar mi carácter de química. Sé que siempre podré contar contigo como hermana y como amiga, puedes tener la seguridad de que siempre estaré ahí para tí. No dejes de luchar para conseguir tus sueños, todo es posible.

A mis abuelitos, Nico y Pilla, que me han dado más de lo que es necesario. Aunque la distancia nos separe siempre los tengo en mi mente y corazón. Gracias por todo su apoyo y amor, son parte esencial de la culminación de este logro. Ustedes son mi soporte para continuar cuando se presentan las adversidades. Gracias por todo. Los quiero mucho.

A mis tías, Pillina, Gina y Mago, y a mis primos Oscar, Sammy y Cyndy que han sido parte fundamental de mi crecimiento. Gracias por formar parte de este logro. Para ustedes con mucho cariño. ¡Qué bonita familia!

A mi amiga Mimi por brindarme su apoyo y sincera amistad por muchos años. Gracias por tu confianza y cariño, has sido un gran apoyo. Gracias por seguir forjando esta amistad que se que durará por siempre. Los consejos y las palabras han sido nuestros aliados. Te admiro por lograr tus sueños y desear lograr aún más.

A mi amiga Ilse, mi amiga scout, gracias por formar parte de mi vida. Agradezco tu sinceridad al expresar tus sentimientos y pensamientos. Gracias por tus consejos y esa energía que proyectas. Me alegra saber que seguiremos compartiendo más momentos como estos llenos de alegría y felicidad.

A mi amiga Ware por mostrarme el lado humano de las personas. Admiro tu seguridad y confianza al realizar tus proyectos. Gracias por tu ayuda como amiga y como doctora. Tu amistad es importante para mí. El próximo año será un año de aprendizaje para las dos.

A mi amiga Paola, gracias por la amistad que me has brindado durante todo este tiempo. Por el apoyo externo cuando he tenido alguna situación problemática. Eres parte esencial cuando he necesitado una mano para levantarme. Gracias por todo tu cariño, por hablar siempre con la verdad y ser lo más objetiva posible.

A mi amiga Gema, gracias por formar parte de mi vida desde el primer día de clases, gracias por todo tu apoyo incondicional. Recorrimos un gran camino lleno de sorpresas, tristezas, miedos, risas, errores y alegrías. Hemos vivido de todo en esta facultad, gracias por ser parte de este logro, por ser además de una compañera de equipo, una gran amiga.

A mis amigas Paola, Susy, Vero, Gris, Dany y Faby porque somos el equipo perfecto. Gracias por todos los sueños, risas, ilusiones y alegrías que compartimos dentro y fuera de la facultad. Esto no se acaba aquí, esto apenas comienza.

A mis amigos Marco, Alexis y Eric por todos esos momentos compartidos llenos de locuras y alegrías. Gracias por llenarme de risas incontenibles.

A MiCuau por estar presente en la culminación de este logro. Gracias por estar conmigo en este cierre de ciclo y en la apertura de uno nuevo. No sé a dónde nos lleve el destino pero hoy doy gracias por tenerte a mi lado.

Dedico este trabajo a cada uno de ustedes ya que forman parte esencial de mi vida. Cada uno ha colocado un ingrediente para que yo realizara mi mayor logro hasta el momento. Los quiero.

Maripao Ambriz Pérez  
Noviembre 2012

## Índice

|  | Página |
|--|--------|
| Listado de figuras   | II     |
| Listado de gráficos  | II     |
| Listado de tablas  | IV     |
| Símbolos y abreviaturas  | V      |
| Resumen  | VI     |
| Capítulo 1. Introducción   | 1      |
| Capítulo 2. Objetivos  | 3      |
| 2.1 Objetivo general   | 3      |
| 2.2 Objetivos particulares   | 3      |
| Capítulo 3. Marco teórico  | 4      |
| 3.1. Características generales de brócoli                            | 4      |
| 3.2. Conservación de alimentos                                       | 7      |
| 3.2.1. Escaldado   | 10     |
| 3.2.2. Método físico: Pasteurización                                 | 11     |
| 3.2.3. Método químico: Acidificación                                 | 12     |
| 3.2.4. Método físico: Esterilización                                 | 13     |
| 3.2.5. Conserva  | 14     |
| 3.3. Vida de anaquel   | 14     |
| 3.3.1. Pruebas aceleradas de vida de anaquel, PAVA (ASLT, en inglés) | 16     |
| 3.4. Parámetros  | 18     |
| 3.4.1. Parámetro nutricional: Vitamina C                             | 18     |
| 3.4.2. Parámetro químico: Acidez                                     | 18     |
| 3.4.3. Parámetro químico: Valor de pH                                | 19     |
| 3.4.4. Parámetro sensorial: Color                                    | 19     |
| 3.4.5. Parámetro sensorial: Textura                                  | 20     |
| Capítulo 4. Diseño experimental                                      | 21     |
| 4.1. Determinación del contenido de ácido ascórbico en alimentos     | 25     |
| 4.2. Determinación de acidez   | 25     |

|             |                                   |    |
|-------------|-----------------------------------|----|
| 4.3.        | Determinación de pH               | 25 |
| 4.4.        | Evaluación de color               | 25 |
| 4.5.        | Evaluación de textura             | 26 |
| 4.6.        | Evaluación estadística            | 26 |
| Capítulo 5. | Resultados y discusión            | 27 |
| 5.1.        | Parámetro nutricional: Vitamina C | 27 |
| 5.2.        | Parámetro químico: Acidez         | 30 |
| 5.3.        | Parámetro químico: Valor de pH    | 33 |
| 5.4.        | Parámetro sensorial: Color        | 36 |
| 5.5.        | Parámetro sensorial: Textura      | 40 |
| 5.6.        | Análisis estadístico              | 42 |
| Capítulo 6. | Conclusiones                      | 44 |
| Capítulo 7. | Trabajo futuro                    | 46 |
|             | Bibliografía                      | 47 |
|             | Anexo I: Datos experimentales     | 53 |
|             | Anexo II: Análisis estadísticos   | 56 |

### Listado de figuras

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1. | Fotografía de un brócoli  | 4  |
| Figura 2. | Tarro-conserva utilizado para el estudio                        | 21 |
| Figura 3. | Diagrama de bloques para la elaboración de conservas de brócoli | 22 |
| Figura 4. | Diagrama de bloques de la metodología para vida de anaquel      | 23 |
| Figura 5. | Conservas de brócoli a t=0 con los tres tratamientos aplicados  | 24 |
| Figura 6. | Catálogo Pantone®   | 25 |

### Listado de gráficos

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Gráfico 1. | Relación de vitamina C para el tratamiento de pasteurización a 49 días | 27 |
| Gráfico 2. | Relación de vitamina C para el tratamiento de acidificación a 49 días  | 29 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| Gráfico 3.       | Relación de vitamina C para el tratamiento de esterilización a 49 días      | 29 |
| Gráfico 4.       | Relación de acidez para el tratamiento de pasteurización a 49 días          | 31 |
| Gráfico 5.       | Relación de acidez para el tratamiento de acidificación a 49 días           | 32 |
| Gráfico 6.       | Relación de acidez para el tratamiento de esterilización a 49 días          | 32 |
| Gráfico 7.       | Relación de pH para el tratamiento de pasteurización a 49 días              | 34 |
| Gráfico 8.       | Relación de pH para el tratamiento de acidificación a 49 días               | 35 |
| Gráfico 9.       | Relación de pH para el tratamiento de esterilización a 49 días              | 35 |
| Gráfico All-1.1. | Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y la temperatura       | 57 |
| Gráfico All-1.2. | Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y los tratamientos     | 58 |
| Gráfico All-1.3. | Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y el tiempo de estudio | 58 |
| Gráfico All-2.1. | Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y la temperatura           | 60 |
| Gráfico All-2.2. | Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y los tratamientos         | 60 |
| Gráfico All-2.3. | Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y el tiempo de estudio     | 61 |
| Gráfico All-3.1. | Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y temperatura                  | 62 |
| Gráfico All-3.2. | Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y los tratamientos             | 63 |
| Gráfico All-3.3. | Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y el tiempo de estudio         | 63 |

## Listado de tablas

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Tabla 1.     | Composición nutrimental del brócoli en estudio (USDA, 2012)   | 5  |
| Tabla 2.     | Enfermedades presentes en los cultivos de brócoli   | 7  |
| Tabla 3.     | Factores relacionados con la caducidad de alimentos   | 8  |
| Tabla 4.     | Esquema de determinaciones a realizar en las PAVA (ASLT)  | 24 |
| Tabla 5.     | Valores de tiempo de vida útil, TVU, para diferentes temperaturas de almacenamiento para el parámetro de vitamina C | 30 |
| Tabla 6.     | Valores de tiempo de vida útil, TVU, para diferentes temperaturas de almacenamiento para el parámetro de acidez     | 33 |
| Tabla 7.     | Valores de tiempo de vida útil, TVU, para diferentes temperaturas de almacenamiento para el parámetro de pH         | 36 |
| Tabla 8a.    | Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de pasteurización   | 37 |
| Tabla 8b.    | Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de acidificación  | 38 |
| Tabla 8c.    | Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de esterilización   | 39 |
| Tabla 9.     | Evaluación de la textura para los tres tratamientos en estudio  | 41 |
| Tabla AI-1.  | Evaluación del contenido de vitamina C en los tres tratamientos estudiados  | 53 |
| Tabla AI-2.  | Evaluación de acidez en los tres tratamientos estudiados  | 54 |
| Tabla AI-3.  | Evaluación de pH en los tres tratamientos estudiados  | 55 |
| Tabla All-1. | Análisis de varianza para el parámetro de vitamina C con los 3 factores   | 56 |
| Tabla All-2. | Análisis de varianza para el parámetro de acidez con los 3 factores   | 59 |
| Tabla All-3. | Análisis de varianza para el parámetro de pH con los 3 factores   | 61 |

## Símbolos y abreviaturas

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| $a_w$ | Actividad del agua         |
| g     | gramo                      |
| mg    | miligramo                  |
| mL    | mililitro                  |
| L     | litro                      |
| °C    | Grado Celsius o centígrado |
| kcal  | kilocalorías               |
| kJ    | kilojoules                 |
| TVU   | Tiempo de vida útil        |

## Términos técnicos

|                   |  |
|-------------------|--|
| Andeva            | Análisis de varianza multifactorial, ( <i>ANOVA</i> , en inglés, <i>analysis of variance</i> )   |
| <i>ASLT, PAVA</i> | Pruebas aceleradas de vida de anaquel en inglés ( <i>accelerated shelf life tests</i> )  |
| Brócoli           | Variedad de la col común, cuyas hojas, de color verde oscuro, son más recortadas que las de ésta y no se apiñan.   |
| Carbohidratos     | Anglicismo que no existe en español. Debe decirse hidratos de carbono  |
| <i>Floret</i>     | Cogollo en español. Del latín <i>cucullus</i> , capucho. Parte interior y más apretada de la lechuga, la berza y otras hortalizas. Brote que arrojan los árboles y otras plantas |

## Resumen

La evaluación de la vida de anaquel de un producto es necesaria para conocer el efecto de varios factores específicos sobre el producto. Es importante para tener el conocimiento del tiempo en el cual el producto mantendrá una adecuada calidad microbiológica y sensorial a la temperatura de su almacenaje. Durante el tiempo de almacenamiento se pueden desencadenar mecanismos de reacción que conducen a la degradación de los alimentos. Estos fenómenos acarrearán una reducción en la calidad del producto, que tiene su reflejo en las propiedades intrínsecas del alimento: cualidades organolépticas, valor nutritivo e incluso inocuidad. Por lo tanto, los alimentos se consideran inadecuados para su consumo y se dice que han alcanzado el fin de su vida útil. En este proyecto se evaluó la vida de anaquel de conservas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) sujetas a diferentes condiciones de proceso: pasteurización (92°C/10 min), esterilización (105°C/3 min) y adición de un agente químico/pasteurización (92°C/10 min) constatando su efecto después de almacenadas. Se determinó el tiempo de vida de anaquel por medio de pruebas de envejecimiento acelerado (ASLT, en inglés). El objetivo de acelerar los cambios permitió estimar la vida de anaquel a una temperatura de almacenamiento real. Se tomaron muestras por triplicado de cada lote, semanalmente durante 49 días. Las condiciones de almacenamiento que se controlaron fueron: óptimas (4°C), típicas ( $\sim 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y adversas (37°C, 45°C). Se evaluaron parámetros nutrimentales (vitamina C), químicos (acidez, pH) y sensoriales (textura, color). Con base en los parámetros químicos, los resultados indicaron que, por medio del método de pasteurización, el tiempo de vida útil es de 3 meses y 1 día a 4°C. Para la conserva de brócoli tratada con el método de acidificación/pasteurización el tiempo de vida útil es de 2 meses y 20 días a 4°C y con el tratamiento de esterilización la vida útil es de 3 meses y 9 días a 4°C. De acuerdo con los parámetros sensoriales por medio del método de pasteurización la vida de anaquel resultó de 49 días a 4°C. Para el tratamiento de acidificación/pasteurización el tiempo de vida útil es de 28 días a 4°C y, por último, para el tratamiento de esterilización es de 21 días a 4°C.

# CAPÍTULO 1

## Introducción

La producción de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) es de aproximadamente 204,600 toneladas anuales en una superficie de 15,700 hectáreas en la zona del Bajío que comprende los estados de Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Puebla, Aguascalientes y Jalisco (ASERCA, 2011).

Estadísticas de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) refieren que México ocupa el cuarto lugar en exportaciones de brócoli y el sexto en producción a nivel mundial. En los últimos tres años las exportaciones de brócoli se han duplicado, al pasar de 48 millones 281 mil dólares, en 2007, a 95 millones 693 mil dólares durante el 2010 (SAGARPA, 2012).

El estado de Guanajuato es el mayor productor de brócoli a nivel nacional y gran parte de esta producción es destinada al mercado de exportación (INIFAP, 2009).

De acuerdo con evaluaciones realizadas por la SAGARPA, el brócoli se considera un producto competitivo nacional presentando una demanda de 8.94% por el mercado. El principal destino de exportación es Estados Unidos, seguido por la Unión Europea, siendo considerado un producto nicho. Dicha demanda se debe al incremento en la producción nacional, la cual registra una tasa promedio de 4.2% en los últimos 10 años y a la demanda en el mercado internacional, ya que viene creciendo a tasas aceleradas debido a los nuevos hábitos de los consumidores, quienes consideran a esta hortaliza como un alimento importante en sus dietas (SAGARPA, 2012).

Los alimentos son perecederos por naturaleza. El interés de los consumidores ha ido en aumento en cuanto a la seguridad de los alimentos, calidad y fecha de

caducidad. Una evaluación apropiada de la vida de anaquel debe estar basada en los principios científicos, y sustentada por nuevas técnicas en ciencia y tecnología de alimentos (Man, 2000).

Un almacenaje prolongado del cultivo de brócoli no es conveniente porque se deteriora el producto y se afecta la comercialización. Debido a esto es importante desarrollar métodos de conservación más eficaces y así aumentar las exportaciones e incrementar su valor de venta (Sielaff, 2000).

La creciente demanda de productos frescos de calidad ha conducido a los llamados productos mínimamente procesados (MP). Los MP incluyen: frutas precortadas refrigeradas, frutas enteras peladas refrigeradas, platos de frutas y hortalizas precalentados, zumos refrigerados, zumos recién exprimidos, etc. En estos alimentos, las primeras causas de deterioro son el desarrollo de microorganismos y los cambios biológicos y fisiológicos. Generalmente, los alimentos MP son más perecederos que las materias primas sin procesar de las que proceden. Todos estos productos necesitan un empaquetado especial asociado con la refrigeración y, durante su elaboración, también necesitan condiciones especiales (FAO, 2000; Laurila y Ahvenainen, 2002).

En este proyecto se evaluó la vida de anaquel de una conserva de brócoli con distintos tratamientos (dos térmicos y uno químico/térmico) con el objetivo de determinar bajo qué condiciones el producto mantendrá sus características más estables.

## **CAPÍTULO 2**

### **Objetivos**

#### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la vida de anaquel de una conserva de brócoli con distintos tratamientos (dos térmicos y uno químico/térmico) con el objetivo de determinar bajo qué condiciones el producto mantendrá sus características más estables.

#### **2.2. Objetivos particulares**

- Obtener un enfoque integral de los parámetros que influyen en el deterioro de un alimento
- Establecer una metodología adecuada para la evaluación de la vida útil de una conserva de brócoli
- Proponer la fecha de caducidad de un producto alimenticio.

## CAPÍTULO 3

### Marco teórico

#### 3.1. Características generales del brócoli

Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*.): Es una planta formada por tallos carnosos y gruesos que emergen de axilas foliares formando inflorescencias, generalmente una central de mayor tamaño y otras laterales (Figura 1). La parte comestible está formada por un conjunto de yemas florales con sus pedúnculos carnosos, puede producir otras pequeñas laterales que salen de las axilas de las hojas del tallo principal. Es un cultivo anual, la planta recta, tiene de 60 a 90 cm de altura. Dentro de sus variedades destacan: Arcadia, Avenger, Domador, Heritage, Legend, Marathon, Triatlón, Patrón, Shogun, etc. (INFOAGRO, 2011; SEDAGRO, 2012).



Figura 1. Fotografía de un brócoli

El brócoli tiene un alto valor nutricional y medicinal que radica principalmente en su alto contenido de vitaminas, minerales, hidratos de carbono y proteínas (Tabla 1).

**Tabla 1. Composición nutrimental del brócoli en estudio (USDA, 2012)**

| Hortaliza                          | Unidades | Bruto       | Cocido, hervido, drenado, sin sal | Cocido, hervido, drenado, con sal |
|------------------------------------|----------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Agua                               | %        | 89.3        | 89.25                             | 90.72                             |
| Energía                            | kcal(kJ) | 34<br>(141) | 35 (146)                          | 28 (117)                          |
| Proteína                           | g        | 2.82        | 2.38                              | 3.10                              |
| Lípidos totales (grasa)            | g        | 0.37        | 0.41                              | 0.12                              |
| Cenizas                            | g        | 0.87        | 0.77                              | 0.71                              |
| Carbohidratos por Diferencia       | g        | 6.64        | 7.18                              | 5.35                              |
| Fibra dietética total              | g        | 2.6         | 3.3                               | 3.0                               |
| Sodio                              | mg       | 33          | 262                               | 260                               |
| Vitamina C total (ácido ascórbico) | mg       | 89.2        | 64.9                              | 40.1                              |

Adicionalmente, el brócoli contiene algunos fitoquímicos importantes, tales como betacaroteno, indoles (indol-3-carbinol) e isotiocianatos (sulfurafano). Los fitoquímicos que contiene previenen la formación de sustancias cancerígenas y evitan que estas lleguen a las células claves, promoviendo la formación de enzimas que eliminan las toxinas de los cancerígenos (Oleos, 2002).

Esta hortaliza se consume en fresco en diversos platillos tales como: ensaladas, sopas, etc. Industrialmente, el brócoli es utilizado en la elaboración de encurtidos y conservas. Últimamente se le ha dado una mayor importancia al consumo de esta hortaliza, debido a resultados de investigaciones que afirman su efectividad en la prevención y control del cáncer por el alto contenido de ácido fólico en la inflorescencia y en las hojas (FAO, 2006).

El brócoli debe cosecharse con el número de hojas exteriores necesario para su protección; en el caso del brócoli de pella conviene que estén lo más cubiertos posible. La recolección comienza cuando el tamaño de la pella tiene un diámetro no menor a 12 cm y la longitud del tallo alcanza 5 ó 6 cm, posteriormente se van recolectando a medida que se van produciendo los rebrotes de inflorescencias laterales (INFOAGRO, 2011).

El índice de madurez del brócoli se identifica por tener los florets cerrados y de color verde oscuro brillante, la cabeza compacta (firme a la presión de los dedos), el tallo bien cortado y de la longitud requerida, sin daños de plagas o enfermedades. La precosecha y cosecha, puede ir desde 80 hasta 95 días después del trasplante (FAO, 2006).

Para su selección se deben evitar cabezas con racimos de florets, hinchados o abiertos, color verde amarillento o con signos de sobre madurez. La aparición de cualquier floret amarillo indica la terminación de la vida útil. Para un almacenamiento óptimo se utiliza una temperatura de 5°C (Floros, 1993).

El brócoli es un producto hortícola que se encuentra clasificado con una tasa de respiración muy alta con un rango entre 40-60 mgCO<sub>2</sub>/kg-h por lo que se debe manipular en refrigeración cerca de 10°C. El brócoli es extremadamente sensible al etileno presente en el ambiente postcosecha. El amarillamiento de las inflorescencias es el síntoma más común. El contacto con 2 ppm de etileno a 10°C reduce la vida en un 50%. Si las condiciones de postcosecha no le son propicias, se modifican sus características, perdiendo color y consistencia (Postharvest Technology of Horticultural Crops, 1992).

En la Tabla 2 se mencionan las enfermedades que sufre el cultivo de brócoli causando pérdidas; por ello es importante el desarrollo de técnicas de conservación (INFOAGRO, 2011).

**Tabla 2. Enfermedades presentes en los cultivos de brócoli (INFOAGRO, 2011)**

|   |   |
|---|---|
| <b>Pudrición bacteriana</b>   | Pudrición blanda causada por <i>Erwinia</i> , <i>Pseudomonas</i> (causantes de daño físico)   |
| <b>Moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>)<br/>Moho negro (<i>Alternaria spp</i>)</b> | Infectan las cabezas del brócoli durante su crecimiento en condiciones lluviosas o muy fría   |
| <b><i>Escherichia coli</i><br/><i>Salmonella spp</i></b>                          | Están presentes en la superficie de la semilla es probable que se multiplique en la brotación |

### 3.2. Conservación de alimentos

La conservación de alimentos puede definirse como el conjunto de tratamientos que prolonga la vida útil manteniendo, en el mayor grado posible, sus atributos de calidad, incluyendo color, textura, sabor y especialmente valor nutritivo (FAO, 2000).

La conservación tiene como objetivo mantener el mayor tiempo posible el grado más alto de calidad de un alimento determinado tratando de disminuir los efectos de los diversos mecanismos de alteración. También mediante el método elegido se debe asegurar la higiene del producto, las alteraciones deben ser mínimas. La prioridad de cualquier proceso de conservación es minimizar la probabilidad de ocurrencia y de crecimiento de microorganismos de deterioro y patógenos (Potter y Hotchkiss, 1995).

La mayoría de los casos de deterioro de los alimentos se explican a través de los siguientes mecanismos (Man, 2002):

- Aumento o disminución del contenido de humedad y/o vapor de agua por transferencia de los mismos.
- Transferencia física de sustancias diferentes a la humedad y /o vapor de agua, por ejemplo: oxígeno, etileno, olores o aromas, etc.
- Cambios inducidos por la luz, es decir, cambios producidos o iniciados por la exposición a la luz diurna o artificial
- Cambios químicos o bioquímicos
- Cambios microbiológicos
- Otros mecanismos o cambios que hacen que el producto se deteriore por medio de uno o más de los mecanismos mencionados anteriormente.

La duración de la vida útil de los alimentos y el modo en que los alimentos se estropean están influenciados por varios factores. Existe una relación directa entre los factores que influyen en la caducidad de los alimentos y los mecanismos por los que se alteran (Tabla 3).

**Tabla 3. Factores relacionados con la caducidad de alimentos (Man, 2002)**

| <b>Factores intrínsecos</b>                           | <b>Factores extrínsecos</b>      | <b>Otros factores</b>                        |
|---|----------------------------------|--|
| Materias primas                                       | Elaboración                      | Manipulación y utilización por el consumidor |
| Composición y formulación del producto                | Higiene                          | Consideraciones comerciales                  |
| Estructura del producto                               | Sistema y materiales de envasado |  |
| Presentación del producto                             | Almacenamiento                   |  |
| Actividad del agua ( $a_w$ )                          | Distribución                     |  |
| Valor de pH y acidez total                            | Exposición en punto de venta     |  |
| Disponibilidad de oxígeno y potencial redox ( $E_h$ ) |                                  |  |

Algunos de estos factores son intrínsecos para el alimento relacionados con sus características fisicoquímicas. Estas variables, por su naturaleza, controlan las características sensoriales, las cuales son las más destacadas e importantes para determinar la aceptabilidad. Dentro de los factores extrínsecos existen variables asociadas con los consumidores de manera perceptual, cognitiva y emocional (Taub, 1998).

Se han asignado 3 modelos para la aceptación y consumo de los alimentos (Taub, 1998):

- Sensación: interacción de las características fisicoquímicas con los receptores de las personas para producir una experiencia sensorial
- Actitud: desempeñado por el aprendizaje y la experiencia
- Fisiología: relación de factores biológicos como el hambre.

La conservación de alimentos por métodos artesanales tiene enormes ventajas; sobre todo cuando se emplean procedimientos naturales, sencillos, de escasos recursos y bajos insumos. Permite disponer de alimentos sanos sin aditivos artificiales todo el año, independientemente de la cosecha, disminuye las pérdidas de alimentos y aumenta su valor agregado (Sielaff, 2000).

Las hortalizas al tener origen biológico se componen de proteínas, lípidos, vitaminas, enzimas, etc. A lo largo de su proceso es posible que sufran múltiples reacciones que originan el deterioro. Estas reacciones pueden ser por causas biológicas, enzimáticas y fisicoquímicas.

La conservación de frutas y hortalizas está dada por la utilización integral o parcial de la materia prima. En algunos casos se necesita agregar durante el proceso un medio de empaque, como jarabe o salmuera, y en otros se usa la materia prima sola sin agregados, como en los congelados (FAO, 2000).

El tratamiento térmico destruye los microorganismos psicrófilos y en parte también los mesófilos. De esta forma se reduce la carga inicial de microorganismos (Sielaff, 2000).

La tecnología para la conservación de hortalizas con alto contenido de humedad se basa en combinar factores inhibidores que combatan los efectos de los microorganismos en las hortalizas, incluyendo factores adicionales para reducir las pérdidas de calidad. Para conservar estas hortalizas el pH es la barrera más selectiva (Toivonen, 1997).

Mientras que el lavado puede remover muchos de los organismos superficiales, algunas operaciones tales como pelado y cortado pueden causar daño en la célula exponiendo los fluidos tisulares internos al ambiente externo, proveyendo nuevas puertas de entrada de microorganismos y otros contaminantes. Por ello es importante emplear métodos de conservación.

### **3.2.1. Escaldado**

El escaldado es un tratamiento térmico que consiste en la exposición de las piezas de frutos u hortalizas a altas temperaturas (80-100°C) durante pocos minutos. Es una operación de control crítica en el procesamiento de hortalizas. La función principal de este tratamiento es destruir las enzimas que podrían deteriorar las hortalizas y las frutas. También tiene el rol importante de reducir la carga microbiana inicial mediante la inactivación de microorganismos sensibles al calor. Se ha encontrado que el escaldado reduce la carga microbiana entre un 60 y 99 por ciento. Tiene un efecto sensibilizante sobre los microorganismos sobrevivientes ya que los vuelve menos resistentes a las condiciones de estrés impuestas por la reducción de pH y de  $a_w$  (FAO, 2004).

Cumple con los siguientes objetivos (Floros, 1993):

- Inactivación de enzimas; previene la decoloración o el desarrollo de sabores no agradables durante el almacenamiento. Los colores atribuidos a las clorofilas y a los carotenoides están protegidos de la degradación enzimática. La peroxidasa, catalasa, polifenoloxidasa, ácido ascórbico oxidasa, lipasa y otras enzimas deben ser inactivadas
- Las proteínas son forzadas a coagularse y a reducirse bajo la liberación de agua. Si esta reducción pasa durante la esterilización de productos enlatados, estos aparecerán de masa insuficiente
- El almidón es removido para evitar una apariencia nubosa
- El aire es expulsado y el producto es fácil de envasar. La oxidación durante el almacenamiento en frío debe ser reducida
- Algunos productos obtienen un color claro.
- Las partes defectuosas son generalmente las más visibles y, así, el producto podrá ser mejor seleccionado
- El estatus microbiano se verá mejorado, porque la mayoría de las células vegetativas, levaduras y mohos son destruidos
- El tiempo de cocción para el producto terminado es menor.

### **3.2.2. Método físico: Pasteurización**

La pasteurización es una operación de estabilización de alimentos que persigue la reducción de la población de microorganismos presentes en éstos de forma que se prolongue el tiempo de vida útil del alimento. Si se reduce la población de microorganismos al principio del almacenamiento, la vida útil del alimento se alarga cuando el parámetro de calidad dominante es la presencia de microorganismos porque se tarda más tiempo en alcanzar una concentración intolerable de microorganismos. Consigue disminuir la población de microorganismos mediante la elevación de la temperatura durante un tiempo determinado, lo que implica la aplicación de calor a los alimentos (Lück, 1995).

Es considerado un tratamiento térmico suave que emplea temperaturas y tiempos de contacto relativamente bajos, consiguiendo una prolongación moderada de la vida útil a cambio de una buena conservación del valor nutritivo y de las cualidades organolépticas del alimento (Orrego, 2003).

Involucra un tratamiento de calor generalmente a temperaturas por debajo del punto de ebullición del agua. Tiene como objetivo destruir organismos patógenos que pueden estar asociados con el alimento y resultar un problema de salud pública. También tiene como objetivo extender la vida útil del producto desde un punto de vista microbiológico y enzimático. Frecuentemente es combinada con otros métodos de conservación (Potter y Hotchkiss, 1995).

La optimización de este método depende de las tasas relativas de destrucción de organismos comparados con factores de calidad pero, generalmente, el proceso de temperaturas altas-tiempo corto (*HTST*, en inglés) resulta el más adecuado (Karel y Lund 2003).

### **3.2.3. Método químico: Acidificación**

La acidificación de conservas se realiza como una forma de bajar el pH y de este modo disminuir el tratamiento térmico en la conserva. El ácido cítrico es uno de los más usados porque tiene un gran poder acidificante y, por lo tanto, es posible usar pequeñas cantidades para un cambio relativamente significativo de pH del medio.

Algunos elementos o compuestos químicos eliminan o inhiben el desarrollo de microorganismos. Es parte del amplio tema dentro de los aditivos alimentarios (FAO, 2000).

Para lograr una elaboración y una conserva satisfactoria de los productos frescos es necesario destruir los agentes del deterioro sin que los productos pierdan su valor nutritivo ni su sabor (Man, 2000).

La combinación del empleo de una sustancia conservadora con la aplicación de calor resultará más favorable para el producto debido a que el conservador permite que la temperatura elevada destruya a los microorganismos con una mayor rapidez, ya que estas sustancias reducen los valores del binomio temperatura/tiempo necesarios para su destrucción (Bello, 2000).

#### **3.2.4. Método físico: Esterilización**

La esterilización es un método de estabilización cuyo fundamento es alcanzar una elevación de la temperatura que provoque la destrucción de los agentes de deterioro, enzimas y especialmente, microorganismos como bacterias, hongos y levaduras.

Es un tratamiento térmico enérgico porque tiene como objetivo la destrucción prácticamente total de los microorganismos presentes en el alimento tratado. Se lleva a cabo a temperaturas elevadas de, al menos, 100°C (Lück, 1995).

Comparada con la pasteurización, la esterilización produce alimentos con tiempos de vida muy superiores, que llegan a muchos meses e incluso años. Por otra parte, la calidad organoléptica es inferior. En muchas ocasiones el empleo de ese método produce graves deterioros y pérdidas de nutrientes, si no se lleva a cabo de manera cuidadosa (Orrego, 2003)

Dicho método se refiere a la eliminación casi completa de microorganismos, cada partícula de alimento debe recibir este tratamiento de calor. El tipo de envase es determinante para determinar el tiempo de efectividad para el proceso. Durante este tratamiento pueden ocurrir cambios que reducen su calidad (Potter y Hotchkiss, 1995).

### **3.2.5. Conserva**

Una conserva en salmuera es un producto que consiste en poner en un envase hermético un material sólido, semisólido o un sólido inmerso en un medio de empaque tratado con soluciones salinas de concentración (FAO, 2000).

Una hortaliza en conserva es aquella preparada a partir de hortalizas sanas, frescas, congeladas, que han alcanzado un grado de madurez adecuado para su elaboración.

Las bacterias, levaduras y hongos están contenidos por membranas celulares. Estas membranas permiten el paso de agua dentro y fuera de las células. Los microorganismos activos contienen un exceso de agua (80%). Cuando las bacterias son situadas en salmuera, el agua en las células se mueve fuera a través de la membrana y dentro de la salmuera concentrada. Es un proceso de ósmosis y, en ese caso, el agua se mueve de una célula que contiene 80% de agua a la salmuera, la cual contiene 30-40% de agua (Potter y Hotchkiss, 1995).

La sal común y la sacarosa reducen la actividad del agua de un sistema y, por tanto, disminuyen además inespecíficamente las condiciones favorables para la vida microbiana (Lück, 1995)

Por medio de la combinación de otros métodos (escaldado, pasteurización) se retrasa o inhibe la biodegradación. Los vegetales tratados con salmuera pueden considerarse como productos estables. Pueden almacenarse durante meses e incluso años antes de utilizarlos y pueden haber sido sometidos a un tratamiento preparatorio considerable (Arthey y Dennis, 1992).

### **3.3. Vida de anaquel**

La vida media, vida de anaquel o vida útil de un alimento se define como el periodo de tiempo durante el cual resulta deseable el consumo de un producto alimenticio elaborado bajo ciertas condiciones, conservando sus características

químicas, físicas, microbiológicas, funcionales y sensoriales. Se expresa en este término el tiempo que tarda la calidad de un alimento en alcanzar niveles considerados inaceptables para su consumo. El tiempo de duración se vincula con el estado físico del producto, su composición química, condiciones utilizadas en el proceso, su acondicionamiento y la tecnología de conservación aplicada para su almacenamiento (Bello, 2000; Man, 2000).

El envejecimiento del producto se suele manifestar por una serie de modificaciones fisicoquímicas (color, olor, sabor, etc.), que pueden ser debidas a reacciones entre algunos componentes químicos ocasionados por agentes de diversa naturaleza: la luz, enzimas, materiales de contacto, temperaturas, etc.

También puede ocurrir por algunas transformaciones debidas a la actividad metabólica de la proliferación microbiana. Estos factores desencadenan mecanismos de reacción que conllevan a la degradación de los alimentos (Bello, 2000).

Todos estos fenómenos acarrearán una reducción en la calidad del producto, que tiene su reflejo en las propiedades intrínsecas del alimento: cualidades organolépticas, valor nutritivo e incluso inocuidad. Por lo tanto, los alimentos se consideran inadecuados para su consumo y se dice que han alcanzado el fin de su vida útil (Bello, 2000; Man 2000).

El productor debe definir una calidad mínima aceptable (*MAQ*, por sus siglas en inglés) para cada producto. Ésta dependerá del nivel de degradación. La seguridad de los alimentos es tanto un requisito legal como fundamental, todos los alimentos expuestos deben ser seguros; la Ley de Seguridad Alimentaria prohíbe la venta de alimentos que (Potter y Hotchkiss, 1995):

- sean peligrosos para la salud
- sean inadecuados

- estén contaminados
- tengan un etiquetado erróneo

La vida de anaquel se evalúa para un producto cuando se requiere de estudiar los efectos de algunos factores específicos como las condiciones de almacenamiento, de proceso, materiales de empaque y el efecto de algunos aditivos en el alimento.

Existen varias metodologías para su estudio (Man, 2000):

- Estudio bibliográfico: es la estimación de la vida de anaquel basándose en la vida de anaquel de un producto similar ya reportado
- Tiempo de recambio: es el tiempo promedio que un producto permanece en los anaqueles. Se estima haciendo un registro de las ventas del producto en las tiendas
- Estudio de punto final: se toman muestras al azar del producto que está almacenado en las condiciones óptimas para el mismo y se realizan pruebas para estimar la calidad, en diferentes días para poder determinar el momento en el que el producto ya no es aceptable o consumible
- Pruebas de envejecimiento acelerado ASLT: se llevan a cabo en laboratorios especializados donde las condiciones ambientales se controlan con el fin de reproducir un deterioro en el producto de manera más rápida.

### ***3.3.1. Pruebas aceleradas de vida de anaquel, PAVA (ASLT, en inglés)***

Este método es aplicable para productos en los que la vida de anaquel anticipada es larga. Es una manera de comprimir la vida de anaquel de un producto dentro de un lapso de tiempo, modificando las temperaturas de almacenamiento; acelerando los cambios que ocurren durante su almacenamiento para estimar la vida útil a una temperatura de almacenamiento real (Man, 2004).

En estas pruebas se supone que se pueden aplicar los principios de cinética química para cuantificar los efectos que tienen factores como la temperatura, humedad, aire y luz en las reacciones de deterioro.

Cuando un alimento se somete a condiciones ambientales en las que uno de los factores se mantenga en un nivel superior al normal, el grado de deterioro se acelerará, por lo que se observarán signos en el alimento que indicarán cuando ya no es apto para el consumidor (Taub, 1998).

El producto en estudio debe almacenarse en el mismo empaque en el que se va a producir a gran escala y comercializar, todos estos empaques deben estar almacenados bajo las mismas condiciones. El número de muestras a analizar dependerá del tipo de producto y de las pruebas a realizar. Cabe señalar que es importante que los resultados sean interpretados con cuidado debido a que no es aplicable a todos los productos.

Los productos deben ser almacenados al menos bajo 3 condiciones distintas (Man, 2000):

- Condiciones óptimas: proporcionan datos sobre el tiempo de caducidad más largo que pueda tener el producto
- Condiciones típicas: proporcionan datos para establecer el tiempo de caducidad para la mayoría de la producción en cualquier época en que se elabore. Estas condiciones son a las que estará sometido el producto una vez que haya sido producido, durante su almacenamiento y mientras esté en el anaquel para su venta
- Condiciones adversas: Los datos obtenidos al someter a un producto a estas condiciones, son útiles para establecer el tiempo mínimo de conservación.

Es importante la evaluación del tiempo durante el cual un alimento determinado conserva de modo estable su calidad. Implica un conocimiento de todos aquellos factores que pueden incidir en cada una de las tres fases involucradas en el proceso, porque cada una de ellas puede tener importancia y trascendencia: fabricación, acondicionamiento y almacenamiento (Bello, 2000).

En esta investigación se decidió realizar el estudio de vida de anaquel mediante pruebas de envejecimiento acelerado debido a que la conserva de brócoli se considera como un producto de caducidad larga.

### **3.4. Parámetros**

La calidad ha sido definida como un grado de excelencia e incluye aspectos de sabor, apariencia y contenido nutricional. Es el conjunto de características que son significantes para su aceptabilidad. La calidad nutricional es similar para propósitos prácticos. Para establecer la vida útil es importante seleccionar el parámetro adecuado y también aquellos factores que la limitan: de tipo físico, químico y biológico (Bello, 2000; Potter y Hotchkiss, 1995)

#### **3.4.1. Parámetro nutricional: Vitamina C**

La vitamina C es una vitamina hidrosoluble que se descompone rápidamente en contacto con el aire, la luz y la temperatura. Esta descomposición aumenta por las condiciones alcalinas, la presencia de ciertos metales, como cobre o hierro y si las hortalizas se mantienen calientes durante un tiempo antes de ser consumidas. El pH del medio interviene ya que al acidificar el medio de cocción ayuda a preservar mejor las vitaminas (Vázquez, 2005)

#### **3.4.2. Parámetro químico: Acidez**

Algunos productos hortícolas contienen ácidos orgánicos que están usualmente disueltos en la vacuola de la célula, ya sea en forma libre o combinada como sales, ésteres, glucósidos, etc. La acidez libre (acidez titulable) representa a los ácidos orgánicos presentes que se encuentran libres y se mide neutralizando los

jugos o extractos de frutas con una base fuerte. Para reportar la acidez, se considera el ácido orgánico más abundante del producto vegetal, el cual varía dependiendo de la especie de que se trate, por lo que el resultado se expresa en términos de la cantidad del ácido dominante (Yahia, 1992).

#### **3.4.3. Parámetro químico: Valor de pH**

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de  $H^+$ . Su determinación y control es de gran importancia en las industrias de alimentos: en la utilización y control de microorganismos y enzimas; en la clarificación y estabilización de jugos de frutas y vegetales; de productos fermentados de frutas y cereales; en la producción de mermeladas, en el color y retención del sabor de productos de frutas etc. Alimentos con valores de pH menores de 4.5 son considerados “ácidos” y con valores mayores, alimentos “no ácidos”. Para estos últimos la rigurosidad del procesamiento térmico deberá ser mayor.

Los valores de pH también sirven como medio para inferir el estado de calidad en el que se encuentran los alimentos u otros productos agroindustriales (normal, en descomposición, adulterado, etc.) así también para tomar decisiones sobre condiciones de manipulación y de procesamiento (Harris, 2003; Yahia, 1992).

#### **3.4.4. Parámetro sensorial: Color**

Es un aspecto crítico de apariencia para los alimentos y de aceptación por parte de los consumidores. La luz que es reflejada desde un producto a otras direcciones produce una percepción de un acabado plano en el objeto. Los pigmentos y precursores de color en los vegetales se encuentran en la mayor parte en las inclusiones de los plastidios celulares (Taub, 1998).

La clorofila está contenida en los cloroplastos y tienen un rol primario en la producción fotosintética de hidratos de carbono desde dióxido de carbono y agua. El color verde se debe a las clorofilas solubles en aceite, que en su naturaleza están unidas a moléculas proteicas en complejos organizados. Cuando las células

de la planta se deterioran las proteínas son desnaturalizadas y el enlace con el magnesio en la clorofila debe ser liberado. Se da un cambio a feofitina (verde olivo/ café) La conversión a feofitina se debe al pH ácido y ocurre en condiciones alcalinas (Potter y Hotchkiss, 1995).

#### **3.4.5. *Parámetro sensorial: Textura***

La textura puede ser definida como el grupo de características físicas que se presentan desde elementos estructurales del alimento, se perciben primariamente por el sentido del tacto. Estas características están relacionadas por la deformación, desintegración y fluidez de los alimentos bajo una fuerza y son medidas objetivamente por funciones de masa, tiempo y longitud. Su medición se reduce a medidas de resistencia a una fuerza aplicada; esta que va a través de la comida para dividirla y causar un corte (Taub, 1998).

La textura de vegetales frescos llega a ser pastosa si la pared celular se destruye y pierde agua; esto es referido como turgencia. Entre más agua se pierda, el vegetal pierde turgencia llega a estar más seco (Potter y Hotchkiss, 1995).

La turgencia es la rigidez de las células de las plantas y depende de las fuerzas osmóticas. Las paredes celulares de los tejidos de la plantas tienen varios grados de elasticidad y una alta permeabilidad al agua e iones así como a pequeñas moléculas. Cuando los tejidos son dañados se reduce su permeabilidad selectiva; por lo tanto, no se puede mantener la presión osmótica en las vacuolas celulares y protoplastos, el agua y las sustancias disueltas son libres para difundirse fuera de las células y dejan el tejido restante en condiciones blandas y marchitas (Taub, 1998).

## CAPÍTULO 4

### Diseño experimental

Para el inicio de la experimentación se calculó la cantidad de lotes que se elaborarían basándose en los parámetros seleccionados. Se trabajó con 84 frascos de vidrio con tapa hermética de polipropileno con una capacidad de 350 mL. El envase se lavó para eliminar alguna impureza y, posteriormente, se trató con una aplicación de calor para eliminar microorganismos presentes.



Figura 2. Tarro-Conserva utilizado para el estudio

En total se utilizaron 25 kg de brócoli. Se seleccionaron las cabezas compactas, florets pequeños, cerrados y de color oscuro; evitando las cabezas hinchadas o abiertas de color verde amarillento o con signos de sobremadurez.

Se lavó adecuadamente el brócoli, primero con una solución de jabón y, posteriormente, con un desinfectante para alimentos siguiendo el instructivo del comercializador.

Se realizó el escaldado del brócoli cortado para estabilizar la actividad enzimática, durante 3 minutos en agua a 92°C. Posteriormente, se pesó el brócoli para cada envase  $330\pm 3$  g. Para la preparación de la salmuera se adicionó un 3% de sal de

mesa y un 2% de azúcar estándar para 1L de agua. El agua se calentó previamente y se adicionaron la sal y el azúcar, agitando hasta disolver. La temperatura final de la salmuera estaba entre 80-85°C.

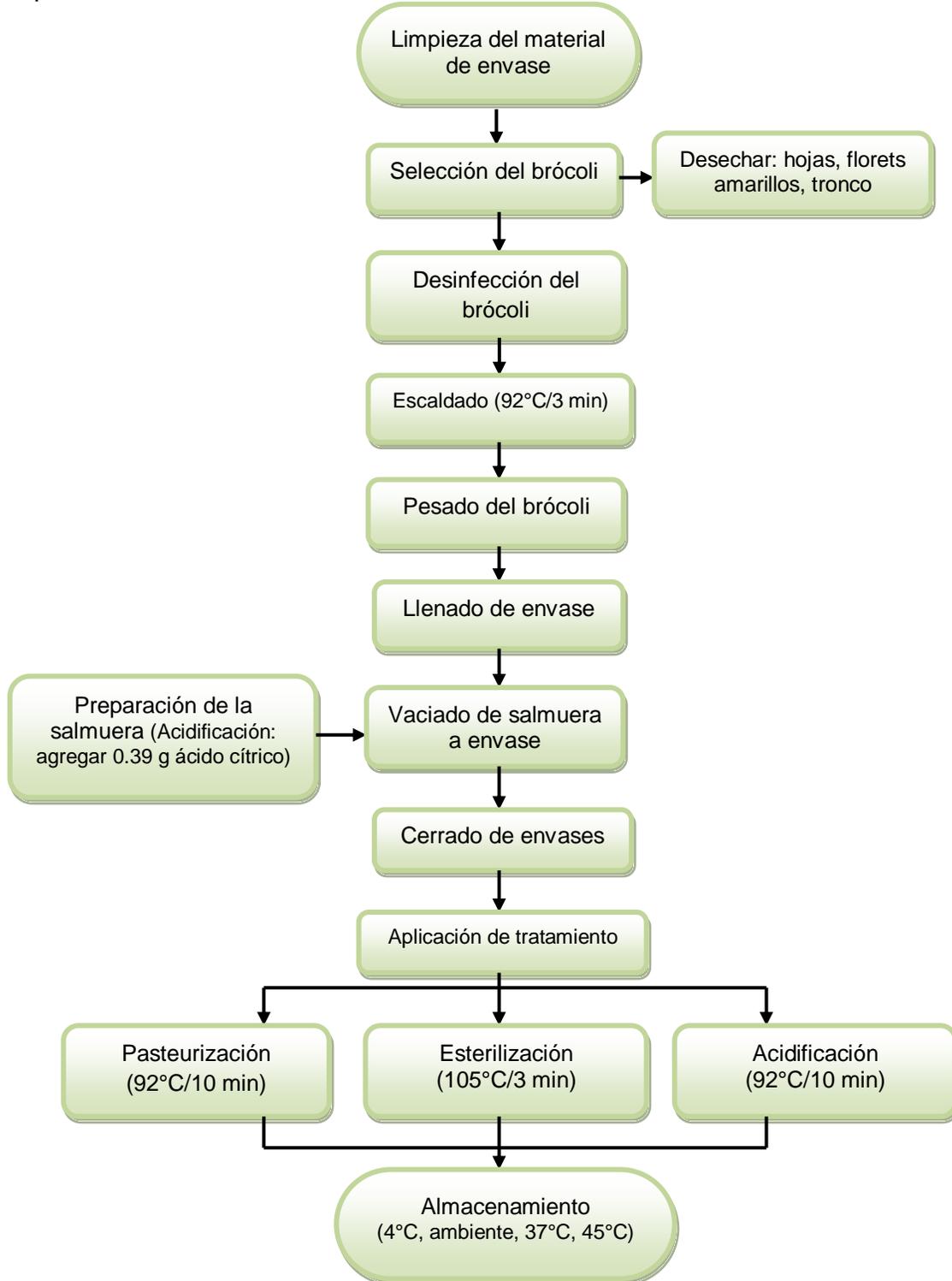


Figura 3. Diagrama de bloques para la elaboración de conservas de brócoli

Se agregó la salmuera inmediatamente al envase con brócoli. Se distribuyó el producto uniformemente, se dejó un espacio de cabeza suficiente 1 cm como mínimo, se cuidó que el líquido de inmersión cubriera todo el producto y se dieron movimientos circulares para eliminar burbujas. Inmediatamente se cerró el envase. En el caso del tratamiento de acidificación se agregaron 0.39 g de ácido cítrico por envase.

Posteriormente, se realizó la pasteurización (92°C/10 min) para un lote, la esterilización (105°C/3 min) para otro lote y el tratamiento térmico combinado con la acidificación (92°/10min) para un tercer lote. Estas condiciones fueron previamente optimizadas en estudios antecedentes (Barrera-Montoya, 2011; Moreno-Ortiz, 2011) Después se almacenaron los envases en cámaras a sus temperaturas respectivas (4°C, ambiente (~20±2°C), 37°C, 45°C). La primera se considera la de control (4°C). Las dos últimas se consideran como críticas (37 y 45°C). El estudio se realizó durante 7 semanas; el muestreo fue semanal y se le determinaron al producto los parámetros seleccionados: Vitamina C, acidez, pH, color y textura (Figura 4).

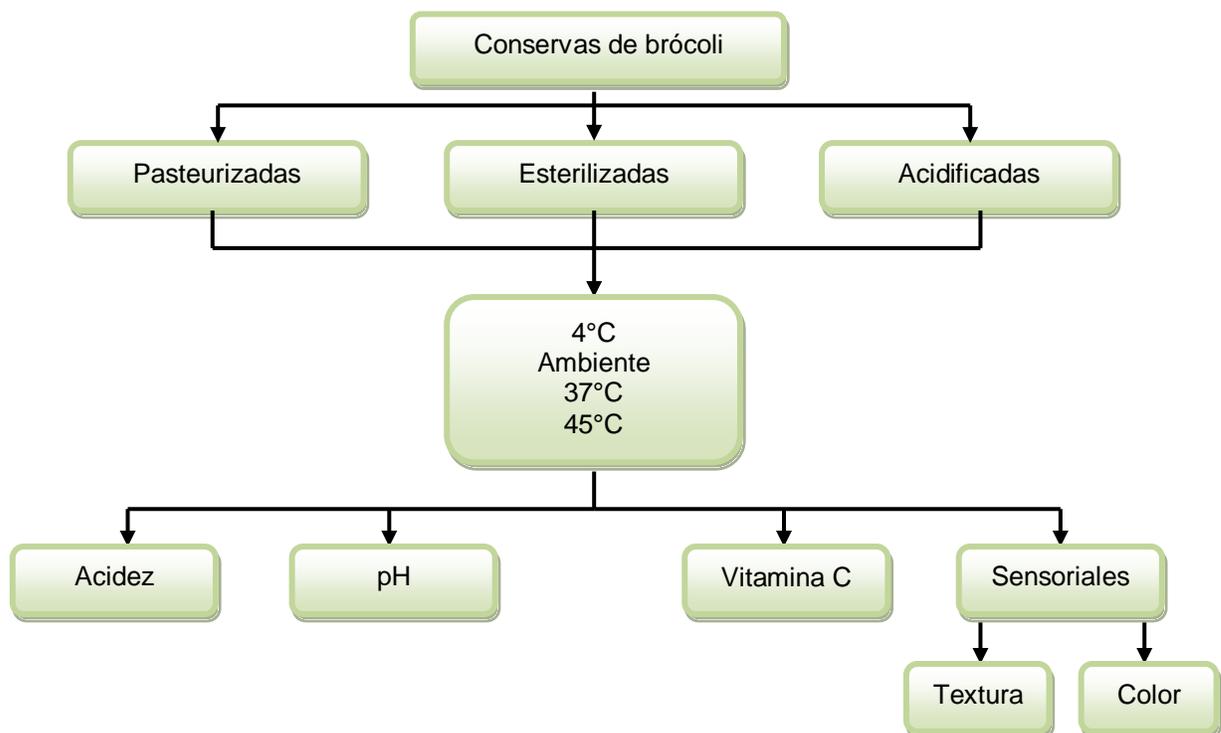


Figura 4. Diagrama de bloques de la metodología para vida de anaquel

A continuación en la Tabla 4 se presentan de manera detallada las determinaciones que se realizaron durante las 7 semanas de estudio. Se realizaron mediciones por triplicado para cada parámetro, temperatura, tiempo y tratamiento aplicado.

**Tabla 4. Esquema de determinaciones a realizar en las PAVA (ASLT)**

| Parámetros | Nutrimentales |     |     |      | Químicos |     |     |      | Sensoriales |     |     |      |      |
|------------|---------------|-----|-----|------|----------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|------|------|
|            | Temperatura   | 4°C | Amb | 37°C | 45°C     | 4°C | Amb | 37°C | 45°C        | 4°C | Amb | 37°C | 45°C |
| Tiempo     |               |     |     |      |          |     |     |      |             |     |     |      |      |
| 0          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 1          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 2          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 3          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 4          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 5          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 6          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |
| 7          | ✓✓✓           | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓      | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓         | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓  | ✓✓✓  |

✓ Pasteurización    ✓ Acidificación/Pasteurización    ✓ Esterilización



**Figura 5. Conservas de brócoli a t=0 con los tres tratamientos aplicados**

#### 4.1. Determinación del contenido de ácido ascórbico en alimentos

Se determinó utilizando el método volumétrico en el cual se obtuvo el contenido de ácido ascórbico en mg por cada 100 g de muestra. La vitamina C es oxidada con una solución de 2,6-diclorofenol-indofenol que al ser reducida completamente vira de color azul a rosa tenue.

#### 4.2. Determinación de acidez

La acidez se determinó en base a una titulación alcalimétrica con NaOH 0.1N, utilizando fenoftaleína como indicador. El resultado se expresó como % de ácido cítrico debido a que no se encontró un ácido orgánico predominante en su composición.

#### 4.3. Determinación de pH

Se basó en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno mediante un potenciómetro ajustado con solución reguladora de fosfatos a valores de pH de 4.0 y 7.0.

#### 4.4. Evaluación de color

Se realizó la comparación del color semanalmente entre los tres tratamientos con el Catálogo de colores Pantone®.



Figura 6. Catálogo Pantone®

#### **4.5. Evaluación de textura**

Se evaluó de manera subjetiva realizando cortes en una muestra de brócoli de cada lote y posteriormente se realizó otra prueba en la cual se ejerció una fuerza con la yema de los dedos en el producto.

#### **4.6. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza multifactorial, andeva (*ANOVA*, en inglés), con 3 factores: Tiempo, temperatura y tipo de tratamiento y como variables dependientes los parámetros elegidos para la evaluación de vida de anaquel: Acidez, vitamina C y pH, siguiendo las metodologías estandarizadas (Pedrero y Pangborn, 1989).

## CAPÍTULO 5

### Resultados y discusión

De acuerdo con los objetivos de esta investigación, a continuación se presentan los resultados obtenidos en estos experimentos a escala de laboratorio.

#### 5.1. Parámetro nutricional: Vitamina C

A continuación se presentan los datos obtenidos de esta investigación de uno de los parámetros evaluados: vitamina C para cada uno de los tres tratamientos. En el Anexo I, se encuentran en forma tabular los resultados.

Como se puede observar en el Gráfico 1, la cantidad de vitamina C en el tratamiento de pasteurización fue disminuyendo gradualmente a la temperatura control (4°C). En cambio para las temperaturas más elevadas ya se observaba una disminución considerable de su contenido.

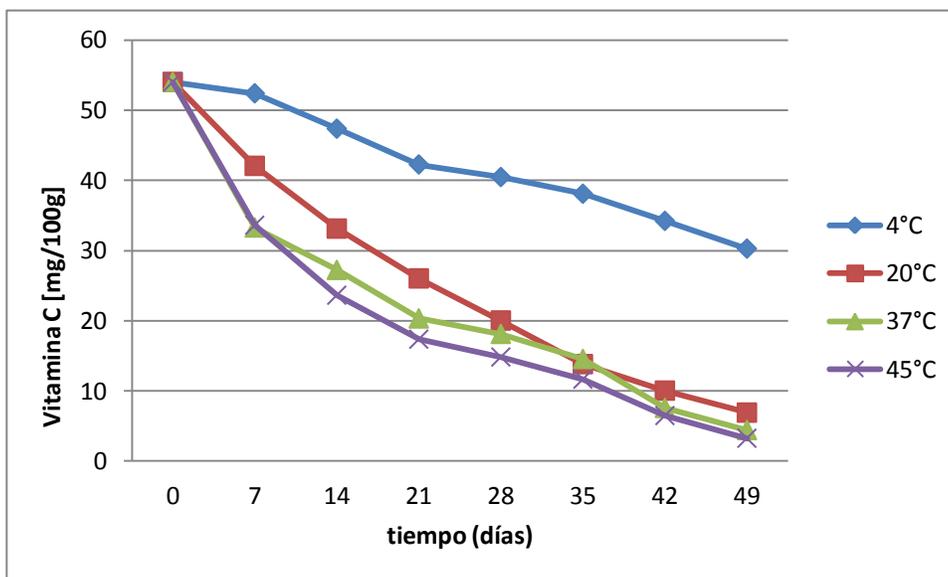


Gráfico 1. Relación de vitamina C para el tratamiento de pasteurización a 49 días

Puede verse de estos resultados que la pérdida de vitamina C está condicionada al método de calentamiento practicado (Sielaff, 2000). Es sabido que la vitamina C presenta mayor labilidad frente a la acción de calor sobre los alimentos de origen vegetal. Dicho método ablanda los tejidos de la hortaliza para aumentar su digestibilidad, debido a esto el calor modificará los componentes del brócoli produciendo pérdidas de dicho nutriente (Bello, 2000).

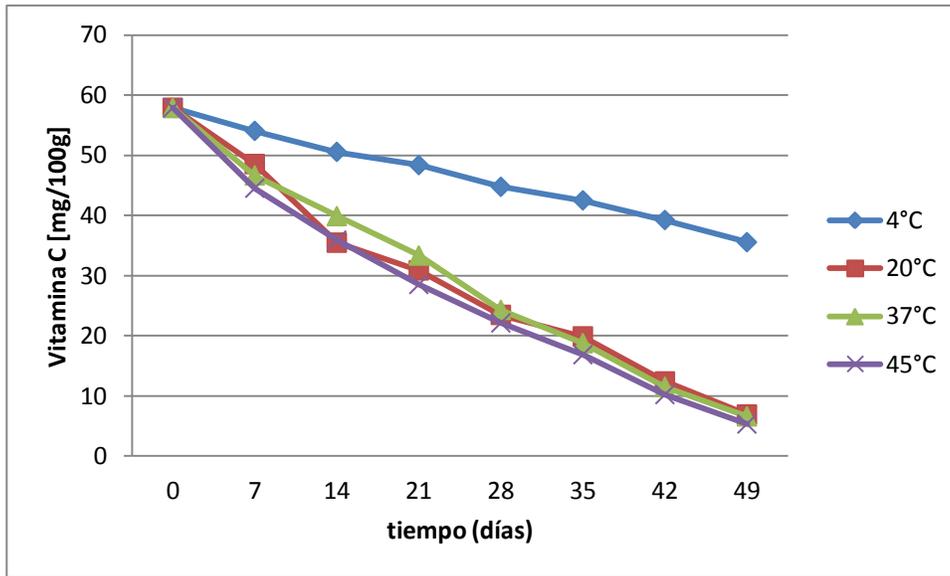
La cantidad de vitamina C fue variable para cada uno de los tratamientos. Se observa que la mayor cantidad se encontró en el tratamiento de acidificación en  $t=0$  con 57.88 mg/100g. Esto podría ser debido a la combinación de métodos de conservación, utilizando además del calor un agente químico (ácido cítrico). Existen factores, además del método de conservación, que también influyen en la estabilidad de la vitamina C: oxígeno, luz, etc (Sielaff, 2000). Por esta razón se buscó minimizar estos factores almacenándolos en la oscuridad y colocando la salmuera caliente que hizo que, probablemente, el contenido de oxígeno disuelto fuera muy bajo. Sin embargo, como no se controlaron, no se puede descartar su influencia.

Para el tratamiento de acidificación hubo una pérdida constante para las temperaturas de  $\sim 20 \pm 2$ , 37 y 45°C manteniéndose para la temperatura control (Gráfico 2).

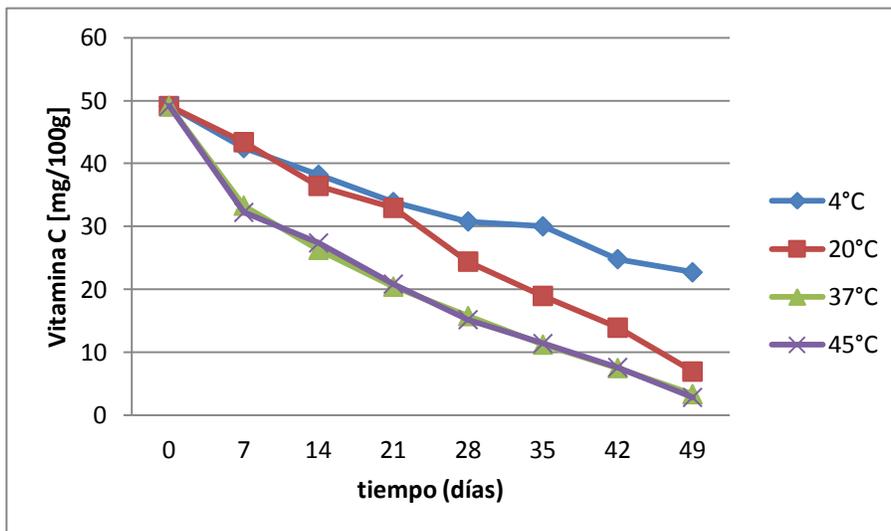
También para el tratamiento de esterilización se observó una disminución de la cantidad de vitamina C en las temperaturas críticas, siendo menor la obtenida a temperatura de 4°C (Gráfico 3). Para este tratamiento hubo una mayor pérdida desde el  $t=0$  resultando muy agresiva la aplicación de calor para mantener el 50% de vitamina C.

Se sostiene el criterio de que para conservar un mayor porcentaje de la vitamina C en los tratamientos térmicos de conservas de verduras, hay que actuar con rapidez en el tratamiento de materias primas, eliminar los enzimas favorecedores

de la oxidación mediante un escaldado racional y tener cuidado de los factores que afectan a esta vitamina como la influencia de la luz y del oxígeno (Sielaff, 2000).



**Gráfico 2. Relación de vitamina C para el tratamiento de acidificación a 49 días**



**Gráfico 3. Relación de vitamina C para el tratamiento de esterilización a 49 días**

Con dichos tratamientos se ablandan los tejidos de la hortaliza para aumentar su digestibilidad y, debido a esto, el calor modificará los componentes del brócoli produciendo pérdidas de dicho nutriente.

Se consideraron diferentes temperaturas de almacenamiento (Tabla 5) tomando en cuenta que la temperatura en las diferentes regiones del país es diferente y se debe considerar en caso de mantener el producto a temperatura ambiente.

**Tabla 5. Valores de tiempo de vida útil, TVU, para diferentes temperaturas de almacenamiento para el parámetro de vitamina C**

| Temperatura (°C) | Pasteurización TVU (meses/días) | Acidificación TVU (meses/días) | Esterilización TVU (meses/días) |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 4                | 3 / 20                          | 3 / 28                         | 3 / 11                          |
| 15               | 2 / 21                          | 2 / 15                         | 2 / 10                          |
| 20               | 1 / 29                          | 2 / 2                          | 1 / 29                          |
| 25               | 1 / 20                          | 1 / 22                         | 1 / 21                          |
| 35               | 1 / 5                           | 1 / 6                          | 1 / 8                           |
| 40               | 1 / 0                           | 1 / 0                          | 1 / 3                           |

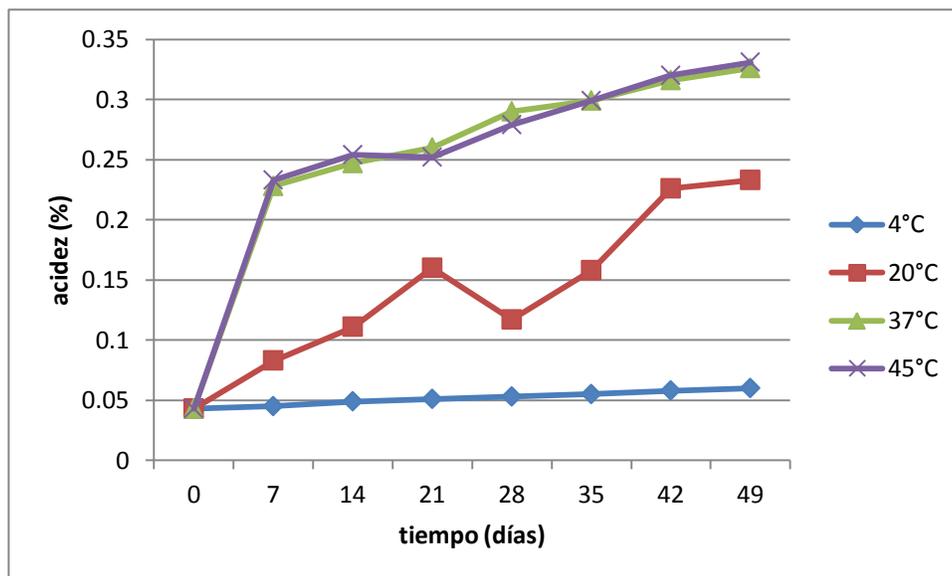
La temperatura de almacenamiento más adecuada es la de 4°C resultando que para el tratamiento de pasteurización la vida útil para 4°C es de 3 meses y 20 días, para el tratamiento de acidificación es de 3 meses y 28 días y, por último, para el tratamiento de esterilización a la misma temperatura resultó menor, con 3 meses y 11 días. Aún así la cantidad de vitamina C determinada fue mínima de tal manera que dicho parámetro no resultó representativo.

## 5.2. Parámetro químico: Acidez

En el Anexo I se presenta la tabla con los datos obtenidos experimentalmente para la acidez a los tres tratamientos. Se observa un aumento en el porcentaje de acidez en cada uno.

Para el tratamiento de acidificación se llevó a cabo un incremento paulatino, el cual muestra un valor máximo a la temperatura crítica de 45°C, que fue de 0.18%.

La pasteurización es un método de conservación que sólo conduce a una destrucción selectiva de la población microbiana patógena termolábil que está presente en el alimento (Orrego, 2003). La acidez del producto tratado por pasteurización aumentó conforme se realizó el estudio (Gráfico 4) se observa un aumento no muy severo a una temperatura de 4°C. En cambio, en las temperaturas críticas (37°C y 45°C) la acidez se elevó hasta 0.033% al t=1 (7 días).

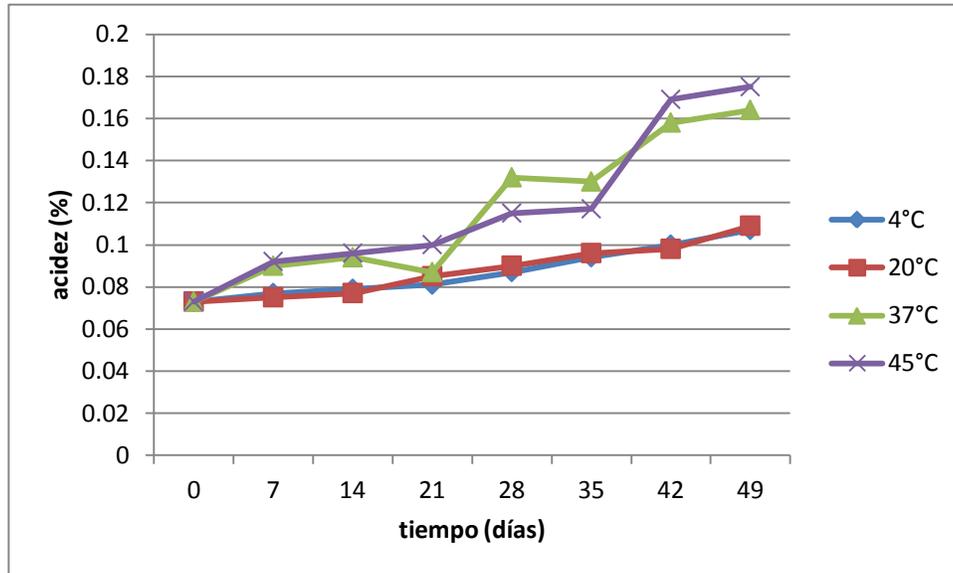


**Gráfico 4. Relación de acidez para el tratamiento de pasteurización a 49 días**

En cuanto al tratamiento de acidificación (Gráfico 5), se inició con una acidez mayor en t=0 (0.073%), manteniendo así un rango más de protección al producto. A los 21 días se podría decir que la acidez se mantenía cercana entre las cuatro temperaturas de estudio (control, ambiente y críticas).

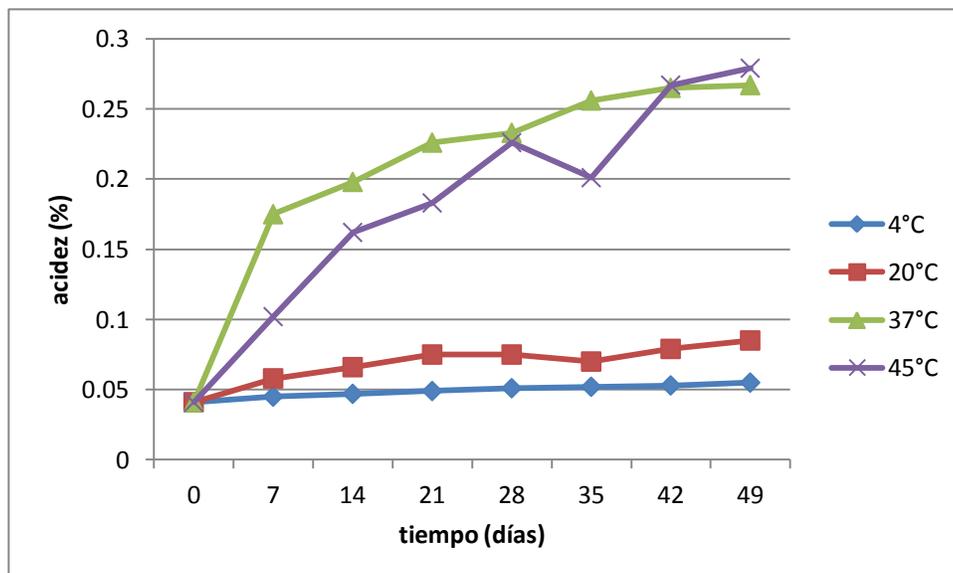
Por medio de la esterilización se trata de aplicar el calor de una forma drástica de tal manera que se destruyan casi en su totalidad las células y las esporas

termorresistentes, con el fin de alcanzar una estabilidad duradera en el alimento sin riesgos para la salud pública (Bello, 2000).



**Gráfico 5. Relación de acidez para el tratamiento de acidificación a 49 días**

Como se observa en el Gráfico 6, a los 7 días la acidez ya había aumentado considerablemente en las temperaturas críticas.



**Gráfico 6. Relación de acidez para el tratamiento de esterilización a 49 días**

De acuerdo con la Tabla 6 el tiempo de vida útil para los diferentes tratamientos es adecuado a una temperatura de refrigeración (4°C).

**Tabla 6. Valores de tiempo de vida útil, TVU, para las diferentes temperaturas de almacenamiento para el parámetro de acidez**

| Temperatura (°C) | Pasteurización TVU (meses/días) | Acidificación TVU (meses/días) | Esterilización TVU (meses/días) |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 4                | 4 / 25                          | 3 / 20                         | 3 / 4                           |
| 15               | 4 / 10                          | 3 / 3                          | 2 / 20                          |
| 20               | 3 / 4                           | 2 / 26                         | 2 / 15                          |
| 25               | 3 / 29                          | 2 / 20                         | 2 / 10                          |
| 35               | 3 / 20                          | 2 / 10                         | 2 / 2                           |
| 40               | 3 / 15                          | 2 / 6                          | 1 / 28                          |

El tratamiento de esterilización brindó mayor protección resultando un tiempo de 3 meses y 9 días, en tanto que para la pasteurización es de 3 meses y 1 día y, por último, para el tratamiento de acidificación fue de 2 meses y 20 días.

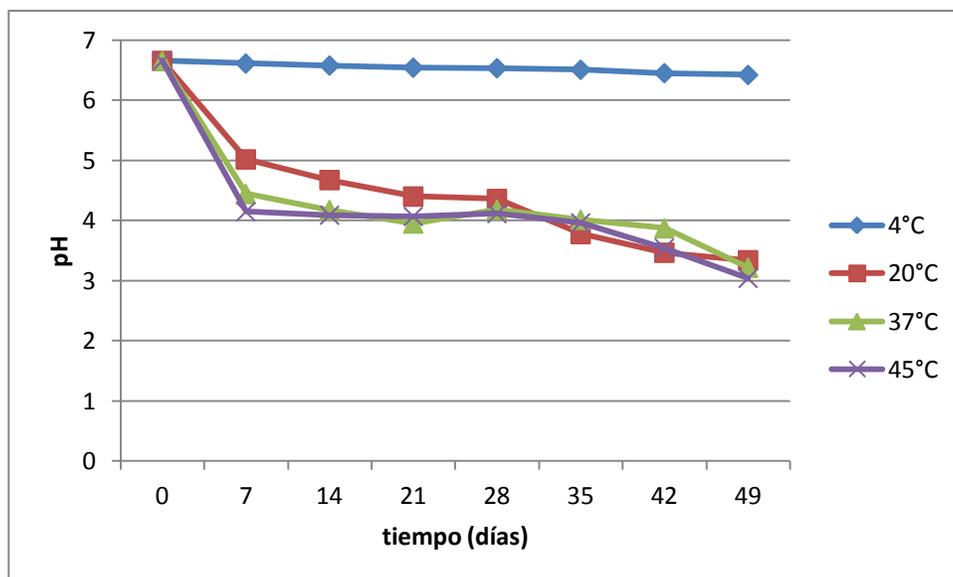
### 5.3. Parámetro químico: Valor de pH

Las hortalizas son materias primas no ácidas, es decir, que el líquido que llena las vacuolas celulares de las verduras exhibe valores de pH por encima de 5.5 (Bello, 2000). Por ello es importante mantener este factor debido a la posible acción de microorganismos.

En el Anexo I, se encuentran en forma tabular los resultados. El pH entre el tratamiento de pasteurización y en el de esterilización (Tabla I-3) a t=0 no tuvo mucha variabilidad. En cambio, en el tratamiento por acidificación se obtuvo un valor de pH de 4.92 en tiempo inicial, debido a la acción del ácido cítrico adicionado.

En la pasteurización de alimentos con valores de pH escasamente ácidos, el proceso se orienta hacia la destrucción de bacterias patógenas, manteniendo las propiedades sensoriales pero a un periodo más corto de conservación (Bello, 2000).

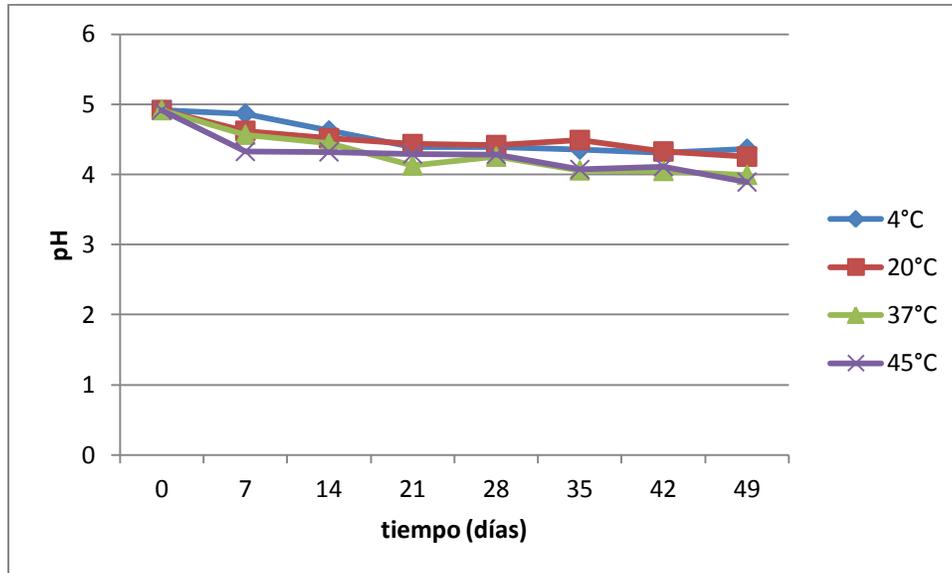
A las temperaturas de  $20\pm 2$ , 37 y  $45^{\circ}\text{C}$  (Gráfico 7), el pH aumentó a  $t=1$  (7 días), lo cual puede indicar que las condiciones de pasteurización no resultaron ser adecuadas, aunque también es probable que haya habido una contaminación microbiana en el producto o algún otro factor externo.



**Gráfico 7. Relación de pH para el tratamiento de pasteurización a 49 días**

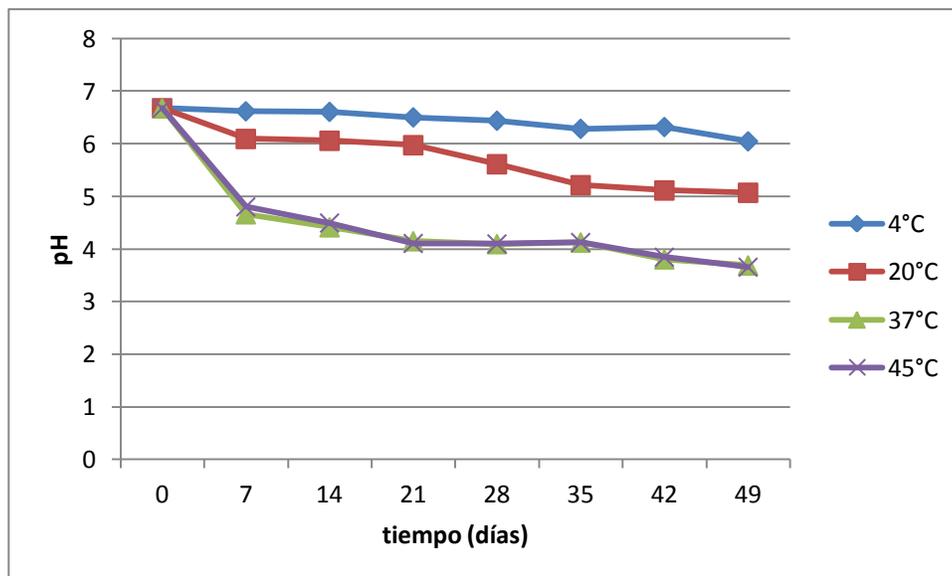
La mayor parte de los alimentos podrían conservarse en buenas condiciones microbiológicas cuando el medio tiene un pH menor de 4.0, de modo que se han desarrollado, para frutas y hortalizas, una serie de métodos que persiguen controlar el pH mediante la producción endógena de ácido o por adición exógena de algún ácido orgánico como el acético, el cítrico e incluso el láctico (FAO, 2000).

En el tratamiento por acidificación (Gráfico 8) se observa cómo en las cuatro temperaturas de estudio existe una relación cercana en cuanto al pH determinado, ya que el ácido cítrico funciona como un regulador del pH.



**Gráfico 8. Relación de pH para el tratamiento de acidificación a 49 días**

Para el tratamiento de esterilización (Gráfico 9) también hubo una disminución de pH a t=0, a temperaturas críticas, pudiendo ser provocadas por la acción microbiana de algunos organismos mesófilos resistentes a esas temperaturas o algún factor no considerado durante el proceso.



**Gráfico 9. Relación de pH para el tratamiento de esterilización a 49 días**

Para el parámetro de pH, el tiempo de vida útil para los diferentes tratamientos indicó que la temperatura más adecuada de almacenamiento es de 4°C. Para el tratamiento de pasteurización es de 9 meses y 18 días, para el tratamiento de acidificación es de 1 mes y 16 días y, por último, para el tratamiento de esterilización es de 25 días. Si se requiere mantener el producto a temperatura ambiente el pH se mantendrá para el tratamiento de pasteurización por 2 meses y 8 días (Tabla 7).

**Tabla 7. Valores de tiempo de vida útil, TVU, para diferentes temperaturas de almacenamiento**

| <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>Pasteurización<br/>TVU<br/>(meses/días)</b> | <b>Acidificación<br/>TVU<br/>(meses/días)</b> | <b>Esterilización<br/>TVU<br/>(meses/días)</b> |
|-----------------------------|--|---|--|
| <b>4</b>                    | 9 / 19   | 1 / 16  | 0 / 25   |
| <b>15</b>                   | 4 / 12   | 1 / 12  | 0 / 15   |
| <b>20</b>                   | 3 / 4  | 1 / 10  | 0 / 12   |
| <b>25</b>                   | 2 / 8  | 1 / 8   | 0 / 10   |
| <b>35</b>                   | 1 / 6  | 1 / 5   | 0 / 6  |
| <b>40</b>                   | 0 / 27   | 1 / 4   | 0 / 5  |

Para establecer la vida útil es importante seleccionar el o los parámetros adecuados. En el caso de los parámetros químicos (ácidez, Ph), estos podrían indicar si existen posibilidades de presencia microbiana en el producto; por lo cuál es importante analizar la variabilidad de la acidez y pH en cuanto a las condiciones manejadas en cada tratamiento, la manufactura del producto, el envasado, etc.

#### **5.4. Parámetro sensorial: Color**

El color es una cualidad organoléptica de los alimentos que se aprecia por medio del sentido físico de la vista. Suele ser considerado como un factor psicológico de aceptación y un criterio para elegir un alimento (Anzaldúa, 1994).

Para la evaluación de color de cada determinación se utilizó un Código de colores Pantone® para expresar el cambio de color en los 3 diferentes tratamientos a las 4 temperaturas de estudio. Las Tablas 8a, 8b y 8c presentan los datos obtenidos.

El pardeamiento de vegetales es causado por la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos iniciada por la enzima polifenoloxidasas, que también se reconoce como fenolasa. Los factores más importantes que afectan a la velocidad del pardeamiento de frutas y vegetales son las concentraciones tanto de la fenolasa activa y de los compuestos fenólicos, el pH, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno en el tejido (Man, 2002).

Los colores determinados en las Tablas 8a, 8b y 8c permiten evaluar este factor importante de aceptabilidad del producto. Como ya se había mencionado antes, se puede elegir un parámetro químico como ideal para establecer la vida útil, pero debe tomarse en cuenta la apariencia general del producto en el tiempo establecido para que sea aceptado por el consumidor.

**Tabla 8a. Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de pasteurización**

| Tiempo (días) | 4°C   | Amb   | 37°C   | 45°C  |
|---------------|---|---|--|---|
| 0             | <br>U363 | <br>U363 | <br>U363 | <br>U363 |
| 7             | <br>U363 | <br>U370 | <br>U384 | <br>U384 |
| 14            | <br>U363 | <br>U371 | <br>U385 | <br>U385 |
| 21            | <br>U363 | <br>U371 | <br>U385 | <br>U385 |

|    |   |   |  |   |
|----|---|---|--|---|
| 28 | <br>U363 | <br>U378 | <br>U378 | <br>U378 |
| 35 | <br>U363 | <br>U378 | <br>U385 | <br>U385 |
| 42 | <br>U363 | <br>U391 | <br>U385 | <br>U385 |
| 49 | <br>U363 | <br>U392 | <br>U385 | <br>U385 |

**Tabla 8b. Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de acidificación**

| Tiempo (días) | 4°C   | Amb   | 37°C   | 45°C  |
|---------------|---|---|--|---|
| 0             | <br>U363  | <br>U363  | <br>U363  | <br>U363  |
| 7             | <br>U363 | <br>U384 | <br>U384 | <br>U384 |
| 14            | <br>U370 | <br>U384 | <br>U384 | <br>U384 |
| 21            | <br>U370 | <br>U385 | <br>U385 | <br>U385 |
| 28            | <br>U370 | <br>U392 | <br>U392 | <br>U392 |
| 35            | <br>U370 | <br>U392 | <br>U392 | <br>U392 |

|    |   |  |  |   |
|----|---|--|--|---|
| 42 | <br>U370 | <br>U392  | <br>U399 | <br>U385 |
| 49 | <br>U370 | <br>U3985 | <br>U385 | <br>U385 |

**Tabla 8c. Códigos de colores Pantone® para el tratamiento de esterilización**

| Tiempo (días) | 4°C   | Amb   | 37°C   | 45°C  |
|---------------|---|---|--|---|
| 0             | <br>U363   | <br>U363   | <br>U363   | <br>U363   |
| 7             | <br>U363   | <br>U370   | <br>U371   | <br>U371   |
| 14            | <br>U363 | <br>U371 | <br>U371 | <br>U371 |
| 21            | <br>U363 | <br>U371 | <br>U371 | <br>U371 |
| 28            | <br>U377 | <br>U391 | <br>U384 | <br>U385 |
| 35            | <br>U377 | <br>U391 | <br>U384 | <br>U385 |
| 42            | <br>U377 | <br>U391 | <br>U385 | <br>U385 |
| 49            | <br>U391 | <br>U384 | <br>U385 | <br>U385 |

Para el tratamiento de esterilización, el producto a temperatura de 4°C es agradable a los 42 días, pero a una temperatura ambiente sólo por 1 semana. En cuanto a los tratamientos de acidificación y pasteurización, se mantiene un color verde aceptable durante los 49 días de estudio a 4°C.

El material de empaque también resulta ser un factor para conservar las características iniciales del producto, en especial las sensoriales, por lo que sería recomendable realizar algunas variaciones en cuanto al material de empaque en experimentos futuros (Anzaldúa, 1994).

En este estudio se utilizaron envases de vidrio que es un material que logra asegurar el sabor y la retención del aroma, es químicamente inerte y funciona como una barrera a la permeabilidad del oxígeno o al vapor de agua (Potter y Hotchkiss, 1995).

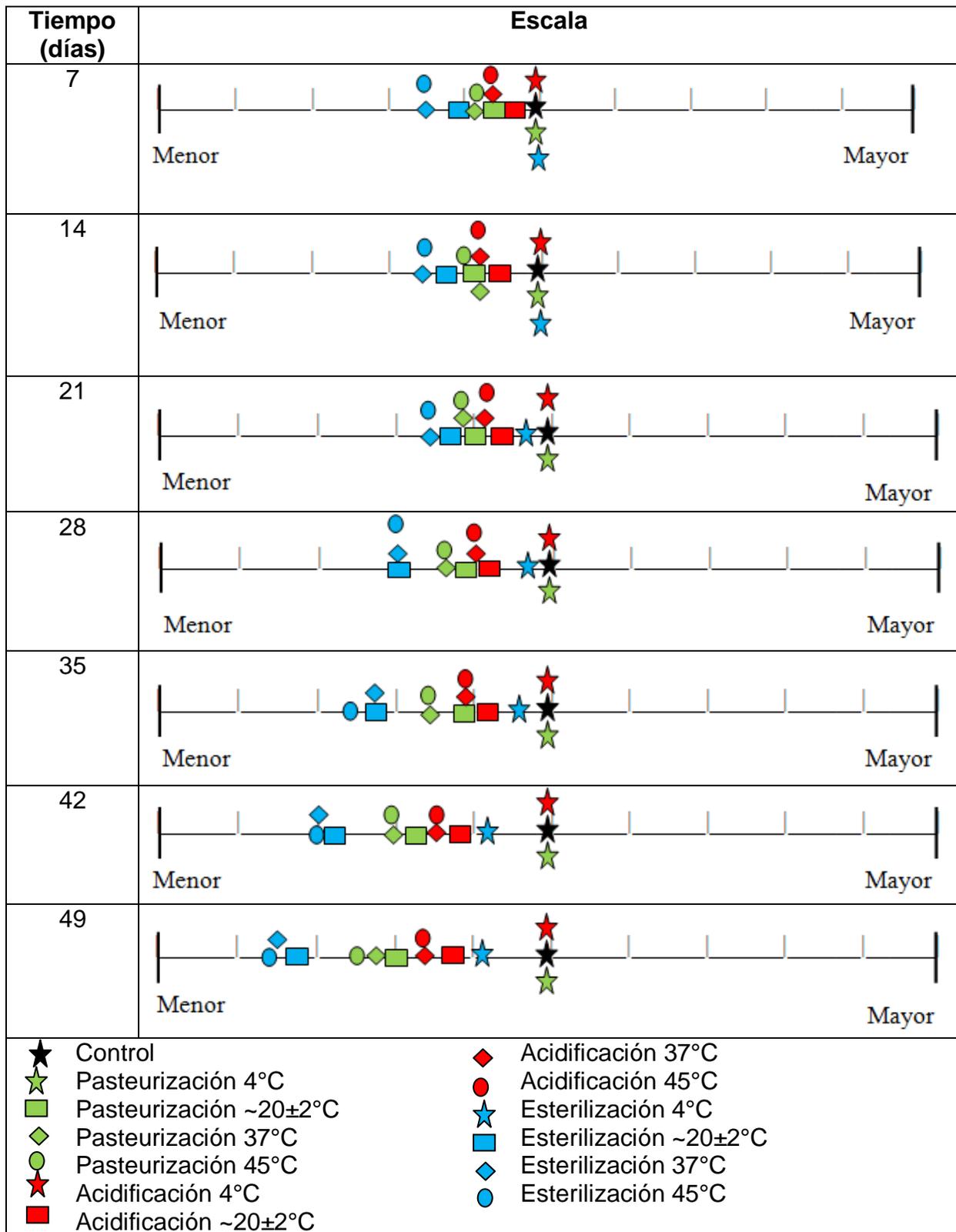
### **5.5. Parámetro sensorial: Textura**

La textura de un alimento puede ser definida como el conjunto de atributos que, de un modo subjetivo, son apreciados por los sentidos de la vista, el tacto y el oído, que hacen referencia a la impresión percibida de su peculiaridad física, en cuanto resultado de una deformación sufrida por el alimento (Anzaldúa, 1994).

La evaluación se realizó a través de una prueba de intervalo asignando un valor en una escala gráfica que representa la intensidad del atributo. En este caso fue la dureza (Tabla 9). La dureza es una característica mecánica que representa la fuerza necesaria para conseguir en el alimento una deformación determinada (Pedrero y Pangborn, 1989).

Los productos que se almacenaron a temperaturas de 4°C con los tres tratamientos en estudio inicialmente conservaron la dureza igual a la del control.

**Tabla 9. Evaluación de la textura para los tres tratamientos en estudio**



A partir de los 21 días hubo un cambio en el producto con el tratamiento de pasteurización, ya que se disminuyó. Se observa también que a partir de los 7 días en las temperaturas críticas la dureza ya había sufrido una disminución.

Es importante resaltar que los resultados indican que a la temperatura control (4°C) el atributo de dureza se puede mantener con las condiciones iniciales aplicadas a cada uno de los tratamientos.

Siendo éste un parámetro sensorial también debe tomarse en cuenta para la aceptabilidad del producto por el consumidor. En un experimento futuro es importante realizar una evaluación sensorial que incluya un mayor número de atributos que son responsables de la textura de un alimento como: adhesividad, cohesividad, elasticidad, fragilidad, etc.

Los cambios en la textura generalmente son ocasionados por una acción enzimática, cambios en la humedad o por reacciones en polímeros dando lugar a la reticulación y endurecimiento.

En una siguiente etapa, será importante realizar una evaluación sensorial con jueces entrenados que permita identificar la calidad que busca el consumidor en una conserva de brócoli, para poder elegir el tratamiento adecuado que cumpla con las características iniciales.

### **5.6. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza multifactorial (ANOVA de tres vías) que se encuentra de manera detallada en el Anexo II. Para este estudio se designaron las variables dependientes que son los parámetros: Vitamina C, acidez y pH y los 3 factores: tiempo, temperatura y tipo de tratamiento.

Se obtuvo una diferencia significativa en un nivel de confianza de 95.0% en cada uno de los parámetros con los diferentes factores evaluando la variabilidad total

teniendo en cuenta los efectos de cada factor por separado y la interacción entre los 3 factores.

Posteriormente, se realizó una prueba de Duncan para cada variable obteniendo como resultado que los 3 factores designados influyen en cada una de las variables, es decir que el tiempo, la temperatura y el tipo de tratamiento influyen de manera directa en el cambio de vitamina C, acidez y pH de las conservas de brócoli.

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones

Considerando que el objetivo de esta investigación era evaluar la vida de anaquel de una conserva de brócoli con distintos tratamientos (dos térmicos y uno químico/térmico) con el objetivo de determinar bajo qué condiciones el producto mantendrá sus características más estables, puede concluirse lo siguiente:

Tomando en cuenta los parámetros químicos:

- La temperatura de almacenamiento que se recomienda para una conserva de brócoli tratada con el método de pasteurización es de 4°C, teniendo una vida útil de 3 meses y 1 día
- Para la conserva de brócoli tratada con el método de acidificación la mejor temperatura de almacenamiento es de 4°C con una vida útil de 2 meses y 20 días
- En la conserva de brócoli con el tratamiento de esterilización la temperatura que también se recomienda de 4°C para su almacenamiento, manteniendo una vida útil de 3 meses y 9 días.

Tomando en cuenta los parámetros sensoriales:

- Por medio del método de pasteurización la vida de anaquel resultó de 49 días a 4°C
- Para el tratamiento de acidificación/pasteurización el tiempo de vida útil es de 28 días a 4°C

- Por último, para el tratamiento de esterilización es de 21 días a 4°C.

Además del tiempo de caducidad determinado para cada una de las conservas de brócoli con cada tratamiento aplicado, se concluye que:

- Para definir los parámetros a evaluar es importante conocer la composición del alimento.
- Existen parámetros que no siempre serán determinantes para establecer una fecha de caducidad, en este caso la vitamina C.
- Las condiciones establecidas deben ser respetadas para evitar factores externos que influyan en la descomposición del producto.

Estas conclusiones guían la investigación hacia un trabajo futuro que se señala en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 7**

### **Trabajo futuro**

- Se recomienda repetir los experimentos cuidando las condiciones de operación con objeto de corroborar si se repiten los valores de acidez elevados y de valores de pH bajos.
- Elaborar un estudio microbiológico para descartar la existencia de algún microorganismo que pueda afectar al consumidor.
- Posteriormente, realizar una evaluación sensorial con jueces entrenados y para corroborar los resultados de color y textura y con jueces no entrenados que consuman frecuentemente brócoli, para conocer el punto de vista del consumidor.
- Realizar pruebas de textura con un texturómetro para también conocer las propiedades de adhesividad, cohesividad, dureza y masticabilidad de manera objetiva.
- Extrapolar estos datos a productos orgánicos para evaluar su bondad.

## Bibliografía

- Anzaldúa, A., 1994. Las propiedades sensoriales. En: La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia, pp. 11-42.
- Arthey, D. y Dennis, C. 1992. Otros métodos de conservación. En: Procesado de hortalizas. Zaragoza: Acribia, pp.175-211
- ASERCA. 2011. Reporte de precios diarios de hortalizas. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria [En Línea](Actualizado 28 de noviembre de 2011)  
Disponible en:  
[http://www.aserca.gob.mx/sicsa/hortalizasnacional/hna\\_ca1.asp](http://www.aserca.gob.mx/sicsa/hortalizasnacional/hna_ca1.asp) [Último acceso el 28 de noviembre de 2011]
- Barrera-Montoya, M.R. 2011. Mejoramiento del proceso de elaboración de conservas de productos orgánicos de una cooperativa del Estado de Tlaxcala. Tesis profesional (Química de Alimentos). En publicación. UNAM, Facultad de Química. México D.F.
- Bello, J. 2000. Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos. Madrid: Díaz de Santos.
- FAO. 2000. Departamento de Agricultura. Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*) [En Línea](Actualizado 24 de enero de 2000) Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5062S/x5062S08.htm> [Último acceso el 18 de septiembre de 2011]

- FAO. 2004. Departamento de Agricultura. Manual de capacitación. Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*) [En Línea](Actualizado 24 de enero de 2004)

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y5771s/y5771s00.htm>  
[Último acceso el 5 mayo de 2012]
- FAO. 2006. Departamento de Agricultura. Ficha de Brócoli. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*) [En Línea](Actualizado 24 de enero de 2009)

Disponible en:  
[http://www.agrolalibertad.gob.pe/documentos/info\\_tecnica/items/FICHA\\_DE\\_BROCOLI.pdf](http://www.agrolalibertad.gob.pe/documentos/info_tecnica/items/FICHA_DE_BROCOLI.pdf) [Último acceso el 5 mayo de 2012]
- Floros, J. 1993. The shelflife of fruits and vegetables. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 33.195-216
- Harris, D. 2003. Equilibrio químico. En: *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona: Reverté, pp. 99-120.
- INFOAGRO. 2011. El cultivo del brócoli. Información Agroalimentaria [En línea] (Actualizado de 26 septiembre de 2011)

Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm> [último acceso el 6 de febrero de 2012]
- INIFAP. 2009. Producción de brócoli en el Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [En Línea](Actualizado 30 de octubre de 2011)

Disponible en:  
<http://www.inifap.gob.mx> [Último acceso el 28 de noviembre de 2011]

- Karel M. y Lund D. 2003. Heat processing. En: Physical principles of food preservation. 2a ed. New York: CRC Taylor & Francis, pp. 171-236.
- Laurila, E. y Ahvenainen, R. 2002. Minimal processing in practice: Fresh fruits and vegetables. En Minimal processing technologies in the food industry. Ohlsson, T., Bengtsson, N. Cambridge: CRC Press, pp. 219-244.
- Lück, E. 1995. Conservación química de los alimentos. 2a edición. Zaragoza: Acribia.
- Man, D. 2000. Scientific principles of shelf-life evaluation. En: Shelf-Life evaluation of foods. London: Blackie A & P, pp. 3-23.
- Man, D. 2002. La caducidad de los alimentos, Zaragoza. Acribia.
- Moreno-Ortiz, Yanet. 2011. Estudio del efecto del tratamiento térmico de dos conservas de productos orgánicos, brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) y coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) evaluando su calidad por su contenido de vitamina C. Tesis profesional (Química de Alimentos). En revisión. UNAM, Facultad de Química. México D.F.
- Oleos, L. M. 2002. Análisis de competitividad de la cadena agroalimentaria del brócoli: brócoli fresco/brócoli congelado. Tesis. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía. Quito, Ecuador
- Orrego, C. 2003. Conservación de alimentos. En: Procesamiento de alimentos. Manizales: Universidad Imprenta, pp. 45-78.
- Pedrero, F. y Pangborn, R. 1989. Métodos de análisis estadístico. En: Evaluación sensorial de los alimentos. Distrito Federal: Alhambra Mexicana, pp. 38-78

- Postharvest Technology of Horticultural Crops. 1992. Biología y tecnología de postcosecha: una revisión general. [En Línea] (Actualizado 30 de noviembre 2011)  
Disponible en:  
<http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Biologia%20y%20Tecnologia%20de%20Postcosecha.pdf> [Último acceso el 10 de octubre de 2012]
- Potter, N. y Hotchkiss J. 1995. Food Science. New York: Chapman & Hall. 5ta ed. pp.90-436.
- SAGARPA. 2011. Oportunidades de Mercado, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En Línea] (Actualizado 30 de noviembre 2010)  
Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/subagri.aspx> [Último acceso el 25 de noviembre de 2011]
- SAGARPA. 2012. Boletines, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En Línea] (Actualizado 18 de julio 2012)  
Disponible  
en:<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2011B398.aspx> [Último acceso el 5 de marzo de 2012]
- SEDAGRO. 2012. Cultivo de Brócoli, Secretaría de Desarrollo Agropecuario. [En Línea] (Actualizado 10 de septiembre 2012)  
Disponible en:  
[http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion\\_publicaciones/horticola/brocoli/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/brocoli/index.htm) [Último acceso el 19 de septiembre de 2012]

- SIAP. 2012. Cultivos de interés, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En Línea] (Actualizado 30 de noviembre 2010)  
Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=108&Itemid=7](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid=7) [Último acceso el 5 de marzo de 2012]
- Sielaff, H., 2000. Fabricación de conservas. En: Tecnología de la fabricación de conservas. Zaragoza: Acribia, pp. 137-278.
- Taub, I. 1998. Food Storage Stability. Washington, D.C.: CRC Press.
- Toivonen, P. 1997. The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling, and micro-perforated wrap on shelf-life of broccoli (*Brassica oleracea* L., Italica Group). Postharvest Biology and Technology, 10:59-65.
- USDA. 2012. National nutrient database. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. [En Línea] (Actualizado 30 de marzo 2012)  
Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/list> [Último acceso el 10 de septiembre de 2012]
- Vázquez, C. 2005. Verduras, hortalizas y frutas. En: Alimentación y Nutrición. Zaragoza: Díaz de Santos, pp. 110-120.
- Yahia, E. 1992. Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas, Madrid: Limusa.

# **ANEXOS**

**ANEXO I**  
**DATOS EXPERIMENTALES**

**Tabla AI-1. Evaluación del contenido de vitamina C en los tres tratamientos estudiados**

| <b>Pasteurización</b> | <b>tiempo</b> | <b>días</b> | <b>4°C<br/>[mg/100g]</b> | <b>22°C<br/>[mg/100g]</b> | <b>37°C<br/>[mg/100g]</b> | <b>45°C<br/>[mg/100g]</b> |
|-----------------------|---------------|-------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                       | 0             | 0           | 54.01                    | 54.01                     | 54.01                     | 54.01                     |
|                       | 1             | 7           | 52.39                    | 42.05                     | 33.27                     | 33.59                     |
|                       | 2             | 14          | 47.35                    | 33.11                     | 27.23                     | 23.62                     |
|                       | 3             | 21          | 42.25                    | 26.01                     | 20.31                     | 17.35                     |
|                       | 4             | 28          | 40.46                    | 20.01                     | 18.11                     | 14.81                     |
|                       | 5             | 35          | 38.08                    | 13.80                     | 14.53                     | 11.65                     |
|                       | 6             | 42          | 34.21                    | 10.02                     | 7.56                      | 6.47                      |
|                       | 7             | 49          | 30.26                    | 6.89                      | 4.41                      | 3.24                      |
|                       |               |             |                          |                           |                           |                           |
| <b>Acidificación</b>  | 0             | 0           | 57.88                    | 57.88                     | 57.88                     | 57.88                     |
|                       | 1             | 7           | 54.05                    | 48.54                     | 46.64                     | 44.51                     |
|                       | 2             | 14          | 50.56                    | 35.46                     | 39.88                     | 35.90                     |
|                       | 3             | 21          | 48.36                    | 30.86                     | 33.32                     | 28.50                     |
|                       | 4             | 28          | 44.75                    | 23.46                     | 24.29                     | 22.12                     |
|                       | 5             | 35          | 42.50                    | 19.88                     | 18.75                     | 16.83                     |
|                       | 6             | 42          | 39.23                    | 12.39                     | 11.5                      | 10.20                     |
|                       | 7             | 49          | 35.55                    | 6.89                      | 6.59                      | 5.32                      |
|                       |               |             |                          |                           |                           |                           |
| <b>Pasteurización</b> | 0             | 0           | 49.11                    | 49.11                     | 49.11                     | 49.11                     |
|                       | 1             | 7           | 42.44                    | 43.38                     | 33.28                     | 32.21                     |
|                       | 2             | 14          | 38.19                    | 36.43                     | 26.26                     | 27.35                     |
|                       | 3             | 21          | 33.85                    | 32.93                     | 20.40                     | 20.80                     |
|                       | 4             | 28          | 30.77                    | 24.38                     | 15.72                     | 15.14                     |
|                       | 5             | 35          | 29.99                    | 18.92                     | 11.18                     | 11.35                     |
|                       | 6             | 42          | 24.77                    | 13.87                     | 7.45                      | 7.56                      |
|                       | 7             | 49          | 22.68                    | 6.89                      | 3.30                      | 2.78                      |

**Tabla AI-2. Evaluación de acidez en los tres tratamientos estudiados**

| <b>Pasteurización</b> | <b>tiempo</b> | <b>días</b> | <b>4°C [%]</b> | <b>22°C [%]</b> | <b>37°C [%]</b> | <b>45°C [%]</b> |
|-----------------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                       | 0             | 0           | 0.043          | 0.043           | 0.043           | 0.043           |
|                       | 1             | 7           | 0.045          | 0.083           | 0.228           | 0.233           |
|                       | 2             | 14          | 0.049          | 0.111           | 0.247           | 0.254           |
|                       | 3             | 21          | 0.051          | 0.160           | 0.26            | 0.252           |
|                       | 4             | 28          | 0.053          | 0.117           | 0.29            | 0.279           |
|                       | 5             | 35          | 0.055          | 0.158           | 0.299           | 0.299           |
|                       | 6             | 42          | 0.058          | 0.226           | 0.316           | 0.32            |
|                       | 7             | 49          | 0.06           | 0.233           | 0.326           | 0.331           |
|                       |               |             |                |                 |                 |                 |
| <b>Acidificación</b>  | 0             | 0           | 0.073          | 0.073           | 0.073           | 0.073           |
|                       | 1             | 7           | 0.077          | 0.075           | 0.09            | 0.092           |
|                       | 2             | 14          | 0.079          | 0.077           | 0.094           | 0.096           |
|                       | 3             | 21          | 0.081          | 0.085           | 0.087           | 0.1             |
|                       | 4             | 28          | 0.087          | 0.09            | 0.132           | 0.115           |
|                       | 5             | 35          | 0.094          | 0.096           | 0.13            | 0.117           |
|                       | 6             | 42          | 0.100          | 0.098           | 0.158           | 0.169           |
|                       | 7             | 49          | 0.107          | 0.109           | 0.164           | 0.175           |
|                       |               |             |                |                 |                 |                 |
| <b>Esterilización</b> | 0             | 0           | 0.041          | 0.041           | 0.041           | 0.041           |
|                       | 1             | 7           | 0.045          | 0.058           | 0.175           | 0.102           |
|                       | 2             | 14          | 0.047          | 0.066           | 0.198           | 0.162           |
|                       | 3             | 21          | 0.049          | 0.075           | 0.226           | 0.183           |
|                       | 4             | 28          | 0.051          | 0.075           | 0.233           | 0.226           |
|                       | 5             | 35          | 0.052          | 0.07            | 0.256           | 0.201           |
|                       | 6             | 42          | 0.053          | 0.079           | 0.265           | 0.267           |
|                       | 7             | 49          | 0.055          | 0.085           | 0.267           | 0.279           |

**Tabla AI-3. Evaluación de pH en los tres tratamientos estudiados**

| <b>Pasteurización</b> | <b>tiempo</b> | <b>días</b> | <b>4°C</b> | <b>22°C</b> | <b>37°C</b> | <b>45°C</b> |
|-----------------------|---------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|                       | 0             | 0           | 6.66       | 6.66        | 6.66        | 6.66        |
|                       | 1             | 7           | 6.61       | 5.02        | 4.44        | 4.15        |
|                       | 2             | 14          | 6.58       | 4.68        | 4.18        | 4.09        |
|                       | 3             | 21          | 6.54       | 4.40        | 3.95        | 4.07        |
|                       | 4             | 28          | 6.53       | 4.36        | 4.18        | 4.12        |
|                       | 5             | 35          | 6.51       | 3.78        | 4.02        | 3.96        |
|                       | 6             | 42          | 6.45       | 3.47        | 3.87        | 3.54        |
|                       | 7             | 49          | 6.42       | 3.34        | 3.22        | 3.04        |
|                       |               |             |            |             |             |             |
| <b>Acidificación</b>  | 0             | 0           | 4.92       | 4.92        | 4.92        | 4.92        |
|                       | 1             | 7           | 4.87       | 4.62        | 4.57        | 4.33        |
|                       | 2             | 14          | 4.62       | 4.52        | 4.44        | 4.32        |
|                       | 3             | 21          | 4.39       | 4.43        | 4.13        | 4.29        |
|                       | 4             | 28          | 4.39       | 4.42        | 4.25        | 4.28        |
|                       | 5             | 35          | 4.35       | 4.49        | 4.06        | 4.07        |
|                       | 6             | 42          | 4.31       | 4.33        | 4.05        | 4.11        |
|                       | 7             | 49          | 4.37       | 4.25        | 3.99        | 3.89        |
|                       |               |             |            |             |             |             |
| <b>Esterilización</b> | 0             | 0           | 6.68       | 6.68        | 6.68        | 6.68        |
|                       | 1             | 7           | 6.62       | 6.09        | 4.66        | 4.80        |
|                       | 2             | 14          | 6.61       | 6.06        | 4.41        | 4.50        |
|                       | 3             | 21          | 6.50       | 5.97        | 4.15        | 4.11        |
|                       | 4             | 28          | 6.44       | 5.61        | 4.09        | 4.10        |
|                       | 5             | 35          | 6.29       | 5.21        | 4.12        | 4.13        |
|                       | 6             | 42          | 6.32       | 5.11        | 3.80        | 3.85        |
|                       | 7             | 49          | 6.05       | 5.07        | 3.69        | 3.66        |

## ANEXO II

### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizó un análisis de varianza multifactorial, andeva (*ANOVA*, en inglés), con 3 factores: Tiempo, temperatura y tipo de tratamiento y como variables dependientes las características químicas del producto: vitamina C, acidez y pH.

- **Variable dependiente: Vitamina C**

Se determinó cuál de estos factores estadísticamente tienen un efecto significativo sobre el parámetro de vitamina C.

El andeva (Tabla All-1) descompone la variabilidad de la vitamina C en contribuciones debido a varios factores. La contribución de cada factor es medida habiendo eliminado los efectos de todos los demás factores.

**Tabla All-1. Análisis de varianza para el parámetro de vitamina C con los 3 factores**

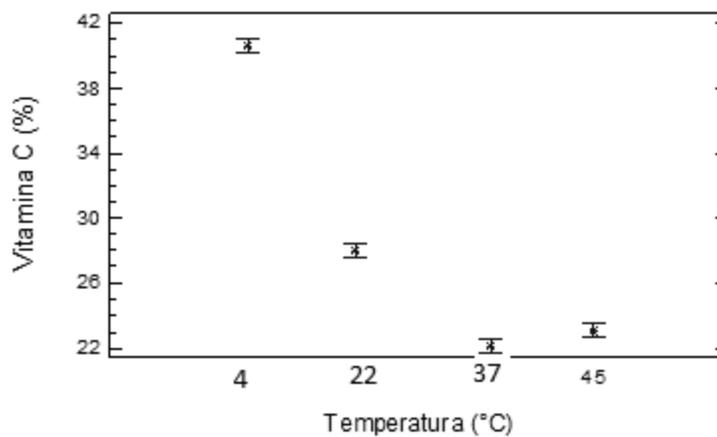
| Fuente              | S.S.    | D.F. | M.S.    | F-Radio | P-Valor |
|---------------------|---------|------|---------|---------|---------|
| Efectos Principales |         |      |         |         |         |
| A:temperatura       | 15736.4 | 3    | 5245.47 | 796.25  | 0.0000  |
| B: tratamiento      | 1990.27 | 2    | 995.134 | 151.06  | 0.0000  |
| C: Tiempo           | 50414.3 | 7    | 7202.04 | 1093.25 | 0.0000  |
| Interacciones       |         |      |         |         |         |
| AB                  | 1162.39 | 6    | 193.731 | 29.41   | 0.0000  |
| AC                  | 3700.29 | 21   | 176.204 | 26.75   | 0.0000  |
| BC                  | 319.753 | 14   | 22.8395 | 3.47    | 0.0000  |
| Residual            | 1541.52 | 234  | 6.58771 |         |         |
| Total (corregidos)  | 74865.0 | 287  |         |         |         |

S.S: suma de cuadrados; D.f: grados de libertad; M.S: cuadrado medio; F-Radio: F calculada; P-Valor: valor de probabilidad

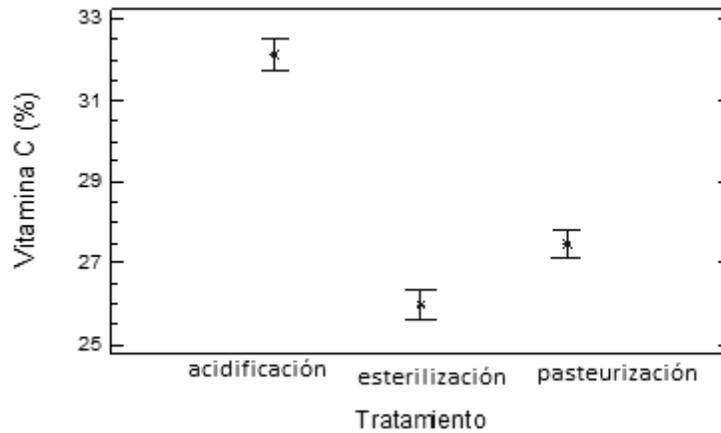
Los seis valores de P-valor son inferiores a 0.05, estos factores indican que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la vitamina C en un nivel de confianza de 95.0%.

De los resultados se obtuvo una diferencia significativa, por lo que se realizó la prueba de Duncan para cada factor.

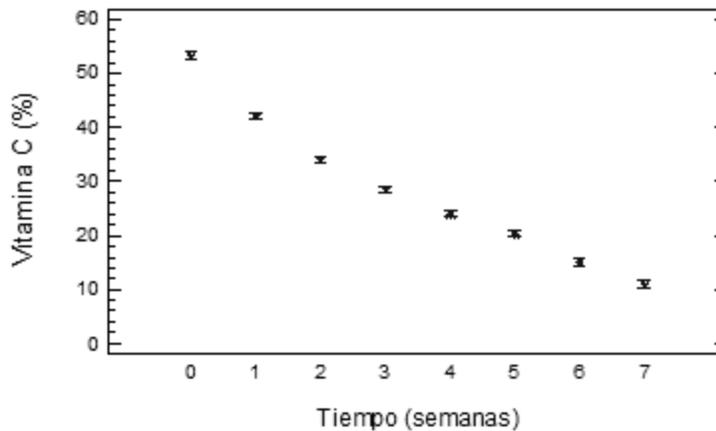
En los siguientes gráficos (Gráfico All-1.1, All-1.2, All-1.3) se puede observar que existe diferencia entre cada uno de los pares: Vitamina C-temperatura, vitamina C-tratamiento y vitamina C-tiempo.



**Gráfico All-1.1. Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y la temperatura**



**Gráfico All-1.2. Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y los tratamientos**



**Gráfico All-1.3. Prueba de Duncan para la diferencia entre vitamina C y el tiempo de estudio**

- **Variable dependiente: acidez**

Se determinó cuál de estos factores estadísticamente tienen un efecto significativo sobre el parámetro de acidez.

El andeva (Tabla All-2) descompone la variabilidad de la acidez en contribuciones debido a varios factores. La contribución de cada factor es medida habiendo eliminado los efectos de todos los demás factores.

**Tabla All-2. Análisis de varianza para el parámetro de acidez con los 3 factores**

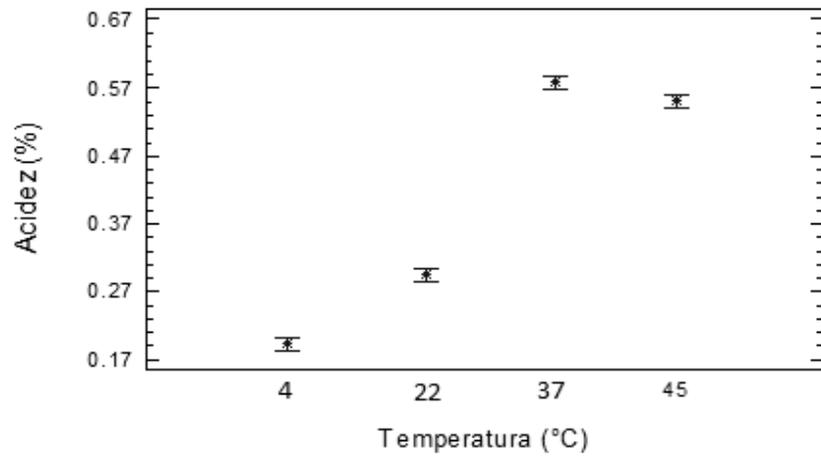
| Fuente              | S.S.     | D.f. | M.S.      | F-Radio | P-Valor |
|---------------------|----------|------|-----------|---------|---------|
| Efectos Principales |          |      |           |         |         |
| A:temperatura       | 7.79467  | 3    | 2.59822   | 724.79  | 0.0000  |
| B: tratamiento      | 2.27607  | 2    | 1.13803   | 317.46  | 0.0000  |
| C: Tiempo           | 3.91463  | 7    | 0.559233  | 156.00  | 0.0000  |
| Interacciones       |          |      |           |         |         |
| AB                  | 2.50793  | 6    | 0.417988  | 116.60  | 0.0000  |
| AC                  | 1.50611  | 21   | 0.0717194 | 20.01   | 0.0000  |
| BC                  | 0.723233 | 14   | 0.0516595 | 14.41   | 0.0000  |
| Residual            | 0.838842 | 234  | 0.0035848 |         |         |
| Total (corregidos)  | 19.5615  | 287  |           |         |         |

S.S: suma de cuadrados; D.f: grados de libertad; M.S: cuadrado medio; F-Radio: F calculada; P-Valor: valor de probabilidad

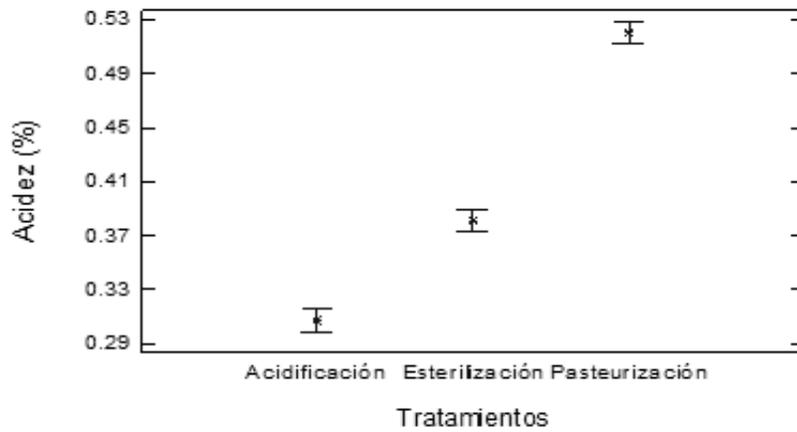
Los seis valores de P-valor son inferiores a 0.05, estos factores indican que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la acidez en un nivel de confianza de 95.0%.

De los resultados se obtuvo una diferencia significativa, por lo que se realizó la prueba de Duncan para cada factor.

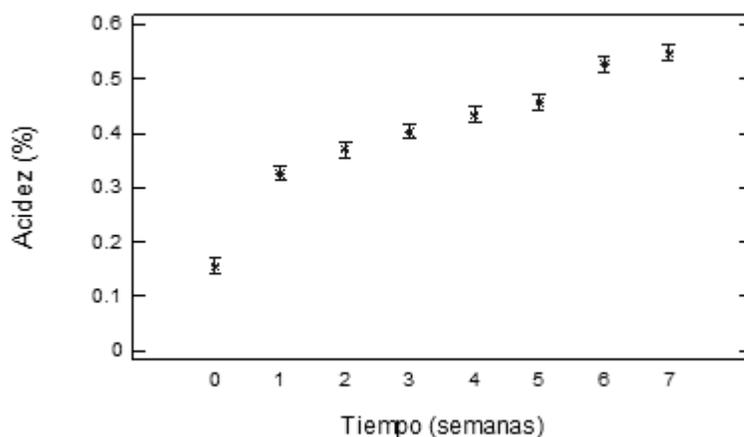
En los siguientes gráficos (Gráfico All-2.1, All-2.2, All-2.3) se puede observar que existe diferencia entre cada uno de los pares: acidez-temperatura, acidez-tratamiento y acidez-tiempo.



**Gráfico All-2.1. Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y la temperatura**



**Gráfico All-2.2. Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y los tratamientos**



**Gráfico All-2.3. Prueba de Duncan para la diferencia entre acidez y el tiempo de estudio**

- **Variable dependiente: pH**

Se determinó cuál de estos factores estadísticamente tienen un efecto significativo sobre el parámetro de pH.

El andeva (Tabla All-3) descompone la variabilidad del pH en contribuciones debido a varios factores. La contribución de cada factor es medida habiendo eliminado los efectos de todos los demás factores.

**Tabla All-3. Análisis de varianza para el parámetro de pH con los 3 factores**

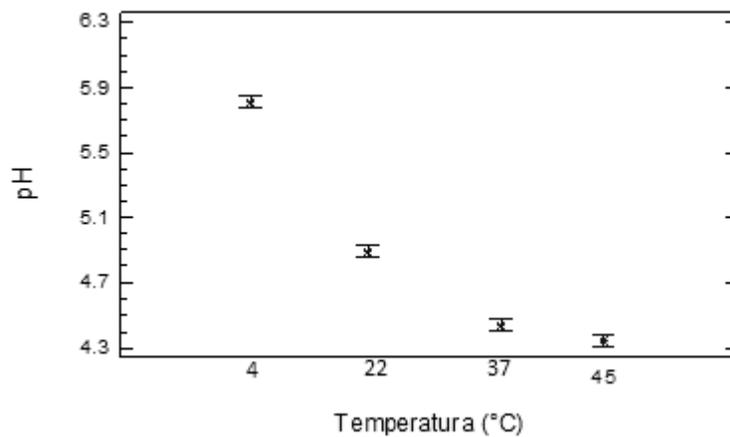
| Fuente              | S.S.    | D.f. | M.S.      | F-Radio | P-Valor |
|---------------------|---------|------|-----------|---------|---------|
| Efectos Principales |         |      |           |         |         |
| A:temperatura       | 106.125 | 3    | 35.375    | 789.56  | 0.0000  |
| B: tratamiento      | 36.7691 | 2    | 18.3845   | 410.34  | 0.0000  |
| C: Tiempo           | 77.7106 | 7    | 11.1015   | 247.78  | 0.0000  |
| Interacciones       |         |      |           |         |         |
| AB                  | 51.2913 | 6    | 8.54855   | 190.80  | 0.0000  |
| AC                  | 17.4743 | 21   | 0.832109  | 18.57   | 0.0000  |
| BC                  | 13.1715 | 14   | 0.940823  | 21.00   | 0.0000  |
| Residual            | 10.4841 | 234  | 0.0448036 |         |         |
| Total (corregidos)  | 313.026 | 287  |           |         |         |

S.S: suma de cuadrados; D.f: grados de libertad; M.S: cuadrado medio; F-Radio: F calculada; P-Valor: valor de probabilidad

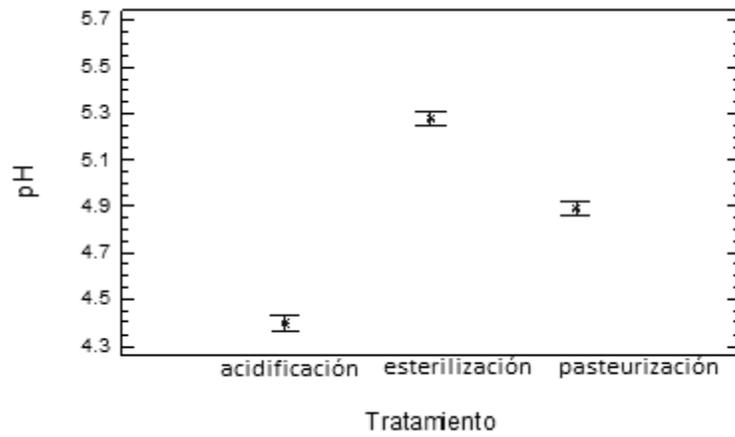
Los seis valores de P-valor son inferiores a 0.05. Estos factores indican que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el pH en un nivel de confianza de 95.0%.

De los resultados se obtuvo una diferencia significativa, por lo que se realizó la prueba de Duncan para cada factor.

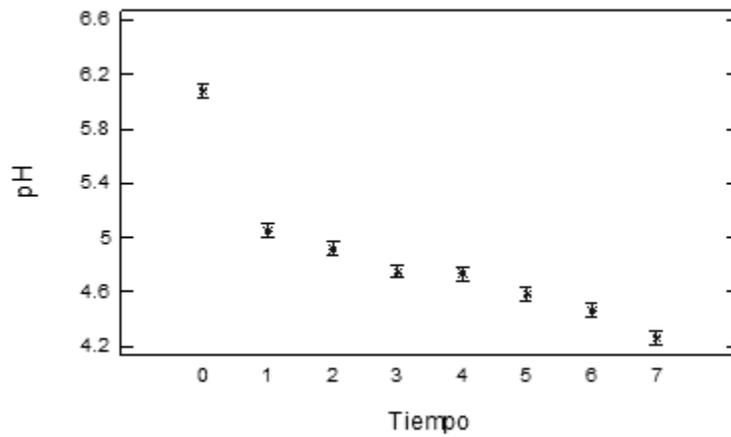
En los siguientes gráficos (Gráfico All-3.1, All-3.2, All-3.3) se puede observar que existe diferencia entre cada uno de los pares: pH-temperatura, pH-tratamiento y pH-tiempo.



**Gráfico All-3.1. Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y temperatura**



**Gráfico All-3.2. Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y los tratamientos.**



**Gráfico All-3.3. Prueba de Duncan para la diferencia entre pH y tiempo de estudio**