



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS
ACTIVAS Y TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y EL CONTENIDO DE ÁCIDO
ASCÓRBICO DEL PEPINO DULCE *Solanum muricatum*”.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO (A)
AGROINDUSTRIAL.**

Autor: CHICAIZA BAUTISTA BETHY ELIZABETH

Director: Ing. Juan Carlos De la Vega, MSc.

Agosto, 2020

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA:	100319705-8
NOMBRES Y APELLIDOS:	Chicaiza Bautista Bethy Elizabeth
DIRECCIÓN:	González Suárez – Pijal Alto
EMAIL:	bechicaizab@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	0990977460
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Efecto de la aplicación de atmósferas modificadas activas y temperatura de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de ácido ascórbico del pepino dulce <i>Solanum muricatum</i> ”.
AUTOR:	Chicaiza Bautista Bethy Elizabeth
FECHA:	17 agosto 2020
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR:	Msc. Juan Carlos de la Vega

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de agosto de 2020


EL AUTOR:

Firma:  _____

Chicaiza Bautista Bethy Elizabeth

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Bethy Elizabeth Chicaiza Bautista, bajo supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Juan Carlos de la Vega", is written over a light blue rectangular stamp. The signature is fluid and cursive.

.....
Ing. Juan Carlos de la Vega MSc.

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autoridad, por lo tanto, es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días de agosto 2020.

Firma: _____



Bethy Elizabeth Chicaiza Bautista

C.I.: 100319705-8

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradezco a Dios por permitirme ver finalizada esta importante etapa de mi vida y ver así uno de mis más grandes anhelos cumplido, a mis padres, esposo y familiares, por ser pilares fundamentales en mi vida; por esa entrega, paciencia y sabiduría con la que siempre supieron guiarme a seguir hacia adelante.

Mi gratitud con la Universidad Técnica del Norte por acogerme durante mi carrera universitaria y hacia mis profesores, quienes participaron de manera excepcional durante toda mi formación impartiendo sus conocimientos para ser una profesional competitiva en el área laboral.

Agradezco infinitamente a los Ingenieros Juan Carlos de la Vega como director de mi trabajo de titulación, Valeria Olmedo, Ima Sánchez y Jimmy Cuaran por su íntegra colaboración para la elaboración de mi tesis, además de su confianza y aporte profesional. Gracias.

Bethy Chicaiza

DEDICATORIA

A mi maestra, mi amiga, mi guía en el camino y el pilar que me ha sostenido desde siempre, mi madre; a mi amigo, consejero y apoyo incondicional, mi padre; porque todo lo bueno que haga en esta vida, será para que puedan sentirse orgullosos de mí.

De su hija total admiración, respeto y reconocimiento hacia ustedes.

Bethy Chicaiza

CONTENIDO

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. HIPÓTESIS DE TRABAJO	6
1.5.1. Hipótesis alternativa:.....	6
1.5.2. Hipótesis nula:	6
CAPITULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. EL PEPINO DULCE (<i>Solanum muricatum</i> Ait.)	7
2.1.1. Morfología y taxonomía	7
2.1.2. Características	8
2.1.3. Composición e información nutricional.....	9
2.1.4. Usos e importancia económica.....	11
2.1.5. Producción de pepino dulce en Imbabura.....	11
2.2. MADUREZ.....	12
2.3. ÍNDICE DE MADUREZ.....	13
2.4. RESPIRACIÓN	14
2.5. TASA DE RESPIRACIÓN.....	15
2.6. PRODUCCIÓN DE ETILENO.....	16
2.7. CAUSAS EXTRÍNSECAS DE DETERIORO.....	17
2.7.1. Daños físicos.....	17
2.7.2. Deterioro por microorganismos	17

2.7.3.	Alteraciones por crecimiento microbiano	17
2.7.4.	Factores ambientales	18
2.7.5.	Insectos y roedores	18
2.8.	MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	18
2.8.1.	Almacenamiento en frío	19
2.8.2.	Atmósfera controlada.....	19
2.8.3.	Atmósfera modificada	19
2.8.3.1.	Atmósfera modificada pasiva	20
2.8.3.2.	Atmósfera modificada activa	20
2.8.3.3.	Materiales para el envasado en atmósferas modificadas.....	21
CAPÍTULO III	23
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
3.1.1.	MATERIALES Y EQUIPOS	23
3.1.2.	MÉTODOS.....	24
3.1.3.	ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO TERMINADO.	24
3.1.4.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.1.5.	TRATAMIENTOS.....	25
3.1.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.1.7.	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	26
3.1.8.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	26
3.1.9.	ESQUEMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
3.1.10.	VARIABLES EVALUADAS.....	27
3.1.11.	MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	27
3.1.11.1.	Diagrama del flujo de almacenamiento del pepino dulce.....	27
3.1.11.2.	Descripción del proceso de almacenamiento del pepino dulce.....	29
3.1.12.	DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS	33
CAPÍTULO IV	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL PEPINO DULCE	40

4.2. COMPORTAMIENTO DE LA TASA DE RESPIRACIÓN DEL PEPINO DULCE EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS ACTIVAS.....	41
4.2.1. Respiración	41
4.2.2. Cinética del consumo de O ₂ y la producción de CO ₂	42
4.2.3. Tasa de respiración.....	44
4.2.4. Cinética de la tasa de respiración	44
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	46
4.3.1. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES EVALUADAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO	46
4.3.1.1. Sólidos solubles	46
4.3.1.2. pH	49
4.3.1.3. Acidez titulable	53
4.3.1.4. Ácido ascórbico.....	56
4.3.1.5. Dureza	61
4.3.1.6. Color	65
CAPITULO V	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1. CONCLUSIONES	67
5.2. RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas del fruto del pepino dulce (A – Muestra general. B – Fruto ovoide. C – Fruto acorazonado. D – Fruto alargado. E – Fruto esférico.).....	9
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de aplicación de atmósferas modificadas activas en pepino dulce.....	28
Figura 3. Frutos de pepino dulce	29
Figura 4. Recepción de la materia prima.....	29
Figura 5. Frutos de pepino dulce en buen estado	30
Figura 6. Lavado de los frutos de pepino dulce.....	30
Figura 7. Envasado del pepino dulce.....	31
Figura 8. Acondicionamiento de la fruta.....	32
Figura 9. Almacenamiento	32
Figura 10. Determinación de la acidez mediante titulación	33
Figura 11. Determinación del pH (potenciómetro)	34
Figura 12. Refractómetro de mesa (modelo 1310499).....	34
Figura 13. Determinación del ácido ascórbico por titulación.....	35
Figura 14. Calibrador tipo pie de rey.....	36
Figura 15. Espectrofotómetro (modelo Specord 250 plus)	37
Figura 16. Coordenadas CIELAB	37
Figura 17. Texturómetro (modelo EZ-9X).....	38
Figura 18. Tasa de respiración.....	39
Figura 19. Cinética del consumo de O ₂ y la producción de CO ₂ a 5°C	42
Figura 20. Cinética del consumo de O ₂ y la producción de CO ₂ a 8°C	43

Figura 21. Tasa de respiración (T8)	44
Figura 22. Cinética de la tasa de respiración del O ₂ y CO ₂ (5°C).....	45
Figura 23. Cinética de la tasa de respiración del O ₂ y CO ₂ (8°C).....	45
Figura 24. Cinética de la variable solidos solubles a 5 °C	48
Figura 25. Cinética de la variable solidos solubles a 8 °C	49
Figura 26. Cinética del pH a 5 °C	51
Figura 27. Cinética del pH a 8 °C	52
Figura 28. Cinética de la acidez titulable (ATT) a 5 °C.....	55
Figura 29. Cinética de la acidez titulable (ATT) a 8 °C.....	56
Figura 30. Cinética del ácido ascórbico a 5°C	59
Figura 31. Cinética del ácido ascórbico a 8°C	60
Figura 32. Cinética de la dureza a 5°C.....	63
Figura 33. Cinética de la dureza a 8°C.....	64
Figura 34. Representación del tono de color Hue*, Croma en la gráfica de color en pepino dulce en madurez fisiológica.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de pepino dulce en el Ecuador.....	4
Tabla 2. Exportación a distintos países.....	4
Tabla 3: Taxonomía del pepino dulce	8
Tabla 4: Información nutricional del pepino dulce en 100g.....	10
Tabla 5: Índice de madurez	14
Tabla 6: Métodos de conservación de frutas	18
Tabla 7: Permeabilidades de las películas disponibles para el envasado de productos frescos	22
Tabla 8: Localización del experimento.	23
Tabla 9: Variables y métodos	24
Tabla 10: Descripción y nomenclatura de los factores.....	25
Tabla 11: Descripción y nomenclatura de las unidades experimentales.	25
Tabla 12: ANOVA para el Diseño Completo al Azar	26
Tabla 13: Variables evaluadas durante la investigación.....	27
Tabla 14: Características fisicoquímicas	40
Tabla 15: Análisis de varianza solidos solubles (°Brix).....	46
Tabla 16: Análisis de varianza pH.....	50
Tabla 17: Análisis de varianza acidez titulable	53
Tabla 18: Análisis de varianza Ácido ascórbico	57
Tabla 19: Análisis de varianza dureza.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Interacción A*B sólidos solubles	76
Anexo 2: Significancia Duncan al 5% Sólidos Solubles	76
Anexo 3: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) solidos solubles.....	76
Anexo 4: Interacción A*B pH.....	77
Anexo 5: Significancia de Duncan al 5% pH.....	77
Anexo 6: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) pH	77
Anexo 7: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) pH.....	77
Anexo 8: Interacción AxB acidez titulable	78
Anexo 9: Significancia Duncan al 5% acidez titulable.....	78
Anexo 10: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) acidez titulable....	78
Anexo 11: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) acidez titulable	78
Anexo 12: Interacción AxB ácido ascórbico	79
Anexo 13: Significancia de Duncan al 5% ácido ascórbico	79
Anexo 14: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) ácido ascórbico ...	79
Anexo 15: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) ácido ascórbico	79
Anexo 16: Interacción A x B dureza (kg ^f)	80
Anexo 17: Significancia Duncan al 5% dureza.....	80
Anexo 18: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) dureza	80
Anexo 19: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) dureza	80
Anexo 20: Análisis de varianza Luminosidad	81

Anexo 21: Análisis de varianza Hue*	81
Anexo 22: Análisis de varianza Cromo.....	81

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

El manejo postcosecha de las frutas, verduras y hortalizas, depende del conocimiento de las características que presenta cada producto para poder establecer un almacenamiento adecuado. El pepino dulce *Solanum muricatum*, presenta síntomas de senescencia en un tiempo de 15 días posteriores a su cosecha en un estado maduro, esto se debe a que después de ser cosechada consume oxígeno y produce dióxido de carbono, proceso que genera cambios en sus características físicas tales como daños en la piel o deshidratación, con lo que su apariencia desmejora volviéndose poco llamativa para el comprador y de esta manera genera pérdidas económicas en el proceso postcosecha tanto para los productores como para los comerciantes.

Es necesario buscar alternativas para mejorar la conservación del producto, alargar su tiempo de vida útil, conservar la calidad y disminuir la pérdida durante toda la fase de postcosecha, mejorando su comercialización. Se han desarrollado distintos métodos de conservación de frutas a lo largo de la historia, sin embargo, la aplicación de atmósferas modificadas activas en la conservación de pepino dulce, es una investigación poco desarrollada, por lo cual existe escaso conocimiento sobre el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de la fruta bajo estas condiciones. El presente trabajo busca llenar este vacío bajo la aplicación de distintas atmósferas en la conservación del pepino dulce y con ello conocer la conducta de sus principales características.

1.2.ANTECEDENTES

Según el estudio realizado por Lanchero, Velandia, Fischer, Varela, y García, (2007), sobre el comportamiento de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) en postcosecha bajo condiciones de atmosfera modificada activa, uno de los principales factores que intervienen en la senescencia de la fruta es la apropiada conservación, siendo un inconveniente para la exportación del producto hacia países lejanos ya que no existe la adecuada preservación de las características fisicoquímicas, sensoriales, de apariencia, etc.

La técnica de atmósfera modificada activa crea un microambiente que permite controlar la velocidad respiratoria de la fruta, los microorganismos que producen la senescencia y la mayoría de reacciones de maduración en los frutos durante el almacenamiento, el estudio realizado por los autores ya mencionados tuvo como propósito determinar la mezcla de gases y el tipo de película de empaque a emplear para una adecuada conservación de la uvilla.

Para este experimento se clasificó la fruta en dos grupos (con y sin cáliz), tomando en cuenta dos factores para el diseño experimental, el tipo de película del empaque de almacenamiento (pilietilentereftalato-polietileno, polipropileno biorientado-polietileno y polyolefin) y la concentración de gases en la atmósfera (5% CO₂ y 5% O₂; 5% CO₂ y 10% O₂; mezcla comercial y mezcla ambiental).

En esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con testigos, con 13 tratamientos como resultado de la combinación de 3 empaques diferentes y 4 mezclas de gas más un testigo (sin empaque) para cada tipo de fruta. La unidad experimental constó de 75 g de uvilla que estuvieron empacadas y almacenadas a una temperatura de 7°C por un mes; durante el almacenamiento se evaluó el comportamiento de sólidos solubles, pH, firmeza, acidez titulable, pérdida de peso, e índice de madurez, la toma de datos de las variables físicas y químicas se realizó una vez por semana. Obtuvieron como resultados que, los frutos con cáliz conservaron mejor la firmeza y la película de polyolefin mostró el mejor comportamiento donde los frutos presentaron un índice de madurez de 9.9 y una pérdida de peso fresco de 0.75%; para las distintas concentraciones de gas no se encontraron diferencia significativa y los frutos almacenados sin empaque (testigos) perdieron 4.58% de su peso inicial mientras los almacenados en empaque plástico y atmósfera artificial perdieron un promedio de 0.48%.

Galletti, Berger, Drouilly, y Lizana, (2006) en su investigación sobre las atmosferas modificadas sobre el pepino dulce mencionan que esta fruta presenta cambios mínimos bajo condiciones modificadas, temperaturas de almacenamiento y distintos polímeros que dan lugar a la permeabilidad del oxígeno del exterior hacia el interior del envase que contiene la unidad experimental.

1.3.JUSTIFICACIÓN

El pepino dulce es una fruta de producción permanente, la cual entre su composición tiene calcio, potasio, fibra soluble, propiedades antioxidantes, vitamina C, vitamina A y otros minerales que representan un aporte nutricional y funcional para el organismo (Viñals y Martínez, 1996).

Luego de la cosecha, estas propiedades disminuyen y se conoce que esta degradación está estrechamente asociada a la tasa de respiración de la fruta. Mayores tasas de respiración inciden directamente en la aceleración de la senescencia, es por ello que el tiempo útil del pepino dulce depende de la tasa de respiración, la cual puede ser controlada al bajar la temperatura de conservación y/o al modificar la atmósfera en donde se almacena.

En el estudio que realizaron Romero, Serrano y Valero (2003), se comprueba que el pepino dulce posee una tasa de respiración de $3.58 \pm 0.58 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en un estado de madurez fisiológico (verde). Por su parte la uvilla es una fruta de un corto tiempo de vida útil y su tasa de respiración oscila en $10 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 10°C , fruta en la cual se aplica los procesos de atmósferas controladas o atmósferas modificadas para su conservación, en este sentido a pesar de que la tasa de respiración del pepino dulce es poco menos de la mitad de la de la uvilla se busca desarrollar la presente investigación para incentivar la exportación del producto mencionado, de manera que sus propiedades puedan verse afectadas en menor medida, para que el consumidor final pueda favorecerse de los beneficios.

Debido a lo anterior el propósito de la investigación es conservar las características de la fruta como la apariencia, características fisicoquímicas y la composición nutricional durante el tiempo, evitando daños en la piel. Lo anterior se pretende realizar mediante la disminución de los niveles de oxígeno y la modificación de la composición de los gases como el CO_2 y el Nitrógeno, logrando con esto reducir la tasa de respiración del pepino dulce posibilitando la aplicación de la tecnología en la exportación de la fruta hacia lugares lejanos.

Los principales destinos de exportación son los países europeos y norteamericanos, puesto que el consumo de frutas tropicales aumenta especialmente en la época de verano, estas naciones tienen un déficit importante de agua y por ende la demanda de este tipo de productos jugosos, dulces y apetitosos aumenta. El pepino dulce debe cumplir con los requerimientos

fisicoquímicos necesarios y estar exento de todo daño físico para poder ser exportado, lo cual ya se realiza en el Ecuador. Las tablas 1 y 2 muestran la producción anual del pepino dulce desde el 2010 al 2013 y el incremento de las toneladas exportadas del año 2010 al 2011 respectivamente.

Tabla 1. Producción de pepino dulce en el Ecuador

Años	Área cosechada (Hectáreas)	Total (Toneladas)
2010	400	3250
2011	500	4000
2012	589	4920
2013	430	3450

Fuente: Chamorro (2014).

Tabla 2. Exportación a distintos países

2010								
(Toneladas)								
Bélgica	Canadá	Francia	Alemania	Países Bajos	Antillas Holandesas	España	Reino Unido	Estados Unidos
3	1	10	11	57				13
2011								
(Toneladas)								
Bélgica	Canadá	Francia	Alemania	Países Bajos	Antillas Holandesas	España	Reino Unido	Estados Unidos
3	12	52	21	160	3	1		33

Fuente: Chamorro (2014).

Se puede observar claramente que la producción, ha ido en aumento lo mismo que la cantidad del fruto exportado, siendo necesario incentivar este mercado a través de investigaciones como la propuesta en este trabajo. Por último, la conservación es un factor importante en la vida útil de un producto por ello se ha visto la necesidad de buscar una técnica para mejorar e incrementar el tiempo útil, conservar la calidad e incluso facilitar el transporte y mejorar la comercialización del pepino dulce.

1.4.OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de atmósferas modificadas activas y temperatura de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de ácido ascórbico del pepino dulce *Solanum muricatum*.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima mediante análisis fisicoquímico para la homogenización de las unidades experimentales.
- Valorar el comportamiento de la tasa de respiración del pepino dulce en distintas concentraciones de gases en atmósferas modificadas activas y a distintas temperaturas de almacenamiento.
- Estudiar el efecto de las distintas atmósferas modificadas activas y temperatura de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de ácido ascórbico del pepino dulce.

1.5.HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.5.1. Hipótesis alternativa:

La concentración de la mezcla de los gases (dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno) a distintas temperaturas afecta las propiedades fisicoquímicas, el contenido de ácido ascórbico y la tasa de respiración del pepino dulce.

1.5.2. Hipótesis nula:

La concentración de la mezcla de los gases (dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno) a distintas temperaturas no afecta las propiedades fisicoquímicas, el contenido de ácido ascórbico y la tasa de respiración del pepino dulce.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.EL PEPINO DULCE (*Solanum muricatum* Ait.)

El pepino dulce, es una especie que se origina en la zona andina de Sudamérica; en Chile es un cultivo tradicional de climas templados o tropicales con influencia costera, ésta se cultiva por su fruto, que es jugoso y visualmente atractivo, existen variedades con buenas características aromáticas que se utilizan como producto fresco, mientras que otras se consumen normalmente como ensalada. La forma de uso puede variar también en función del estado de madurez (Viñals y Martínez, 1996).

La vida de postcosecha del pepino dulce es de tiempo limitado, aproximadamente de 15 días en un estado de madurez comercial. Uno de sus principales atractivos es su apariencia física, su aspecto succulento, con la piel libre de la presencia de colores extraños o golpes; sin embargo, la deshidratación es uno de los principales problemas que presenta esta fruta durante la postcosecha, afectando su presentación comercial (Galletti et al., 2006).

2.1.1. Morfología y taxonomía

Según Viñals y Martínez (1996), describen que *Solanum sect. Basarthurum* es una sección del género *Solanum* el cual está compuesto por 22 especies, de las cuales *Solanum muricatum* es la única realmente cultivada, los frutos de las otras especies se recolectan y consumen de manera ocasional y no como un cultivo desarrollado, se han realizado varios estudios sobre los ancestros y evolución de esta fruta sin embargo aún no se ha establecido un resultado de manera segura, morfológicamente se basaron en las relaciones de cruzabilidad, morfología del polen, flavonoides foliares, análisis del ADN, cromosomas meióticos, entre otros.

No se conoce en estado silvestre del pepino dulce y es el único miembro de la serie Muricata, sin embargo, *Solanum muricatum* está estrechamente relacionado con un grupo de especies pertenecientes a la serie Caripensa. Entre los miembros es esta serie, las especies que se han considerado como involucradas en el origen de esta fruta son *S. caripense*, *S. tabanoense*, *S.*

basendopogon y *S. cochoae*. La clasificación taxonómica del pepino dulce (*Solanum muricatum*) se describe en la tabla 3.

Tabla 3: Taxonomía del pepino dulce

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>S. muricatum</i>

Fuente: Alcaráz (1987).

2.1.2. Características

La planta de pepino dulce es de tipo arbustivo, alcanza entre 40 y 80 cm de altura, se ramifica desde el suelo desarrollándose de forma rastrera si se la deja crecer libremente.

Los tallos son herbáceos en un principio, se van lignificando con el tiempo hasta adquirir un aspecto leñoso, sobre todo en la base de la planta. La mayoría de los cultivares son de color verde, con algunas pigmentaciones oscuras en las zonas próximas a los nudos, aunque en algunos, toda la superficie presenta una fuerte pigmentación (Viñals y Martínez, 1996).

Las hojas son de forma alargada, más o menos lanceoladas, siendo en ocasiones de bordes ligeramente aserrados. Su longitud varía desde unos 10 a 12 cm hasta más de 30 cm dependiendo de su posición en la planta y en gran medida, de las condiciones de suelo y clima en las que se desarrolla la planta (Viñals y Martínez, 1996).

El sistema radicular del pepino dulce es muy ramificado y bastante superficial. Los tallos, en contacto con el suelo húmedo, emiten raíces con enorme facilidad, la propagación se realiza normalmente de forma vegetativa, mediante pequeños esquejes o estacas, aprovechando la facilidad de enraizamiento (Viñals y Martínez, 1996).

Las flores son hermafroditas, aparecen en racimos pseudoterminales con un número de flores variable generalmente entre 5 y 20, estos son normalmente simples, pero dependiendo del

genotipo y de las condiciones ambientales, el eje principal de la inflorescencia puede ramificarse y dar lugar a ramilletes compuestos (Viñals y Martínez, 1996).

La forma de la baya es muy variable, hay cultivares con frutos de forma ovoide, que es la más corriente, pero los hay también con frutos acorazonados, o alargados casi cilíndricos, o incluso con formas prácticamente esféricas como se muestra en la figura 1. En la madurez, el fruto presenta un color de fondo amarillo, y está normalmente surcado por vetas de color púrpura. En algunos cultivares el color de fondo es amarillo claro, casi crema, mientras en otros es amarillo dorado (Viñals y Martínez, 1996).

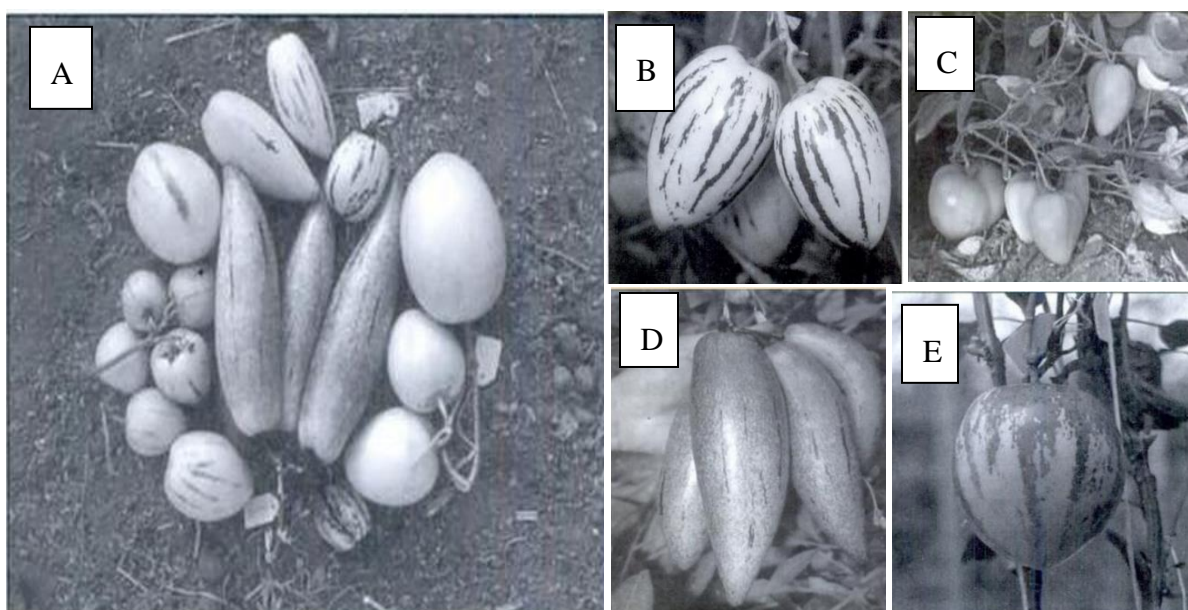


Figura 1. Formas del fruto del pepino dulce (A – Muestra general. B – Fruto ovoide. C – Fruto acorazonado. D – Fruto alargado. E – Fruto esférico.)

Fuente: Viñals y Martínez, (1996).

Las semillas son muy pequeñas: un gramo puede contener de 600 a 900 semillas, las cuales presentan un comportamiento ortodoxo a la conservación en ambientes secos y frescos (Viñals y Martínez, 1996).

2.1.3. Composición e información nutricional

Según Redgwell y Turner (1986) la mayor parte de los estudios realizados acerca de los componentes del fruto de pepino dulce se centran tan solo en unos pocos, como los sólidos solubles, acidez, ácido ascórbico y otros, mientras que en su variación se destaca el tipo de

cultivar, el abonado, la salinidad y otros factores. Solo unos pocos trabajos profundizan en ello, siendo la mayoría folletos o informes divulgativos de países de la región andina o de Nueva Zelanda. No obstante, y de forma general, el fruto del pepino dulce presenta un alto porcentaje de agua, y un nivel calórico muy bajo. Su contenido en proteínas, fibra y minerales es también bajo, a excepción del potasio. Cabe resaltar su contenido en vitamina C, que, si bien es variable según el genotipo, la forma de cultivo y las condiciones ambientales, suele ser de aproximadamente 26 mg/100g de fruta fresca, superando incluso los niveles en que se encuentran la mayoría de frutos, incluyendo los cítricos. En la tabla 4 aparece la información nutricional del pepino dulce.

Tabla 4: Información nutricional del pepino dulce en 100g

Componentes	Porcentaje
Calorías (g)	25.00
Agua (%)	92.40
Proteínas (g)	0.40
Carbohidratos (g)	6.30
Fibra (g)	0.50
Cenizas (g)	0.10
Calcio (mg)	21.00
Fósforo (mg)	13.00
Potasio (mg)	117.00
Hierro (mg)	0.00
Sodio (mg)	1.00
Azufre (mg)	0.00
Vitamina A (mg)	20.00
Vitamina B1 (mg)	0.09
Vitamina C (mg)	26.00
Niacina (mg/100g)	0.60
Riboflavina (mg/100g)	0.04
Porción no comestible (%)	12.00

Fuente: Viñals y Martínez (1996)

El pepino dulce (*Solanum muricatum*) tiene un aporte de calorías muy bajo. Las concentraciones de proteína, fibra y minerales no son nutricionalmente significativas, con la excepción del

contenido en potasio, que se encuentra a niveles de 120mg/100g. El contenido en nitrógeno total es excepcionalmente bajo, comparado con la gran mayoría de las frutas en general, adicionalmente el contenido en vitamina C es de aproximadamente 26.00mg/100g (Viñals y Martínez, 1996).

Por otro lado, existe una gran variedad de aromas en el fruto de pepino dulce, y estos dependen en gran medida del cultivar en cuestión, encontrándose desde cultivares con aromas exóticos y frutales y otros con un aroma más herbáceo, similar al de una hortaliza. Las concentraciones más altas de los constituyentes volátiles del aroma se encuentran mayormente en la pulpa, y menos en la piel (Silla, 2014).

2.1.4. Usos e importancia económica

Los frutos de pepino dulce pueden consumirse como postre, en el caso de los cultivares que presentan frutos más aromáticos, o como componentes de ensaladas y alimento refrescante, en el caso de los cultivares que presentan frutos más ácidos y con menos azúcares (Nuez, Morales, Ruiz, Valdivieso y Gonzáles, 2006). También es posible su consumo en zumos o en platos y postres más elaborados. Su uso como hortaliza se limita a las regiones donde se cultiva de forma tradicional, tales como Colombia, Perú y Ecuador (Schwartz y Núñez, 1998).

Según Ren y Tang (1998) reportan que aparte de su uso alimentario también han sobresalido sus propiedades medicinales, se puede emplear como diurético, antioxidante entre otras, esto es muy probablemente debido a su alto contenido en agua, e incluso se ha descrito actividad antitumoral de su extracto acuoso contra diferentes tipos de células cancerosas. Su alto contenido en vitamina C es otra de sus características favorables.

En cuanto a la importancia económica del pepino dulce, solo se cultiva comercialmente en Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú, Chile y Nueva Zelanda, no se disponen de datos fiables de producción a nivel internacional, y por ello es difícil determinar la importancia económica de esta especie.

2.1.5. Producción de pepino dulce en Imbabura

El pepino dulce es una fruta de producción permanente en la provincia de Imbabura, por esta razón es importante realizar un estudio productivo y de postcosecha puesto que de acuerdo a los

resultados del tamaño del producto que se obtengan en la investigación se podría incluso pensar en un proyecto de exportación hacia países lejanos.

Lamentablemente su cultivo ha ido desapareciendo por factores como la falta de conocimiento en el manejo y la migración de los agricultores en búsqueda de oportunidades laborales ajenas a la agricultura, en Pimampiro, parroquia de San José antiguamente existía una variedad específica conocida como “Amarillo redondo de Pimampiro” que era propio del lugar, en la actualidad ha desaparecido y ahora en el cantón de Antonio Ante se produce una variedad llamada “verde puntón rayado” que es procedente de Tungurahua, en este cantón existen cultivos de dos hectáreas de extensión y debido a la similitud con la actividad agrícola de las papas y por ello se ha podido manejar, su densidad es de 45000 plantas / hectárea, cada planta produce 3 kilogramos de frutos (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca [MAGAP], 2017).

2.2.MADUREZ

La madurez se caracteriza por una serie de transformaciones en la consistencia, sabor, aroma y color de la fruta, ésta es la última etapa dentro del proceso de maduración, es la fase en la cual un producto ha alcanzado un estado suficiente de desarrollo después de la cosecha y el manejo postcosecha, en esta etapa se espera que su calidad sea aceptable por el consumidor (Zapata y Rico, 2017).

Se conoce como madurez fisiológica al grado óptimo de corte o de cosecha en el que todas las partes del fruto se ha desarrollado completamente, en este estado se permite un máximo aprovechamiento, y es apta para la reproducción (Enríquez, 1994).

Se conoce como madurez de cosecha a la etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta, cuando ya es apta para el desprendimiento de la planta y puede llegar a desarrollar madurez de consumo posteriormente a esta separación (Camelo, 2003).

La madurez comercial es un estado en el cual el fruto ya es requerido en el mercado, esta madurez se alcanza mucho antes que la fisiológica, no tiene relación con la madurez de consumo (Camelo, 2003).

La madurez de consumo es el momento en el que alcanzan las mejores características sensoriales como el sabor, dureza, color, aroma y consistencia siendo una fruta adecuada para el consumo (Bartrina, Majem, Rodrigo y Anta, 2006).

2.3.ÍNDICE DE MADUREZ

El índice de madurez del pepino es un tema a discusión de muchos autores en los que, varios de ellos llegan a la conclusión de que este estado depende de las condiciones ambientales y la variedad de pepino que se está produciendo. En los países de América del Sur como Perú, Colombia y Ecuador, se cosecha la fruta en un estado de madurez muy temprano (inmaduro) para facilitar su manejo y transporte, ya que el pepino dulce es muy propenso a presentar senescencia por golpes durante la postcosecha (Viñals y Martínez, 1996). En Australia la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1982) propuso como índices para evaluar la madurez de los frutos de pepino dulce los siguientes:

- Color de la piel
- Resistencia a la presión medida con penetrómetro
- Porcentaje de jugo
- Contenido de sólidos solubles estimado por refractómetro.

Así, para el cultivar Golden Splendour, y para su uso como fruta, se recomienda las siguientes características:

- Color de fondo de la piel amarillo dorado
- Resistencia a la presión de 2kg/cm²
- Mínimo de 40 por ciento de jugo
- Contenido en sólidos solubles de 9°Brix.

En la tabla 5 se muestran dos estados de madurez, con sus respectivas características fisicoquímicas.

Tabla 5: Índice de madurez

Madurez	Color	Firmeza (kg)	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable (%)
M1	Verde	5.5	5.4	0.17
M2	Verde pálido	5.2	5.8	0.07

Fuente: Galletti et al. (2006)

Según la Biblioteca Venezuela (IICA, 1987), el índice de madurez de las frutas se puede determinar mediante varios métodos, por ejemplo, por medios visuales analizando el color de la piel (tablas o colorímetros) o de la pulpa, verificando la presencia de hojas externas secas y el secamiento del cuerpo de la planta o el llenado del fruto, así como también por el color de la pulpa. Por medios físicos se pueden destacar, la facilidad de absorción, la consistencia (firmeza) y mediante el peso específico del pepino dulce; a su vez se puede determinar el índice de madurez mediante análisis químicos como la determinación de sólidos solubles totales (SST), determinación de ácidos y la proporción entre SST y ácidos (razón de madurez).

Por medio de cálculos se puede estipular el índice de madurez de las frutas tomando como datos los días transcurridos a partir de la floración, también el periodo vegetativo establecido y las unidades de calor y finalmente se puede determinar por métodos fisiológicos, mediante la intensidad respiratoria de las frutas (período climatérico).

2.4.RESPIRACIÓN

La respiración en las frutas se define como el consumo de oxígeno y la producción de CO₂ incluso después del desprendimiento de la planta ocasionado por proceso metabólico por el cual las células transforman la energía de materiales orgánicos almacenados (proteínas, lípidos y carbohidratos) en productos más simples con desprendimiento de energía. Durante la fase de postcosecha se ha observado que las frutas con altas tasas de respiración presentan una vida de anaquel más corta, alterando su apariencia, aumentando la senescencia (Ulloa, 2007).

Según IICA, (1987), entre los factores que influyen en la respiración se encuentra los internos, como el estado de desarrollo, la composición química del tejido, el tamaño del producto, las cubiertas naturales y el tipo de tejido, y entre los externos destacan la temperatura, acción y

concentración de etileno, concentración de oxígeno y de anhídrido carbónico, en la atmósfera reguladores del crecimiento y lesiones en las frutas.

2.5.TASA DE RESPIRACIÓN

Según García y Peña (2012), la tasa de respiración es aquella que indica la rapidez con la cual se producen los cambios en la composición de un producto y se determina por la tasa de producción de dióxido de carbono, el cual se reporta como peso de CO₂ producido por unidad de peso de fruta en un intervalo de tiempo (mgCO₂/kg h). El patrón de respiración indica el cambio en la tasa de respiración con el tiempo y se describe gráficamente como una curva. Con base en los patrones respiratorios durante la maduración, los frutos pueden ser clasificados en dos grupos: climatéricos y no climatéricos. La tasa de respiración es un buen índice de longevidad del fruto después de cosechado, entre mayor sea la respiración menor será el tiempo de vida útil en el almacenamiento, produciendo un deterioro en la calidad y valor nutricional. La medición se puede realizar mediante un analizador de gases, el cual es el encargado de mostrar el contenido de CO₂ existente en la atmósfera dentro del envase hermético con posibilidad de toma de muestras.

Según Angós (2008), el cálculo de la tasa de respiración se puede realizar mediante la ecuación 1.

$$RCO_2 = \frac{(y^{t_f} - y^{t_i}CO_2) \times V}{100 \times M \times (t_f - t_i)} \quad (1)$$

Donde:

RCO₂ = es la tasa respiratoria de producción de CO₂, en mL·kg⁻¹·h⁻¹

t_f - t_i = es el intervalo de tiempo entre muestreos, en horas.

y^{t_i} e y^{t_f} = son las concentraciones volumétricas de gas en los instantes inicial (t_i) y final (t_f) del intervalo de muestreo, en % (v/v).

M= es la masa de pepino dulce envasada, en kg.

V= es el volumen libre del envase, en mL (vol. envase – vol. Pepino dulce)

En la investigación realizada por Romero et al. (2003), se utilizó pepino dulce en tres estados de madurez (de inmaduro a maduro): verde, verde claro y verde amarillento, y tres temperaturas de almacenamiento: 20, 10 y 1°C. Se distribuyeron aleatoriamente en tres lotes de 28 frutos y se almacenaron en cámaras de temperatura controlada, en la oscuridad y 90% de HR, la fruta sufre de lesión por enfriamiento si se almacena a menos de 5°C, como son graves daños en la superficie y la decoloración interna, para la toma de datos de la producción de etileno y CO₂ se midió diariamente para cada temperatura de almacenamiento, colocando cada fruta en un frasco de vidrio de 3 litros sellado herméticamente con un tapón de goma durante 1 h, para las tasas de respiración, se retiró una muestra de 1 ml de la atmósfera y se cuantificó el CO₂ utilizando un cromatógrafo de gases Shimadzu TM 14, con un detector de conductividad térmica y los resultados se expresaron en mg kg⁻¹ h⁻¹. Al finalizar el experimento se obtuvieron los siguientes datos; las tasas de respiración al inicio fueron 3.58± 0.58, 5.30 ± 0.76 y 7.06 ± 0.66 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ en los pepinos verde, verde claro y verde amarillento, respectivamente. En el verde amarillento, la tasa de respiración disminuyó lentamente durante el almacenamiento a 20 ° C, mientras que en los pepinos verde y verde claro permaneció casi sin cambios; a 10 °C la tasa de respiración no mostró cambios significativos en todas las etapas de maduración, siendo que la temperatura es significativamente más baja que en los pepinos almacenados a 20 ° C, a 1°C la tasa de respiración fue menor en pepinos cosechados en estados verde y verde claro, mientras que los pepinos en la etapa verde amarillento mostraron una tasa de respiración significativamente mayor durante las primeras 2 semanas de almacenamiento.

2.6.PRODUCCIÓN DE ETILENO

El etileno es el más simple de todos los compuestos orgánicos que afectan a los procesos fisiológicos de las plantas, es un producto natural del metabolismo de los tejidos vegetales y su velocidad de producción depende de cada fruta, así como de su índice de madurez. Funciona como hormona y regula muchos aspectos de crecimiento, desarrollo y senescencia y es fisiológicamente activo a niveles menores a 0.1ppm (Ulloa, 2007).

2.7.CAUSAS EXTRÍNSECAS DE DETERIORO

Dentro de las principales causas extrínsecas que afectan al deterioro y la pérdida de calidad de las frutas están los daños físicos por microorganismos, factores ambientales e insectos y roedores según Ulloa, (2007).

2.7.1. Daños físicos

Se refiere como daños físicos a las alteraciones en su apariencia, por raspaduras de la piel, magulladuras o golpes durante la recolección y postcosecha, los daños mecánicos también causan cambios en la apariencia del fruto, a su vez ocasionan la aceleración en la pérdida de agua, estimulan la alta producción de etileno afectando la calidad del producto, el deterioro por microorganismos generalmente se da posterior al daño mecánico puesto que permite la permeabilidad de estos a la pulpa.

2.7.2. Deterioro por microorganismos

Los microorganismos (m/o) utilizan a los alimentos como fuente de nutrientes para su crecimiento, ocasionando la alteración de las características propias de las frutas y con ello su deterioro, al utilizar los nutrientes del producto los m/o producen modificaciones enzimáticas y cambian el sabor y olor mediante el desdoblamiento de determinadas sustancias o la síntesis de nuevos compuestos. Cada microorganismo tiene un pH mínimo, óptimo y máximo de crecimiento, es necesario el conocimiento sobre este aspecto para que el almacenamiento sea el adecuado para cada producto y así evitar el crecimiento microbiano y pérdidas del fruto u hortaliza.

2.7.3. Alteraciones por crecimiento microbiano

Es probable que durante la cosecha las frutas presenten humedad en la superficie o se encuentren dañadas físicamente, si el producto presenta estas condiciones el crecimiento de los microorganismos aumenta rápidamente durante el tiempo que transcurre luego de la recolección, estos pueden ser propios del producto, procedentes del suelo, del agua, del aire o m/o patógenos de las plantas.

2.7.4. Factores ambientales

Los factores ambientales como la luz, el calor y la humedad del aire pueden actuar conjuntamente para deteriorar un producto en el campo o durante el almacenamiento, pueden afectar simultáneamente la multiplicación y actividad de los microorganismos, así como los fenómenos químicos o biológicos del alimento.

2.7.5. Insectos y roedores

El contacto y acción de los insectos, parásitos o roedores afectan a la calidad de la fruta. Teniendo en cuenta que los insectos pueden causar picaduras en la piel de la fruta, transmitiendo microorganismos dañinos estas picaduras también pueden atraer al mosquito común de la fruta. Por otro lado, los roedores no solo afectan la postcosecha por la cantidad de alimento que se pueden comer, sino que también generan daños por la contaminación que producen con su orina y excrementos que provocan enfermedades humanas.

2.8.MÉTODOS DE CONSERVACIÓN DE LOS ALIMENTOS

La aplicación de los principios y fundamentos en los que se basa la conservación de alimentos han dado origen a una gran diversidad de métodos como alternativas de postcosecha en los alimentos como se menciona en la tabla 6.

Tabla 6: Métodos de conservación de frutas

Métodos	Ejemplos
De corta duración	Refrigeración Refrigeración con almacenamiento en atmosfera controlada Empleo de sistemas de embalaje que incluyen almacenamiento con gases inertes como nitrógeno o dióxido de carbono.
Tratamientos químicos	Empleo de depresores de la actividad acuosa (sal, azúcar), ácidos orgánicos y antimicrobianos. Esterilización por calor Pasteurización
Tratamientos físicos	Deshidratación y concentración Congelación Irradiación

Fuente: Ulloa (2007)

Para la conservación y almacenamiento de los productos es necesario primero la clasificación en tamaño, color y que esté exento de impurezas porque puede afectar el tiempo de vida útil del pepino dulce. La mayoría de los productos frescos son perecederos por lo que es necesario la conservación mediante el método más adecuado para alargar el tiempo útil de la fruta (Rivero y Moreno, 2015). En general se pueden aplicar los siguientes métodos de conservación en frutas y hortalizas.

2.8.1. Almacenamiento en frío

Para el almacenamiento en frío de productos agrícolas es conveniente que no haya una gran diferencia entre la temperatura que trae el producto del campo y transporte, y la que va a tener en la cámara de frío, ya que esto puede crear la aparición de daños en los productos; este escalonamiento de las temperaturas se consigue mediante la realización del “pre enfriamiento”, proceso que consiste en bajar la temperatura de los frutos, siendo especialmente importante en frutas y verduras. Este proceso debe llevarse a cabo en un lapso de tiempo corto tras la recolección, no debiendo superar a las 15 horas posteriores (Rivero y Moreno, 2015).

2.8.2. Atmósfera controlada

La atmosfera controlada es una técnica de conservación basada en la respiración de los frutos, ésta consiste en la reducción de los niveles de oxígeno y el aumento de los niveles de CO₂ presentes en la atmósfera de almacenamiento, está asociada a un control de la temperatura de la cámara, por lo que además de los gases, se controlan la humedad, la temperatura y la circulación de aire. Esto hace que se ralentice la actividad bioquímica, y por tanto la respiración, retrasando así la maduración del producto (Rivero y Moreno, 2015).

2.8.3. Atmósfera modificada

Según Meneses y Valenzuela, (2008), la técnica de conservación en atmosfera modificada (AM) consiste en empaquetar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. La atmósfera gaseosa cambia continuamente durante todo el período de almacenamiento por la influencia de varios factores como la respiración de la fruta

envasada, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase. El envasado en atmosfera modificada (AM) es un método de empaquetado que implica la sustitución del aire del ambiente interno de la bolsa por una composición de mezcla de gases que puede ser impuesta desde un inicio (atmósfera modificada activa) o modificada directamente por la fruta almacenada (atmósfera modificada pasiva), a continuación, se definirán en mayor medida estos conceptos.

En la mezcla de gases las altas concentraciones de CO₂ (superiores al 20%) inducen reacciones anoxigénicas, concentraciones de O₂ inferiores al 2.5% aumentan la producción de anhídrido carbónico y generan sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O₂. A niveles del 1% de O₂ se han detectado sabores alcohólicos en manzanas, plátanos, aguacates, alcachofas y pimientos, todo esto hace que en casos excepcionales no se recomienda el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de O₂ inferiores al 2% y el nitrógeno es el principal componente del aire, en una proporción del 78% en volumen (Meneses y Valenzuela, 2008).

2.8.3.1. Atmósfera modificada pasiva

Después de la cosecha, las frutas siguen consumiendo O₂ y produciendo CO₂ y vapor de agua, el envasado pasivo se lleva a cabo por la respiración del producto y permeabilidad de la película que la recubre, se puede desarrollar una atmósfera adecuada pasivamente dentro de un envase sellado a través del consumo de O₂ y producción de dióxido de carbono por respiración. La permeabilidad al gas de la película plástica seleccionada debe permitir que el oxígeno entre al envase a una velocidad compensada por el consumo de O₂ por el producto, así de la misma manera debe descargar el CO₂ del envase para compensar su producción por el producto (Kader, 2007).

2.8.3.2. Atmósfera modificada activa

La atmósfera modificada activa o también llamada envasado activo se puede hacer creando un ligero vacío y reemplazando la atmósfera del envase con la mezcla de gases deseada, esta mezcla puede ser ajustada posteriormente por medio del uso o incorporación de ciertos aditivos absorbentes o adsorbentes a la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera en el que se encontrará la fruta, entre estos se pueden encontrar absorbedores de O₂,

absorbedores-liberadores de CO₂, liberadores de etanol y absorbedores de etileno (pueden ayudar a retardar la elevación climatérica en la respiración de algunos frutos). Los costos son elevados a comparación de la AM pasiva puesto que se aplican aditivos extra, sin embargo, la modificación activa tiene como ventaja asegurar el establecimiento rápido de la atmósfera deseada (Kader, 2007).

El embalaje activo es, sin duda, una de las innovaciones más importantes en este campo. Los paquetes activos están diseñados para desempeñar un papel distinto de proporcionar una barrera inerte entre el producto y el entorno exterior, utilizando las posibles interacciones entre el alimento y el envase de una manera positiva para mejorar la calidad del producto y la aceptabilidad. El envasado activo de alimentos es un concepto heterogéneo que abarca una amplia gama de posibilidades que pueden agruparse globalmente en dos objetivos principales prolongar la vida útil y facilitar el procesamiento y el consumo de alimentos (Álvarez, 2000).

En el primer caso, las soluciones de envasado activo incluyen los sistemas estudiados para controlar los mecanismos de deterioro dentro del envase (es decir, captadores de oxígeno, absorbentes de humedad o agentes antimicrobianos). En relación al segundo objetivo, el empaquetamiento activo nos permite emparejar el envase con las propiedades de los alimentos, reducir los costos de procesamiento, o incluso realizar algunas operaciones de procesamiento en paquete o controlar la historia y calidad del producto (Álvarez, 2000).

2.8.3.3. Materiales para el envasado en atmósferas modificadas

La selección de la película o empaque a utilizar está relacionada con el tiempo que se desee que la fruta permanezca empaquetada, así como con la temperatura del sitio de conservación, en un estudio realizado sobre la conservación del kiwi (*Actinidia chinensis*) se utilizaron envases de polietileno de baja densidad puesto que según los resultados obtenidos, con este material existe menor pérdida fisiológica de peso y se conservaron de manera efectiva las características de la fruta (Ramírez, Zaragoza, Meléndez, y Román, 2003) varios de los materiales más usados en atmósferas modificadas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Permeabilidades de las películas disponibles para el envasado de productos frescos

Tipo de película	Permeabilidades (cc/m ² /mil/día/a 1 atm) cociente		
	CO ₂	O ₂	CO ₂ /O ₂
Poliéster	180 - 390	52-130	3.0-3.5
Poliétileno, baja densidad	7 700-77 000	3 900-13 000	2.0-5.9
Polipropileno	7 700-21 000	1 300-6 400	3.3-5.9
Poliestireno	10 000-26 00	2 600-7 700	3.4-3.8
Cloruro de polivinilo	4 263-8 138	620-2 248	3.6-6.9

Fuente: Kader (2007)

Según Meneses y Valenzuela (2008), el polietileno de baja densidad (LPDE) presenta una inercia química relativa y su permeabilidad es moderadamente baja al vapor de agua, pero alta para el O₂. En general, la permeabilidad a los gases es alta, y también presenta un reducido efecto barrera frente a olores; los aceites esenciales pasan rápidamente a través de los polietilenos de baja densidad. Relacionado con el LDPE está el etileno-acetato de vinilo (EVA), un copolímero de etileno y acetato de vinilo (normalmente con más del 4% de acetato de vinilo). El copolímero tiene mejores cualidades de soldadura; es decir, un umbral de temperatura de soldadura menor permite hacer el sellado a través de un cierto nivel de contaminación, como trazas de agua, condensación o grasa de los productos que se está envasando. Su comportamiento no es comparable con el obtenido en el polietileno lineal de baja densidad o “Surlyn”, pero podría ser un progreso respecto al polietileno de baja densidad estándar, el empleo de dos láminas de polietileno en las caras opuestas de una soldadura, con diferentes aditivos seleccionados, permite formar un cierre desprendible fuerte; en términos prácticos, una barrera adecuada y a pesar de todo desprendible (Meneses y Valenzuela, 2008).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación correspondiente a la evaluación del efecto de la aplicación de atmósferas modificadas activas y temperatura de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de ácido ascórbico del pepino dulce se ejecutó en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Facultad de Ingenierías en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (tabla 8).

Tabla 8: Localización del experimento.

Provincia	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Parroquia:	San Francisco
Altitud:	2222 m.s.n.m.
Latitud:	78°-34'-24"
Longitud	0°-30'-10
Humedad relativa promedio:	84 %
Precipitación:	550.3 mm/año
Temperatura media:	18.5 °C

3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS

El pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) se adquirió del cantón de Pimampiro provincia de Imbabura. La muestra de fruta fue de un promedio de 200 gramos para cada unidad experimental, el pepino estuvo en un estado de madurez fisiológica. La materia prima fue previamente seleccionada mediante el cumplimiento de ciertos requisitos como son: estar sanos, limpios y exentos de podredumbre, de cualquier materia extraña visible, de plagas y daños causados por las mismas, una vez realizada esta selección, se procedió a la limpieza del fruto con agua limpia y posterior secado manual.

Materiales: Buretas, balón volumétrico de vidrio (50 y 2000 ml), pipetas (10 ml), probetas, vasos de precipitación (50 y 1000 ml), varilla agitadora de vidrio, varilla agitadora magnética,

pera, soporte universal, papel filtro, vasos plásticos, cucharas plásticas, papel aluminio, envase activo de polietileno de baja densidad, bandejas.

Equipos: Analizador de gas (modelo MAPY LE), mezclador de gases (modelo KM1000-FLOW MAP), espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus), texturómetro (modelo EZ-9X), potenciómetro Jenway (modelo 3510), refractómetro de mesa (modelo 1310499), baño maría, agitador magnético, calibrador de precisión tipo pie de rey, balanza analítica, refrigeradores.

Reactivos: Ácido meta fosfórico, ácido acético, 2-6-diclorofenol indofenol, hidróxido de sodio al 0.1N, fenoltaleína al 0.1%, agua destilada.

3.1.2. MÉTODOS

3.1.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO TERMINADO.

Previo al desarrollo del experimento, a los frutos de pepino dulce se le realizó análisis físicos y químicos de acuerdo a las variables y métodos descritos en la tabla 9.

Tabla 9: Variables y métodos

Características	Variables	Método / Equipo	Autor
Físicas	Color de la piel	Espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus).	AOAC (2005)
	Tamaño	Calibrador de precisión tipo pie de rey.	
	Resistencia a la presión (kg ^f)	Texturómetro (modelo EZ-9X).	
Químicas	Acidez Titulable (%)	AOAC, 942.15	NTE (2013 _a)
	pH	INEN ISO 1842.	NTE (2013 _b)
	Sólidos Solubles totales (°Brix)	INEN ISO 2173.	AOAC (2000)
	Contenido de ácido ascórbico	AOAC, 967.21	
Fisiológicas	Tasa de respiración	Analizador de gases	

3.1.4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del proceso se tomaron como factores la temperatura de almacenamiento y la mezcla de gases.

3.1.5. TRATAMIENTOS

En la tabla 10 se presenta los factores en estudio con su descripción correspondiente.

Tabla 10: Descripción y nomenclatura de los factores

Factores en estudio	
Temperatura de almacenamiento	5°C 8°C
Mezcla de gases	10%CO ₂ ; 5%O ₂ ; 85%N ₂ 5%CO ₂ ; 4%O ₂ ; 91%N ₂ 2,5%CO ₂ ; 3%O ₂ ; 94,5%N ₂

3.1.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo mediante un Diseño Completamente al Azar (A x B+2), con 2 factores en estudio y 8 niveles con 3 repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales, (tabla 11).

Tabla 11: Descripción y nomenclatura de las unidades experimentales.

Tratamiento	Nomenclatura	Descripción
T1	A1B1	5°C+ 10%CO ₂ ; 5%O ₂ ; 85%N ₂
T2	A1B2	5°C+ 5% CO ₂ ; 4% O ₂ ; 91%N ₂
T3	A1B3	5°C+ 2,5% CO ₂ ; 3% O ₂ ; 94,5%N ₂
T4	A2B1	8°C+ 10% CO ₂ ; 5% O ₂ ; 85%N ₂
T5	A2B2	8°C+ 5% CO ₂ ; 4% O ₂ ; 91%N ₂
T6	A2B3	8°C+ 2,5% CO ₂ ; 3% O ₂ ; 94,5%N ₂
T7	M1	Fruta a temperatura de refrigeración: 5 °C
T8	M2	Fruta a temperatura de refrigeración: 8 °C

3.1.7. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

De la combinación de los factores en estudio A (temperaturas de almacenamiento), B (mezcla de gases) y 2 testigos, resultando 8 tratamientos, los cuales contaron con 3 repeticiones, teniendo un total de 24 unidades experimentales.

3.1.8. UNIDAD EXPERIMENTAL

El tamaño de la unidad experimental que se evaluó estuvo compuesto por 1 unidad de pepino dulce con un peso promedio de 200g cada fruta por cada envase, con un índice de madurez fisiológica de color de fondo de la piel verde, sano y exento de podredumbre o deterioro alguno, usando fundas de polietileno de baja densidad para crear la atmosfera modificada activa a diferentes temperaturas de refrigeración.

3.1.9. ESQUEMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Previo al desarrollo del análisis estadístico se realizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado por Mahibbur y Govindarajulu (1997) y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad y homocedasticidad de varianzas para el día dieciocho del experimento.

El análisis estadístico identifica valores anómalos, errores de medición, etc. En la tabla 12 se muestra los grados de libertad de los tratamientos, el error y total del diseño completamente al azar (AXB+2). Previo a la realización del análisis estadístico, se realizaron supuestos del análisis de ANOVA, comprobando si los datos cumplen con una distribución normal y el supuesto de homogeneidad presentando un valor superior de $p > 0.05$ rechazando la hipótesis alternativa.

Tabla 12: ANOVA para el Diseño Completo al Azar

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Error experimental	16

- Análisis funcional

Al realizar el análisis estadístico, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, se determinó el coeficiente de variación y se realizó la prueba de Duncan al 5%.

3.1.10. VARIABLES EVALUADAS

En la tabla 13 se especifican las variables evaluadas durante la investigación

Tabla 13: Variables evaluadas durante la investigación

Características	Variables	Método / Equipo	Autor
Físicas	Color de la piel	Espectrofotómetro de reflectancia (modelo Specord 250 plus). Calibrador de precisión tipo pie de rey.	
	Tamaño		
	Resistencia a la presión (kg ^f)	Texturómetro (modelo EZ-9X).	
Químicas	Acidez Titulable (%)	AOAC, 942.15	AOAC (2005)
	pH	INEN ISO 1842.	NTE (2013a)
	Sólidos Solubles totales (°Brix)	INEN ISO 2173.	NTE (2013b)
	Contenido de ácido ascórbico	AOAC, 967.21	AOAC (2000)
	Fisiológicas	Tasa de respiración	Analizador de gases

3.1.11. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

3.1.11.1. Diagrama del flujo de almacenamiento del pepino dulce.

En la figura 2 se expresa el diagrama de flujo que consta de los procedimientos que se realizaron para el desarrollo del experimento.

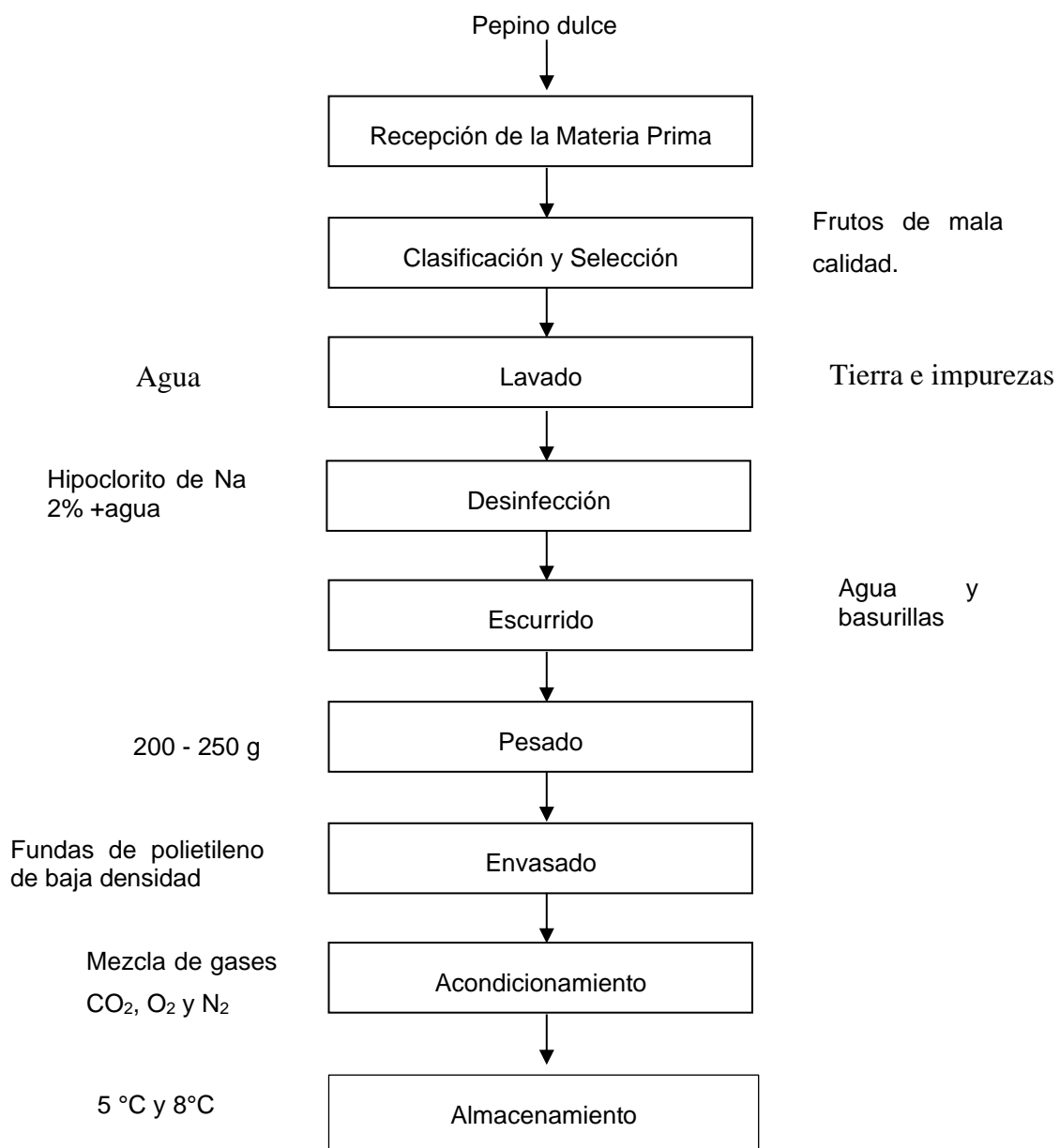


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de aplicación de atmósferas modificadas activas en pepino dulce.

3.1.11.2. Descripción del proceso de almacenamiento del pepino dulce.

3.1.11.2.1. Materia prima



Figura 3. Frutos de pepino dulce

La materia prima se obtuvo del barrio San José ubicada en el cantón Pimampiro, la fruta fue categorizada dentro de un estado de madurez fisiológica (M1) de acuerdo al estudio realizado por Galletti, et al., (2006); correspondiente a un color verde, sólidos solubles 5.4 %, acidez titulable de 0.17 % y 5.5 kg^f de dureza (figura 3).

3.1.11.2.2. Recepción



Figura 4. Recepción de la materia prima

En la figura 4 se muestra la recepción de la materia prima la cual se recibió en el laboratorio de Análisis Físicoquímicos de la Universidad Técnica del Norte en cajas de cartón, las mismas que sirvieron de transporte para las unidades experimentales. Posterior al transporte se colocó en gavetas plásticas y hieleras cooler para realizar la respectiva clasificación, selección y limpieza.

3.1.11.2.3. Clasificación y selección



Figura 5. Frutos de pepino dulce en buen estado

En este proceso se seleccionó pepino dulce con un peso de 200 a 250g por unidad para cada unidad experimental, con un índice de madurez fisiológica de color de fondo de la piel verde, libre de daños en la piel, plagas, golpes o defectos del fruto. En la figura 5 se muestran las frutas adecuadas para el experimento.

3.1.11.2.4. Lavado



Figura 6. Lavado de los frutos de pepino dulce

Posterior a la clasificación y selección se realizó el lavado en unidades individuales con abundante agua potable para la eliminación de impurezas como tierra, polvo, hojas (figura 6).

3.1.11.2.5. Desinfección

Las frutas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 2%, por un lapso de 5 minutos para evitar cualquier contaminación por microorganismos en el pepino durante el almacenamiento.

3.1.11.2.6. Ecurrido

Este proceso se realizó con la utilización de papel absorbente para eliminar completamente el exceso de agua en el exterior de la fruta.

3.1.11.2.7. Pesado

Con la ayuda de una balanza analítica se pesaron frutas aproximadamente de 200 a 250g para cada unidad experimental.

3.1.11.2.8. Envasado



Figura 7. Envasado del pepino dulce

En la figura 7 se observa el envasado de la fruta, se utilizó 1 pepino dulce por cada funda, consecutivamente se extrajo el aire ambiente de la bolsa plástica para el posterior acondicionamiento, estas bolsas permanecieron selladas durante el tiempo del experimento.

3.1.11.2.9. Acondicionamiento

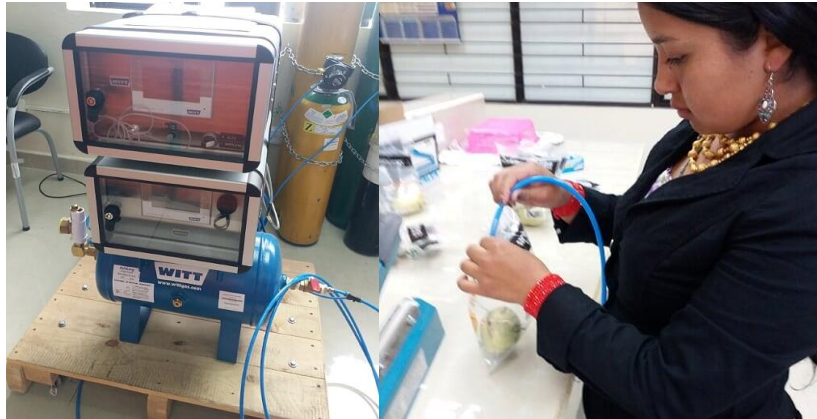


Figura 8. Acondicionamiento de la fruta

Posterior al envasado se realizó el acondicionamiento del pepino dulce, este proceso se llevó a cabo mediante el equipo GAS MIXER KM 1000-FLOW MAP que es el encargado de producir la mezcla de los gases de acuerdo a lo establecido (CO_2 , O_2 , N_2), quedando en un sistema de atmósfera modificada activa, el gas se inyectó en la funda y transcurridos 20 segundos para la expulsión total del gas ambiente se procedió al llenado total y sellado inmediato para el almacenamiento (figura 8).

3.1.11.2.10. Almacenamiento



Figura 9. Almacenamiento

En la figura 9 Se observan las unidades experimentales almacenadas a temperaturas de 5°C y 8°C, el tiempo de almacenamiento fue de 17 días, cada 3±1 días se retiraron 15 bolsas de la nevera para el descarte mediante análisis físico químicos.

3.1.12. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS

3.1.12.1. Determinación de la acidez titulable



Figura 10. Determinación de la acidez mediante titulación

La determinación de acidez titulable del pepino dulce se realizó de acuerdo al método AOAC 942.15 (2005), que consiste en determinar la acidez por medio de una titulación ácido-base con una solución de álcali estandarizado, se pesaron 5g de pepino dulce previamente triturado a esta muestra se le añadió 10 ml de agua destilada, a continuación 5 gotas de fenolftaleína (0.1%), posterior a esto se tituló con NaOH (0.1N) hasta que cambie a color rosa (figura 10).

Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido predominante, en el pepino dulce es el ácido cítrico, se utilizó la ecuación 2, donde:

fa: expresa el factor del ácido predominante (ácido cítrico = 0.064)

V: expresa el volumen de NaOH utilizado

N: la normalidad de la solución de NaOH (0.1)

f: el factor de hidróxido de sodio (0.9775)

Vo: el volumen de la muestra

$$\% \text{ Acidez} = \frac{fa * V * N * f}{Vo} \quad (2)$$

3.1.12.2. Determinación del pH



Figura 11. Determinación del pH (potenciómetro)

En la figura 11 se observa la determinación del pH del pepino dulce lo cual se realizó en 50 ml de fruta previamente triturada, mediante el potenciómetro Jenway (modelo 3510) calibrado con buffer de pH 4 y pH 7.

3.1.12.3. Determinación de Sólidos Solubles (°Brix)



Figura 12. Refractómetro de mesa (modelo 1310499)

En la figura 12 Se observa la medición de sólidos solubles para la cual se empleó el método refractométrico INEN ISO 2173 (2013_b), que consiste en colocar 1 gota de la muestra de pepino dulce previamente triturada en el refractómetro de mesa (modelo 1310499). Anterior a este procedimiento se calibró el equipo con agua destilada para posteriormente observar por el lente procurando orientar la luz de forma correcta para evitar errores en la lectura del resultado, éste se presenta en la pantalla digital del equipo de forma automática, el índice de refracción de la solución de experimento se expresa en °Brix a una temperatura de 20°C. el refractómetro indica el índice de refracción por medio de una escala graduada en 0.001, con el fin de permitir que las lecturas se estimen en 0.0002.

3.1.12.4. Contenido de ácido ascórbico

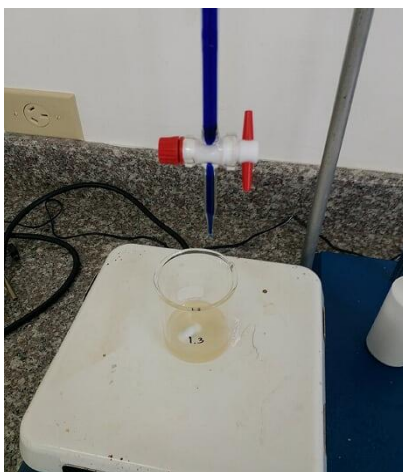


Figura 13. Determinación del ácido ascórbico por titulación

La determinación del contenido de ácido ascórbico en el pepino dulce se realizó de acuerdo al método volumétrico del 2,6 diclorofenol indofenol, AOAC 967.21 (2000), este método incluye titulación redox con el colorante ya mencionado (figura 13).

Preparación de la muestra

Este método volumétrico se fundamenta en la titulación de la muestra, antes de realizar este análisis se preparó la muestra mediante el licuado del pepino dulce, posteriormente se pesó 5g en la balanza analítica, posteriormente, se mezcló con 10 ml de ácido metafosfórico previamente preparado y se agitó por 20 minutos.

Cuantificación de ácido ascórbico

Transcurrido este tiempo se filtra en un balón volumétrico de 50ml, se afora con la solución de ácido metafosfórico (hasta llegar a 50ml que indica el balón), después se toma 10 ml de la solución preparada y se titula con el indicador redox 2,6 diclorofenol indofenol hasta que la muestra cambie de color de azul a rosado.

Posterior a la titulación los resultados se expresan en mg de ácido ascórbico por 100 g de fruta fresca mediante la Ecuación 3.

$$\text{mg Ácido ascórbico} = (X-B) \times (F/E) \times (V/Y) \quad (3)$$

Donde:

X: volumen de 2,6-dichloroindophenol gastados en la titulación de la muestra expresada en ml.

B: volumen de 2,6-dichloroindophenol gastados en la titulación del blanco expresada en ml.

F: masa de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de solución de 2,6-dichloroindophenol expresada en mg.

E: peso de la muestra

V: volumen inicial de la solución ensayada

Y: volumen de la muestra tomada para el ensayo.

3.1.12.5. Determinación del tamaño



Figura 14. Calibrador tipo pie de rey

El tamaño del fruto fue establecido mediante un calibrador de precisión tipo pie de rey que permite una medida exacta del ancho y largo de la fruta, accediendo medir hasta la milésima parte del centímetro y su resultado se expresa en cm, figura 14.

3.1.12.6. Determinación del color



Figura 15. Espectrofotómetro (modelo Specord 250 plus)

Para la determinación del color se utilizó el espectrofotómetro de reflectancia con esferas de doble haz (modelo Specord 250 plus) en la escala CIE $L^*a^*b^*$, con el iluminante C y ángulo estándar de observador de 2° (ver figura 15).

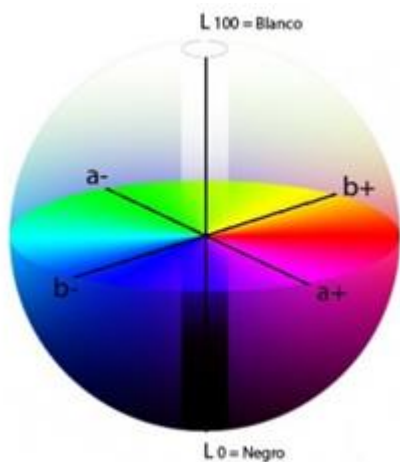


Figura 16. Coordenadas CIELAB

Los resultados alcanzados se presentaron por los ejes de coordenadas $L^*a^*b^*$ como se presenta en la figura 16, en donde L^* representa la luminosidad y puede poseer un valor en el intervalo

de 0- 100, siendo 0 negro y 100 blanco. a^* representa una variación del color de verde a rojo y b^* representa la variación de azul a amarillo. A partir de los ejes de coordenadas a^* y b^* se calculó el tono de color Hue^* y cromaticidad, los cuales se expresan en las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

$$c^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5)$$

3.1.12.7. Determinación de resistencia a la presión (firmeza)

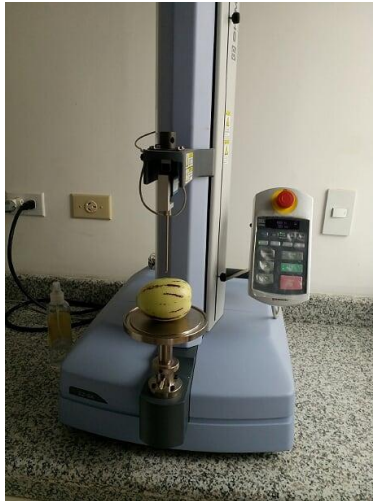


Figura 17. Texturómetro (modelo EZ-9X)

Para determinar la dureza del pepino dulce se utilizó el texturómetro (modelo EZ-9X), este método se basa en ejercer una presión de 1mm/s sobre el fruto hasta observar la lectura en el indicador análogo. El resultado se pronuncia mediante el software TRAPEZIUMX, en donde la gráfica presentó la fuerza que necesita el equipo para traspasar la piel de la fruta y se expresa en unidades de kilogramos fuerza (kg^f) (figura 17).

3.1.12.8. Tasa de respiración

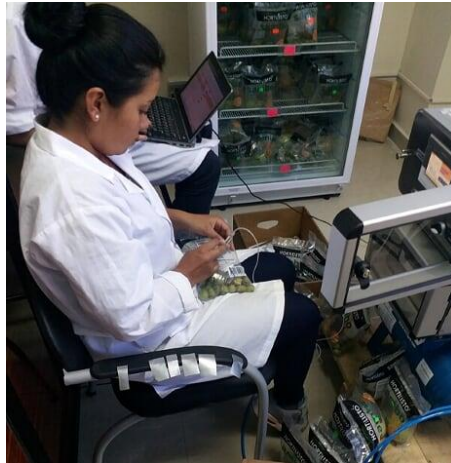


Figura 18. Tasa de respiración

La tasa de respiración se midió utilizando el equipo MAPYLE (figura 18). Los datos de la tasa de respiración se generaron a temperaturas de refrigeración de 5 y 8 °C con un índice de madurez fisiológico utilizando fundas de polietileno de baja densidad.

Los envases en los que se almacenaron las unidades experimentales estuvieron selladas hasta el momento de realizar los análisis físicos y químicos correspondientes, para valorar la tasa de respiración del pepino dulce durante el proceso se realizó la toma de muestra de las concentraciones de O₂ y CO₂ mediante el uso del analizador de gases, las mediciones de concentración de los gases se tomaron al inicio y transcurridas 6 horas, se tomó la segunda medición, se repitió esta toma de mediciones cada 4 días durante 18 días. Esto se logró con el uso de una aguja que está conectada al equipo y se colocó un septum en la funda para asegurar la hermeticidad del sistema al momento de hacer la medición con la aguja, posteriormente el cálculo se realizó mediante la ecuación 1 y el resultado se expresa en ml CO₂ kg /h.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL PEPINO DULCE

En el presente capítulo se presenta los siguientes niveles de análisis, caracterización fisicoquímica, el comportamiento de la tasa de respiración y atmosferas modificadas activas sobre el pepino dulce y el efecto de los factores en estudio sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de ácido ascórbico. Previo al desarrollo de la investigación se realizaron análisis fisicoquímicos, para homogenizar la unidad experimental en un estado de madurez fisiológica. En la tabla 14 se muestran las características fisicoquímicas iniciales del pepino dulce.

Tabla 14: Características fisicoquímicas

Parámetro	Pepino dulce en Madurez
	Fisiológica
Acidez Titulable (%)	0.17±0.02
pH	4.85±0.07
Solidos Solubles totales (°Brix)	5.38±0.04
Contenido de ácido ascórbico (mg)	11.91±0.01
Color L*	88.62±0.47
Hue*	132.92±0.47
Croma*	115.06±0.47
Dureza (kg^f)	1.39±0.01
Tamaño (cm)	8.30±0.01

Estos resultados iniciales concuerdan con los de Galletti et al. (2006), donde los frutos de pepino dulce en estado de madurez fisiológica (M1 verde), presentaron una concentración inicial de sólidos solubles de 5.4 y acidez titulable de 0.17%.

El incremento de los sólidos solubles, pH y la disminución de acidez, tienen una relación directa en la medición de los ácidos presentes en las frutas, la acidez mide únicamente el ácido que predomina, en el pepino dulce sobresale el ácido cítrico (Redgwell y Turner, 1986). El

incremento o disminución del pH, °brix y acidez titulable se debe a los procesos fisiológicos que se desarrollan durante la maduración, en donde se consumen los ácidos orgánicos, estos disminuyen por acción de las hidrogenasas, las cuales actúan en el proceso de respiración y metabolismo del fruto, a su vez los azúcares aumentan durante el proceso de maduración, debido a la hidrólisis del almidón y la respiración del pepino dulce, el incremento de pH es consecuencia del consumo de los ácidos orgánicos, este es un comportamiento propio de los frutos climatéricos, según los explican Fischer, Almanza-Merchán, y Miranda (2014).

En cuanto a las variables de color, dureza y peso presentados en tabla 14, el pepino dulce en madurez fisiológica presentó una intensidad lumínica de 88.62 lo que indicó que no se halló brillante puesto que el producto se encontraba en madurez fisiológica verde, esto se debe a que durante la maduración la mayoría de frutos van desarrollando color y brillo característico de la maduración, esto conlleva a la destrucción de la clorofila por la acción de enzimas provocando mayor visibilidad de los pigmentos como beta carotenos y carotenos, los mismos que son sintetizados durante su desarrollo, afirma Ramírez (1996).

El tono de color Hue* fue de 132.92° y 115.06 de cromaticidad para el pepino en madurez fisiológica. En cuanto a la dureza el pepino dulce en madurez fisiológica alcanzó un valor inicial de 1.3873 kg^f, el cambio de la dureza es consecuencia del proceso de maduración en donde se presenta un ablandamiento ocasionado por la degradación de hidratos de carbono como sustancias pépticas, hemicelulosas, y celulosas en proporciones similares que debilitan las fuerzas cohesivas entre las células y la pared celular menciona Ramírez (1996).

4.2.COMPORTAMIENTO DE LA TASA DE RESPIRACIÓN DEL PEPINO DULCE EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS ACTIVAS.

4.2.1. Respiración

La respiración es un proceso por el cual se consume oxígeno del medio ambiente y sustrato del órgano vegetal para producir CO₂, agua y energía. En frutas y hortalizas luego de la cosecha a causa de la respiración existen pérdidas de sustrato dando inicio al proceso de deterioro del producto, por lo que la tasa de respiración es usada para determinar el tiempo de vida útil (Arévalo y Montes, 2001).

La respiración está directamente ligada con la temperatura, puesto que a medida que decrece, los niveles respiratorios son bajos, así como la emisión de calor, comprobándose lo contrario cuando aumenta (Sousa y Ribeiro, 2006).

4.2.2. Cinética del consumo de O₂ y la producción de CO₂

La respiración es un proceso en el que las reacciones químicas oxidan lípidos y carbohidratos a dióxido de carbono y agua para producir energía, mientras que el orgánulo responsable de la respiración aeróbica se conoce como mitocondria. La mayor parte de la energía liberada se almacena como energía química ATP (trifosfato de adenosina) y parte se pierde como calor, este complejo proceso puede estar influenciado por varios factores intrínsecos como el tamaño del producto, la variedad, la madurez, el tipo de tejido y los factores extrínsecos como la temperatura y la concentración de O₂ y CO₂ (Mattos, Moretti, y Ferreira, 2012).

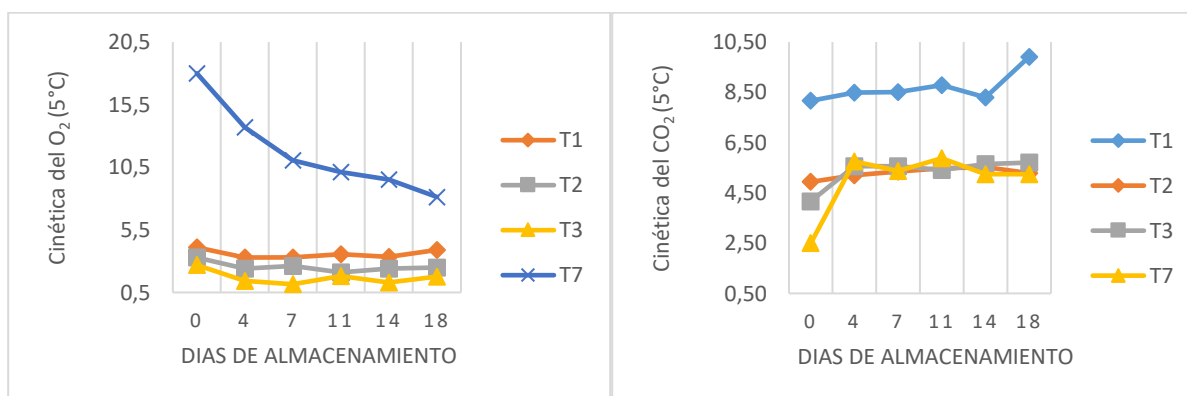


Figura 19. Cinética del consumo de O₂ y la producción de CO₂ a 5°C

En la figura 19 se puede observar el consumo de oxígeno y producción de CO₂ de los tratamientos T1, T2, T3 y tratamiento testigo T7, de los cuales los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron cambios mínimos en el consumo de O₂ para el día 18, se observa que a partir del cuarto día el consumo de oxígeno y producción de CO₂ fue relativamente constante, el tratamiento testigo T7 también presentó un comportamiento constante para el CO₂ a partir del cuarto día, esto pudo haberse debido a una estabilización de la atmósfera que rodea a la fruta a consecuencia de la permeabilidad de la bolsa de polietileno, resultado similar a lo expresado por Angós (2008). El tratamiento testigo (T7) presentó una disminución notoria de O₂ durante el almacenamiento pudiendo existir la posibilidad de que siga decayendo durante unos días más, esta disminución

drástica y constante del O₂ provocó al pepino a que exista un pardeamiento o reacciones anaeróbicas acelerando el pardeamiento para el día 18.

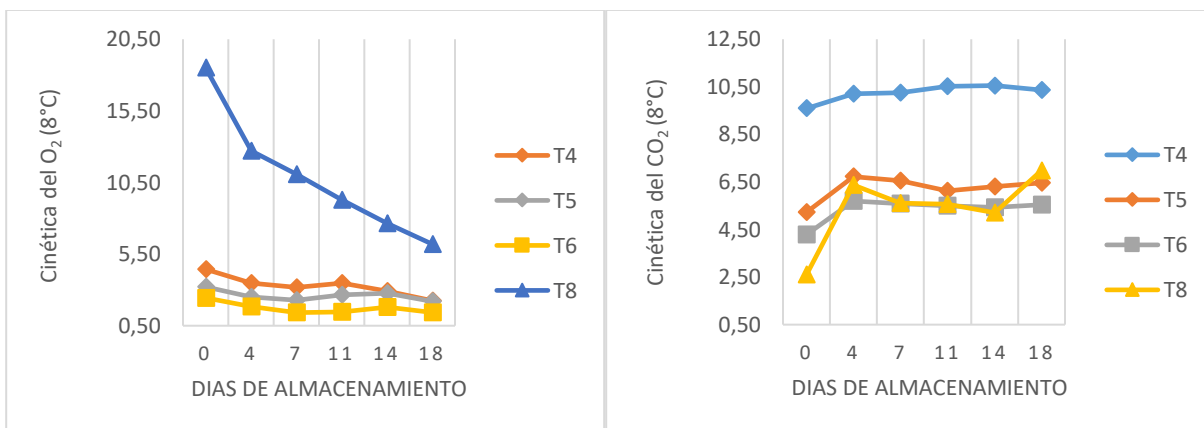


Figura 20. Cinética del consumo de O₂ y la producción de CO₂ a 8°C

Para los tratamientos T4, T5 y T6 se puede observar un comportamiento constante a partir del día 4, a partir de allí se desarrolló el equilibrio gaseoso dentro de la bolsa con el pasar del tiempo, la atmósfera de equilibrio deseada se logra por la interacción entre la respiración del producto, la permeabilidad del polímero y la atmósfera externa (modificación pasiva), aunque se puede acelerar creando un vacío parcial e inyectando en el envase N₂ o una mezcla gaseosa (modificación activa), para sustituir el aire del espacio de cabeza antes del cierre hermético (Artés, 2006).

En la figura 20 se muestra que existe un comportamiento constante a partir del día 7 en el consumo de O₂ y a partir del día 4 para la producción de CO₂ para los tratamientos T4, T5, T6, comportamiento similar al presentado en la figura 19.

Según el estudio de Artés (2006) en el que señala los fundamentos fisiológicos y bioquímicos de la conservación hortofrutícola en atmósfera controlada o modificada, manifestó que con frecuencia la refrigeración no es suficiente para lograr una óptima calidad final de los productos vegetales en conservación, los conocimientos de bioquímica de la maduración y senescencia en la post recolección, así como de la influencia de la temperatura, la HR, el O₂, CO₂, y otros gases permite optimizar la conservación refrigerada. Según este mismo estudio determina que transcurridos unos pocos días desde el inicio del envasado en atmósferas modificadas, si el

envase está bien diseñado se equilibra el flujo de gases a través del envase y la producción (CO_2) o consumo (O_2) respiratorio, alcanzándose una atmósfera estable por el frenado y estabilización de la tasa respiratoria del vegetal.

4.2.3. Tasa de respiración

Indica la rapidez con la cual se producen los cambios en la composición de un producto y se determina por la tasa de producción de dióxido de carbono, el cual se reporta como peso de CO_2 producido por unidad de peso y tiempo ($\text{mgCO}_2/\text{kg h}$). El patrón de respiración indica el cambio en la tasa de respiración con el tiempo y se describe gráficamente como una curva (López et al. 2006).

4.2.4. Cinética de la tasa de respiración

En la figura 21 se resalta que de acuerdo con los valores negativos alcanzados, la permeabilidad de la bolsa habría influido en gran medida permitiendo el intercambio gaseoso, la tasa de respiración puede presentar alteraciones a lo largo del tiempo sin embargo, es probable que pudiera existir error al momento del pinchado de la bolsa, como consecuencia perdió en un pequeño porcentaje la hermeticidad y hubo intercambio gaseoso con el ambiente por ello se evidencian estas alteraciones muy pronunciadas.

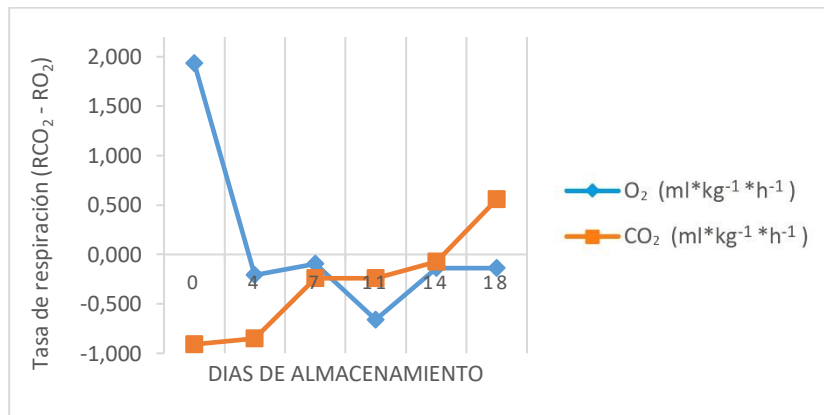


Figura 21. Tasa de respiración (T8)

En la figura 21 se puede observar que la frecuencia respiratoria no mantiene un comportamiento normal, esto puede deberse a un intercambio gaseoso producido por la permeabilidad de la bolsa de polietileno, las verduras y frutas requieren una cierta cantidad de oxígeno en el espacio de

cabeza para el mantenimiento de la calidad, por lo tanto, el material de embalaje para estos productos debe ser bastante permeable al oxígeno, para permitir que del exterior reponga al gas consumido en el interior de la bolsa (Mattos et al., 2012).

En el tratamiento testigo T8 al igual que los demás tratamientos en estudio se aprecia este comportamiento ver figuras 22 y 23, donde se obtienen tasas de respiración menores a cero.

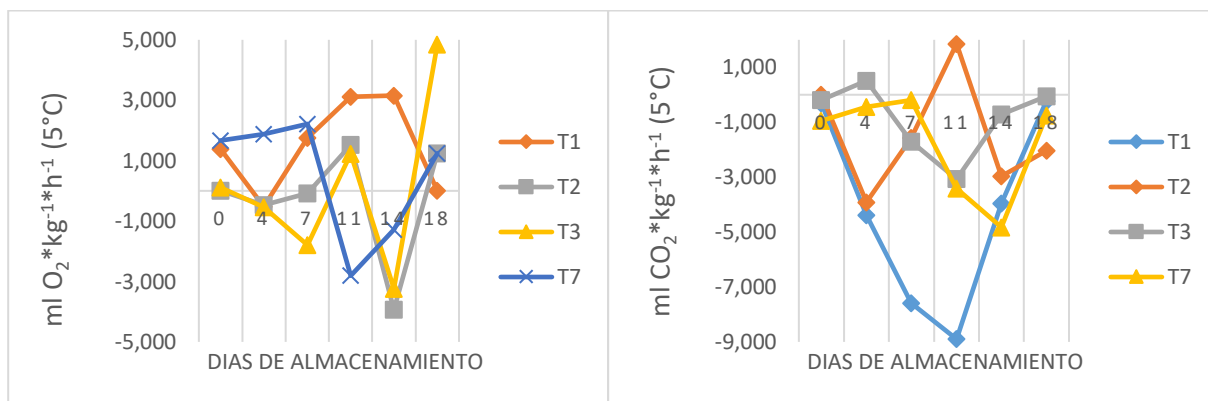


Figura 22. Cinética de la tasa de respiración del O₂ y CO₂ (5°C)

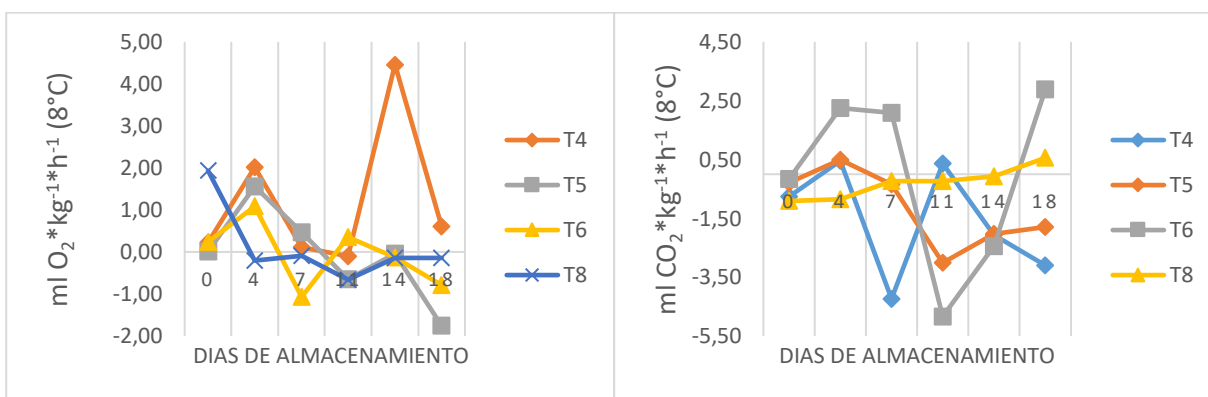


Figura 23. Cinética de la tasa de respiración del O₂ y CO₂ (8°C)

Angós, (2008) obtuvo valores inferiores a cero en un estudio sobre la conservación de la papa, este autor menciona que existe la posibilidad de que el CO₂ pueda causar interacciones complejas en los tejidos, incluidos los cambios en la cinética de las proteínas alostéricas relacionadas con el metabolismo respiratorio, causando una mayor o menor actividad respiratoria, esta tasa de consumo probablemente fue menor a la que permeaba por la funda,

permitiendo que la cantidad de CO₂ presente al final de la evaluación fuese mayor que la que permanecía al inicio. Lo mismo ocurrió en determinados tiempos para el O₂.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Previo al desarrollo del análisis estadístico se realizó la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad y homocedasticidad de varianzas para el día dieciocho, debido a que los tratamientos se mantuvieron en estudio hasta este día.

4.3.1. DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES EVALUADAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

4.3.1.1. Sólidos solubles

Previo a realizar el análisis estadístico para los sólidos solubles totales, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado y la prueba de Levene para verificar los supuestos de normalidad ($p = 0.66$) y homocedasticidad ($p = 0.08$). En la tabla 15 se observa el análisis de varianza, indicando significancia estadística para el factor (A) Temperatura y la interacción (AxB).

Tabla 15: Análisis de varianza sólidos solubles (°Brix)

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	35.56	*
(B) Mezcla de gases	1.87	ns
(A*B)	3.82	*
T1 vs T2	290.40	*
Test vs Resto	273.80	*

Al existir significancia estadística para el factor (A) Temperatura y para la interacción A*B se concluye que si hubo influencia sobre el incremento o disminución de esta variable, aunque existe diferencia significativa para la interacción entre los factores que se valoran en esta investigación no se puede observar el punto ideal debido a que los datos son muy pequeños para ser graficados, por lo tanto, es necesario trabajar con otros niveles para verificar donde se encuentra la interacción (anexo 1) posteriormente se realizó la prueba de Duncan al 5% el cual permitió la distribución en 4 grupos presentados en el anexo 2, en donde, los tratamientos T3,

T1 y T2 (5°C) obtuvieron los valores más cercanos al día cero (5.38%), seguido del tratamiento T4 (8°C).

El tratamiento testigo T8 (8°C) presentado en el anexo 2, obtuvo el valor más alto en comparación de los tratamientos almacenados a 5°C (T1, T2 y T3), esto se debe al incremento de azúcares, producto de la hidrólisis del almidón o la síntesis de sacarosa y de la oxidación de los ácidos consumidos en el proceso de respiración, debido al alto porcentaje de oxígeno en el que se encontraban las frutas del tratamiento testigo T8 por lo tanto, el proceso de maduración fue más rápido según lo explica (Alvarado, Berdugo, y Fischer, 2004). El tratamiento testigo T7 (5°C) obtuvo un valor menor al T8 (8°C) debido a que a pesar de contener la misma atmósfera con alto contenido de O₂, la temperatura influyó en la velocidad del metabolismo de la fruta, siendo así que a 5°C se reduce la velocidad respiratoria del pepino dulce ralentizando la oxidación de los ácidos orgánicos.

De acuerdo con análisis de varianza presentado en la tabla 15 se observa diferencia significativa para el factor (A), se realizó la prueba Duncan al 5% para este factor obteniendo como resultados que la temperatura (A1= 5°C) retarda el incremento de los sólidos solubles en el pepino dulce durante el almacenamiento, anexo 3.

Cinética de los sólidos solubles (brix) durante el almacenamiento (5°C)

La figura 24 muestra la cinética de los sólidos solubles durante el almacenamiento a 5°C, los tratamientos T1, T3 y tratamiento testigo T7 presentaron un incremento lento hasta el día 11, posteriormente ocurrió un descenso en el porcentaje de sólidos solubles hasta el día 18 como consecuencia de una anomalía en su desarrollo, comportamiento similar al de Galvis, Arjona, Fischer, Landwehr, y Martínez (2002) estudio en el que el daño por frío fue irreversible causando la interrupción en su metabolismo y obtuvo la caída del porcentaje de sólidos solubles para el día final de almacenamiento.

El tratamiento T2 presentó un incremento progresivo hasta el día 18 sin embargo, esto pudo haber sido consecuencia de un proceso de respiración anaerobia por el bajo nivel de O₂ en su composición, al igual que en el T3 en el que se puede observar un crecimiento acelerado hasta el día 11 y posteriormente una degradación irreversible para el día final de almacenamiento, la anaerobiosis con acumulación de etanol, acetaldehído y ácidos orgánicos normalmente se asocia con

comportamientos anormales en el proceso de maduración y físicamente con olores, sabores extraños que degradan la calidad del fruto (Meneses y Valenzuela, 2008).

La temperatura contribuyó a retrasar o a aumentar el contenido de los sólidos solubles (°brix), los tratamientos almacenados a temperaturas de refrigeración (5°C) presentaron un incremento lento de °brix hasta el día 11 con respecto los tratamientos almacenados a 8°C como se muestran en las figuras 24 y 25, sin embargo, esta fruta presentó mayor sensibilidad a 5°C, interrumpiendo el comportamiento natural de la fruta y ralentizando de manera perjudicial el incremento de los sólidos solubles a 5°C, la acción de las enzimas pudo haber sido disminuida provocando un proceso fermentativo de los azúcares presentes, como puede concluirse por los valores alcanzados durante el almacenamiento (Galvis et al., 2002).

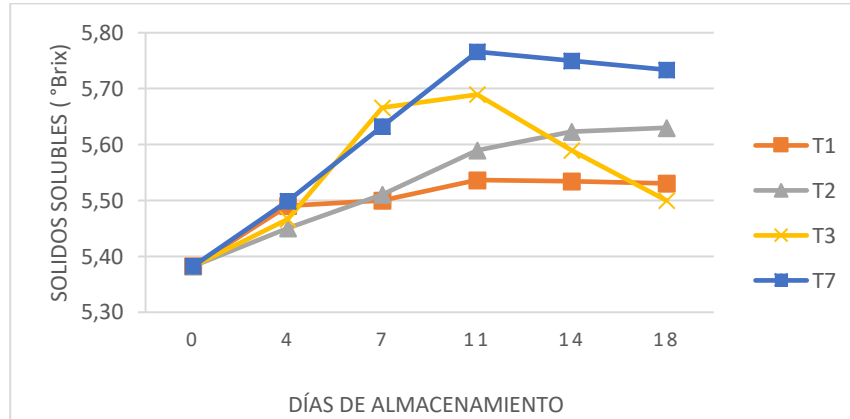


Figura 24. Cinética de la variable sólidos solubles a 5 °C

Las figuras 24 y 25, indican el comportamiento de los sólidos solubles durante el almacenamiento, en donde la temperatura contribuyó en los cambios del contenido de sólidos solubles, todos los tratamientos presentaron un incremento lento con respecto a los testigos, esto debido al alto porcentaje de oxígeno presente en el T7 y T8 que contribuyó a un proceso de respiración más acelerado Correal y Galvis, (2013), obtuvieron resultados similares, estos autores señalan que las frutas sometidas a concentraciones de (5% O₂; 5% CO₂) y (2% O₂ 10% CO₂) fueron las que sufrieron la menor degradación respecto a este parámetro, indicando que la composición de la atmósfera influyó en el comportamiento de los frutos además, las temperaturas bajas contribuyen a disminuir los procesos metabólicos de la fruta.

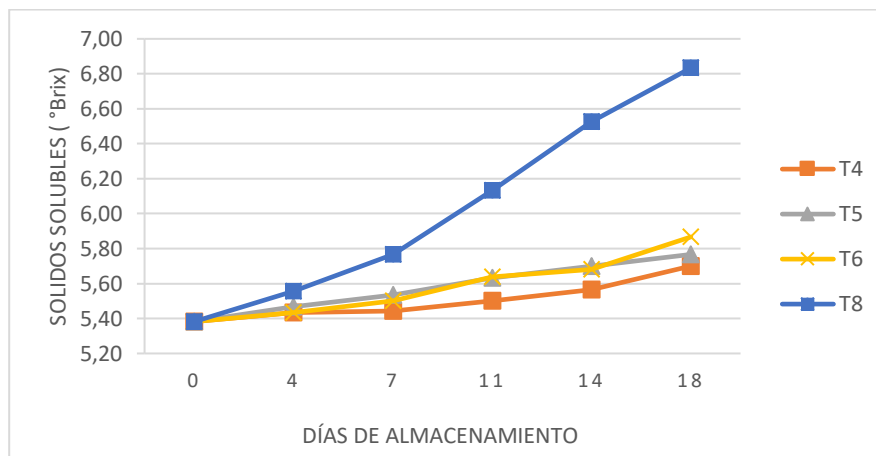


Figura 25. Cinética de la variable solidos solubles a 8 °C

En la figura 25 se observa que la concentración de sólidos solubles exhibió un incremento continuo, para todos los tratamientos a 8°C (Fischer et al., 2014), explican que los azúcares que componen las frutas (sacarosa, glucosa y fructosa), tienen la tendencia a aumentar durante el proceso de maduración de la fruta, como consecuencia de la hidrólisis de almidón, lo que se ve acelerado por las altas temperaturas.

Los tratamientos T4, T5 y T6 se incrementaron de manera casi invariable hasta el día 18, debido a que además de la refrigeración, las altas concentraciones de CO₂ y la disminución del O₂ reducen la respiración pausando el metabolismo celular de la fruta (Ramírez, 1996). Estos resultados coinciden con los de Galletti et al (2006) quien obtuvo valores constantes de 6 a 6,6% durante la conservación del pepino dulce bajo condiciones similares a esta investigación.

La temperatura es considerada como un factor importante en términos de preservación del pepino dulce, ya que influyó en el mantenimiento de las características químicas, los tratamientos T1, T2 y T3 (5°C) lograron conservar el porcentaje de °brix más cercanos al día cero, sin embargo, Galvis et al. (2002) mencionan que los daños por frío interrumpen el comportamiento normal de esta variable, produciendo reacciones como la fermentación de la fruta, sabores extraños y una apariencia poco llamativa.

4.3.1.2.pH

Esta variable permite conocer la medida de protones libres mostrando el grado de acidez en el fruto, con el paso del tiempo, las frutas se tornan menos ácidos por la síntesis de los ácidos

orgánicos como sustrato respiratorio para continuar con el proceso de maduración (Alvarado et al., 2004). Previa a realizar el desarrollo del análisis estadístico, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0.45$) y homocedasticidad ($p = 0.08$) del modelo, respectivamente.

Tabla 16: Análisis de varianza pH

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	602.87	*
(B) Mezcla de gases	68.52	*
(A*B)	38.11	*
T1 vs T2	1420.41	*
Test vs Resto	1243.53	*

Al existir normalidad y homocedasticidad, se ejecutó el análisis de varianza expresada en la tabla 16 mostrando diferencia significativa para los factores (A) temperatura, (B) mezcla de gases y su interacción (A*B). La cual indica que la aplicación de distintas atmósferas modificadas y temperaturas de refrigeración (5 y 8°C) influyó en el comportamiento del pH en el pepino dulce durante su almacenamiento. Aunque existe diferencia significativa para la interacción entre los factores que se valoran en esta investigación no se puede observar el punto ideal por lo tanto es necesario trabajar con otros niveles para verificar el punto exacto en donde se realiza dicha interacción (anexo 4). El análisis de significancia Duncan al 5%, dió como resultado 6 grupos presentados en el anexo 5 en donde, los tratamientos T1, T3 y T2 (5°C) obtuvieron los valores más cercanos al día cero, esto como consecuencia de la disminución de la tasa respiratoria y el bajo consumo de los ácidos orgánicos presentes en la fruta. En el caso del tratamiento T4 (8°C), el alto contenido de CO₂ en su atmósfera, disminuye la velocidad del metabolismo de la fruta, obteniendo como resultado que la influencia de la modificación de los gases en la atmósfera que rodea la fruta y almacenadas a temperaturas de refrigeración (5 y 8°C) influyeron directamente en la reducción de los procesos fisiológicos del pepino dulce.

El tratamiento testigo T7 presentó un valor menor al T8 a pesar de estar expuesta bajo la misma composición atmosférica alta en oxígeno, para estos tratamientos influyó principalmente la temperatura, ya que a mayor temperatura mayor es la velocidad respiratoria y con ello un

incremento en el pH de la fruta (Alvarado et al., 2004), el tratamiento testigo T8 presentó el valor más alto de pH para el día 18, en comparación de los demás tratamientos como resultado de un proceso de maduración normal debido al alto contenido de oxígeno y una temperatura de 8°C, (anexo 5).

En la tabla 16 del análisis de varianza se observa diferencia significativa para los factores (A) temperatura y (B) mezcla de gases, por consiguiente, se realiza la prueba Duncan al 5% para los factores mencionados, presentando como mejor resultado el factor A1 (5°C) con un valor medio de 4.81 y el factor B1 (10%CO₂; 5%O₂) con un valor de 4.87, estos resultados corroboran lo expuesto en la prueba Duncan, (anexos 6 y 7).

Cinética del pH durante el almacenamiento

En la presente investigación el pH fue aumentando lentamente para los tratamientos T1, T2, T3 y tratamiento testigo T7 hasta el día 11 y posteriormente se observa una disminución hasta el día 18 de almacenamiento, como se puede ver en la figura 26, el incremento del pH, es consecuencia de la disminución de ácidos presentes en la pulpa del fruto, su posterior reducción podría ser atribuido a procesos de acidificación durante la senescencia acelerada del pepino dulce (Lanchero et al., 2007).

Los tratamientos T1, T2, y T3 muestran una caída del pH mayor al del T7 esto como secuela de someter productos frescos y con una madurez incompleta a una baja concentración de oxígeno o a un porcentaje elevado de dióxido de carbono a temperaturas de 5°C, como resultado se puede provocar estrés por atmósfera modificada, que se manifiesta por un deterioro acelerado de la composición de la fruta (Kader, Zagory, Kerbel y Wang, 2009).

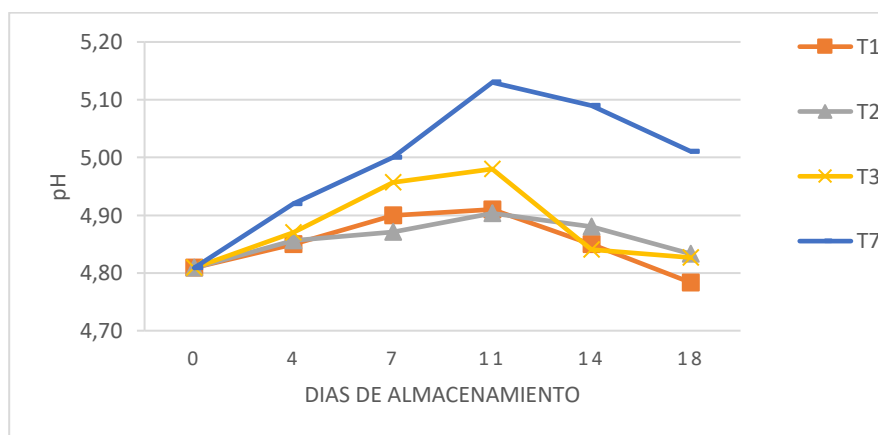


Figura 26. Cinética del pH a 5 °C

En la figura 27 se muestra que los valores de pH de todos los tratamientos aumentan progresivamente hasta el día 18 como consecuencia del consumo de los ácidos presentes en la fruta mediante el proceso de respiración, la temperatura influye en gran medida para que este proceso se lleve a cabo de una manera progresiva, estos resultados coinciden con los de Sora, Fischer, y Flórez, (2006) quienes mencionan que en los tratamientos bajo atmósferas modificadas, el pH se va incrementando en función del tiempo de almacenamiento, este aumento del pH coincide con una reducción de la acidez como lo indica Kader (2009) para varios productos vegetales almacenados en una atmósfera enriquecida con CO₂, sin embargo, este autor señala que no se sabe cuál es la razón de estos cambios, si el incremento del pH es una consecuencia del efecto del CO₂ sobre el metabolismo normal o si se trata de una reacción directa del tejido del vegetal para contrarrestar el efecto acidificante del CO₂.

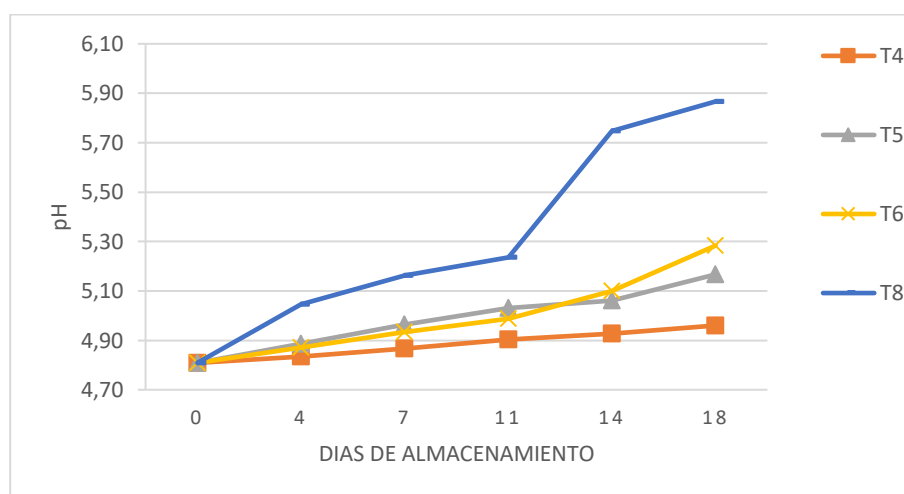


Figura 27. Cinética del pH a 8 °C

El tratamiento testigo T8 obtuvo el valor más alto para el día 18 de almacenamiento a diferencia de los tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, incluso el tratamiento testigo T7), el efecto del CO₂, en la composición atmosférica de la fruta ralentiza el metabolismo normal del pH por efecto de disminución de la velocidad respiratoria, en las figuras 27 y 28 se visualiza la diferencia de los testigos vs los tratamientos bajo condiciones controladas, por lo expuesto se determina que a bajas concentraciones de oxígeno, alto porcentaje de CO₂ y temperaturas de almacenamiento de 5 y 8 °C se retarda el incremento del pH.

El incremento del pH es consecuencia de la disminución de los ácidos presentes en el fruto, causado por el proceso de respiración. Como citó Ramos–Ramírez et al. (2009), explica que el control de pH es dependiente de la compartimentación intracelular, es decir de las diferentes funciones que se

realizan dentro de la célula, en los distintos espacios celulares, en la vacuola esto puede ser causado en la tercera etapa de la respiración o también conocido como “Ciclo de Krebs” (proceso aeróbico) en donde el ácido pirúvico es transformado en acetyl coenzima A, experimentando una serie de reacciones teniendo como consecuencia ATP (Adenosín Trifosfato o energía), NADH (Nicotinamida adenina dinucleótido), FADH (Flavina Adenina dinucleótido) que son encargados de depurar electrones que producen corriente, agregando protones con el fin de controlar el pH, y la liberación de dióxido de carbono.

4.3.1.3. Acidez titulable

Previo a realizar el desarrollo del análisis estadístico, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0.12$) y homocedasticidad ($p = 0.17$) del modelo, respectivamente. Los datos experimentales se muestran en la tabla 17 indicando que si existe diferencia significativa para los factores A (temperatura), B (mezcla de gases) y la interacción A*B.

Tabla 17: Análisis de varianza acidez titulable

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	101.58	*
(B) Mezcla de gases	29.52	*
(A*B)	57.48	*
T1 vs T2	210.26	*
Test vs Resto	181.71	*

Posterior a los resultados del modelo, se realizó una gráfica en la que se corrobora la interacción existente, ésta se manifiesta entre los tratamientos T2 (5°C - 5% CO₂; 4% O₂) y T5 (8°C - 5% CO₂; 4% O₂) con un valor de 0.9 (anexo 8), a continuación, se realizó la prueba Duncan al 5% la cual permitió el agrupamiento en 5 conjuntos presentados en el anexo 9, en donde, los tratamientos T3 y T1 (5°C) presentaron los valores más altos de acidez titulable, como consecuencia del almacenamiento a 5°C en donde se reduce la velocidad del proceso de maduración mediante el bajo consumo de los ácidos como sustrato respiratorio Lanchero et al. (2007), a continuación el tratamiento T4 (8°C) el cual presenta un valor cercano a los tratamientos T1 y T3 esto se debe al alto contenido de CO₂ presente en la atmosfera del T4, el CO₂ reduce los procesos metabólicos

de la fruta (Ramírez, 1996), el tratamiento T8 presentó el nivel más bajo de acidez para el día 18 debido a que al estar compuesto por un alto porcentaje de oxígeno y a una temperatura de 8 °C la fruta realiza su proceso de maduración normalmente consumiendo los ácidos y carbohidratos de reserva mediante la respiración, a diferencia del tratamiento testigo T7 que a pesar de estar bajo esta misma concentración gaseosa del T8 obtuvo valores menores, a razón de la temperatura a la que esta estuvo expuesta (5°C), Montes y Arévalo, (2001) menciona, que en la respiración, la temperatura puede interferir directamente en la velocidad de reacción de los procesos metabólicos, cuanto más elevada sea la temperatura, la respiración es mucho más rápida.

Posterior a los resultados del análisis de varianza se realizó la prueba de Duncan al 5% para los factores A (temperatura) y B (mezcla de gases), en el cual se obtuvo como mejor temperatura al factor A1 (5°C) con una media de 0,10 y como la mejor mezcla de gases al factor B1 (10%CO₂; 5%O₂) con una media de 0,10, estos valores se presentan en los anexos 10 y 11.

La acidez titulable y el pH, no se encuentran directamente relacionados, esto se debe principalmente a que el pH mide la concentración de hidrogenoides libres o concentración de iones de hidrógeno cargados positivamente mientras que la acidez titulable mide los ácidos presentes, representados en forma de aquel que se encuentre en mayor cantidad, como por ejemplo el cítrico (Sousa y Ribeiro, 2006).

Cinética de la acidez titulable durante el almacenamiento

La acidez titulable de los tratamientos estudiados en la presente investigación disminuyó desde valores de 0.17 a 0.06, siendo el tratamiento testigo T8 el que obtuvo el valor más alejado al del día inicial. Durante el almacenamiento, los tratamientos T1 y T3 almacenados a 5 °C y con mezclas de gases de (10%CO₂; 5%O₂) y (2,5%CO₂; 3%O₂) respectivamente, presentaron los niveles de acidez más altos, seguido del tratamiento T4 almacenado a 8°C con una mezcla de gases de (10%CO₂; 5%O₂) durante 18 días como se muestra en las figuras 28 y 29.

Los tratamientos T1, T2, T3 y tratamiento testigo T7 presentaron valores altos de acidez al final del tiempo experimental, sin embargo no llevaron un proceso de maduración normal, los frutos a esta temperatura presentaron daños en su estructura y alteración negativa en el comportamiento

de su composición, en un estudio para temperaturas similares citado por Galvis et al. (2002) mencionan que esta conducta es una manifestación de daños por frío, el cual se debe a la degradación de los ácidos orgánicos interrumpiendo la maduración normal del fruto (figura 28).

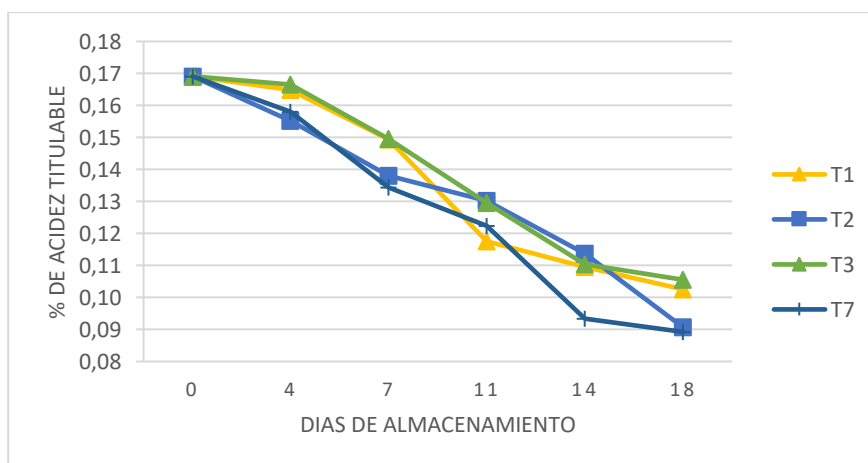


Figura 28. Cinética de la acidez titulable (ATT) a 5 °C

Los tratamientos T1, T2 y T3, no presentaron relación directamente proporcional de la acidez con el pH, debido a que en los últimos días de almacenamiento los niveles de acidez continuaron disminuyendo, sin embargo, los niveles de pH presentaron una degradación a partir del día 11, esto debido a que el pH depende de la concentración de hidrogeniones libres, mientras que la acidez titulable es expresada en el ácido predominante, cítrico, málico o tartárico (Kader, 2007), por lo que el pH contempla todos los ácidos presentes en el fruto, mientras que la acidez titulable representa al predominante y puede existir un comportamiento diferente a la disminución de la concentración en el tiempo para los demás ácidos que no se contemplan en la acidez titulable (figura 28).

Los tratamientos T4, T5, T6 y tratamiento testigo T8, presentaron una disminución progresiva de acidez durante los 18 días de almacenamiento, los resultados coinciden con los de Sora et al. (2006) en la que indica que la acidez total titulable muestra un comportamiento de disminución progresiva de los valores al aumentar los días de almacenamiento, sin embargo el descenso de esta variable se presenta de una manera retardada para el T1, T2, T3 a diferencia del T8 a razón de la influencia de altos niveles de CO₂ y un bajo nivel de oxígeno presente en la atmósfera a la que está sometida la fruta, esto se debe principalmente a que durante el proceso de maduración los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos de respiración o son convertidos en azúcares por el proceso de gluconeogénesis (Kader, 2007).

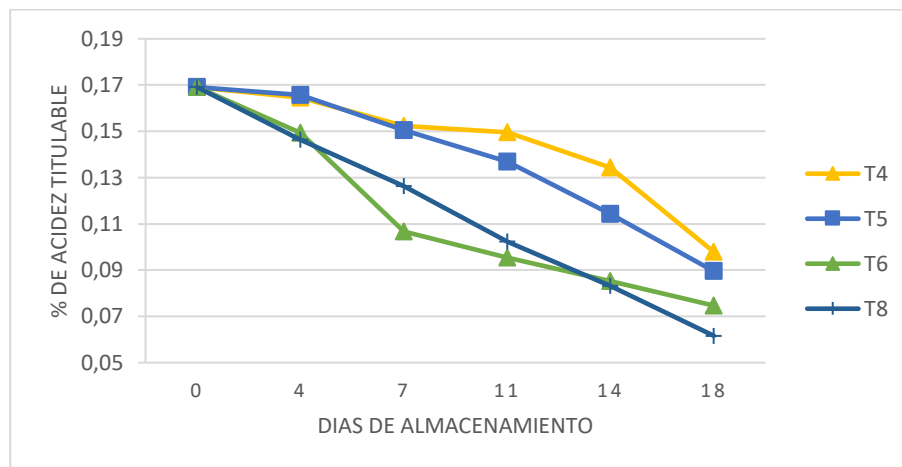


Figura 29. Cinética de la acidez titulable (ATT) a 8 °C

Los tratamientos T4, T5, T6 presentaron valores de acidez mayores a los del testigo T8, concluyendo que las mezclas de gases influyeron en gran medida para retardar el proceso fisiológico del T4, T5 y T6, el tratamiento T4 (10%CO₂; 5%O₂) obtuvo el valor más cercano al día cero bajo esta temperatura, Yahia (2005) verificó que las concentraciones altas de CO₂ y bajo O₂ inhiben la maduración del fruto con un menor uso de los ácidos orgánicos, posiblemente porque el CO₂ actúa como un inhibidor competitivo del etileno (figura 29).

Todos los tratamientos de la figura 29 presentan una disminución progresiva, Díaz (2002) mencionó que antes de la maduración, los ácidos orgánicos se encuentran presentes en alta cantidad en las frutas, el cual se reduce su contenido en la medida que se desarrolla el proceso de maduración y en particular cuando se inicia el aumento de azúcares libres o bien debido a que son utilizados como sustratos durante la respiración. Durante el proceso respiratorio se utilizan ácidos que se almacenan en el fruto durante su crecimiento como las deshidrogenasas, es decir que siendo los ácidos una reserva energética que se utiliza como sustrato respiratorio, es normal que el contenido de ácidos decline durante el almacenamiento (Lanchero et al., 2007).

4.3.1.4. Ácido ascórbico

En frutos y vegetales frescos el ácido ascórbico se encuentra presente en cantidades relativamente altas, se considera como un parámetro para determinar la calidad durante el almacenamiento. Previo a realizar el desarrollo del análisis estadístico, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0.97$) y

homocedasticidad ($p = 0.20$) del modelo, respectivamente. Los datos experimentales se muestran en la tabla 18.

Tabla 18: Análisis de varianza Ácido ascórbico

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	2416.37	*
(B) Mezcla de gases	119.05	*
(A*B)	217.67	*
T1 vs T2	985.79	*
Test vs Resto	1369.86	*

El modelo muestra diferencia significativa para los factores (A) temperatura, (B) mezcla de gases y su interacción A*B, en donde indica que la aplicación de distintas atmósferas modificadas almacenadas a temperaturas de refrigeración de 5°C y 8°C influyeron en el comportamiento del contenido de ácido ascórbico en la fruta. A pesar de que existe diferencia significativa para la interacción entre los factores que se valoran en esta investigación, no se puede observar el punto ideal por lo que es necesario trabajar con otros niveles para verificar donde se encuentra dicha interacción, (anexo 12). Posteriormente se realizó la prueba Duncan al 5%, en la que se obtuvo como resultado 6 grupos presentados en el anexo 13 en donde, los tratamientos T3, T1 y T2, obtuvieron los valores más cercanos al día cero (11.92 mg/100g), Carriel et al. (2014) al existir daños por frío se observa pardeamiento enzimático, este inicia con la oxidación de los fenoles por parte del oxígeno catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO), catecol oxidasa y otras que catalizan la producción de melaninas y quinonas a partir de fenoles naturales, estas quinonas son reactivas y capaces de modificar covalentemente un amplio abanico de especies nucleófilas, del interior de las células, que conduce a la formación de polímeros marrones, conocido como pardeamiento enzimático; el ácido ascórbico es altamente efectivo en la inhibición del pardeamiento, por su habilidad de reaccionar con las quinonas producidas por la PPO y volverlos a los polifenoles, antes de que la reacción de formación de pigmentos tenga lugar y de esta manera se consume el ácido ascórbico para los tratamientos T1, T2, T3.

A continuación, el tratamiento T4 (8°C) con un valor medio de 13 mg/100g, este tratamiento presenta un bajo incremento debido al contenido de CO₂ al que estuvo expuesto durante el almacenamiento, al reducir el contenido de O₂ y elevar el porcentaje de CO₂ se incrementa la retención del ácido ascórbico debido a que el CO₂ reduce los procesos de maduración de la fruta, estos resultados se presentan en el anexo 13 (Correal y Galvis, 2013).

El tratamiento testigo T8 presentó los valores más altos de ácido ascórbico para el día 18, a comparación de los demás tratamientos, estos resultados concuerdan con (Viñals y Martínez, 1996) en el que se indica que las frutas de pepino dulce en un estado de madurez fisiológico almacenados a temperatura ambiente, presenta un cambio notable en el contenido de vitamina C en los frutos, el cual experimenta incrementos muy variables al cabo de 15 días, pudiendo llegar incluso al 100% de su contenido. Sin embargo, el tratamiento T7 obtuvo valores inferiores al T8 a pesar de estar bajo la misma condición atmosférica, por lo que se puede asumir que para estos tratamientos influyó principalmente la temperatura, reduciendo la velocidad de su proceso fisiológico como sucedió en los SST y el pH.

En la tabla 18 se observa diferencia significativa para los factores (A) temperatura y (B) mezcla de gases, por consiguiente, se realizó la prueba Duncan al 5% para dichos factores presentando como mejor resultado el factor A1 (5°C) con un valor de 10.61 mg/100g y el factor B1 (10%CO₂; 5%O₂) con un valor de 12.02 mg/100g, estos resultados se muestran en los anexos 14 y 15.

Cinética del ácido ascórbico durante el almacenamiento

El ácido ascórbico o vitamina C presenta un sin número de características y propiedades debido a que es muy termosensible y lábil a la acción del oxígeno, esta pertenece al grupo de las vitaminas hidrosolubles, tiene una estructura de una lactona con una configuración enodiol y su característica principal es su oxidación reversible. El porcentaje de ácido ascórbico de los tratamientos T1, T2, T3 y T7 presentaron un incremento hasta la tercera toma de datos (día 11), posteriormente presentaron una caída en sus valores hasta el día 18, los tratamientos T3, T2 y T1 sufrieron una pérdida hasta valores de 10.37; 10.73; 10.75 mg/100g respectivamente, siendo incluso menores al día inicial (11.92 mg/100g), a temperatura de 5°C y la reducción de oxígeno se altera el proceso de maduración normal de la fruta de manera irreversible al cabo de 11 días de almacenamiento, Ahumada y

Cantwell (1996) en su investigación de estudios posteriores a la cosecha de pepino dulce menciona que, de las 3 etapas de madurez en estudio, las frutas en madurez fisiológica fueron severamente dañadas en dos semanas por temperaturas de almacenamiento de 5, y $<5^{\circ}\text{C}$, produciendo alteraciones en el comportamiento de la vitamina C. En la figura 30 se presenta el incremento y posterior pérdida de vitamina C durante los 18 días del experimento.

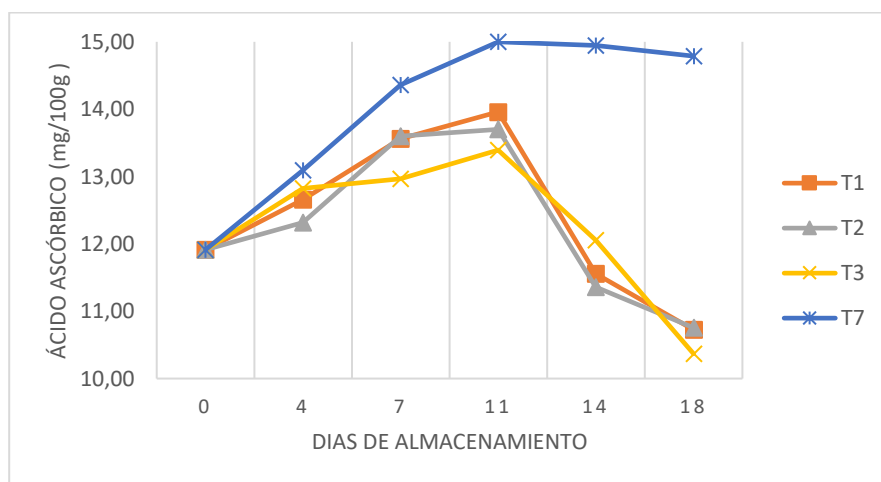


Figura 30. Cinética del ácido ascórbico a 5°C

Los tratamientos T1, T2, T3 y T7 presentados en la figura 30 presentan un declive en su comportamiento, este deceso se debería a la estructura química del ácido ascórbico que es muy sensible a la degradación, numerosos factores influyen en los mecanismos degradativos, entre ellos el pH, la concentración de oxígeno, las enzimas, los catalizadores metálicos, la concentración inicial del ácido y la relación ácido ascórbico - ácido L-dehidroascórbico (ADA), cuya estabilidad es mayor a pH ácidos. Serra y Cafaro (2007) mencionan que la degradación del ácido ascórbico se lleva a cabo mediante procesos oxidativos que resultan de la transferencia de dos electrones, inicialmente, se origina el monoanión ascorbato (AH^-), el cual, con la pérdida adicional de un segundo electrón, forma el ADA, altamente inestable y susceptible a la hidrólisis degrada porcarboxilación, con la consiguiente pérdida del valor nutricional del ácido ascórbico.

El tratamiento testigo T7 en la figura 30 presentó una caída menor a los tratamientos a esta temperatura, esto se debió a la presencia de una alta concentración de O_2 y bajo CO_2 , esto habría influenciado a que la fruta respire de una manera casi normal retardada únicamente por la temperatura, sin embargo, el daño por frío para este tratamiento también fue inevitable, Serra y

Cafaro (2007) indica que la vía de oxidación catalizada está influenciada por la presencia de oxígeno e iones metálicos como hierro (Fe^{3+}) y cobre (Cu^{2+}) que actúan acelerando la velocidad de la reacción, la velocidad de esta reacción depende de la concentración del catalizador metálico en presencia de oxígeno.

Los productos terminales de la degradación del ácido ascórbico adquieren importancia debido a su participación en el pardeamiento no enzimático o Reacción de Maillard. Esta reacción química ocurre entre azúcares no reductores, compuestos dicarbonílicos, o productos de degradación del ácido ascórbico con proteínas

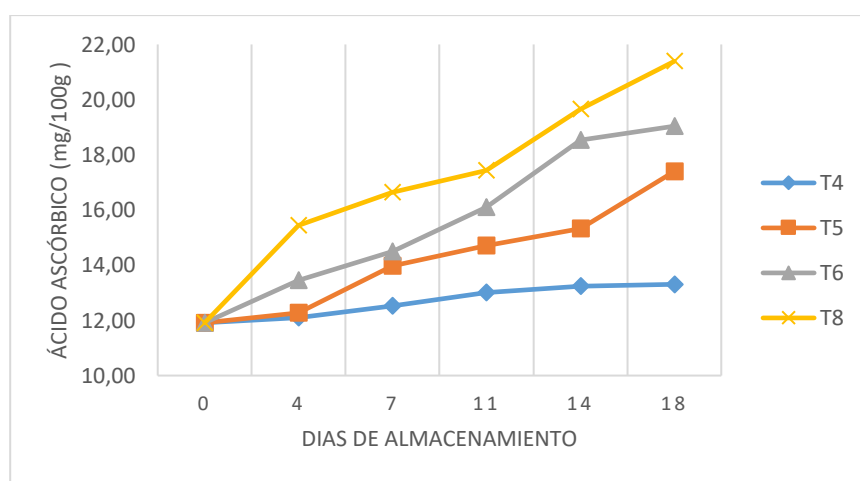


Figura 31. Cinética del ácido ascórbico a 8°C

Los tratamientos T4, T5, T6 y T8 presentaron un aumento continuo durante el almacenamiento, el tratamiento T4 (8 °C y 10%CO₂; 5%O₂) se incrementó mínimamente con un valor de 13.31% para el día final, siendo el valor más cercano al día inicial (11.91 mg/100g) para los tratamientos a 8°C, este resultado sería atribuido al bajo contenido de oxígeno en su atmósfera por el cual se ralentiza el proceso de maduración pausando los procesos bioquímicos que realiza la vitamina C en su proceso de degradación (figura 31).

Los tratamientos T5 y T6 alcanzaron valores de 17.40 y 19.04 mg/100g correspondientemente para el día 18, el tratamiento testigo T8 obtuvo el valor más alto para el final del tiempo experimental (21.39 mg/100g) llegando a su madurez comercial con un alto contenido de vitamina C. Estos resultados coinciden con los de Laguna y Arroyo (2015) quien menciona que la fruta presenta 4 estados de madurez siendo verde (1), pintón (2), maduro (3) y sobre maduro

(4) para los cuales el contenido de vitamina C tiende a aumentar del estado verde hasta el estado maduro y posteriormente disminuye en el estado sobre maduro, en el estado de madurez 3, obtiene el valor más alto de contenido de vitamina C.

4.3.1.5.Dureza

Monsalve, Velásquez y Tórres (2007) define a la dureza de una fruta, como la fuerza necesaria para traspasar sus tejidos y se relaciona directamente con el estado de madurez, por lo tanto, la firmeza de la fruta es considerada como un indicativo principal de la madurez, la dureza depende del estado de la fruta en el momento de la recolección, la temperatura y el almacenamiento. La firmeza es la fuerza necesaria para penetrar un producto en un tiempo determinado, esto se lleva a cabo mediante el uso de un equipo denominado texturómetro empleado para medir la fuerza requerida para comprimir, extruir o penetrar un alimento (Monsalve et al., 2007).

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0.37$) y homocedasticidad ($p = 0.13$) del modelo, respectivamente. El análisis de varianza, tal como se observa en la tabla 19 presentó diferencia significativa en los tratamientos (A) temperatura, (B) mezcla de gases (O_2 , CO_2 , N_2) y la interacción (A*B).

Tabla 19: Análisis de varianza dureza

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	25953.70	*
(B) Mezcla de gases	569.41	*
(A*B)	1211.18	*
T1 vs T2	6155.87	*
Test vs Resto	4842.54	*

De acuerdo con la tabla 19 existen diferencias significativas para la interacción entre los factores que se valoran en esta investigación, sin embargo, no se puede observar el punto exacto, por lo tanto, es necesario trabajar con otros niveles para verificar donde se encuentra la interacción (anexo 16).

Al existir significancia en el modelo, se realizó la prueba Duncan al 5% para los tratamientos, resultando 8 grupos distintos los cuales se muestran en el anexo 17. El tratamiento T4 obtuvo el valor más alto, Lancho et al. (2007) indican que la aplicación de métodos físicos y cambios de ambiente (composición gaseosa) y aplicación de temperaturas de refrigeración son de gran importancia debido a que limitan la actividad y la velocidad de las poligalacturonasas, pectinmetilesterasas y celulasas que son enzimas encargadas de degradar la pared celular de las frutas. A continuación, se obtuvo los tratamientos T6, T5 incluso el tratamiento testigo T8, esto pudo haber sido producto de la maduración de la fruta ya que los tratamientos almacenados a 5°C obtuvieron un comportamiento anormal durante los 18 días experimentales.

Los tratamientos T1, T2, T3 y testigo T7 obtuvieron los valores más bajos para el día 18 como resultado de una senescencia anormal debido a la temperatura de almacenamiento (5°C).

Correal y Galvis (2013) indican que las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y al corte) de frutas conservadas en atmósferas modificadas con un bajo porcentaje de O₂ y alto en CO₂ a bajas temperaturas de refrigeración se conservan por mayor tiempo comparada con frutas almacenadas en atmósfera normal, debido a que se disminuye la actividad de las enzimas degradadoras de la pared celular.

En la tabla 19 se observa diferencia significativa para los factores (A) temperatura y (B) mezcla de gases, por consiguiente, se realizó la prueba Duncan al 5% para dichos factores presentando como mejor resultado el factor A2 (8°C) y el factor B2 (5%CO₂; 4%O₂) estos resultados se muestran en los anexos 18 y 19.

Cinética de la dureza durante el almacenamiento (5°C)

La pérdida de firmeza es un factor muy importante en la palatabilidad de la fruta. La maduración se caracteriza por el ablandamiento del fruto, esto es debido a la acción de diferentes hidrolasas sobre los constituyentes de la pared celular, las cuales aumentan su actividad a medida que el fruto madura y altera las propiedades de algunos constituyentes de la célula como por ejemplo la pectina (Galvis et al., 2002).

Galvis et al., (2002) mencionan que conforme la fruta madura, la degradación de los polisacáridos que constituyen el tejido firme provoca menor resistencia a la presión y a la vez brinda las características organolépticas propias de la fruta.

Todos los tratamientos de obtuvieron un descenso progresivo de la firmeza durante 18 días, Sousa y Ribeiro, (2006), explican que la pérdida de firmeza, se da por la acción de las enzimas poligalacturonasas y celulasas, lo cual tiene lugar a la madurez, durante el proceso de respiración y síntesis de etileno. La degradación de los hidratos de carbono poliméricos, especialmente la de las sustancias pépticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unidas unas células a otras. En las etapas iniciales mejora la dureza, pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran, la velocidad de degradación de las sustancias pépticas está directamente correlacionada con la de ablandamiento de la fruta (Solís, 2015).

Sin embargo, de acuerdo con la figura 32, los tratamientos almacenados a 5°C obtuvieron los valores más bajos de resistencia a la presión de la piel de la fruta, esto se debe al ablandamiento a causa del estrés por frío que sufrieron durante el tiempo experimental, cuando los frutos sensibles son almacenados a bajas temperaturas por periodos largos, se pueden presentar cambios en la actividad de las poligalacturonasas y pectinesterasas, encargados del ablandamiento de los frutos, los cuales pueden ser afectadas en su síntesis y acción, que es una manifestación del daño por frío (Galvis et al., 2002).

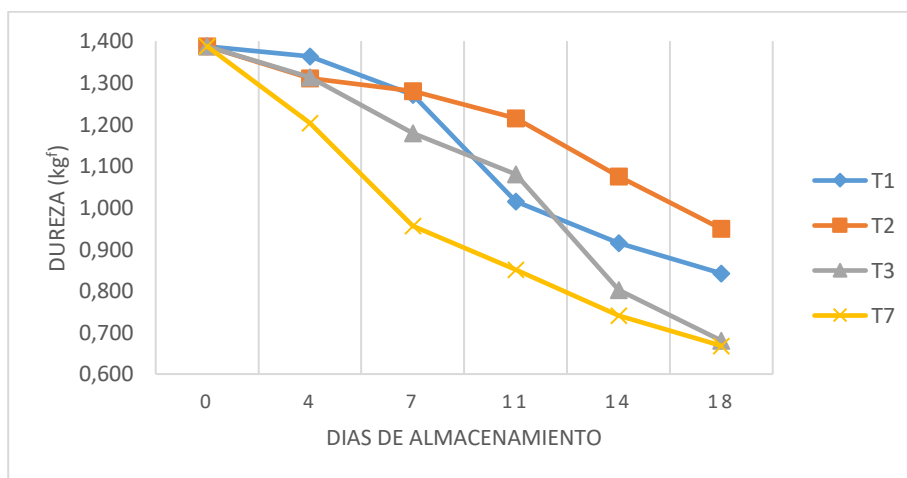


Figura 32. Cinética de la dureza a 5°C

Hernández, Barrera, Páez, Ardila y Rubio (2004) en su estudio de los aspectos biológicos y conservación de frutas señalan que la firmeza disminuye durante el almacenamiento, sin embargo, los frutos refrigerados a 7°C no disminuyen la firmeza, únicamente como consecuencia de la degradación de protopectinas a compuestos de menor peso molecular, debido al proceso de maduración, sino que también puede ser debida a lesiones internas, como el encharcamiento, resultado de la temperatura de refrigeración que ocasiona el daño por frío (figura 32).

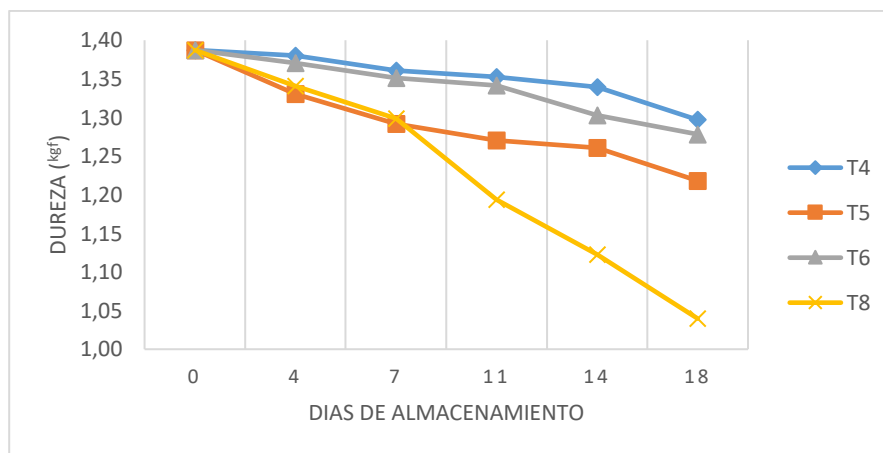


Figura 33. Cinética de la dureza a 8°C

De acuerdo con la figura 33, el mejor tratamiento para la firmeza es el T4 (8°C y 10%CO₂; 5%O₂), este requiere más fuerza para penetrar la piel de la fruta y obtuvo el valor más cercano al día inicial, la resistencia a la presión es un indicador propio del estado de madurez de una fruta, estos resultados coinciden con los de Kader citado por Galletti et al., (2006), donde se menciona que la firmeza de los frutos almacenados en bolsas de polietileno selladas se mantuvo, debido a que ciertas concentraciones de CO₂ mantienen la firmeza de la frutas.

Los efectos beneficiosos de las altas concentraciones de CO₂ en la reducción del ablandamiento del fruto se debió a la supresión de la degradación de la protopectina a pectina soluble, por la inhibición de las actividades de las enzimas degradadora de la pared celular, la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa (Heyes, Blaikie, Downs, y Sealey, 2016).

El tratamiento T8 alcanzó valores menores debido a que los frutos sometidos a altas concentraciones de oxígeno durante el almacenamiento, el color y la firmeza se degradan más

rápidamente. Gómez y Camelo (2002). Correal y Galvis (2013), encontraron que entre más alta sea la concentración de O₂ dentro de la atmósfera de almacenamiento la degradación de los compuestos de la pared celular del fruto es mayor.

4.3.1.6. Color

El color que caracteriza el pepino se encuentra en la clorofila la cual a medida que avanza la maduración se va degradando, pero los carotenoides subsisten, y algunos de ellos son sintetizados. La desaparición de la clorofila desenmascara el color de xantofilas y carotenos. Dependiendo de la cantidad relativa de uno u otro pigmento, el color del fruto maduro varía de rojo a amarillo. Algunos compuestos volátiles como el etileno aceleran la degradación de la clorofila, mientras que otros como es el dióxido de carbono, la retrasan (Solís, 2015).

En numerosas frutas, la desaparición del color verde (frecuentemente designado como color de fondo) constituye una buena guía con respecto a su grado de madurez. Inicialmente, se produce una pérdida gradual de la intensidad del color verde oscuro, hasta alcanzar una tonalidad más clara y en algunos frutos, una desaparición total del verde acompañada de la aparición de pigmentos amarillos rojos o púrpura (Solís, 2015). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado y la prueba de Levene para verificar el supuesto de normalidad ($p = 0.29$) y homocedasticidad ($p = 0.99$) del modelo, respectivamente. Los análisis de varianza presentadas en los anexos 20, 21 y 22 no muestran diferencia significativa para la luminosidad, Hue* y Cromo.

Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 obtuvieron valores de 117.33 a 115.49 para el ángulo Hue* al no ser diferentes significativamente se entiende que los factores no influyeron en el cambio del tono Hue* al igual que para el croma con valores de 100.72 a 99.82, los tratamientos testigo T7 y T8 fueron los más alejados a los datos del día cero (Hue*: 132.92; Cromo: 115.06). El color no tuvo un cambio significativo por lo que es irrelevante el tratamiento que se deba aplicar a esta fruta para su almacenamiento, pues el resultado será similar (figura 34).

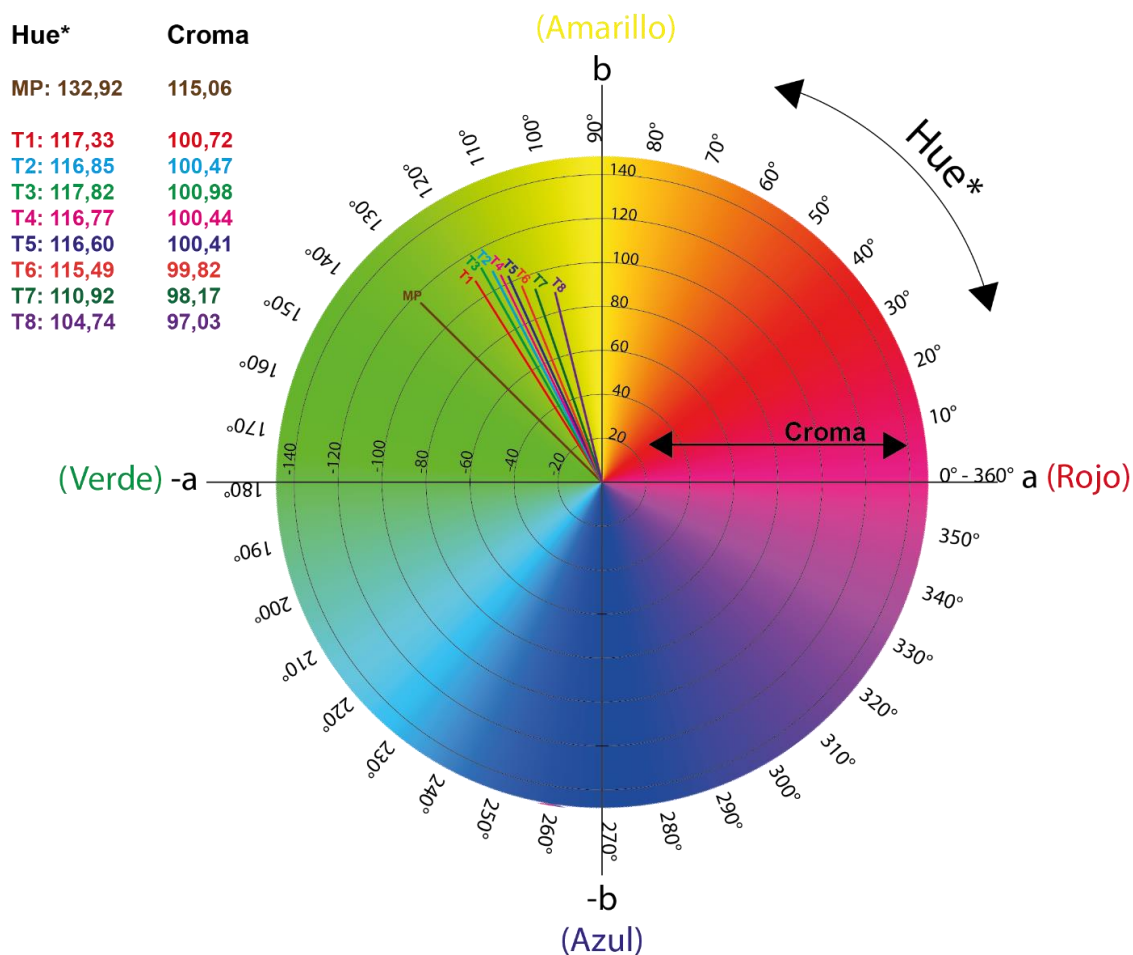


Figura 34. Representación del tono de color Hue*, Croma en la gráfica de color en pepino dulce en madurez fisiológica

Como ya se ha mencionado anteriormente en la figura 34 se ratifica que la temperatura permite cambios acelerados en el fruto por esta razón los tratamientos T1, T2, T3 se mantienen más verdes que los tratamientos T4, T5, T6, T8, los tratamientos almacenados a 8°C alcanzaron esos valores de acuerdo al primer descenso del contenido de clorofila siendo este un indicativo del inicio de la maduración como lo menciona Díaz (2002) a diferencia de los tratamientos T1, T2, T3, T7 que posiblemente alcanzaron estos resultados de acuerdo con el segundo descenso de la clorofila, puede ser debido a los procesos de senescencia y muerte de los tejidos, causado por la disminución de pH, debido principalmente a la salida de los ácidos orgánicos de la vacuola, actividad de las enzimas clorofilasas y reacciones de oxidación, causando cambios en coloración de verde olivo, verde brillante, pardeamiento y hasta pérdida del color (Velázquez et al., 2013).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Al realizar los análisis fisicoquímicos en la caracterización de los frutos de pepino dulce, presentaron cambios, el pepino dulce, en un estado de madurez fisiológica tiene características iniciales de una acidez titulable de 0,170, un pH de 4.85, sólidos solubles de 5.38, contenido de ácido ascórbico 11.91 mg/100g. En este estado de madurez presentó un color verde, la dureza alcanzó un valor inicial de 1.3873 kg^f, se demuestra que a medida que los frutos maduran existe un cambio de color desde un verde a un verde blanquecino y amarillo blanquecino, pérdida de dureza y sabor más dulce por la disminución de la presencia de ácidos orgánicos, pérdida de agua y el aumento de la concentración de sólidos solubles.
- El consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono presentó un comportamiento similar para las temperaturas en estudio (5 y 8°C), presentando una estabilización a partir del cuarto día de almacenamiento, debido a la permeabilidad de la bolsa de polietileno puesto que permitió el intercambio gaseoso.
- Los tratamientos testigo T7 y T8 presentaron una reducción drástica del porcentaje de oxígeno inicial sin embargo no llegaron al estado de estabilización durante los 18 días del experimento, lo que podría indicar que la estabilización de los gases pudiese darse al cabo de unos días más en almacenamiento.
- El comportamiento del pH y la acidez titulable no se hallaron directamente relacionados durante el almacenamiento para los tratamientos almacenados a 5°C. El pH contempla los ácidos presentes en el fruto, mientras que la acidez titulable representa solamente al ácido que predomina (ácido cítrico). Así, una disminución de la acidez titulable no necesariamente implica un aumento del pH.
- Los tratamientos almacenados a 5°C (T1, T2, T3) presentaron los mejores resultados estadísticamente para la conservación cercana al valor inicial en las variables evaluadas,

sin embargo, se toma como mejor resultado a los tratamientos almacenados a 8 °C (T4, T5, T6) debido a que los tratamientos a 5 °C presentaron daños por frío.

- El color de la piel se mantuvo relativamente similar entre todos los tratamientos, por lo que para esta variable habría influenciado principalmente la temperatura, siendo así que obtuvieron los valores más cercanos a la inicial los tratamientos a 5°C.
- Con base en los resultados se acepta la hipótesis alternativa, sustentado en que la concentración de la mezcla de gases de dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno a distintas temperaturas afecta las propiedades fisicoquímicas el contenido de ácido ascórbico y la tasa de respiración del pepino dulce.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se podría aplicar el almacenamiento en atmósferas modificadas a 8 °C con un porcentaje de O₂ de 5- 8% y de 4- 10% de CO₂, ralentizando los procesos bioquímicos del pepino dulce sin alterar su composición nutricional y sabor característico, esta investigación está dirigida principalmente hacia los productores de esta fruta en el cantón Pimampiro mejorando su economía y disminuyendo pérdidas durante la postcosecha.

5.2.RECOMENDACIONES

- Aplicar otras composiciones de gases de atmósferas modificadas activas, otros tipos de envases: fundas de polietileno de distintas características, grosor, perforada y sellada con distintos tipos de películas de quitosano por inmersión y considerar un testigo sin recubrimiento, que se emplean en vegetales frescos de corta durabilidad postcosecha como el pepino dulce.
- Realizar una investigación con un tiempo más prolongado para los tratamientos T7 y T8 bajo las mismas condiciones para observar el momento en el que sucede la estabilización de los gases dentro de la bolsa de polietileno.
- Para estudios similares en esta fruta es recomendable realizar el análisis del color de la pulpa del pepino dulce para verificar los cambios durante la maduración.
- En estudios posteriores se recomienda realizar las mediciones de la intensidad respiratoria con un sistema de sellado más correcto al momento de la toma de datos, ensayar con una especie de septum de silicona u otro tipo de cinta para lograr total hermeticidad de la bolsa y obtener resultados con mayor precisión.
- Realizar un análisis organoléptico del pepino dulce bajo condiciones de atmosferas modificadas, mediante un panel para verificar la aceptación del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, M., & Cantwell, M. (1996). Postharvest studies on pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.): maturity at harvest and storage behavior. *Postharvest Biology and Technology*, 7(1,2), 129-136.
- Alcaráz, E. C. (1987). *Manual del fruticultor moderno*. México: Limusa, S.A.
- Alvarado, P. A., Berdugo, C. A., & Fischer, G. (2004). Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5° C) y la humedad relativa sobre las características físicoquímicas de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. durante el posterior transporte y almacenamiento. 22(2), 147-159.
- Álvarez, M. F. (2000). Envasado activo de los alimentos: revisión. *Ciencia y tecnología de alimentos internacional*, 6(2), 97-108.
- Angós, I. I. (2008). Empleo de atmósferas ricas en CO₂ y altas concentraciones de O₂ en la mejora de las características de calidad de patata mínimamente procesada del cv. Monalisa almacenada en refrigeración. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 422-430.
- AOAC. (2000). Association of Official Agricultural Chemists. *Método 967.21*. Estados Unidos: Association of Official Agricultural Chemists.
- AOAC Official Method 942.15. (2005). Official method of Analysis of AOAC International. *Acidity (Titrable) of Fruit Products*.
- Arévalo, S., & Montes, J. (2001). Determinación del calor de respiración de frutas por el método de titulación. *Amazónica de investigación alimentaria*, 2(1), 27-37.
- Artés, F. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 61-85.
- Bartrina, J. A., Majem, L. S., Rodrigo, C. P., & Anta, R. M. (2006). *Frutas, verduras y salud*. Elsevier España: Masson.

- Biblioteca Venezuela (IICA) . (1987). *Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas*. Colombia: IICA.
- Camelo, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Carriel, J. M., Obrebska, A. A., Bru-Martínez, R., Patiño, M. C., Pico-Saltos, R., & Rodríguez, E. N. (2014). Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 23-31.
- Chamorro, G. E. (2014). Proyecto de pre factibilidad para la exportación de pepino dulce. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Correal, Á., & Galvis, J. A. (2013). Efecto de la atmósfera modificada en la conservación del tomate (*Solanum lycopersicum*) larga vida mínimamente procesado. *Revista de Investigaciones de Uniagraria*, 1(1), 87-94.
- Díaz, D. H. (2002). *Fisiología de árboles frutales*. México: AGT Editor.
- Enríquez, G. C. (1994). *Atlas agropecuario de Costa Rica*. Costa Rica: Universidad estatal a distancia.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 1-15.
- Galletti, L., Berger, H., Drouilly, D., & Lizana, L. A. (2006). Atmósfera modificada en fruto de pepino dulce. *IDESIA*, 24(2), 35 - 40.
- Galvis, J. A., Arjona, H., Fischer, G., Landwehr, T., & Martínez, R. (2002). Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. *Agronomía Colombiana*, 19(1,2), 23-35.
- García, C. C., & Peña, C. R. (2012). *Determinación de la tasa respiratoria en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)*. Pamplona: Universidad de Pamplona.
- Gómez, P. A., & Camelo, A. F. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 38-43.

- Hernández, M. S., Barrera, J. A., Páez, D., Ardila, E. O., & Rubio, H. R. (2004). *Aspectos biológicos y conservación de frutas promisorias de la Amazonia Colombiana*. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI".
- Heyes, J. A., Blaikie, F., Downs, C., & Sealey, D. (2016). Cambios texturales y fisiológicos durante la maduración del pepino (*Solanum muricatum* Ait.). *Scientia Horticulturae*, 7(6), 129-136.
- Kader, A. A. (2007). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. California: Universidad de California.
- Kader, A. A., Zagory, D., Kerbel, E. L., & Wang, C. Y. (2009). Envasado en atmósfera modificada de frutas y verduras. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*, 13(2), 1-30.
- Laguna, D. D., & Arroyo, G. A. (2015). Vitamina C y parámetros físicoquímicos durante la maduración de *Berberis lobbiana* "UNTUSHA". *Sociedad química del Perú*, 81(1), 63-75.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Revista corpoica - ciencia y tecnología agropecuaria*, 8(1), 61-68.
- López, L., Pacheco, W., Yuber, U., Ruiz, A., Osuna, T., Ibarra, M., . . . Valdez. (2006). *Determinación de tasas de respiración*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Mattos, L. M., Moretti, C. L., & Ferreira, M. D. (2012). Modified atmosphere packaging for perishable plant products. En F. Dogan, & F. Dogan (Ed.), *Polypropylene* (págs. 95-110). IntechOpen.
- Meneses, S. M., & Valenzuela, J. R. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2017). El pepino y su cultivo. Ibarra, Imbabura.

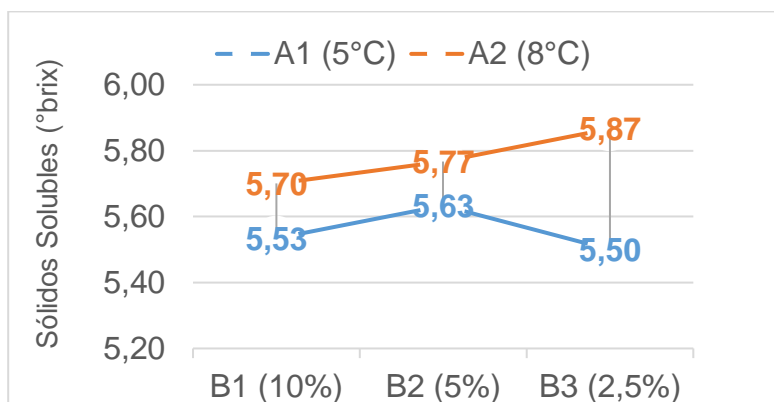
- Monsalve, D. M., Velásquez, H. J., & Tórres, I. D. (2007). Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(2), 4163-4178.
- Montes, J., & Arévalo, S. (2001). Determinación del calor de respiración de frutas por el método de titulación. *Revista amazónica de investigación alimentaria*, 27-37.
- NTE INEN 381. (1985). Determinación de acidez titulable. Quito, Pichincha, Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN ISO 1842. (2013a). Productos vegetales y de frutas – determinación de pH (IDT). Quito, Pichincha, Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- NTE INEN ISO 2173. (2013b). Productos vegetales y de frutas – determinación de sólidos solubles – método refractométrico (IDT). Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Nuez, F., Morales, R., Ruiz, J., Córdoba, P. F., Valdivieso, E., & González. (2006). Recolección de especies hortícolas en Ecuador. *FAO/IPGRI Plant Genetic Resources*, 26, 29-33.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1982). *Residuos de plaguicidas en los alimentos*. Australia.
- Ramírez, J. M. (1996). Fotosíntesis. Absorción y utilización de la luz en la membrana fotosintética. En J. Bieto, & M. Talon, *Fisiología y bioquímica vegetal* (págs. 91-477). Madrid: McGraw-Hill-Interamericana.
- Ramírez, S. S., Zaragoza, M. Z., Meléndez, R., & Román, J. A. (2003). Evaluación de los cambios físicos y de textura en kiwi almacenado en refrigeración con y sin envase. *Información Tecnológica*, 27(2), 3-6.
- Ramos-Ramírez, F. X., Alia-Tejagal, I., López-Martínez, V., Colinas-León, M. T., Acosta-Durán, C. M., Tapia-Delgado, A., & Villegas-Torres, O. (2009). Almacenamiento de frutos de zapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn] en atmósfera modificada. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 1(15), 17-23.

- Redgwell, R. J., & Turner, N. A. (1986). Pepino (*Solanum muricatum*): Chemical Composition of Ripe Fruit. *Journal of the Food and Agriculture*, 37(12), 1217-1222.
- Ren, W., & Tang, D. (1998). Extract of *Solanum muricatum* (Pepino/CSG) inhibits tumor growth by inducing apoptosis. *Anticancer*, 19(1), 403 - 408.
- Rivero, Á. J., & Moreno, J. G. (2015). *Labores culturales y recolección de los cultivos ecológicos*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Romero, D. M., Serrano, M., & Valero, D. (2003). Physiological changes in pepino (*Solanum muricatum* Ait.) fruit stored at chilling and non-chilling temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 30(2), 177-186.
- Schwartz, M., & Núñez, K. (1998). Preparación de zumo pasteurizado de pera melón. *Alimentos*, 13(1), 31-34.
- Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(4), 525-532.
- Silla, D. T. (2014). Caracterización morfológica y molecular en pepino dulce (*Solanum muricatum*) y especies silvestres relacionadas (Tesis Doctotal). Valencia.
- Solís, M. G. (2015). Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum*) durante las fases de crecimiento, maduración y postcosecha (Tesis Doctotal, Universidad Politécnica de Valencia).
- Sora, Á. D., Fischer, G., & Flórez, R. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada. *Agronomía Colombiana*, 24(2), 306-316.
- Sousa, M. G., & Ribeiro, P. C. (2006). Estudio del comportamiento poscosecha de la ciruela 'Reina Claudia verde'. *Universidade de Évora*, 1(1), 13-57.
- Ulloa, J. A. (2007). *Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos*. México: Universidad Autónoma de Nayarit.

- Velázquez, D. M., Romero, W. C., Lara, E. G., Martínez, A. I., Díaz, J. M., & Díaz, B. B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Ciencia Agrícola*, 4(6), 909-920.
- Viñals, F. N., & Martinez, J. J. (1996). *El pepino dulce y su cultivo*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Yahia, E. M. (2005). Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Stewart Postharvest Review*, 2(5), 123-183.
- Zapata, M. P., & Rico, Á. M. (2017). *Módulo de manejo de cosecha y poscosecha de las frutas*. Colombia: Corpoica.

ANEXOS

Anexo 1: Interacción A*B sólidos solubles



Anexo 2: Significancia Duncan al 5% Sólidos Solubles

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
T3	5.50	a
T1	5.53	a
T2	5.63	a
T4	5.70	b
T7	5.73	b
T5	5.77	b c
T6	5.87	c
T8	6.83	d

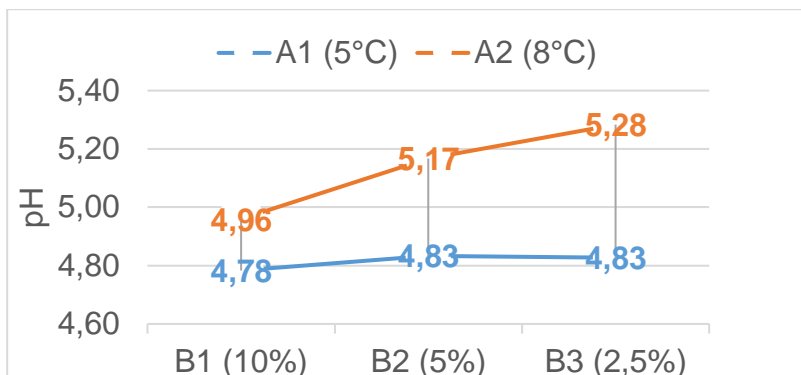
¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$);

Anexo 3: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) solidos solubles

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
A1	5.58	a
A2	5.76	b

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 4: Interacción A*B pH



Anexo 5: Significancia de Duncan al 5% pH

Tratamientos	Medias	Rangos ¹					
T1	4.78	a					
T3	4.83	a					
T2	4.83	a					
T4	4.96		b				
T7	5.01			c			
T5	5.17				d		
T6	5.28					e	
T8	5.87						f

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) pH

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
A1	4.81	a
A2	5.14	b

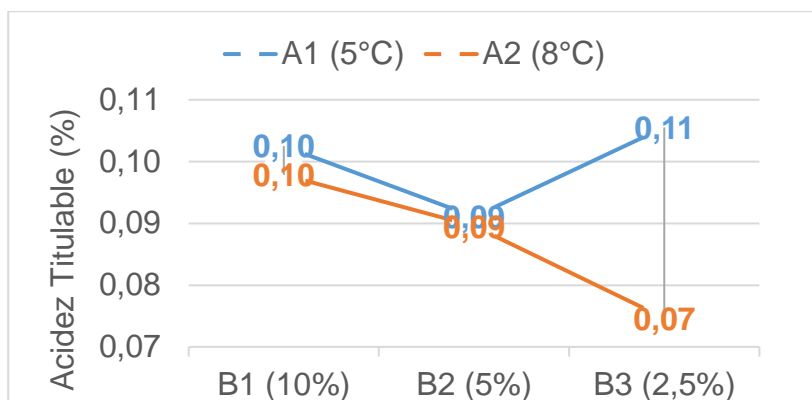
¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 7: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) pH

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
B1	4.87	a
B2	5.00	b
B3	5.06	b

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 8: Interacción AxB acidez titulable



Anexo 9: Significancia Duncan al 5% acidez titulable

Tratamientos	Medias	Rangos ¹		
T3	0.11	a		
T1	0.10	a		
T4	0.10		b	
T7	0.09			c
T2	0.09			c
T5	0.09			c
T6	0.07			d
T8	0.06			e

1Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 10: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) acidez titulable

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
A1	0.10	a
A2	0.09	b

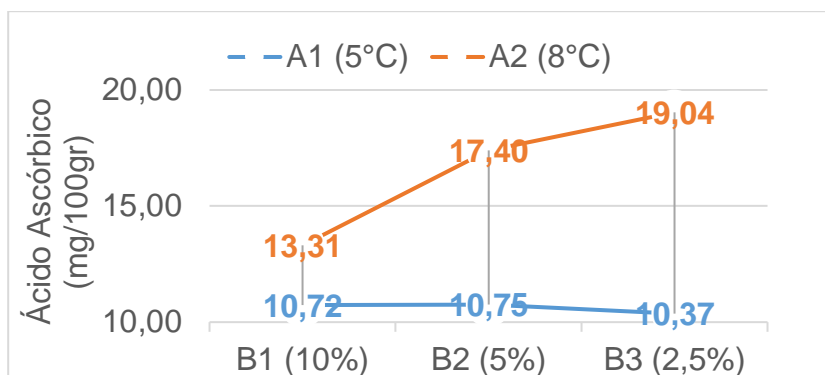
1Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 11: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) acidez titulable

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
B1	0.10	a
B3	0.09	b
B2	0.09	b

1Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 12: Interacción AxB ácido ascórbico



Anexo 13: Significancia de Duncan al 5% ácido ascórbico

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
T3	10.37	a
T1	10.73	a
T2	10.75	a
T4	13.30	b
T7	14.79	c
T5	17.40	d
T6	19.04	e
T8	21.39	f

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 14: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) ácido ascórbico

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
A1	10.61	a
A2	16.58	b

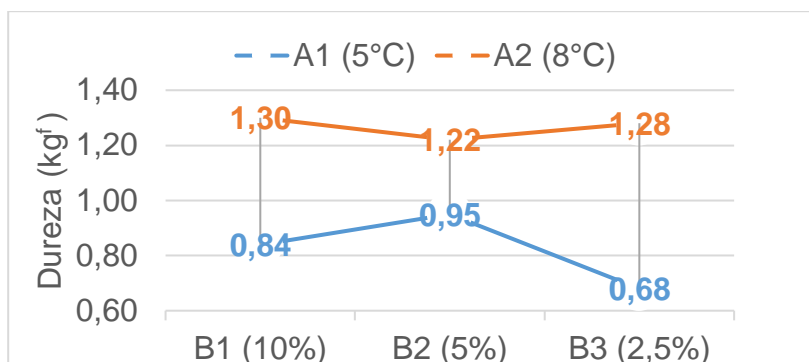
¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 15: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) ácido ascórbico

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
B1	12.02	a
B2	14.08	b
B3	14.71	c

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 16: Interacción A x B dureza (kg^f)



Anexo 17: Significancia Duncan al 5% dureza

Tratamientos	Medias	Rangos ¹								
T4	1.30	a								
T6	1.28		b							
T5	1.22			c						
T8	1.04				d					
T2	0.95					e				
T1	0.84						f			
T3	0.68							g		
T7	0.67								h	

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 18: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor A (temperatura) dureza

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
A2	1.27	a
A1	0.82	b

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 19: Significancia de Duncan al 0.05 para el factor B (mezcla de gases) dureza

Tratamientos	Medias	Rangos ¹
B2	1.09	a
B1	1.07	b
B3	0.98	c

¹Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$);

Anexo 20: Análisis de varianza Luminosidad

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	3.08	ns
(B) Mezcla de gases	0.17	ns
(A*B)	1.17	ns
T1 vs T2	40.41	*
Test vs Resto	240.93	*

Anexo 21: Análisis de varianza Hue*

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	3.25	ns
(B) Mezcla de gases	0.18	ns
(A*B)	1.24	ns
T1 vs T2	38.03	*
Test vs Resto	240.75	*

Anexo 22: Análisis de varianza Croma

Fuente de variación	Fo	
(A) Temperatura	4.36	ns
(B) Mezcla de gases	0.21	ns
(A*B)	1.96	ns
T1 vs T2	6.69	*
Test vs Resto	144.93	*