

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS, POLIFENOLES Y
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN PITAHAYA *Selenicereus megalanthus*
DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS.”**

Tesis previa a la obtención del título de ingeniero agroindustrial

AUTOR: Ayala Villarreal Audelo Xavier

Director: Ing. Juan Carlos De La Vega

**Ibarra-Ecuador
2021**



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 de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

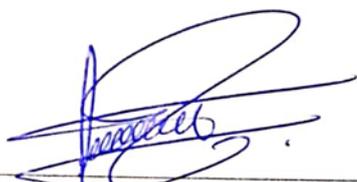
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450128806
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ayala Villarreal Audelo Xavier
DIRECCIÓN:	Barrio Vicente Solano-Tabacundo
E-MAIL:	axayalav@utn.edu.ec
TELEFONO:	0990658914
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de características físico químicas, polifenoles y capacidad antioxidante en pitahaya <i>Selenicereus megalanthus</i> durante el almacenamiento en atmósferas modificadas.
AUTOR:	Ayala Villarreal Audelo Xavier
FECHA:	14/12/2021
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR	Ing. Juan Carlos De La Vega, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días de diciembre del 2021.

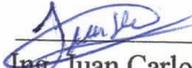
AUTOR:



Ayala Villarreal Audelo Xavier
C.I.: 0450128806

CERTIFICACIÓN DE AUTORIA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Audelo Xavier Ayala Villarreal, con cédula de ciudadanía 0450128806, bajo mi supervisión.


Ing. Juan Carlos De la Vega, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Augdelo Ayala y Esthela Villarreal, por su amor, comprensión, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar a cumplir una de mis metas. Con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional. Es un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

Audelo A.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, además de ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Augdelo y Esthela, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

De igual manera agradecer a mis hermanos que han estado brindándome palabras de aliento para culminar con mis estudios y han sido siempre un apoyo incondicional a lo largo de mi existencia.

Agradezco a cada uno de los docentes de la Carrera de Agroindustrias, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al tutor de mi proyecto de investigación Ing. Juan Carlos De la Vega y a mis asesores Ing. Rosario Espín y Bioq. Valeria Olmedo, quienes me han guiado con su paciencia, y su rectitud como docentes.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

Audelo A.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE ANEXOS	V
Resumen	VI
Abstract.....	VII
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Hipótesis	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1. Pitahaya Amarilla.....	5
2.1.1. Valor Nutricional y Aplicaciones.....	6
2.1.2. Características Fisicoquímicas.....	6
2.1.3. Índice de Madurez.....	8
2.2. Conservación de Alimentos	8
2.2.1. Atmósferas Modificadas (AM), Controladas (AC) y Temperaturas de Almacenamiento.....	9
2.3. Capacidad Antioxidante (CA), Polifenoles y Vitamina C.....	12
2.4. Determinación de Polifenoles	15
2.5. Métodos para medir Capacidad Antioxidante.....	16
2.5.1. Espectrofotometría.....	16
2.6. Color	18
2.7. Análisis Económico	20
CAPÍTULO III	21
3.1. Caracterización del Área de Estudio.....	21
3.2. Materiales, Equipos y Reactivos.....	22
3.3. Métodos.....	23
3.3.1. Determinación de las Características Fisicoquímicas (Color, pH, Sólidos Solubles, Acidez Titulable, Índice de Madurez), Polifenoles y la Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Antes de su Almacenamiento.....	23
3.3.2. Evaluación de Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Durante su Almacenamiento en Atmósfera Modificada.....	23
3.4. Desarrollo del Experimento	24
3.4.1. Factores en Estudio.....	24
3.4.2. Tratamientos	25

3.4.3. Diseño Experimental	26
3.4.4. Análisis Microeconómico del Proceso de Conservación Para el Mejor Tratamiento.....	27
3.5. Caracterización Específica del Experimento	28
3.5.1. Descripción del Proceso.	30
CAPÍTULO IV	33
4.1. Caracterización Fisicoquímica de la Pitahaya Previo al Almacenamiento	33
4.1.1. Análisis Fisicoquímicos.....	33
4.1.2. Análisis Funcionales.....	35
4.2. Evaluación de Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Durante su Almacenamiento en Atmósfera Modificada.....	36
4.2.1. Comportamiento del Contenido Polifenoles Totales.....	36
4.2.2. Comportamiento de la Capacidad Antioxidante (CA).	39
4.3. Efecto de las Atmósferas Modificadas Sobre las Características Fisicoquímicas, Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Después de su Almacenamiento.	40
4.3.1. Características Fisicoquímicas	40
4.3.2. Características Funcionales	46
4.4. Análisis Microeconómico del Proceso de Conservación del Mejor Tratamiento.	51
CAPÍTULO V.....	53
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones	54
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	64
Anexo 1. Descripción de los métodos analíticos.....	65
Anexo 2. Metodología para el análisis microeconómico	74
Anexo 3. Datos para el análisis microeconómico.....	76
Anexo 4. Especificaciones técnicas del empaque.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tabla de color de pitahaya amarilla según la Norma Técnica Colombiana NTC -3554 1996.....	8
Figura 2. Resumen de las vías de producción de radicales libres y los principales sistemas antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos.....	13
Figura 3. Mecanismo propuesto para la estabilización de radicales libres por la vitamina C.....	14
Figura 4. Mecanismos de acción del reactivo de Folin-Ciocalteu.....	16
Figura 5. Captación del radical libre del DPPH• y formación de DPPH.	18
Figura 6. Espacio de Color CIE L*C*h*	19
Figura 7. Diagrama de flujo de la fase experimental.....	29
Figura 8. Pitahaya amarilla obtenida de ASOPROCIEL.....	30
Figura 9. Pitahaya amarilla en estado de madurez fisiológico.	30
Figura 10. Limpieza de la fruta.	31
Figura 11. Envasado de la fruta en AM.....	32
Figura 12. Almacenamiento en AM y refrigeración.	32
Figura 13. Cinética del comportamiento de polifenoles presentes en pitahaya durante su almacenamiento en AM; A: 5°C y B: 8°C.....	37
Figura 14. Cinética del comportamiento de la capacidad antioxidante en pitahaya durante su almacenamiento en AM; A: 5°C y B: 8°C.	39
Figura 15. Prueba de Tukey para la variable IM.	42
Figura 16. Interacción de los factores para la variable ΔE	44
Figura 17. Diferencias entre tratamientos para la variable ΔE	45
Figura 18. Prueba DMS para polifenoles de os factores A y B.....	47
Figura 19. Interacción de los factores para la variable polifenoles.	48
Figura 20. Diferencias entre tratamientos para la variable polifenoles.	48
Figura 21. Prueba de rangos y medianas de los tratamientos.....	50
Figura 22. Precio del Kg de pitahaya Amarilla.	52
Figura 23. Curva de calibración para polifenoles totales.	68
Figura 24. Curva de calibración para capacidad antioxidante.....	71
Figura 25. Porcentaje de recuperación en cada ciclo de extracción.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la pitahaya amarilla.....	5
Tabla 2. Información nutricional de la pitahaya amarilla.....	6
Tabla 3. Características fisicoquímicas de la pitahaya amarilla según su estado de madurez.....	7
Tabla 4. Color que se absorbe y que se refleja de las longitudes de onda.....	17
Tabla 5. Localización de los laboratorios.....	21
Tabla 6. Instrumentos, reactivos y equipos.....	22
Tabla 7. Variables y métodos de evaluación.....	23
Tabla 8. Factores en estudio.....	25
Tabla 9. Tratamientos.....	25
Tabla 10. Características del experimento.....	26
Tabla 11. ANOVA para el Diseño Completamente al Azar.....	26
Tabla 12. Análisis funcional.....	27
Tabla 13. Variables para el ANOVA.....	27
Tabla 14. Variables.....	28
Tabla 15. Análisis fisicoquímicos de la materia prima.....	33
Tabla 16. Comparación de análisis con diferentes autores.....	34
Tabla 17. Características de color de la materia prima.....	34
Tabla 18. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la pitahaya.....	35
Tabla 19. ANOVA del índice de madurez en AM.....	41
Tabla 20. Prueba DMS para IM del factor A.....	41
Tabla 21. ANOVA del cambio de color.....	43
Tabla 22. Prueba DMS para el ΔE del factor A.....	43
Tabla 23. ANOVA del contenido de polifenoles.....	46
Tabla 24. Prueba de Kruskal Wallis para la CA.....	49
Tabla 25. Resumen de los tratamientos con AM después del almacenamiento.....	50
Tabla 26. Gastos totales en el proceso de AM.....	51
Tabla 27. Ajuste lineal de la curva de calibración de polifenoles.....	68
Tabla 28. Resultado de polifenoles de 6 muestras de pitahaya.....	69
Tabla 29. Ajuste lineal de la curva de calibración de CA.....	71
Tabla 30. Resultado de CA de 4 muestras de pitahaya.....	72
Tabla 31. Fórmulas para el análisis microeconómico.....	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los métodos analíticos.....	65
Anexo 2. Metodología para el análisis microeconómico	74
Anexo 3. Datos para el análisis microeconómico.....	76
Anexo 4. Especificaciones técnicas del empaque.	77

Resumen

La pitahaya amarilla es un fruto exótico, con gran demanda internacional debido a su sabor y características nutritivas. Sin embargo, es una fruta que no se da todo el año, lo cual ocasiona que no se pueda ofertar regularmente, además, luego de ser cosechada continua con su maduración lo que provoca su deterioro, que se traduce como pérdidas postcosecha.

Con la finalidad de ofrecer soluciones a esta problemática se evaluó el efecto de atmósferas modificadas (AM) combinadas con bajas temperaturas de refrigeración, durante la conservación de algunas características de calidad de la pitahaya. Se utilizó fruta de la zona de Intag en estado de madurez fisiológico y fue almacenada a 5 y 8°C, en fundas de polietileno extruido de baja densidad con tres diferentes concentraciones (aire ambiental, 5% O₂ + 15% CO₂ + 80% N₂ y 60% O₂ + 20% CO₂ + 20% N₂). La evaluación se realizó antes, durante (los días 0, 4, 8, 12 y 16) y después de su almacenamiento. Se obtuvo la media de dos frutas por tratamiento, para evaluar el efecto de los factores estudiados en el cambio de color externo de la cáscara de la fruta, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, índice de madurez, vitamina C, contenido de polifenoles y capacidad antioxidante. En general se concluye que el tratamiento de pitahaya amarilla almacenado en AM y en refrigeración, en dependencia del tiempo de almacenamiento influyen en la conservación de sus características fisicoquímicas y funcionales siendo el tratamiento con una concentración de O₂= 60% y CO₂= 20% almacenado a una temperatura de refrigeración de 8°C el más adecuado. Además, su proceso de conservación es económico, por lo que se ofrece a los productores una tecnología confiable para lograr conservar esta fruta.

PALABRAS CLAVE: Pitahaya, atmósferas modificadas, conservación, capacidad antioxidante.

Abstract

The yellow pitahaya is an exotic fruit, with massive international demand due to its flavour and nutritional characteristics. To offer solutions to this problem, the effect of modified atmospheres (AM) combined with low cooling temperatures during the conservation of some quality characteristics of pitahaya was evaluated.

To offer solutions to this problem, the effect of modified atmospheres (AM) combined with low cooling temperatures during the conservation of some quality characteristics of pitahaya was evaluated. Fruit from the Intag area was used in a state of physiological maturity and was stored at 5 and 8 °C, in low-density extruded polyethylene bags with three different concentrations (ambient air, 5% O₂ + 15% CO₂ + 80% N₂ and 60% O₂ + 20% CO₂ + 20% N₂). The evaluation was carried out before, during (days 0, 4, 8, 12 and 16) and after storage. The average of two fruits per treatment was used to evaluate the effect of the factors studied on the change in external colour of the fruit peel, pH, total soluble solids, titratable acidity, maturity index, vitamin C, polyphenol content and antioxidant capacity. In general, it is concluded that the treatment of yellow pitahaya stored in AM and in cooling, depending on the storage time, influences the conservation of its physicochemical and functional characteristics, remain the treatment with a concentration of O₂ = 60% and CO₂ = 20% stored at a cooling temperature of 8°C the most suitable. In addition, its preservation process is inexpensive, so producers are offered a reliable technology to be able to preserve this fruit.

Keywords: Pitahaya, modified atmospheres, conservation, antioxidant capacity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

Los productos hortofrutícolas son afectados por diversos factores biológicos como la tasa de respiración, producción de etileno, transpiración y patógenos, esto hace que la calidad del producto luego de ser cosechado se vea afectado hasta llegar al consumidor debido a que cambian las características que ofrece un producto fresco (Bautista, 2014). En el año 2011 las pérdidas postcosecha en países industrializados fueron inferiores al 20%, mientras que en países en vías de desarrollo superaron el 30% (Vásquez-Castillo et al., 2016).

En la actualidad se emplean algunos métodos que mejoran el almacenamiento y comercialización de frutas (Pinto et al., 2016). Uno de ellos es la aplicación de atmósferas controladas y modificadas, pero, al ser un proceso relativamente nuevo existe mínima información de datos necesarios para determinar su factibilidad, lo que con lleva a la necesidad de ampliar la poca información que se encuentra hasta el momento, como el estudio de atmósferas controladas, realizado en la Universidad Técnica del Norte, que ha mostrado la influencia en el almacenamiento postcosecha, sin embargo, se desconocen los efectos y cambios fisicoquímicos que pudiesen existir al modificar la concentración de gases (O_2 y CO_2) directamente en el empaque.

Durante el almacenamiento, la pitahaya al ser un fruto climatérico continua con su proceso de maduración sufriendo diferentes cambios tanto físicos como químicos; en la investigación realizada por Centurión et al. (2008) se encontró que, durante el proceso de maduración, la firmeza y el contenido de ácido ascórbico se vieron disminuidos, sin embargo, no se encuentran estudios realizados sobre el comportamiento de la pitahaya amarilla durante el almacenamiento en atmósfera modificada que permitan determinar la temperatura de refrigeración y tiempo de almacenamiento en que la fruta conserva mejor sus características fisicoquímicas y funcionales. Por lo que, este estudio busca evaluar la influencia que se genera en el fruto aplicando atmósferas modificadas y comparar su eficacia con métodos clásicos de conservación.

1.2. Justificación

Existe una creciente demanda de frutos exóticos a nivel mundial y uno de ellos es la pitahaya amarilla que ha logrado incrementar su potencial económico (Centurión et al., 2008). Según el Proyecto Nacional de Mosca de la Fruta (PNMF) efectuado en el 2018 se monitorearon un total de 1.478 hectáreas de pitahaya a nivel nacional y de acuerdo con el MAG (2019) se encuentran abiertos los siguientes mercados para la exportación de esta fruta: 28 países de la Comunidad Europea, Estados Unidos, Canadá, Colombia, Emiratos Árabes Unidos, Filipinas, Hong Kong, Hungría, Indonesia, Líbano, Malasia, Maldivas, Rusia, Singapur y Uruguay; por lo que, se crea la necesidad de investigar técnicas de conservación que sean de bajo costo, conserven las propiedades nutritivas y eviten el deterioro de la fruta durante su transporte para de esta manera entregar un producto fresco a los consumidores.

La tecnología de conservación en atmósferas modificadas (AM), consiste en variar las concentraciones de gases (O_2 , N_2 y CO_2) que existen en el aire normal (del medio ambiente) dentro de un envase, con concentraciones favorables que no sólo prolongan su vida útil al retardar la maduración, si no que ayudan a conservar sus características fisicoquímicas, organolépticas y nutritivas (Yahia & Flores, 2001), a diferencia de otros tratamientos postcosecha que a pesar de que alargan la vida útil (como la deshidratación o liofilización) afectan y/o reducen notablemente las propiedades y calidad nutricional de la fruta.

El estudio acerca de la pitahaya amarilla conservada en atmósfera modificada ofrece nuevos datos de investigación que permiten conocer cómo se comporta la fruta durante su almacenamiento y con ello se puede determinar el tiempo de vida útil en el que conserva la mayor parte de nutrientes, así también, ofrecer a los productores una tecnología de conservación confiable para lograr conservar y exportar esta fruta.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar las características fisicoquímicas, polifenoles y capacidad antioxidante de la pitahaya *Selenicereus megalanthus* durante el almacenamiento en atmósferas modificadas.

Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas (color, pH, sólidos solubles, acidez titulable, índice de madurez), polifenoles y la capacidad antioxidante de la pitahaya antes de su almacenamiento.
- Evaluar los polifenoles y la capacidad antioxidante de la pitahaya durante su almacenamiento en atmósfera modificada.
- Valorar el efecto de las atmósferas modificadas sobre las características fisicoquímicas (color e índice de madurez), polifenoles y capacidad antioxidante de la pitahaya después de su almacenamiento.
- Realizar el análisis microeconómico del proceso de conservación para el mejor tratamiento.

1.4. Hipótesis

Ha:

El tratamiento de pitahaya con atmósferas modificadas almacenadas en refrigeración influye en las características fisicoquímicas, polifenoles y capacidad antioxidante de la pitahaya.

Ho:

El tratamiento de pitahaya con atmósferas modificadas almacenadas en refrigeración no influye en las características fisicoquímicas, polifenoles y capacidad antioxidante de la pitahaya.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Pitahaya Amarilla

La pitahaya, una fruta exótica es una cactácea silvestre, su taxonomía se muestra en la Tabla 1, originaria de América Central y parte de Sudamérica, encontrándose distribuida en Bolivia, Perú, Colombia, Venezuela y Ecuador (Sotomayor et al., 2019). Crece entre 500 y 1900 msnm a condiciones climáticas de 18 y 25°C y humedad relativa entre 70 y 80% (Vásquez-Castillo et al., 2016), su producción y consumo se ha difundido en otras partes del mundo. Se caracteriza por tener una corteza de color amarillo y espinosa tiene un tamaño entre 8 y 10 centímetros, su pulpa es blanca con pequeñas semillas negras, de sabor dulce y jugoso (PRO ECUADOR, 2018). De acuerdo con Vásquez-Castillo et al. (2016) cuando se cosecha en estado de madurez fisiológico (> 70% de la corteza amarilla) se comporta como una fruta climatérica, no obstante, si es cosechada en un estado inferior llega a comportarse como no climatérica.

Tabla 1

Taxonomía de la pitahaya amarilla.

Clasificación	Descripción
Reino	Plantae
División	Magnoliophita
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Género	<i>Selenicereus</i>
Especie	<i>Megalanthus</i>
Nombre Científico	<i>Selenicereus megalanthus</i>

Nota. Tomado de Araya & Esquivel (2012).

La especie cultivada en el Ecuador en mayor uso es la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), conocida como *Acanthocereus pitahaya* y *Cereus pitahaya* D.C., se caracteriza por tener una piel espinosa, tiene un tamaño entre 8 a 10 centímetros, su pulpa es blanca con pequeñas semillas negras, de sabor dulce y jugoso, ésta es cultivada en la región Sierra. La pitahaya roja *Hylocereus triangularis* o *Cereus ocampi* S.D., se caracteriza por tener una corteza gruesa, su tamaño es mayor a de la amarilla (12cm) (Jiménez-Esparza et al., 2017).

2.1.1. Valor Nutricional y Aplicaciones.

Esta fruta es considerada como exótica por sus características, como sabor, apariencia y calidad; posee vitamina C, fibra, carbohidratos y agua (en un 80%) (Sotomayor et al., 2019), sus propiedades nutricionales se observan en la Tabla 2. Además de ser un fruto apetecido por sus propiedades nutritivas y funcionales que ayudan con problemas estomacales, endocrínógenos y mejora el funcionamiento del tracto digestivo (Torres L. et al., 2012). Por otro lado, puede ser usada como materia prima en la elaboración de productos industrializados como gelatinas, refrescos, helados, yogurt, entre otros (Huachi et al., 2015). La mayoría de pitahaya se consume fresca, sin embargo, el principal producto elaborado a base de pitahaya que se está comercializando es la pulpa congelada. La pitahaya se utiliza como ingrediente de colorantes para la industria alimenticia y cosmética (PRO ECUADOR, 2018).

Tabla 2

Información Nutricional de la Pitahaya Amarilla.

Componentes	Contenido por 100g
Agua	83
Proteína (g)	0,159-0,29
Grasa (g)	0,21-0,61
Calcio (mg)	6,3-8,8
Hierro (mg)	0,55-0,65
Fósforo (mg)	30,2-36,1
Fibra (g)	0,7-0,9
Vitamina C (mg)	8,0-9,0
Vitamina B3 (mg)	0,298-0,43
Vitamina B2 (mg)	0,043-0,045

Nota. Composición por cada 100g de porción comestible tomado de Huachi et al. (2015).

2.1.2. Características Fisicoquímicas.

Las características fisicoquímicas actúan como indicadores de calidad, suelen ser utilizadas para garantizar un control adecuado de la calidad de la fruta analizada. El estudio de las variables en postcosecha, como sólidos solubles totales (SST), acidez, rendimiento en

pulpa entre otros, determina aspectos tan relevantes como el índice de madurez, la calidad, la calidad comercial y nutricional de las frutas. Márquez et al. (2009) mencionan que “Lo ideal es que las frutas posean alto rendimiento en pulpa, un elevado valor de SST expresados como °Brix, y para algunos frutos es deseable alta acidez y características sensoriales como sabor, color, aroma y apariencia acentuados”.

Caetano et al. (2015) mencionan que las características fisicoquímicas de una fruta de pitahaya amarilla comercial son cuando “sus sólidos solubles oscilan de 11,9 a 17,18°Brix, su acidez titulable se mantiene 0,74 a 1,38 g ácido cítrico, pH de 4,23 a 5,0 y el índice de madurez va desde 9,97 a 18,9”. Mientras que Cañar et al. (2014) mencionan que una fruta de pitahaya amarilla fresca contiene, sólidos solubles 14,29 °Brix, pH 4,72 y porcentaje de ácido cítrico de 1,35%. En los análisis realizados por Sotomayor et al. (2019), los frutos de pitahaya en estado de madurez 6 presentaron un contenido de sólidos solubles 20,74 °Brix, un pH de 4,86; acidez de 0,14% (representado en % de ácido cítrico). De igual importancia, para pitahaya amarilla con más del 70% de color amarillo Vásquez-Castillo et al. (2016) reportaron un contenido de sólidos solubles de 17,9°Brix, pH 4,9, acidez en % de ácido cítrico de 0,08. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2003:2005 establece los requisitos que debe cumplir el fruto de la pitahaya amarilla, destinada al consumo en estado fresco, estos requisitos se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Características Fisicoquímicas de la Pitahaya Amarilla según su Estado de Madurez.

Característica / Madurez	Verde 0	Pintón 1	Maduro 2
SST (°Brix)	16-18	19-21	>21
pH	4,10-4,25	4,26-4,40	>4,40
% Ácido cítrico	>6	>6-5	<5

Nota. Tomado de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2003:2005 Frutas Frescas. Pitahaya Amarilla. Requisitos (2005).

El contenido de sólidos solubles es una característica muy apreciada en los frutos de pitahaya, debido a que este parámetro determina el dulzor de la fruta (Vásquez-Castillo et al., 2016). La acumulación de azúcares durante la maduración de los frutos de pitahaya se relaciona con una disminución en el contenido de almidón y mucílagos de la pulpa y las condiciones climáticas y agronómicas, la pitahaya en verano alcanza un valor de 19,6 °Brix,

mientras que en invierno el valor llega a 20,8 °Brix. Por otro lado, la acidez titulable disminuye en los últimos 5 días de maduración de los frutos; por lo tanto, la diferencia de solo un día entre cosechas puede generar diferencias de acidez (Sotomayor et al., 2019).

2.1.3. Índice de Madurez.

El índice de madurez puede representarse como el cambio de color de cáscara (piel) durante el tiempo. Las frutas y hortalizas modifican, alteran o ajustan su comportamiento fisiológico como respuesta obligada de sus células, tejidos y órganos a las nuevas condiciones, tratamientos y manipulación a las que son sometidas, a partir del momento mismo de la cosecha, siendo retiradas de su fuente y medio natural de producción (Alvarado, 2014). Al ser la pitahaya una fruta climatérica, su proceso de maduración continua después de ser cortada de la planta, por lo que la cosecha se realiza en un grado de madurez 3 a 4, de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC 3554,1996 (Figura 1).

Figura 1

Tabla de Color de Pitahaya Amarilla según la Norma Técnica Colombiana NTC -3554 1996.



Los exportadores ecuatorianos cosechan la fruta para exportación cuando ésta presenta un color verde-amarillento con el 50-75% de amarillamiento que corresponde al estado de madurez 4 según la NTC 3554 (Alvarado, 2014). Además, la fruta debe estar libre de daños mecánicos, signos de marchitez y sus dimensiones deben estar entre 8 a 12 cm de largo y 6 a 10 cm de diámetro con un peso que puede variar entre 250 y 320 gramos (Vasquez & Bacalla, 2017).

2.2. Conservación de Alimentos

La necesidad de aumentar la vida útil de los productos hortofrutícolas sin la aplicación de agroquímicos además de mantener la calidad en su almacenamiento, transporte y comercialización, ha hecho que exista un mayor interés para desarrollar tecnologías basadas

en el uso de tratamientos tradicionales y no tradicionales, estos incluyen irradiación, bajas temperaturas, altas temperaturas, atmósferas modificadas y controladas, la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP), ceras, y recubrimientos naturales así como la combinación de dos o más de estos tratamientos (Guerrero, 2014; Yahia & Flores, 2001). A continuación, se explicará con cierto detalle las tecnologías descritas anteriormente.

Los recubrimientos comestibles son láminas finas, transparentes y preformadas que se aplican sobre la superficie del producto, los polímeros más utilizados son: ceras, almidón, gomas, alginatos, derivados de celulosa, quitosano, proteínas entre otros; además se adicionan antioxidantes, agentes microbianos y nutrientes (Ancos et al., 2015). Los recubrimientos comestibles evitan el deterioro causado por procesos metabólicos de respiración y transpiración, ayudan a preservar la textura, características y nutricionales. No existe información sobre recubrimientos o películas comestibles aplicados a frutos de pitahaya (Guerrero, 2014).

Otro método de conservación es el 1-Metilciclopropeno (1-MCP) que inhibe la acción del etileno, en productos no climatéricos retarda la senescencia de los frutos, en productos climatéricos disminuye o retrasa la producción de CO₂ y del etileno (Guerrero, 2014). Serna et al. (2011) estudiaron la aplicación de 1-MCP en la pitahaya amarilla, grado 3, la aplicación retrasó los procesos metabólicos inherentes a la maduración durante el almacenamiento a 25°C y 75% de HR. Además, prolongo el tiempo de vida útil durante 3 días más, en total 15 días, manteniéndose aceptables para la comercialización.

La irradiación por su parte retrasa los procesos de maduración y senescencia de productos hortofrutícolas, ataca e inhibe el crecimiento de microorganismos. La dosis de radiación para alimentos se encuentra en el orden de 1 a 10 kGy (Yahia & Flores, 2001). La tecnología propuesta en este trabajo es atmósfera modificada en refrigeración, dado que está estrechamente ligada a la atmósfera controlada, en la siguiente sección se explica el funcionamiento de estas tecnologías.

2.2.1. Atmósferas Modificadas (AM), Controladas (AC) y Temperaturas de Almacenamiento.

Las AM y AC consisten en modificar las concentraciones de gases que existen en el aire normal dentro de un envase (20-21% de O₂, 78-79% N₂, 0,03% CO₂, y trazas de otros gases). Al cambiar las concentraciones de los gases se favorece el retardo la maduración y

senescencia por lo que se prolonga la vida útil del producto, se previene y/o controla algunos desórdenes fisiológicos, se controla las enfermedades y pudriciones y sobre todo se mantiene la calidad nutricional de las frutas y hortalizas (Blach et al., 2010; Escobar et al., 2014; Yahia & Flores, 2001). En las AC las concentraciones de los gases se mantienen constantes durante el tiempo de almacenamiento o transporte de los productos hortofrutícolas. La composición deseada de la atmósfera, para el almacenamiento de productos, puede obtenerse aumentando o disminuyendo el oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂) y/o el nitrógeno (N₂) (Magaña-Benítez et al., 2010).

En la AM la composición gaseosa a la que se empaqueta el producto cambia, debido a que la película plástica no es hermética, además el fruto respira por lo que la concentración de los gases se modifica con el tiempo. Lo importante en todo momento es que la concentración de oxígeno no disminuya por debajo de un 2%, ya que según Guerrero (2014) estas concentraciones pueden producir fermentaciones no deseadas en los frutos de pitahaya. Seleccionar un buen tipo de empaque es realmente importante al momento de trabajar con AM.

Las AM pueden ser pasivas y activas, en las primeras la proporción de gases dentro del empaque al inicio del almacenamiento no se altera, es decir, la concentración de gases es la misma que la atmosférica. Luego de almacenado si se modifica por la misma razón explicada anteriormente. En cambio, en las atmósferas modificadas activas la composición gaseosa si se altera al inicio del almacenamiento (Ospina & Cartagena, 2008). Guerrero (2014) menciona que la composición adecuada en la atmósfera controlada para retardar el deterioro de frutas y hortalizas es de O₂ (3-5%) y CO₂ (5-8%). En las investigaciones realizadas por (Magaña-Benítez et al., 2010) se utilizaron concentraciones de 3 y 5% de O₂ y 5% de CO₂ en la atmósfera con temperaturas de 4 a 8°C para almacenar pitahaya roja, permitieron reducir la pérdida de peso (6% en atmósferas controladas a comparación del 9% de los frutos sin atmósferas).

Por otro lado García & Robayo (2008) realizaron un estudio con atmósferas pasivas y temperaturas bajas donde el índice de color fue retrasado por la baja temperatura de almacenamiento. En las pitahayas pintonas de corteza verde-amarilla después de 9 días, hubo un cambio a una corteza amarilla con visos verdes, un incremento de pH y el índice de madurez mostró un incremento luego del día 12. Además, el almacenamiento a 10°C retardó la evolución del índice de madurez, especialmente con el uso de empaques completamente

sellados. Sin embargo, después del día 12 el índice de madurez mostró un rápido incremento, tanto en los tratamientos de fruta refrigerada sin empaque, como en aquellos con empaque perforado. Por su parte, la acidez titulable en frutas cosechadas en estado de madurez 5 y almacenadas a 8°C mostraron poca variación, porcentajes ubicados en un rango entre 0,9 y 1,68% por esto concluyeron que “La baja temperatura tuvo un efecto significativo sobre todos los parámetros evaluados, lo cual corrobora el hecho de que es el factor de mayor importancia en los procesos de conservación...”.

De igual importancia, en un estudio realizado por Rodríguez et al. (2005) evaluaron el comportamiento poscosecha de la pitahaya amarilla en estado de madurez 5 almacenadas a 8 °C en la cual presentaron una tendencia estable con respecto al pH, de acuerdo con los autores, este patrón corresponde al proceso bioquímico de la maduración de la fruta durante el cual el pH aumenta hasta alcanzar el grado de madurez de consumo, pasando moderada a ligeramente ácida, aportando así el sabor característico de la fruta. Los SST por su parte presentaron valores de 13,33 y 16,83 °Brix, por lo que mencionan que esta característica no contribuye a la identificación del grado de maduración de la fruta, teniendo en cuenta que los sólidos solubles totales varían con el tamaño de esta. El comportamiento del índice de madurez varió de 12,52 a 16,67 lo cual indicó una continuidad en el proceso de maduración, la pitahaya cosechada en estado 5 pasó a estado 6 (fruto completamente amarillo). Debido a este comportamiento los autores afirman que la temperatura no afectó al proceso de maduración de la fruta evaluada.

Magaña-Benítez et al. (2010) evaluaron el efecto de la composición de la atmósfera (AC) a 4°C de almacenamiento en la fruta de pitahaya donde reportaron que la variable acidez se mantiene durante los 21 días, además las frutas tratadas con AC conservaron la pureza en el color. Con respecto a la temperatura de almacenamiento, algunos autores recomiendan temperaturas entre 3 y 5°C, sin embargo, según García & Robayo (2008) a una temperatura de 6°C pueden producirse daños por frío; además mencionan que la pitahaya almacenada en atmósferas modificadas y refrigeración se han alcanzado un tiempo de vida útil de nueve días. Así también ha existido una pérdida de peso de 0,51% a los 15 días de almacenamiento en refrigeración a 8°C.

Existe un tipo novedoso de AM en los que la aplicación de atmósferas enriquecidas en oxígeno (concentraciones superatmosféricas de O₂) acompañadas de concentraciones moderadas de dióxido de carbono, parecen tener efectos beneficiosos en la calidad de frutas

y hortalizas, ayudan en la inhibición del pardeamiento enzimático y reducen el crecimiento microbiano aeróbico y anaeróbico (Sosa et al., 2012). Sin embargo, niveles superatmosféricos de O₂ producen una aceleración en la combustión de los materiales, por lo que se debe tener cuidado en el diseño, uso en el empaque y en el sistema de descarga de gas para evitar fuentes de ignición cuando se utilizan altas concentraciones de O₂ (Kader & Ben-Yehoshua, 2000).

En un estudio de exposición de rodajas de pera “Bartlett” en concentraciones altas de O₂ (40, 60 o 80kPa) durante 4 días a 10°C no presentaron influencia en su tasa de dorado en comparación con rebanadas almacenadas en el aire (Kader & Ben-Yehoshua, 2000). Sin embargo, Sosa et al. (2012), estudiaron el efecto de las atmósferas enriquecidas (O₂=75%) aplicadas en naranjas almacenadas por 8 días, reportaron un aumento un porcentaje de conservación del contenido de polifenoles del 90%, por otro lado, la capacidad antioxidante (medida por el método DPPH*) decreció con el tiempo de almacenamiento. Esto muestra que el efecto de las AM cambia en función del fruto, por lo que es necesario realizar los respectivos experimentos para conocer el comportamiento que genera sobre el alimento en estudio.

Las AM han demostrado que preservan el valor nutritivo, reducen la pérdida de ácido ascórbico y extienden la vida postcosecha de numerosas variedades de frutas y hortalizas (Vargas et al., 2005), de la misma forma Sosa et al. (2012) mencionan que “en productos enteros, el efecto de la exposición a niveles de oxígeno superatmosféricos puede estimular, no tener efecto o reducir la respiración, la producción de etileno y las actividades enzimáticas”. Según De La Vega et al. (2017), en la mayoría de los casos esta tecnología ha demostrado una mayor eficiencia en conservar características organolépticas y funcionales de determinadas frutas, como lo es la capacidad antioxidante.

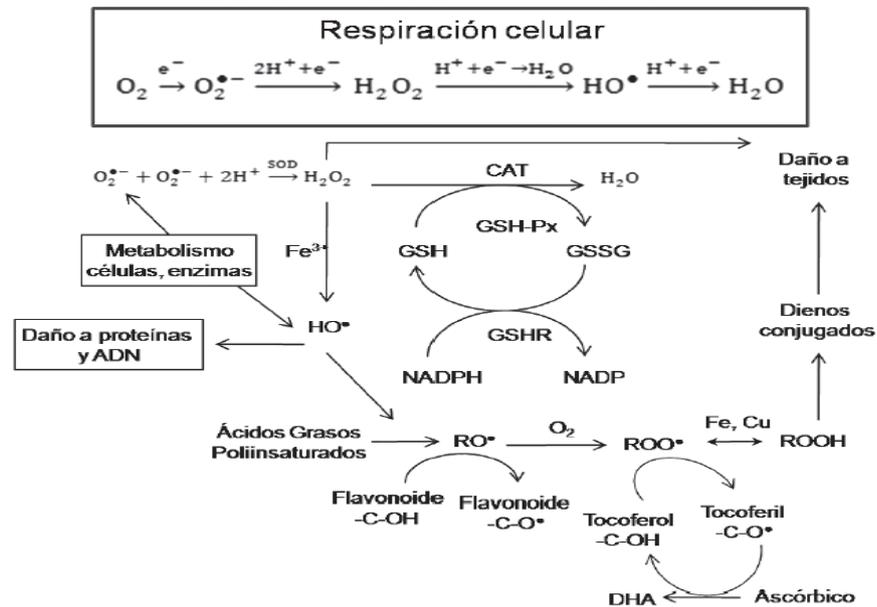
2.3. Capacidad Antioxidante (CA), Polifenoles y Vitamina C

La CA presentes proporciona la facultad de reaccionar frente a los radicales libres de tal manera que evita la oxidación de algunas moléculas (Londoño, 2012). De esta manera los radicales libres que son moléculas que contienen electrones desaparejados en su en sus átomos, buscan estabilizarse con moléculas estables durante el proceso se oxidan y generan una reacción en cadena las cuales provocan enfermedades (Quintana & Calderón, 2009; Figueroa et al., 2011). No obstante, estas reacciones son combatidas por la acción de sistemas de defensa enzimáticos, así como también antioxidantes no enzimáticos como la

vitamina E, vitamina C, carotenoides, y flavonoides. En la Figura 2 se muestran cómo se producen los radicales libres y los principales sistemas antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos (Londoño, 2012). Ochoa-Velasco et al. (2012) mencionan que los polifenoles presentes en la estructura de las betalainas aportan mayor CA en pitahaya.

Figura 2

Vías de producción de radicales libres y principales sistemas antioxidantes, enzimáticos y no enzimáticos.



Nota. Tomado de Londoño (2012).

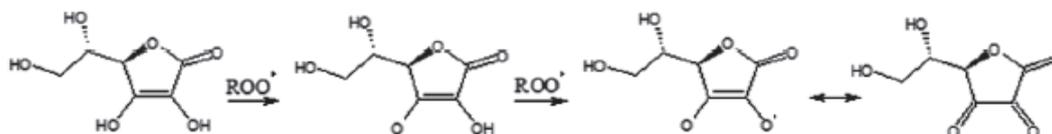
En datos reportados por Diaz et al. (2017) se obtuvieron valores de capacidad antioxidante presente en pitahaya amarilla entre $75,95 \pm 12,31$ y $101,24 \pm 0,20$ $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trolox eq a comparación con otras variedades de pitahaya como blanca ($17,3$ $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trolox eq), roja (11 $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trolox eq) y cereza (12 $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trolox eq), y mencionan que los datos pueden variar por diferentes factores ya sean variedad, condiciones climáticas, cultivo o el lugar de cosecha. Por otro lado, Beltrán-Orozco et al. (2009) encontraron un contenido de capacidad antioxidante que varió entre 11 y $17,3$ $\mu\text{mol g}^{-1}$ en las cuatro variedades de pitahaya.

Por otro lado, la vitamina C o ácido ascórbico es un antioxidante exógeno que actúa en combinación con otros antioxidantes primarios como la vitamina E y los carotenoides, cuando coopera con la vitamina E regenera el α -tocoferol desde el radical α -tocoferilo en membranas lipoproteínas. Como se puede observar en la Figura 3, la donación de un electrón

por el ácido ascórbico produce el radical semidihidroascorbil, que puede ser nuevamente oxidado para dar dihidroascorbato, el ácido ascórbico produce el radical semidihidroascorbil, que puede ser nuevamente oxidado para dar dihidroascorbato (Londoño, 2012).

Figura 3

Mecanismo Propuesto para la Estabilización de Radicales Libres por la Vitamina C.



Nota. Tomado de Barea (2015).

Beltrán-Orozco et al. (2009) evaluaron el contenido de vitamina C en diferentes variedades de pitahaya (roja, cereza, amarilla y blanca), los datos obtenidos variaron entre 8 y 14 mg 100 g⁻¹ de ácido ascórbico.

Los flavonoides por su parte son compuestos fenólicos, metabolitos secundarios de origen vegetal que se encuentran sobre en frutas y hortalizas que, según Katsube et al. (2003) son capaces de inhibir el estrés oxidativo causado por los radicales libres, actúan cediendo un radical libre de hidrógeno de un grupo hidroxilo aromático a un radical libre por otro lado inhiben la formación de radicales libres. En este grupo se encuentran los flavonoles, flavanoles y proantocianidinas, flavanonas, isoflavonas y antocianinas (Barea, 2015; Londoño, 2012).

En un estudio realizado por Caetano et al. (2015) el contenido de polifenoles totales presentes en la pitahaya amarilla fue de 456 μmol/100g, y no se encontraron flavonoides específicos como tampoco polifenoles simples. Además Torres et al. (2017) reportaron una variación de contenido de polifenoles totales entre 600 y 1580 mg ácido gálico equivalente (GAE) por 100 g de materia seca. Po otro lado, Daza (2014) reportó en la pulpa de pitahaya un contenido de 77,6± mg de GAE por 100 g de materia seca, 102,0± mg de GAE por 100 g de materia seca en la cáscara y 202,7± mg de GAE por 100 g de materia seca en la semilla.

En el estudio realizado por Freitas & Mitcham (2013) donde se evaluó las temperaturas de almacenamiento de pitahaya, demostró que frutas almacenadas a 5°C y 7°C durante 20 días presentaron mejor apariencia visual, se redujo la incidencia de

descomposición, de aquellas almacenadas a 10°C. Las bajas temperaturas inhiben el fenol-polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) y temperaturas inferiores a 11°C degradan parcialmente las células frutales (Ortiz & Carrillo, 2012). Montesinos et al. (2015) menciona que estas enzimas se encuentran en relación directa con la degradación, maduración y la CA.

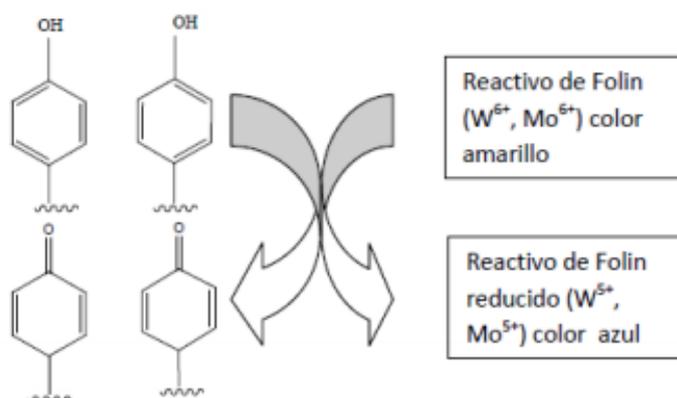
Aunque la determinación cuantitativa de los polifenoles se ve obstaculizada por su complejidad estructural y diversidad, se ha utilizado varios métodos para determinar los polifenoles en extractos de plantas. Asumiendo que la cuantificación de polifenoles individuales no revela adecuadamente la proporción de polímeros procianidinas, luego la espectrofotometría en la región ultravioleta puede ser una herramienta útil para ayudar a resolver estos problemas (Blainski et al., 2013).

2.4. Determinación de Polifenoles

Existen diversos métodos para la determinación de polifenoles totales de una muestra, uno de ellos es el método de Folin-Ciocalteu. De acuerdo con García et al. (2015), el método se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico, de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que se mide para evaluar el contenido de polifenoles (Figura 4).

Figura 4

Mecanismos de Acción del Reactivo de Folin-Ciocalteu.



Nota. Tomado de García et al. (2015).

La oxidación de los polifenoles presentes en la muestra causa la aparición de coloración azulada que presenta un máximo de absorción a 765 nm, y que se cuantifica por espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico. Se trata de un método preciso y sensible, que puede padecer de variaciones, fundamentalmente en lo relativo a los volúmenes utilizados de la muestra a analizar, concentración de reactivos y tiempo de reacción (García et al., 2015). También se pueden producir variaciones en el modo de expresar los resultados, sin embargo, el patrón recomendado es el ácido gálico (GAE).

2.5. Métodos para medir Capacidad Antioxidante

Para determinación de antioxidantes en alimentos según Salinas (2015) “existen dos metodologías: se puede identificar y cuantificar como compuestos individuales y por otro lado, es posible cuantificar la actividad antioxidante global de la muestra”. En el primer caso se utiliza instrumentos de cromatografía líquida (HPLC), entre las ventajas de este método se detalla que es reproducible y que el tiempo de análisis es relativamente corto, ofreciendo precisión y exactitud (Salinas, 2015). Mientras que en el segundo caso se lo hace por espectrofotometría, este método será utilizado en la investigación por lo que a continuación se entre más en detalle acerca de este método.

2.5.1. Espectrofotometría.

La espectrofotometría es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en la obtención de iones a partir de

moléculas orgánicas en fase gaseosa, una vez obtenidos los iones se separan de acuerdo con su masa y su carga hasta finalmente ser detectados. Las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y esta cantidad de luz absorbida es dependiente de forma lineal a la concentración. Para realizar estas medias se utiliza un espectrofotómetro, el cual permite seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución para medir la cantidad de luz absorbida por la misma (Barea, 2015; Díaz et al., 2010).

La región ultravioleta (UV cercano, de 195-400 nm) es muy importante para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos como los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos. En la región visible (400-780 nm) se aprecia el color visible de una solución que corresponde a las longitudes de onda de luz que transmite, por esto el color que absorbe es el complementario del color que transmite. Por lo tanto, para realizar mediciones de absorción se utiliza la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada, en la Tabla 4 se muestra el color de luz que se absorbe y el color de luz que se refleja o ve de las longitudes de onda (Díaz et al., 2010).

Tabla 4

Color que se Absorbe y que se Refleja de las Longitudes de Onda.

Longitud de onda aproximada	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja o ve
390 – 435	Violeta	Amarillo verdoso
435 – 490	Azul	Amarillo
490 – 580	Verde	Rojo
580 – 595	Amarillo	Azul
595 – 650	Naranja	Azul verdoso
650 – 780	Rojo	Verde azulado

Nota. Tomado de Díaz et al. (2010)

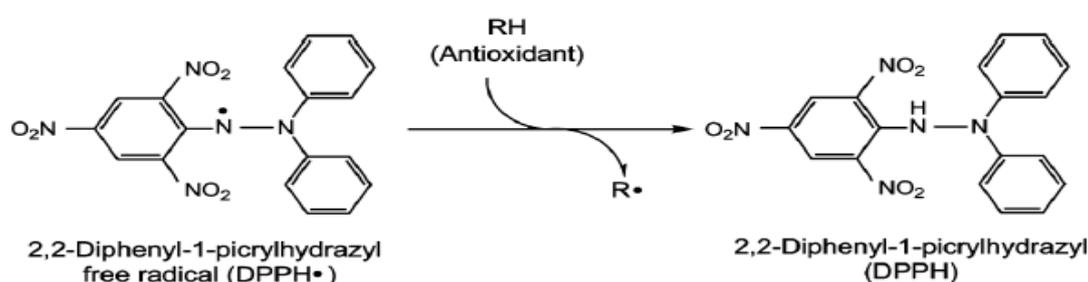
Para evaluar la capacidad antioxidante en frutas, existen diversos métodos, entre los más usados se encuentra el FRAP, basado en la capacidad reducción férrica y los de ABTS, DPPH y ORAC, basados en la captación de distintos radicales libres (Perez-Jimenez & Saura-Calixto, 2007).

El método que se utilizará en esta investigación es el DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracil) el cual se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para

estabilizar el radical DPPH[•]. En la Figura 5 se muestra como el DPPH[•] acepta un hidrógeno del antioxidante para formar DPPH, esta medición puede hacerse mediante espectrofotometría UV siguiendo el decaimiento de la absorbancia a 517 nm, volviéndose amarillo cuando se forma DPPH, de forma que el efecto antioxidante puede ser fácilmente evaluado siguiendo la pérdida de absorción UV a 517 nm (Londoño, 2012). Los resultados se basan en la determinación de parámetros cinéticos y se expresan como porcentaje de inhibición lo cual corresponde a la cantidad de radical DPPH[•] neutralizado por el extracto a una determinada concentración (Brand-Williams et al., 2016).

Figura 5

Captación del Radical Libre del DPPH[•] y Formación de DPPH.



Nota. Tomado de Barea (2015).

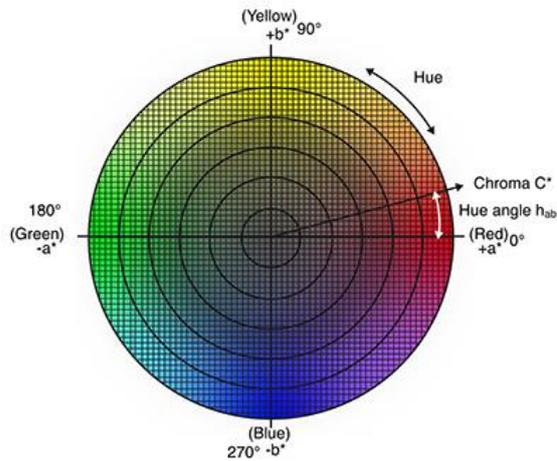
En un estudio realizado por Huamani & Paucar, (2015) en fruto liofilizado de pitahaya amarilla se encontró que la capacidad antioxidante y porcentaje de inhibición del radical DPPH[•] fue de 3,18mM trolox (66,78 %). Por otro lado, estudios realizados por Figueroa et al. (2011) reportaron una capacidad antioxidante media de 31,51% de reducción o inhibición del radical DPPH[•].

2.6. Color

El color es un indicador muy importante en la determinación del estado, calidad y características de las frutas. Se define como el atributo que percibimos de los objetos cuando hay luz (Aparicio, 2017). De acuerdo con Castro et al. (2013), para medir el color en alimentos se recurre a la utilización de coordenadas colorimétricas para lograr la representación de los colores, para ello se puede utilizar el modelo de color CIELAB ($L^*a^*b^*$) el cual determina el color de acuerdo con la posición en el espacio en tres dimensiones (3D) y se logra una percepción uniforme del color (Vásquez, 2015).

Figura 6

*Espacio de Color CIE $L^*C^*h^*$*



Nota. Tomado de KONIKA (2019).

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* en un alimento, designan: L^* la luminosidad del color ($L=0$ significa negro, $L=100$ significa blanco), a^* es el croma donde los valores positivos corresponden a rojo y los negativos al color verde, b^* es el tono para componente los valores positivos corresponden a amarillo y aquellos negativos se refieren a azul (Vásquez, 2015), esta representación se puede observar en la Figura 6. El conjunto a^* , b^* recibe el nombre de cromaticidad y junto con L^* define el color del estímulo, de este conjunto se obtiene el C^* (croma o saturación) y H^* (tono o ángulo de matiz). De esta manera el croma C^* toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, por otro lado, el tono H^* , varía entre 0 y 360° y para estímulos acromáticos ($a^*=b^*=0$) es una magnitud indefinida (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

Los cambios de color son considerados como indicadores prácticos de maduración, estos cambios pueden suceder debido a procesos ya sea de degradación, de síntesis o de ambos tipos. Durante la maduración ocurren cambios que van desde el verde al amarillo, esto debido a que el anabolismo que ocurre en los pigmentos en los órganos celulares, en el caso de la pitahaya las betalainas (betaxantinas) que son los pigmentos que dan el color amarillo; la decoloración de estos pigmentos puede darse debido a la formación de radicales libres formados por las peroxidasa y polifenol oxidasas que deterioran los compuestos fenólicos (Azucena et al., 2020; Katusca et al., 2013; Ochoa-Velasco et al., 2012).

2.7. Análisis Económico

De acuerdo con el MAG (2019) la pitahaya es uno de los 25 productos priorizados dentro de la estrategia de reconversión productiva que impulsa el Ministerio de Agricultura y Ganadería. Asimismo, es uno de los productos más adquiridos en Estados Unidos y la variedad ecuatoriana es altamente apetecida en diversos segmentos de este mercado internacional, lo que se traduce en nuevas oportunidades comerciales para la economía nacional. Para permanecer en el mercado internacional, son determinantes la búsqueda de economías a escala, garantizar continuidad y regularidad en los envíos, además de la óptima calidad de los productos de modo de generar un posicionamiento estable, por esto es necesario realizar un análisis económico a la tecnología aplicada en esta investigación.

Para ayudar a simplificar la realidad que se observa y disminuir la complejidad del modelo que se enfrenta se utilizan supuestos económicos, mismos que no son derivables de otros supuestos, sino que son dados. Además, debido a que la relevancia y fortaleza de un modelo no recae en la veracidad o realismo de sus supuestos, sino en lo acertado de sus predicciones no afecta al modelo que sean empíricamente inexactos (Herl, 2012).

De acuerdo con lo mencionado por Pereira et al. (2013) para realizar este análisis se debe tener en cuenta “gastos directos por hora de producción, los cuales se relacionan con los gastos de salario, renovación (amortización), consumo de energía eléctrica y otros insumos asociados con el tipo y características del proceso seleccionado”. Por otro lado, Duarte et al. (2007) mencionan que, para realizar la evaluación económica de un proyecto, se deben convertir los distintos precios de los bienes incluidos en el proyecto, por medio de factores que eliminen las distorsiones o imperfecciones imperantes en el mercado para obtener valores que reflejen el valor real para la economía.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización del Área de Estudio

La materia prima (*Selenicereus megalanthus*) fue adquirida en época de invierno de la Asociación de Producción Agropecuaria Cielo Verde (ASOPROCIEL) ubicada en la zona de Intag, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. La parroquia se encuentra a una altitud de 1490 msnm, su clima es subtropical con una temperatura promedio entre 20-25°C y la pluviosidad promedio es de 2500 mm/año con lluvias que caen durante todo el año (Mora, 2015).

El desarrollo experimental de la investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Análisis Experimental e Innovación, Bioprocesos, Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos de la Universidad Técnica del Norte, los mismos que se encuentran en la ciudad de Ibarra. En la Tabla 5 se indica las características del lugar donde se realizó la investigación.

Tabla 5

Ubicación del Experimento.

Localización	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Lugar:	Laboratorio de Análisis Experimental e Innovación
Altitud:	2256 m.s.n.m
HR. promedio:	73%
Precipitación:	550,3 mm/año
Temperatura media:	18°C

Nota. Tomado de INAMHI (2020).

El análisis de color por su parte fue realizado en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicado en la Provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia de Cutuglagua.

3.2. Materiales, Equipos y Reactivos

Para el desarrollo de la presente investigación y dar cumplimiento a los objetivos propuestos se utilizó pitahaya amarilla en estado de madurez 4 según la NTC-3554 (1996). Así también se utilizó tanques de oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂) además de los instrumentos, reactivos y equipos que se describen a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6

Instrumentos, Reactivos y Equipos.

Materia prima	Instrumentos	Reactivos	Equipos
Pitahaya Amarilla en estado de madurez fisiológica	Envases de plástico (1 y 0.5 L)	Ácido metafosfórico	Balanza analítica
	Balón aforado de 2 L	Ácido acético	Agitador magnético
	Vasos de precipitación (50, 100, y 500 ml)	2,6-dicloroindofenol	Trituradora
	Balón aforado (10, 50 y 1000 ml)	NaHCO ₃	Liofilizador
	Vasos plásticos	Ácido ascórbico	Estufa
	Cucharas plásticas	Agua Destilada	Espectrofotómetro
	Soporte universal	Fenolftaleína	Secador
	Pinza universal		Refractómetro
	Embudos	DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracil)	Medidor de pH
	Bandejas de aluminio		Balanza
	Tubos Falcon	Hidróxido de Sodio (NaOH) a la 0,1N	Centrifugadora
	Mortero		Vortex
	Pipetas de (1, 5 y 10ml)		Refrigerador
	Bureta		Controlador de temperatura
	Pera de succión		
	Tubos de ensayo		WITT Mezclador MAPY 4.0 LE SP O ₂ / CO ₂ Zr
Papel Whatman N° 4			

3.3. Métodos

3.3.1. *Determinación de las Características Fisicoquímicas (Color, pH, Sólidos Solubles, Acidez Titulable, Índice de Madurez), Polifenoles y la Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Antes de su Almacenamiento.*

Los análisis se realizaron a una muestra de pitahaya amarilla en estado de madurez 4 de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3554 (1996), las variables evaluadas, así como los métodos utilizados se muestran a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7

Variables y Métodos de Evaluación.

Variables	Método/Equipo
Color	Espectrofotómetro de reflectancia, (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)
pH	AOAC 981.12 (2016).
Acidez (%)	AOAC Official Methods 942.1-1990 (Henshall, 2012).
SST (°Brix)	AOAC Official Methods 932.12-1980 (Horwitz & Latimer, 2007).
Índice de madurez	Relación SST/Acidez (Cañar et al., 2014).
Vitamina C	AOAC Official Methods 967.21 (AOAC, 2006).
Polifenoles	Folin Ciocalteu (García E. et al., 2010)
Capacidad Antioxidante	Método DPPH (Huamani & Paucar, 2015)

Se realizaron los análisis de color, sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, índice de madurez, vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante de la materia prima previamente seleccionada, al inicio del experimento (día 0) y al finalizar el experimento (día 16). Los métodos mencionados en la Tabla 7, son descritos en el Anexo 1.

3.3.2. *Evaluación de Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Durante su Almacenamiento en Atmósfera Modificada.*

La pitahaya se almacenó en atmósferas modificadas y en refrigeración a diferentes concentraciones y temperaturas durante un periodo de 16 días, se realizó por este tiempo debido a que Vargas et. al (2010) mencionan que la pitahaya almacenada a temperaturas

entre 4 y 8°C disminuye su calidad visual y se han reportado pérdidas de sabores en el fruto después de 15 o 18 días de almacenamiento. En ese tiempo se realizaron los análisis de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu (mg de GAE por 100 g de materia seca) y capacidad antioxidante por el método de inhibición del radical DPPH ($\mu\text{mol g}^{-1}$ Trolox eq) tal y como se describen en el Anexo 1, los análisis fueron llevados a cabo los días 0, 4, 8, 12 y 16.

Debido a la escasa información en AM con exceso de O_2 aplicadas a la pitahaya, se estudió el efecto producido por una concentración de O_2 del 60% y CO_2 20%, ya que Artés et al. (2009) mencionan que la utilización de concentraciones de O_2 superatmosférico han sido efectivas para inhibir el pardeamiento enzimático, prevenir la fermentación anaeróbica y reducir el crecimiento microbiano aeróbico y anaeróbico en frutas y hortalizas. Además, se utilizó la concentración de gases del mejor tratamiento que se realizó en atmósferas controladas por Jami (2020). Con respecto a la temperatura de refrigeración se siguió las recomendaciones de Magaña-Benítez et al. (2010) quienes mencionan utilizar temperaturas de 3 a 8°C, debido a que temperaturas menores pueden causar daños por frío en la pitahaya.

3.4. Desarrollo del Experimento

Para valorar el efecto de las atmósferas modificadas sobre las características fisicoquímicas (color e índice de madurez), polifenoles y capacidad antioxidante de la pitahaya después de su almacenamiento, se realizó un análisis estadístico (ANOVA) con los resultados obtenidos de los tratamientos después de los 16 días de almacenamiento en atmósferas modificadas. A continuación, se detallan los factores, tratamientos, características, unidad experimental y variables de respuesta del experimento.

3.4.1. Factores en Estudio.

Para el desarrollo de la presente investigación se establecieron como factores de estudio dos concentraciones más una concentración testigo de gases y dos temperaturas como se muestran en la Tabla 8 con su respectiva descripción y nomenclatura.

Tabla 8*Factores en Estudio.*

Niveles	Factor	Descripción	Nomenclatura
1	Factor A: Concentración de los gases	Aire atmosférico (testigo) O ₂ =21%; CO ₂ =0,03%; N ₂ =78% y Otros gases =1,97%	A1
		O ₂ = 60% y CO ₂ = 20%	A2
		O ₂ =5% y CO ₂ =15%	A3
2	Factor B: Temperatura de refrigeración	5°C	B1
		8°C	B2

Nota. El % restante de las concentraciones de los gases de A2 y A3 corresponde al gas de N₂.

Como se puede observar dentro del Factor A se encuentra incluido al testigo (Aire atmosférico) esto se hizo con la finalidad de facilitar el manejo del experimento.

3.4.2. *Tratamientos*

A continuación, se presenta de manera detallada en la Tabla 9, los tratamientos en estudio que fueron investigados con su respectiva codificación.

Tabla 9*Tratamientos*

Tratamientos	Interacción	Descripción
T1	A1B1	Aire atmosférico con temperatura de refrigeración de 5°C. (TESTIGO 1)
T2	A2B2	Concentración de O ₂ = 60% y CO ₂ = 20% con temperatura de refrigeración de 8°C.
T3	A3B1	Concentración de O ₂ =5% y CO ₂ =15% con temperatura de refrigeración de 5°C.

Tratamientos	Interacción	Descripción
T4	A1B2	Aire atmosférico con temperatura de refrigeración de 8°C. (TESTIGO 2)
T5	A2B1	Concentración de O ₂ = 60% y CO ₂ = 20% con temperatura de refrigeración de 5°C.
T6	A3B2	Concentración de O ₂ =5% y CO ₂ =15% con temperatura de refrigeración de 8°C.

3.4.3. Diseño Experimental

El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial AxB (DCA AxB 3x2) con 3 repeticiones a cada nivel. En la Tabla 10 se muestra las características del experimento.

Tabla 10

Características del Experimento.

Características	Número
Tratamientos	Seis (6)
Repeticiones	Tres (3)
Unidades Experimentales	Dieciocho (18)

Cada unidad experimental para la investigación se constituyó de 2 frutas de pitahaya con índice de madurez fisiológico con un peso aproximado de 500g, envasado en fundas de polietileno extruido de baja densidad (las especificaciones se muestran en el Anexo 4). El análisis estadístico ANOVA se muestra en la Tabla 11, donde se detallan los grados de libertad para el DCA AxB.

Tabla 11

ANOVA para el Diseño Completamente al Azar.

Fuentes de Variación	Grados de libertad
Total	17
Tratamientos	5
Factor A: Concentración	2
Factor B: Temperatura	1
Interacción (AxB)	2
Error exp.	12

Se realizaron los supuestos del análisis del ANOVA, comprobando si los datos se ajustan a una distribución normal y la de homogeneidad de varianzas utilizando las pruebas de Shapiro-Wilks y de Levene respectivamente. Al existir diferencias significativas entre los tratamientos se realizó el análisis funcional, en la Tabla 12 se muestra el análisis para los tratamientos y para cada uno de los factores en estudio.

Tabla 12

Análisis Funcional.

Descripción	Análisis
Tratamientos	Tukey al 5%.
Factores	DMS (Diferencia mínima significativa) al 2%

Las variables de respuesta después de los 16 días de almacenamiento de esta investigación se muestran en la Tabla 13; mismas que fueron evaluadas de acuerdo con la metodología que se describe en la Tabla 7.

Tabla 13

Variables para el ANOVA.

Variable	Unidad
Índice de Madurez	%
Vitamina C	mg
Polifenoles	mg GAE
Capacidad Antioxidante	μmol Trolox Eq.
Color	ΔE

Nota. Vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante se expresaron por cada 100 g de materia seca.

3.4.4. Análisis Microeconómico del Proceso de Conservación Para el Mejor Tratamiento.

Una vez obtenidos los datos del análisis estadístico, se realizó un análisis microeconómico al tratamiento que presentó las mejores características fisicoquímicas y funcionales después de los 16 días de almacenamiento. Para lo cual se aplicó supuestos económicos para determinar el costo necesario para la aplicación de esta tecnología como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14*Variables económicas.*

Variables	Costo
Salario del obrero o técnico de laboratorio.	\$
Amortización	\$
Consumo de energía eléctrica	\$
Insumos y materia prima	\$
TOTAL	\$

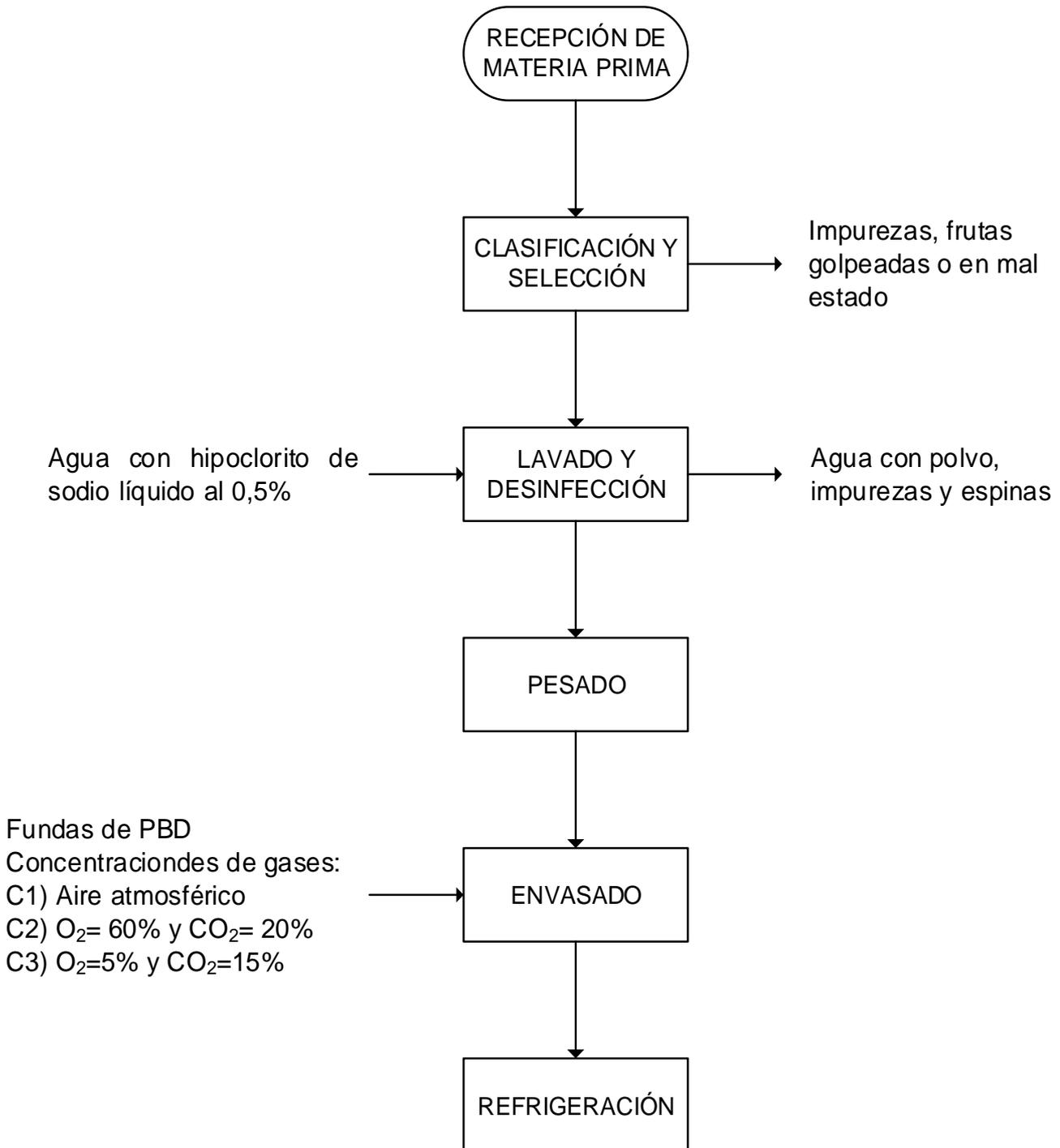
Los gastos que se tomaron en cuenta son el gasto de energía eléctrica de los equipos y amortización, gasto de la fruta almacenada e insumos, así como las fundas de polietileno extruido de baja densidad y mano de obra, la metodología aplicada se detalla en el Anexo 2.

3.5. Caracterización Específica del Experimento

El proceso fue llevado a cabo utilizando pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en estado de madurez 4 de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3554 (1996), adquirida de la Asociación de Producción Agropecuaria Cielo Verde, la fruta fue cosechada a finales del mes de enero (época de invierno) y fue recibida en el laboratorio de Análisis Experimental e Innovación de la Universidad Técnica del Norte para llevar a cabo el experimento. En la Figura 7 se describe el diagrama de flujo y se pueden observar las operaciones realizadas.

Figura 7

Diagrama de Flujo de la Fase Experimental.



3.5.1. Descripción del Proceso.

A continuación, se detalla cada operación que se realizó en el proceso de almacenamiento de pitahaya en atmósferas modificadas.

Recepción. La materia prima fue adquirida de ASOPROCIEL (Figura 8), y se recibió en el laboratorio de Análisis Experimental e Innovación de la facultad.

Figura 8

Pitahaya Amarilla Obtenida de ASOPROCIEL.



Clasificación y selección. La clasificación fue realizada de manera manual, depositando la fruta en un mesón (como se puede observar en la Figura 9), se procedió a separar impurezas presentes y frutas golpeadas o en mal estado. Posterior a esto, se realizó una selección en base a un estado de madurez 4 según Norma Técnica Colombiana NTC-3554,1996.

Figura 9

Pitahaya Amarilla en Estado de Madurez Fisiológico.



Lavado y desinfección. Luego se procedió a lavar las frutas con agua, para eliminar polvo o impurezas superficiales adheridas a las frutas y con la ayuda de un cepillo se retiró las espinas (Figura 10) para luego ser sumergidas en una tina con agua e hipoclorito de sodio líquido al 0,5% para su desinfección tal como menciona la OIRSA (2020) en su guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos.

Figura 10

Limpieza de la Fruta.



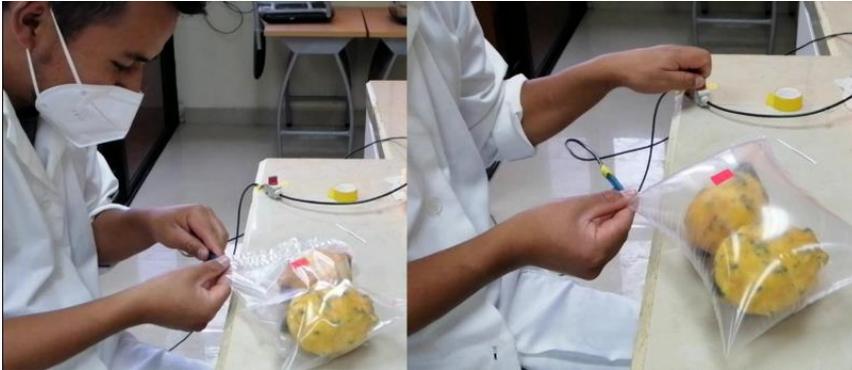
Pesado. Seguidamente se tomó 2 pitahayas y con la ayuda de una balanza digital se procedió a pesar 500g de fruta aproximadamente, esto con el fin de que cada unidad experimental contenga un peso similar.

Envasado. Antes de ser envasada la fruta se realizaron los análisis fisicoquímicos y funcionales, luego se introdujeron aleatoriamente en fundas de polietileno extruido de baja densidad (Figura 11), al mismo tiempo se realizaron 3 diferentes concentraciones de gases en el equipo WITT Mezclador MAPY 4.0 LE SP O₂ / CO₂ Zr. La primera concentración de gases fue aire atmosférico la cual fue utilizada como testigo; la segunda, una concentración de O₂= 60% y CO₂= 20%, ya que la utilización de concentraciones de O₂ superatmosférico ha sido descrita como efectiva para inhibir el pardeamiento enzimático, prevenir la fermentación anaeróbica y reducir el crecimiento microbiano aeróbico y anaeróbico (Artés et al., 2009). Por último, la tercera concentración fue O₂=5% y CO₂=15% debido a que esta

concentración de gases presentó las mejores características de conservación en la investigación realizada en atmósferas controladas por Jami (2020).

Figura 11

Envasado de la Fruta en AM.



Almacenamiento. Finalmente, los envases se almacenaron en dos refrigeradores con temperaturas de refrigeración de 5 y 8°C respectivamente; se utilizó 2 controladores de temperatura para garantizar que la fruta se mantenga a la misma temperatura durante el periodo de 16 días de almacenamiento como se muestra en la Figura 12. Durante su almacenamiento se realizaron las evaluaciones de polifenoles y capacidad antioxidante los días 0, 4, 8, 12 y 16, además, el último día de almacenamiento se realizaron los análisis fisicoquímicos y color de la fruta para valorar el efecto de las atmósferas modificadas.

Figura 12

Almacenamiento en AM y Refrigeración.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se describen los resultados obtenidos antes, durante y después de haber almacenado la pitahaya amarilla en atmósferas modificadas en refrigeración durante 16 días.

4.1. Caracterización Físicoquímica de la Pitahaya Previo al Almacenamiento

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima antes de ser almacenada en AM.

4.1.1. Análisis Físicoquímicos

En la Tabla 15 se muestra los resultados de la caracterización físicoquímica de la materia prima previamente seleccionada.

Tabla 15

Análisis Físicoquímicos de la Materia Prima.

Análisis	Resultados
Sólidos Solubles (°Brix)	17,04 ± 0,64
Acidez titulable	0,46 ± 0,02
pH	4,52 ± 0,03
Índice de Madurez	36,26 ± 1,80

De acuerdo con Sotomayor et al. (2019) los frutos de pitahaya acumulan azúcares en el proceso de maduración y esto se debe a que el contenido de mucílagos de la pulpa se reduce, además, las condiciones climáticas, así como las formas de cultivo influyen en las características físicoquímicas de la fruta, los valores de los SST son más altos en invierno en comparación con los del verano, la acidez titulable por su parte disminuye. Bajo este contexto, en la investigación de Jami (2020), al igual que en el presente estudio, se utilizó fruta cultivada en la parroquia de García Moreno, cosechada en época de invierno y se registraron temperaturas entre 20-25°C, motivo por el cual los valores se presentan similares; en las frutas investigadas por Vásquez-Castillo et al. (2016) y Sotomayor et al. (2019) a pesar de que las condiciones de cosecha fueron similares, sólo los SST se mostraron semejantes y podría ser debido a que se utilizó fruta proveniente de Pichincha (1960–2900msnm) y

Morona Santiago (880 msnm) respectivamente, podría ser debido a las diferencias de altitud, y por tanto, cantidad de oxígeno lo que provocaría que tanto acidez, pH e índice de madurez fueran diferentes. De igual manera sucede con los valores reportados por Caetano et al. (2015) y Cañar et al. (2014) que estudiaron de frutas de diferentes ubicaciones de Colombia cultivadas entre 1230-3341 msnm y cosechadas en verano. A continuación, en la Tabla 16 se han comparado los resultados obtenidos en la investigación con resultados de diferentes autores que utilizaron la misma materia prima.

Tabla 16

Comparación de Análisis Fisicoquímicos con Diferentes Autores.

	Materia prima	Jami, (2020)	Vásquez-Castillo et al. (2016)	NTE INEN 2003:2005	Sotomayor et al. (2019)	Caetano et al. (2015)	Cañar et al. (2014)
Sólidos Solubles	17,04	17,07	17,9	19-21	20,74	11,9-17,18	14,29
Acidez Titulable	0,46	0,46	0,08	0,5-0,6	0,14	0,74-1,38	1,35
pH	4,52	4,32	4,9	4,26-4,40	4,86	4,23- 5,0	4,72
Índice de Madurez	36,26	36,99	223,75	38-35	148,14	16,08-12,44	10,58

Las coordenadas colorimétricas del modelo CIELCH (L*C*H*) facilitaron la obtención de resultados para lograr una percepción uniforme del color; en la Tabla 17 se muestran los datos obtenidos expresados en luminosidad, croma o saturación y tono o ángulo de matiz.

Tabla 17

Características de Color de la Materia Prima.

Características	Resultados
Luminosidad	49,02 ± 0,41
Croma	12,39 ± 0,22
°Hue	111,27 ± 1,51

Los datos concuerdan con los reportados por Jami (2020) quién estudió el comportamiento de la pitahaya amarilla en estado de madurez 4 almacenada en atmósferas controladas, reportó una luminosidad de $49,11 \pm 0,99$, croma de $12,75 \pm 0,70$ y un ángulo de matiz de $112,18 \pm 1,19$.

4.1.2. Análisis Funcionales

Los resultados obtenidos (Tabla 18) se presentan de un promedio de 6 pitahayas que fueron tomadas como muestra para representar a toda la población.

Tabla 18

Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya.

Análisis	Resultado
Vitamina C	$7,09 \pm 0,94$ mg A. Asc.
Polifenoles Totales	$417,06 \pm 6,50$ mg GAE
Capacidad Antioxidante	$16,28 \pm 0,84$ μ mol TE.

Nota. Los datos se expresan por 100 g de materia seca.

El contenido de polifenoles totales presentes entre la pulpa y semillas de la fruta, son similares a los reportados por Caetano et al. (2015), donde se encontró un contenido de 456 mg GAE/100g de materia seca. Daza et al. (2014) por su parte, reportaron un contenido de 382,3 mg de GAE por 100 g de materia seca entre pulpa, cáscara y semilla. De igual manera, Jami (2020) reportó un contenido de polifenoles totales de 477,08 mg GAE.

Por otro lado, el contenido de vitamina C es inferior al rango reportado por Beltrán-Orozco et al. (2009), quienes obtuvieron una variación de 8 y 14 mg por 100 g de materia seca en diferentes variedades de pitahaya (roja, cereza, amarilla y blanca). Jami (2020) en su investigación reportó un contenido de ácido ascórbico de 7,57 mg, dato que es muy similar al obtenido en el presente estudio. Montesinos et al. (2015) menciona que el contenido de vitamina C varía con respecto a su maduración, los frutos que inician su fase maduración presentan un contenido de ácido ascórbico más alto que aquellos que han madurado completamente.

El resultado obtenido de capacidad antioxidante presente en pitahaya amarilla por su parte, es comparable al reportado por Beltrán-Orozco et al. (2009) $16,8 \pm 0,21$ μ mol TE por 100 g de materia seca y superior al valor reportado por Ochoa-Velasco et al. (2012) 8,7 μ mol

TE por 100 g de materia seca en pitahaya. Para otras variedades como pitahaya blanca, cereza y roja los mismos autores han reportado valores de 11, 12,2 y 17,3 $\mu\text{mol TE}$ por 100 g de materia seca respectivamente; la diferencia es significativa con la variedad roja, debido a que presentó un mayor contenido de compuestos fenólicos.

4.2. Evaluación de Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Durante su Almacenamiento en Atmósfera Modificada.

En la presente investigación se evaluó el comportamiento del contenido de polifenoles y de capacidad antioxidante presentes en pitahaya amarilla almacenadas en AM y a diferentes temperaturas de refrigeración (5 y 8°C). Para ello, se realizaron mediciones al día 0, 4, 8, 12 y 16. A continuación se describen los resultados obtenidos de cada una de las propiedades evaluadas.

4.2.1. Comportamiento del Contenido Polifenoles Totales.

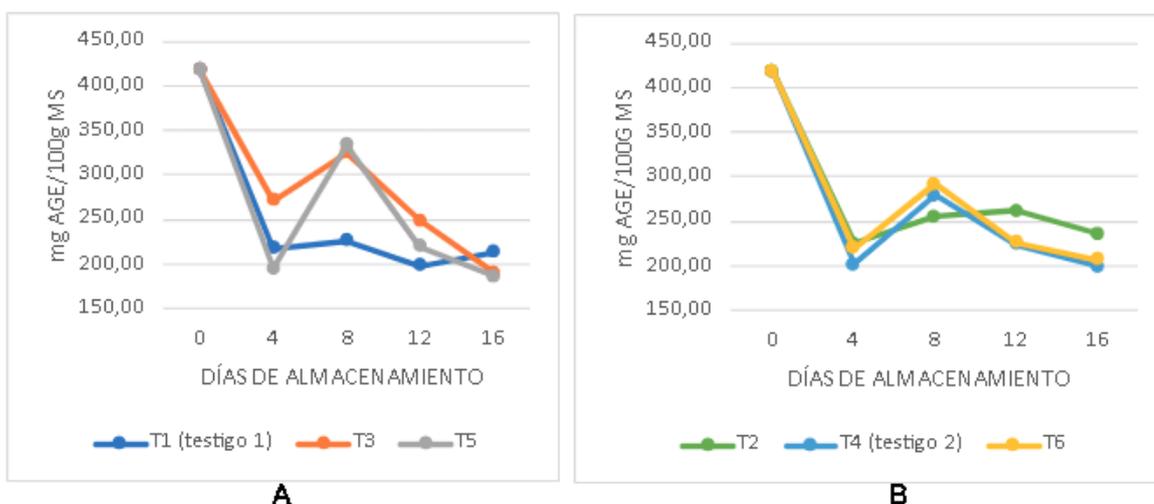
Al día cero la pitahaya presentó un contenido de polifenoles totales de $417,06 \pm 6,50$ GAE/100 g de materia seca; en la Figura 13-A se pueden observar las cinéticas de comportamiento de los diferentes tratamientos que fueron almacenados a 5°C. Como se puede evidenciar existe un descenso del contenido de polifenoles al cuarto día de almacenamiento, para los tratamientos T1 (testigo 1) de 47,12% y T5 (AM enriquecida en O_2) del 53,09% a diferencia del T3 (AM pobre en O_2) que presentó una menor reducción de 34,90% con respecto al día cero. En estudios realizados por Jami (2020), de igual manera, se reportó una disminución en los primeros días de almacenamiento y menciona que se debe a la maduración de la fruta. De acuerdo con Vicente et al. (2017), cuando la fruta llega a su madurez fisiológica, los polifenoles finalizan su actividad preservadora de las semillas y comienzan a disminuir, además, García & Robayo (2008) han reportado daños por frío en frutos de pitahaya almacenados a 6°C, lo cuales producen una disminución de los compuestos fenólicos, de igual manera, Ortiz & Carrillo (2012) mencionan que las bajas temperaturas degradan parcialmente las células frutales, permitiendo que las enzimas polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) deterioren los polifenoles presentes en la fruta. Análogamente, en investigaciones realizadas por Romero-Tejeda et al. (2015) han demostrado que los daños que se producen por el frío están asociados con aumentos en la actividad de la PPO. En estudios realizados por Blach et al. (2010) a rodajas de carambolo en AM se ha evidenciado que la actividad de las enzimas PPO y POD aumentan los primeros días de almacenamiento, de acuerdo con los autores el incremento en la enzima POD se

encuentra relacionada con la formación de ligninas, la enzima PPO por su parte, se relaciona directamente con el oxígeno, esto explica porque en el tratamiento T5 existe el mayor descenso del contenido de polifenoles en comparación con el tratamiento T3 y el testigo.

Al octavo día de almacenamiento existe un incremento del contenido de polifenoles en los tratamientos T3 y T5 que puede ser debido a las concentraciones de los gases que fueron modificadas, ya que en el testigo (T1) no se evidenció tal incremento. El mayor aumento se da en el T5 a pesar de tener una AM con alta concentración de O₂ respecto a la ambiental; con el paso del tiempo la fruta, mediante la respiración, pudo generar condiciones favorables que permitieron un incremento en el contenido de polifenoles. En investigaciones realizadas por Sosa et al. (2012) lograron preservar el 90% de compuestos fenólicos en fruta envasada con altos niveles de O₂ (75%) y almacenada durante 8 días a bajas temperaturas (3 y 5°C); tanto la concentración, el tiempo y la temperatura de refrigeración influyeron en la disminución de la actividad de la enzima polifenol oxidasa, por lo que se generó una acumulación en el contenido de polifenoles. Por otro lado, el tratamiento T3 presenta un leve incremento, según Vicente et al. (2017) se debe a las bajas concentraciones de O₂, que ayudan a disminuir la actividad de las enzimas PPO y POD.

Figura 13

Cinética del Comportamiento de Polifenoles Presentes en Pitahaya Durante su Almacenamiento en AM.



Nota. **A:** 5°C y **B:** 8°C.

Luego del octavo día el contenido de polifenoles empieza a descender en los tratamientos con AM, las condiciones extremas (altas y bajas concentraciones de O₂ con respecto a la ambiental) reducen la actividad de la enzima solo hasta al octavo día, porque

luego la concentración disminuye incluso por debajo del ambiental. En el T5 pudo existir una acumulación de etileno ya que, de acuerdo con Vicente et al. (2017) este factor, favorece la caída del contenido de polifenoles, análogamente, Kader & Ben-Yehoshua (2000) han reportado tasas de producción de etileno aceleradas en diferentes productos hortofrutícolas almacenados en AM con niveles de oxígeno superatmosférico. Otra causa puede ser debido al envase (Anexo 4), al ser de polietileno extruido de baja densidad es permeable y hace que al disminuir el nivel de O₂ no incremente demasiado el CO₂ (Artés Calero, 2006), por lo que luego de 8 o 12 días de almacenamiento la atmósfera se equilibra, generando que las condiciones en el envase ya no sean extremas y se active la enzima polifenoloxidasas; por otro lado, la tendencia a estabilizarse del tratamiento T1 después del cuarto día hasta el día 16 es debido a la disminución de la actividad de la enzima peroxidasa (Balois-Morales et al., 2007).

En la cinética del comportamiento de polifenoles de los tratamientos almacenados a una temperatura de 8°C (Figura 13-B), todos presentaron una disminución al día 4 de almacenamiento, como se mencionó en el párrafo anterior, la disminución se debe a la maduración de la fruta; pero a diferencia de los tratamientos almacenados a 5 °C, los de 8 °C presentaron una disminución de entre 46,06% y 51,64%. En este caso el testigo fue quien presentó mayor disminución al transcurso del almacenamiento del día 0 al día 4, dicho en otras palabras, las AM a 8°C contribuyeron en la conservación del contenido de polifenoles en los primeros días del almacenamiento.

Al comparar las temperaturas de almacenamiento (Figura 13), se puede observar que a 5 °C se produce mayor inestabilidad en el comportamiento de la cinética de los polifenoles que a 8°C, este comportamiento puede ser porque en la pitahaya se generan daños por el efecto térmico de temperaturas cercanas a 0°C durante el almacenamiento, los cuales producen desordenes fisiológicos que alteran el contenido de polifenoles presentes en la fruta (Quiroz-González et al., 2017; Vicente et al., 2017), además, se ha encontrado que a bajas temperaturas la enzima POD aumenta su actividad debido a una consecuencia producida por retardar el envejecimiento de la fruta (Romero-Tejeda et al., 2015). En contraste, a

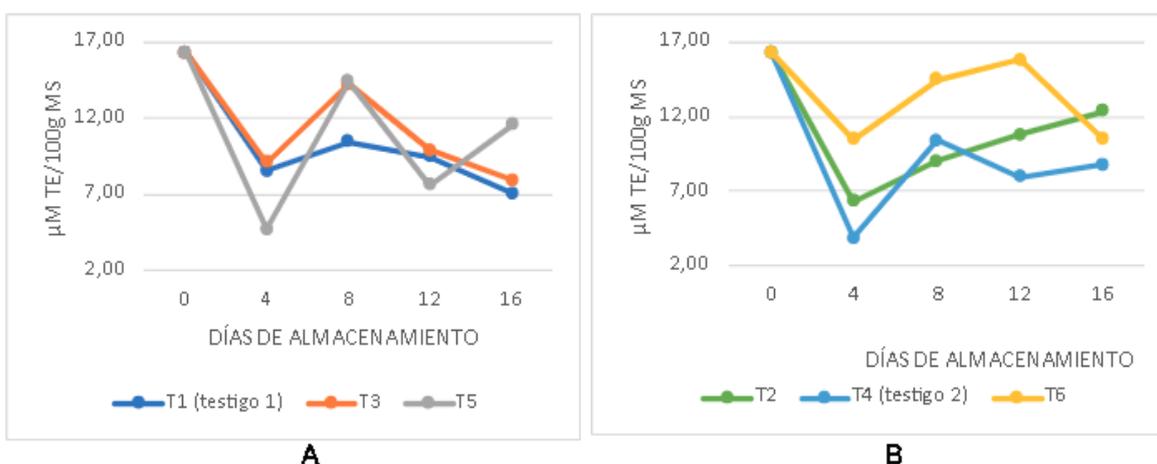
temperaturas de 8°C se ha encontrado que la pitahaya amarilla logra una mayor estabilidad durante el tiempo de almacenamiento (Enciso et al., 2011).

4.2.2. Comportamiento de la Capacidad Antioxidante (CA).

La pitahaya presentó un valor de capacidad antioxidante de 16,28 $\mu\text{M TE}/100\text{g}$ de materia seca al día 0, al cuarto día de almacenamiento todos los tratamientos tuvieron una tendencia decreciente (T1=47,45%; T2=61,04%; T3=44,24%; T4=76,09%; T5=70,97%; T6=35,61%) probablemente se deba en parte a la disminución del contenido de polifenoles y de betalaínas ya que de acuerdo con Ochoa-Velasco et al. (2012) quienes aportan mayor CA en pitahaya vienen a ser las betalaínas, mismas que están constituidas de compuestos fenólicos y no fenólicos. Bajo este contexto y como ya se explicó en el apartado anterior, el contenido de polifenoles en los tratamientos presentó una tendencia a decaer al cuarto día de almacenamiento (Figura 13), esto explicaría en parte la disminución de la CA en los tratamientos al día 4.

Figura 14

Cinética del Comportamiento de la Capacidad Antioxidante en Pitahaya Durante su Almacenamiento en AM.



Nota. A: 5°C y B: 8°C.

Al octavo día en los tratamientos T5 y T3 (Figura 14-A) se produjo un aumento considerable de CA llegando a ser similares (14,22 y 14,37 $\mu\text{M TE}/100\text{g MS}$), sin embargo, el tratamiento T3 comenzó a disminuir hasta el día 16 de su almacenamiento llegando a un valor de 7,92 $\mu\text{M TE}/100\text{g MS}$, la disminución en CA puede deberse al decaimiento de polifenoles, por el contrario, tanto el T2 como el T5 incrementaron su CA al último día de almacenamiento por lo que no se encontró una relación directa entre el comportamiento de

CA y polifenoles, es probable que en este período existió un incremento de compuestos betalainicos (García et al., 2012; Ochoa-Velasco et al., 2012) o un incremento en la vitamina C y flavonoides que también otorgan CA a la pitahaya (Verona-Ruiz et al., 2020). Por otra parte, el T6 (Figura 14-B) presentó una tendencia creciente hasta el día 12, luego del cual empezó a decaer.

El comportamiento de la CA que se produce durante los días 4 y 8 de almacenamiento se puede deber en parte al aumento en el contenido de polifenoles (Figura 13) y a la presencia de otros compuestos bioactivos. En contraste, los días 12 y 16 no presentan una relación directa entre el comportamiento de CA y polifenoles, es probable que otros compuestos bioactivos como flavonoides, betalaínas, Vitamina C presentes en pitahaya (García et al., 2012), sean responsables de los datos encontrados.

4.3. Efecto de las Atmósferas Modificadas Sobre las Características Fisicoquímicas, Polifenoles y Capacidad Antioxidante de la Pitahaya Después de su Almacenamiento.

Para conocer la influencia de las atmósferas modificadas en las características fisicoquímicas y funcionales de la pitahaya después de su almacenamiento se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos al día 16. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxB, los factores fueron las concentraciones de gases y las temperaturas de refrigeración, se realizó el análisis de varianza ANOVA y la prueba Tukey para aquellos tratamientos y factores que presentaron una varianza significativa ($p\text{-value}>0,05$). A continuación, se muestran los datos obtenidos después de los 16 días de almacenamiento en AM.

4.3.1. Características Fisicoquímicas

El índice de madurez (IM) puede actuar como un parámetro de calidad muy importante al momento de comercializar una fruta, ya que es una relación entre los SST y acidez titulable de la fruta (Oswaldo et al, 2017), es por ello por lo que se realizó el análisis estadístico. Previo al análisis, se realizó aleatoriedad, la prueba de Shapiro Wilk y la prueba de Levene y se determinó que existe tanto normalidad como homogeneidad de varianza ($p\text{-value}>0,05$). Cumplidos los requisitos estadísticos, se procedió a realizar el ANOVA, mismo que se muestra en la Tabla 19, donde se evidencia que existen diferencias significativas para los factores A (concentraciones) y B (temperaturas), no obstante, para interacción AxB no existió una diferencia significativa, por ello se acepta la hipótesis nula, el tratamiento de

pitahaya con atmósferas modificadas almacenadas en refrigeración no influye en el índice de madurez.

Tabla 19

ANOVA del Índice de Madurez en AM.

Fuentes de Variación	SC	GL	CM	F	p-valor	
Modelo	82,96	5	16,59	5,81	0,0059	
Factor A	65,21	2	32,61	11,42	0,0017	**
Factor B	15,57	1	15,57	5,45	0,0377	*
Interacción AxB	2,18	2	1,09	0,38	0,6911	ns
Error	34,27	12	2,86			

Nota. **SC:** suma de cuadrados, **GL:** grados de libertad, **CM:** cuadrados medios, **F:** F tabular, ****:** Diferencias Altamente significativas, *****: Diferencias significativas, **ns:** Diferencia no significativa

Al existir diferencias significativas en los factores se procedió a realizar la prueba DMS para el factor A ($\alpha=0,02$) mostrada en la Tabla 20. En ésta se evidencia que existen diferencias significativas ($p\text{-value}<0,02$) entre los niveles A1 (aire atmosférico) y A3 ($O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$) mismo que fue quien presentó menor aumento del índice de madurez durante su almacenamiento en AM.

Tabla 20

Prueba DMS para IM del Factor A.

Factor A	Media	n	E.E.	Grupos
A3	38,7	6	0,69	a
A2	40,86	6	0,69	a b
A1	43,36	6	0,69	b

Nota. **A1:** aire atmosférico; **A2:** $O_2=60\%$ y $CO_2=20\%$; **A3:** $O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$.

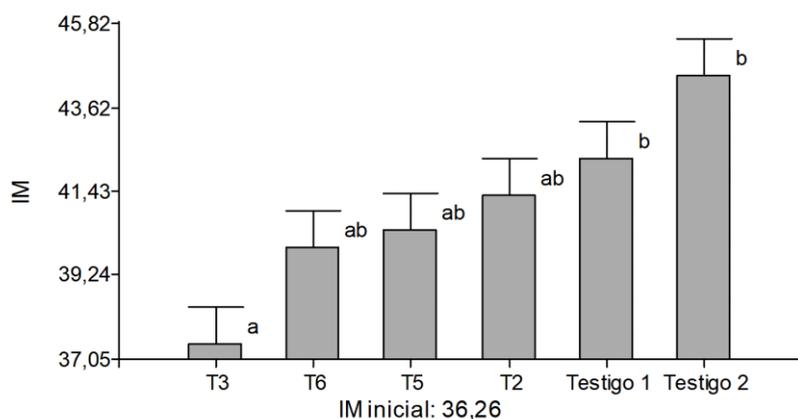
Los datos concuerdan con lo reportado por Jami (2020) quien almacenó pitahaya amarilla en atmósferas controladas a la misma concentración y concluyó que concentraciones de $O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$ favorecen a disminuir el proceso de maduración de la fruta, de igual manera, Guerrero (2014) menciona que concentraciones de O_2 (3-5%) y CO_2 (5-8%) ayudan a retardar el deterioro de frutas y hortalizas. En otras palabras, las concentraciones de los gases favorecieron a retardar el proceso de maduración y senescencia

por lo que se prolongó la vida útil del producto y se redujo algunos desórdenes fisiológicos como el índice de madurez (Yahia & Flores, 2001). Por otro lado, la temperatura de refrigeración no influyó en el índice de madurez ($p\text{-value}>0,02$), de forma semejante sucedió en estudios realizados por Rodríguez et al., (2005) en pitahaya almacenada a 5 y 8°C, los autores concluyeron que la temperatura no afecta al proceso de maduración.

Al realizar la prueba Tukey a los tratamientos (Figura 15) se encontraron diferencias significativas ($p\text{-value}<0,05$) entre los testigos y T3, este tratamiento ($O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$ a una temperatura de refrigeración de 5°C) conservó mejor la característica de índice de madurez, con respecto a la materia prima (36,26). Como ya se mencionó, Jami (2020) en su investigación de almacenamiento de pitahaya en AC reportó que esta concentración y temperatura se conservan de mejor manera las características fisicoquímicas de la fruta. De acuerdo con Guerrero (2014) las concentraciones bajas en O_2 favorecen el retardo la maduración y senescencia por lo que se prolonga la vida útil del producto, además de controlar y/o prevenir algunos desórdenes fisiológicos en la fruta. Además, Freitas & Mitcham (2013) mencionan que temperaturas de 5°C han demostrado presentar mejor apariencia visual y reducir la incidencia de descomposición en el almacenamiento de pitahaya, de aquellas almacenadas a 10°C.

Figura 15

Prueba de Tukey para la Variable IM.



De igual importancia, determinar el color de las frutas llega a ser de mucha utilidad debido a que el cambio de color actúa como un indicador en el proceso de maduración (Katusca, 2013). Por este motivo se ha realizado el análisis estadístico a los datos reportados de esta característica mediante el cambio total de color (ΔE) respecto al día cero. Una vez

cumplidos los supuestos del análisis de varianza se realizó el ANOVA (Tabla 21), no se encontraron diferencias significativas para el factor B, en contraste el factor A y la interacción AxB presentaron diferencias altamente significativas, es decir, el almacenamiento de pitahaya bajo refrigeración en AM influyó en el cambio de color.

Tabla 21

ANOVA del Cambio de Color.

Fuentes de Variación	SC	GL	CM	F	p-valor	
Modelo	2090,33	5	418,07	724,06	<0,0001	
Factor A	1041,07	2	520,54	901,54	<0,0001	**
Factor B	0,5	1	0,5	0,87	0,3704	ns
Interacción AxB	1048,76	2	524,38	908,19	<0,0001	**
Error	6,93	12	0,58			

Nota. **SC:** suma de cuadrados, **GL:** grados de libertad, **CM:** cuadrados medios, **F:** F tabular, ****:** Diferencias Altamente significativas, **ns:** Diferencia no significativa

En la Tabla 22 se muestra la prueba DMS para el factor A, se evidencia que existen diferencias significativas ($p\text{-value}<0,02$); el nivel A3 presenta el menor cambio de color con respecto al resto, de modo que las concentraciones de $O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$ redujeron significativamente el cambio de color después de los 16 días de almacenamiento. De acuerdo con lo mencionado por Azucena et al. (2020) los niveles bajos en oxígeno han demostrado favorecer la restauración de los pigmentos responsables del color en la pitahaya amarilla.

Tabla 22

Prueba DMS para el ΔE del Factor A.

Factor A	Medias	n	E.E.	Grupos
A3	13,55	6	0,31	a
A2	16,25	6	0,31	b
A1	30,86	6	0,31	c

Nota. **A1:** aire atmosférico; **A2:** $O_2=60\%$ y $CO_2=20\%$; **A3:** $O_2=5\%$ y $CO_2=15\%$

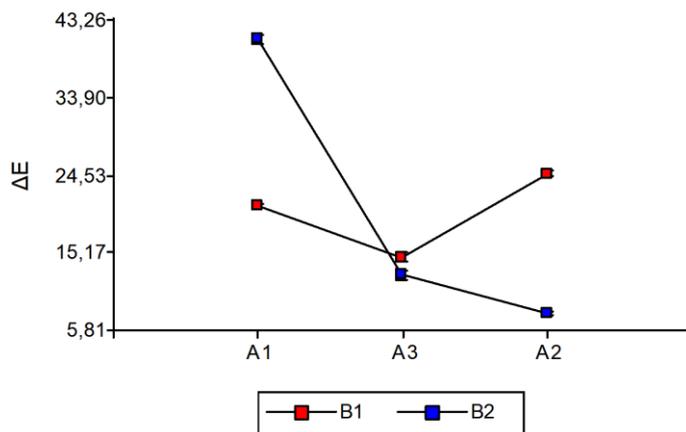
Las concentraciones con altos y bajos niveles de oxígeno respecto al ambiental (A2 y A3) presentaron un menor cambio de color (ΔE) a comparación con el testigo (A1), esto demuestra que las AM influyeron considerablemente en el color de la fruta y concuerda con las investigaciones realizadas por García & Robayo (2008), los autores han reportado que el uso de AM favorecen el control del cambio de color en pitahaya que se logra evitando el

incremento de la actividad de la enzima pectinmetilesterasa, responsable tanto de la maduración como del cambio de color que se produce en la fruta (Centurión et al., 2008). La concentración A3 presenta el menor cambio de color, de igual manera sucedió en la investigación realizada por Jami (2020), los bajos niveles de oxígeno permitieron un cambio de color lento en la fruta, la baja producción de etileno pudo impedir la degradación de la clorofila y de las betaxantinas que son los pigmentos que dan el color amarillo a la pitahaya (Ochoa-Velasco et al., 2012).

Por otro lado, existió una interacción entre la concentración de gases y la temperatura de almacenamiento, las frutas almacenadas con las concentraciones A2 y A3 a 8°C presentaron menor cambio de color que aquellas almacenadas a 5°C (Figura 16) de acuerdo con lo mencionado por García & Robayo (2008) esto puede deberse a daños por frío que afectan la calidad visual de la fruta. Sin embargo, al ser almacenadas a temperatura de 8°C la concentración con altos niveles de oxígeno (A2) presentó el menor cambio de color al final del almacenamiento con respecto a las otras concentraciones, los datos difieren con los reportados por Kader & Ben-Yehoshua (2000) ya que en sus investigaciones en los tratamientos con altos niveles de O₂ a 20°C reportaron una significativa modificación de color, esto puede ser resultado de la interacción entre concentración y la temperatura de almacenamiento lo que da a entender que la temperatura tiene un efecto clave en el cambio de color de la fruta.

Figura 16

Interacción de los Factores para la Variable ΔE .

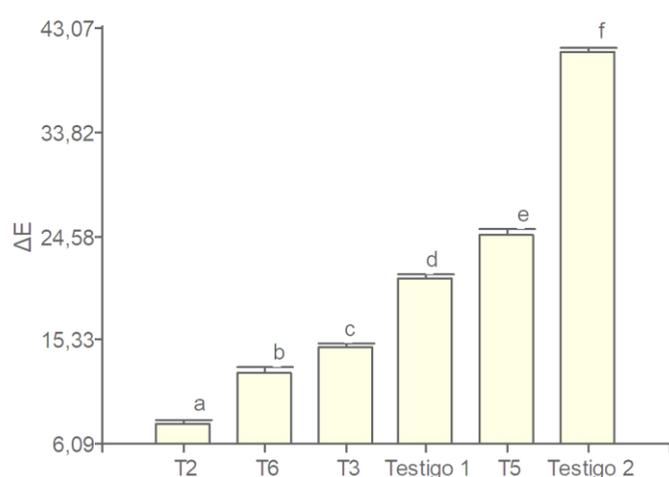


Pitahaya almacenada a 5°C en AM de O₂=5% y CO₂=15% (A3) presentó un menor cambio de color ($\Delta E=10,65$) con respecto al testigo, valor que es similar al reportado por Jami (2020) donde el menor cambio de color ($\Delta E=15,67$). Las mejores condiciones para el

almacenamiento de pitahaya se dan en la concentración A3 pues presenta el menor cambio de color tanto a 5°C como a 8°C (Figura 16), con excepción de los testigos. Finalmente, como se indicó anteriormente, el mejor tratamiento fue al que se le aplicó una AM de O₂=60% y CO₂=20% almacenado a 8°C pues presentó el menor cambio de color ($\Delta E=7,77\pm 0,45$) después de los 16 días de almacenamiento (Figura 17) pues, aunque esta concentración no fue la que generó el menor cambio de color según la Tabla 22, la interacción de temperatura y concentración generan este efecto.

Figura 17

Diferencias entre Tratamientos para la Variable ΔE .



El T2 que tiene una AM enriquecida en O₂ presentó menor cambio en el color y puede deberse a la inhibición de la POD, lo que evitó la oxidación de fenoles a quinonas que son quienes generan pigmentos pardos (Dueñas et al., 2008), además, de la conservación de las betaxantinas que están estructurados por compuestos fenólicos y no fenólicos (Ochoa-Velasco et al., 2012) y como se verá a continuación los niveles altos en O₂ con respecto a la concentración ambiental lograron mayor conservación de los polifenoles. En contraste el cambio de color en los demás tratamientos puede deberse al aumento de H₂O₂ en las vacuolas que provoca que los fenoles que se encuentran contenidos queden expuestos a ser oxidados, producirse la formación de radicales libres formados por las peroxidasas y polifenol oxidasas que deterioran los compuestos fenólicos, lo que genera la decoloración de estos pigmentos (Azucena et al., 2020).

4.3.2. Características Funcionales

El contenido de polifenoles presentes en las frutas ayuda a disminuir los radicales libres, pero, estos compuestos bioactivos pueden llegar a deteriorarse durante el almacenamiento debido al oxígeno y/o altas temperaturas (Díaz, 2017). Es por ello por lo que en este estudio se analizó el contenido de polifenoles en pitahaya después de 16 días de almacenamiento en AM, luego de verificar los supuestos del ANOVA se aplicó el análisis de varianza (Tabla 23) en el cual se encontraron diferencias altamente significativas para los factores y para las interacciones.

Tabla 23

ANOVA del Contenido de Polifenoles.

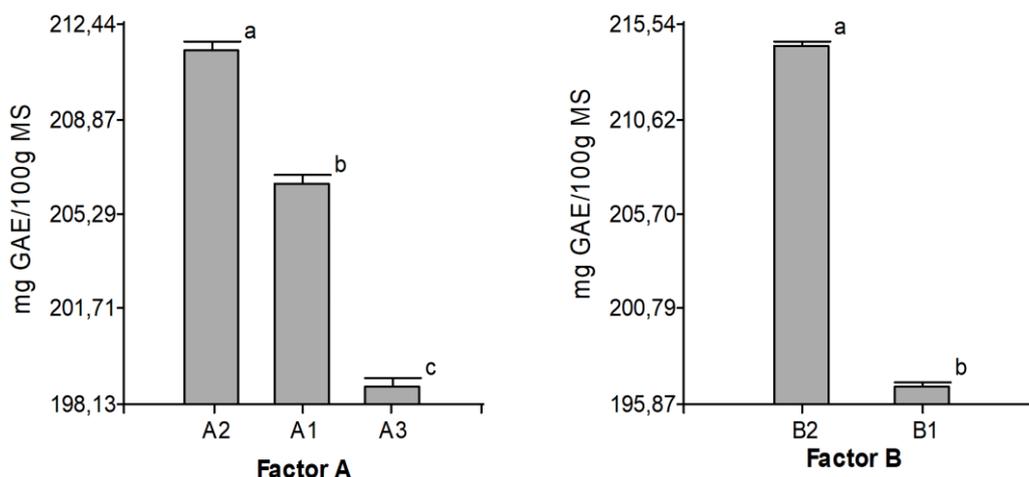
Fuentes de Variación	SC	GL	CM	F	p-valor	
Modelo	4882,02	5	976,4	1512,59	<0,0001	
Factor A	490,21	2	245,1	379,7	<0,0001	**
Factor B	1397,27	1	1397,27	2164,57	<0,0001	**
Interacción AxB	2994,55	2	1497,27	2319,5	<0,0001	**
Error	7,75	12	0,65			

Nota. **SC:** suma de cuadrados, **GL:** grados de libertad, **CM:** cuadrados medios, **F:** F tabular, ****:** Diferencias Altamente significativas.

Se realizó la prueba DMS para cada uno de los factores; los niveles del factor A difieren de cada una de sus medias (Figura 18), por lo que la concentración de gases en la AM influye en el contenido de polifenoles de la pitahaya; la concentración A2 fue la que mantuvo el mayor contenido de polifenoles después de los 16 días de almacenamiento, estos resultados concuerdan con los reportados por Sosa et al. (2012) en naranjas a concentraciones de 75% de O₂, la alta concentración de oxígeno permitió conservar el contenido de polifenoles, no se ha encontrado datos que expliquen este comportamiento, pero, Kadher & Ben-Yehoshua (2000) mencionan que existe una hipótesis planteada por Day (1996), en ella se menciona que los altos niveles de O₂ pueden provocar la inhibición de la enzima polifenol oxidasa (PPO), responsable de la oxidación de los compuestos fenólicos (Azucena et al., 2020), o bien, el aumento de niveles de quinonas incoloras podría causar la inhibición por retroalimentación de la PPO.

Figura 18

Prueba DMS para Polifenoles de los Factores A y B.

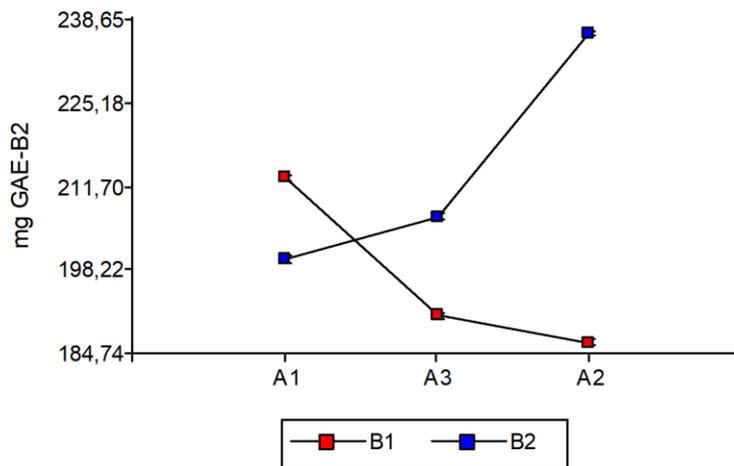


De igual manera la prueba DMS para el factor B mostró una diferencia significativa ($p\text{-value}<0,02$) entre las medias de sus niveles (Figura 18) resultando que la temperatura de 8°C (B2) conserva mejor el contenido de polifenoles presentes en la pitahaya, la temperatura de 5°C por su parte presenta menor contenido de polifenoles y puede deberse a que la pitahaya es un fruto sensible a las bajas temperaturas, como mencionan García & Robayo (2008) a temperaturas bajas pueden producirse daños por frío en la fruta, mismos que según Vicente et al. (2017) provocan el descenso del contenido de polifenoles por la estimulación en la síntesis de los compuestos fenólicos.

Por otro lado, al existir una interacción entre los factores A y B, el efecto del factor A sobre los polifenoles no es el mismo en los niveles del factor B (Figura 19); a una temperatura de 8°C el contenido de compuestos fenólicos se ve mejor conservado en las concentraciones con alto nivel de O₂ (A2) con respecto a la ambiental seguido de la concentración A3, en contraste, a una temperatura de 5°C reducen considerablemente su contenido de polifenoles. Por consiguiente, almacenar pitahaya amarilla en AM a 8°C produce un efecto positivo para las concentraciones, caso contrario sucede con la temperatura 5°C la cual en este caso la interacción tuvo un efecto negativo; el testigo presentó el menor contenido de polifenoles a 8°C, pero fue el que mejor conservó el contenido de polifenoles a 5°C.

Figura 19

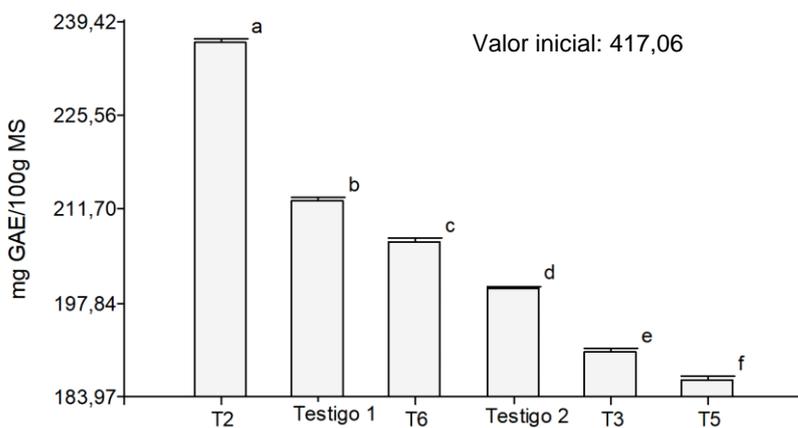
Interacción de los Factores para la Variable Polifenoles.



Después de los 16 días de almacenamiento el tratamiento T2 logró la mayor conservación del contenido de polifenoles presentes en pitahaya amarilla (Figura 20), se obtuvo un porcentaje de conservación del 56,7%, se ha reportado un mayor porcentaje de conservación del contenido de polifenoles utilizando AM enriquecidas en O₂ en naranjas, Sosa et al. (2012) reportaron un porcentaje de conservación del 90% una AM con O₂= 75% durante 8 días de almacenamiento. Para la AM con bajos niveles de oxígeno respecto al ambiental a temperatura de 8 °C (T6), se obtuvo un porcentaje de conservación del 49,6%, concuerda con los valores reportados por Jami (2020) en su investigación se logró un porcentaje de conservación similar (50,2%) en pitahaya, pero almacenada a 5°C en una atmósfera controlada de 15% de CO₂ y 5% de O₂.

Figura 20

Diferencias entre Tratamientos para la Variable Polifenoles.



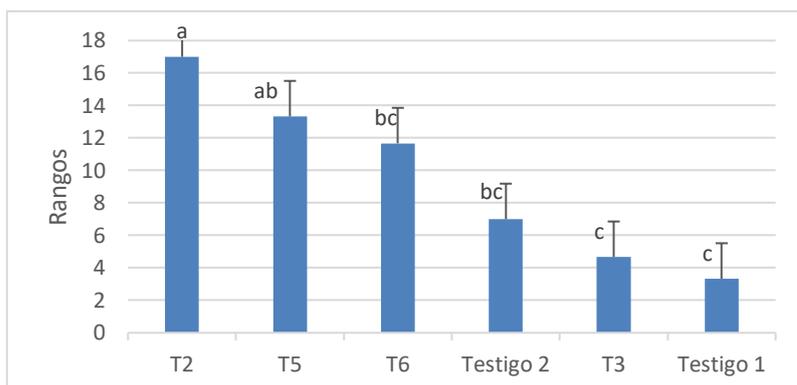
La CA permite determinar la calidad y cantidad de antioxidantes presentes en la fruta, pero puede verse afectada por la maduración y especialmente por las tecnologías de conservación (Flores & García 2016). Por este motivo se realizó el análisis estadístico después de los 16 días de almacenamiento para conocer la influencia de las AM y temperaturas de refrigeración sobre la CA de la pitahaya amarilla; no se cumplió uno de los supuestos del ANOVA (homocedasticidad) por lo que los datos se tomaron como no paramétricos por el cual se realizó la prueba Kruskal Wallis (Tabla 24). Es preciso señalar que la eficiencia y fiabilidad del modelo pudo estar comprometida por que los tratamientos no pudieron ser evaluados de inmediato debido a contratiempos ocurridos por la pandemia del COVID-19 por lo que las muestras previamente liofilizadas permanecieron en un desecador durante un mes y medio, luego del cual se logró cuantificar la CA.

Tabla 24

Prueba de Kruskal Wallis para la CA.

Tratamiento	D.E.	Mediana	p-value
T1	0,45	7,05	0,0098
T2	0,32	12,16	
T3	1,36	6,98	
T4	0,45	8,73	
T5	1,25	12,01	
T6	0,84	10,97	

No obstante, para argumentar estos resultados se utilizó la prueba de rangos (Figura 21) con ello se logró determinar que el tratamiento T3 presenta diferencias con respecto a los tratamientos T5 y T2, los tratamientos que se envasaron con una AM pobre en O₂ presentan mayor disminución en la CA a comparación con los envasados en AM enriquecida en O₂, esto difiere por lo reportado por Alba et al. (2014) que logró mantener la CA en tuna después de 16 días de almacenamiento en atmósferas controladas con bajos niveles de oxígeno respecto a la ambiental, análogamente De La Vega et al. (2017) mencionan que a estos niveles de oxígeno la enzima peroxidasa disminuye lo que puede provocar un aumento en las betalaínas responsables de la CA.

Figura 21*Prueba de Rangos y Medianas de los Tratamientos.*

En contraste, los tratamientos con AM con alto nivel de oxígeno respecto al ambiental fueron estadísticamente iguales (Figura 21), lograron mantener su poder antioxidante después de los 16 días de almacenamiento. En el T2 se logró un porcentaje de conservación de 75,85%. Los datos concuerdan con las investigaciones realizadas por Sosa et al. (2012), lograron un porcentaje del 90% en la conservación de CA en naranjas almacenadas con altos niveles de O₂ durante 8 días de almacenamiento. Kader & Ben-Yehoshua (2000) por su parte, sugieren que, dependiendo del tiempo y de la temperatura, la AM de frutas u hortalizas con niveles superatmosféricos en O₂ podrían lograr aumentar, disminuir o no tener efecto en la actividad enzimática de la polifenoloxidasas. De igual manera, Azucena et al. (2020) mencionan que la inactivación de esta enzima logra evitar la oxidación de los compuestos fenólicos y de las betalaínas.

Tabla 25*Resumen de los Tratamientos con AM Después del Almacenamiento.*

Tratamiento	IM SST/acidez	ΔE	Polifenoles (mGAE/100g MS)	CA (μ MTE/100g MS)
Materia Prima	36,26 \pm 1,80	0,00	417,06 \pm 6,50	16,28 \pm 0,84
Testigo 1 (T1)	42,27 \pm 7,77 ^b	20,78 \pm 0,44 ^d	213,06 \pm 0,89 ^b	7,08 \pm 0,45 ^c
T2	41,31 \pm 1,94 ^{ab}	7,77 \pm 0,45 ^a	236,44 \pm 0,59 ^a	12,35 \pm 0,32 ^a
T3	38,14 \pm 0,93 ^a	14,66 \pm 0,79 ^c	190,73 \pm 0,96 ^e	7,76 \pm 1,36 ^c
Testigo 2 (T4)	44,44 \pm 0,82 ^b	40,95 \pm 1,05 ^f	199,88 \pm 0,94 ^d	8,78 \pm 0,45 ^{bc}
T5	40,41 \pm 1,06 ^{ab}	24,73 \pm 0,60 ^e	186,49 \pm 0,65 ^f	11,29 \pm 1,25 ^{ab}
T6	39,93 \pm 1,75 ^{ab}	12,45 \pm 0,99 ^b	206,83 \pm 0,72 ^c	10,48 \pm 0,84 ^{bc}

Nota. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. **a:** mayor conservación a **f:** menor conservación.

En la Tabla 25, se muestra un resumen las características fisicoquímicas y funcionales de todos los tratamientos después de ser almacenados por un periodo de 16 días. Como se puede observar, el tratamiento T2 presenta el mejor comportamiento después del almacenamiento tanto para la conservación de índice de madurez color, polifenoles y capacidad antioxidante, por lo que en la siguiente sección se consideró el análisis económico a este tratamiento.

4.4. Análisis Microeconómico del Proceso de Conservación del Mejor Tratamiento.

Para finalizar esta investigación se realizó un análisis microeconómico al tratamiento con concentración de O₂= 60% y CO₂= 20% almacenado a una temperatura de refrigeración de 8°C, se encontró que los costos necesarios para la aplicación de esta tecnología fueron de \$2,12 dólares por kg de pitahaya amarilla (Tabla 26). Esto se debe a que el proceso fue realizado de forma manual, lo cual hace que exista un porcentaje de pérdida, mismo que se disminuiría significativamente si se trabaja con equipo automatizado especialmente para el llenado de las fundas, teniendo en cuenta esto se aumentaría la cantidad de pitahaya almacenada y por ende reduciría el costo por kg de fruta. En el Anexo 3 se encuentran los datos con los cuales se realizó el análisis.

Tabla 26

Gastos Totales en el Proceso de AM.

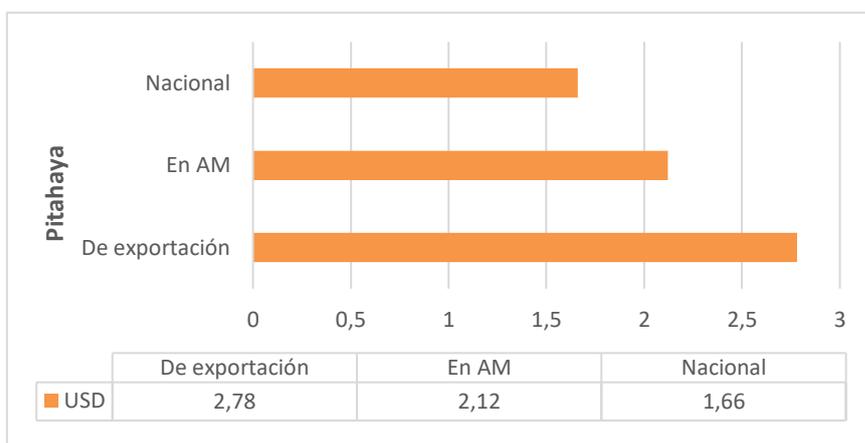
Variables	Costo
Salario del obrero o técnico de laboratorio.	\$53,33
Amortización	\$4,42
Consumo de energía eléctrica	\$9,43
Insumos y materia prima	\$38,62
TOTAL	\$105,81
Costo por kg	\$2,12

De acuerdo con el sistema de información pública agropecuaria (SIPA) el precio del kg de pitahaya de exportación en enero del 2021 se encontró en \$2,78 USD y el precio a nivel nacional se reporta entre \$1,40-1,60 USD (Figura 22), ésta diferencia de precios se da por las características que debe cumplir la fruta para mercados internacionales, como índice de madurez 4 estar libre de daños mecánicos, signos de marchitez y sus

dimensiones que deben estar entre 8 a 12 cm de largo y 6 a 10 cm de diámetro con un peso que puede variar entre 250 y 320 gramos, características que se cumplieron en la investigación, por lo que aplicando este proceso de conservación como son las AM en refrigeración se tiene una ganancia de \$0,66 USD. Además, el uso del proceso de conservación de AM en refrigeración puede reducir las pérdidas postcosecha debido al proceso de maduración.

Figura 22

Precio del Kg de Pitahaya Amarilla.



Por otra parte, al comparar con otros procesos de conservación como la deshidratación se logra un mejor costo por kg de fruta. Cabascango (2019) reporta un costo entre \$70,10 en un secador de estufa y 14,10 USD en un secador de bandejas por cada kg en uvilla deshidrata, además, el autor menciona que este proceso tuvo un porcentaje de disminución en el contenido de polifenoles de 48,16% que si se compara con la tecnología de AM donde se obtuvo un porcentaje de 43,3% se evidencia que el proceso logra una mejor conservación sin modificar las características físicas del fruto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La pitahaya amarilla cultivada por la Asociación de Producción Agropecuaria Cielo Verde (ASOPROCIEL) ubicada en la zona de Intag, cumple con las características fisicoquímicas y funcionales para considerarla en estado de madurez fisiológico.

La temperatura de refrigeración de 8°C combinada con concentraciones enriquecidas en oxígeno ($O_2= 60\%$ y $CO_2= 20\%$) lograron una mayor estabilidad en el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante durante sus 16 días de almacenamiento. A diferencia de la temperatura de refrigeración de 5°C que logró la mayor conservación de estas características sólo por 8 días.

Las condiciones extremas (altas y bajas concentraciones de O_2 con respecto a la ambiental) benefician la conservación del contenido de polifenoles, pero sólo durante los 8 días de almacenamiento. La CA por su parte se comporta igual que los polifenoles hasta el día 8 en las dos temperaturas presentando una relación directa.

Se acepta la hipótesis alternativa, el tratamiento con AM almacenadas en refrigeración influye en la conservación de características fisicoquímicas, polifenoles y capacidad antioxidante del fruto. El tratamiento (T2) con una concentración de $O_2= 60\%$ y $CO_2= 20\%$ almacenado a una temperatura de refrigeración de 8°C conservó de mejor manera las características fisicoquímicas y funcionales frente al resto después de los 16 días de almacenamiento.

La pitahaya amarilla cumple con los requisitos de exportación y el proceso de conservación de AM en refrigeración es factible, por lo que se ofrece a los productores una tecnología confiable para lograr conservar y exportar esta fruta.

5.2. Recomendaciones

Estudiar la cinética de la concentración de los gases dentro del envase de almacenamiento que presenta la pitahaya amarilla durante el almacenamiento en AM, ya que podría ayudar explicar de mejor manera el aumento o disminución del contenido de polifenoles y CA presentes en la fruta.

Efectuar una investigación acerca del comportamiento de la actividad de las enzimas PPO y POD en pitahaya almacenada a bajas temperaturas en una AM enriquecida en oxígeno, para conocer su influencia en el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante a lo largo de su almacenamiento.

Determinar otros compuestos funcionales presentes en la pitahaya amarilla, como las betalaínas y evaluar la CA con otros métodos analíticos, como el HPLC.

Realizar un análisis microeconómico a la tecnología de conservación de atmósferas controladas y llevar a cabo una comparación con AM para conocer la relación costo/beneficio de dichas tecnologías de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba, J., Chávez, J., Verdalet, I., Martínez, A., & Aquino, E. (2014). *Betalains, polyphenols and antioxidant activity in minimally processed red prickly pear stored in controlled atmospheres*. 71(2), 222–226.
- Alvarado, J. (2014). *Caracterización poscosecha de la calidad del fruto de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus) y roja (hylocereus undatus)* (Vol. 3, Issue 4) [Universidad de Guayaquil]. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.01.043>
- Ancos, D., Peña, G., Coca, C., & Moreno, S. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16, 8–17. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864002>
- AOAC. (2006). Ascorbic Acid in Vitamin Preparations and Juices 2,6 Dichloroindophenol Titrimetric Method. *Official Method of Analysis Of AOAC International, AOAC Offic*(45.1.14), 1–2.
- Aparicio, E. G. (2017). Técnicas colorimétricas. *Visión Criminalógica-Criminalística*. http://revista.cleu.edu.mx/new/descargas/1703/articulos/Articulo08_Tecnicas_colorimetricas.pdf
- Artés Calero, F. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 7(2), 61–85.
- Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., & Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 287–296. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2008.10.003>
- Azucena, M., Mancha, F., Luisa, A., & Monterrubio, R. (2020). *Estructura y Estabilidad de las Betalainas*. 1–23.
- Barea, M. (2015). *Caracterización, capacidad antioxidante y perfil fenólico de frutas subtropicales producidas y comercializadas en la Costa de Granada-Málaga*. Universidad de Granada.

- Bautista, K. (2014). *Estudio del efecto del hidrogenfriamiento y la utilización de dos tipos de empaque en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus)*. Escuela Politécnica Nacional.
- Beltrán-Orozco, M. C., Oliva-Coba, T. G., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, *43*(2), 153–161.
- Blach, D., Donado, J., & Pinzón, M. I. (2010). IV . Actividad de la Peroxidasa y Polifenoloxidasa en rodajas de Carambolo (*Averrhoa Carambola* L.) Fresco Cortado Durante su Almacenamiento en Atmósfera Modificada. *Revista Alimentos Hoy*, *19*.
- Blainski, A., Lopes, G. C., & De Mello, J. C. P. (2013). Application and analysis of the folin ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *limonium brasiliense* L. *Molecules*, *18*(6), 6852–6865.
<https://doi.org/10.3390/molecules18066852>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (2016). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Turkish Journal of Medical Sciences*, *46*(1), 194–202.
<https://doi.org/10.3906/sag-1411-35>
- Cabascango, O. (2019). *Evaluación del efecto de tres métodos de secado sobre la actividad antioxidante y fenoles totales de la uvilla Physalis peruviana L.* Universidad Técnica del Norte.
- Caetano, M., Otálvaro, F., Muñoz, J. E., Morales, J. G., Suárez, R. S., Sandoval, C. L., Martínez, M. A., Cañar, D. Y., Peña, R. D., Parra, É., Muñoz, E., Rojas, R. D., Jiménez, J. R., Benavides, A. E., & Pérez, L. F. (2015). Enfoque multidisciplinario para solución en el agro colombiano: el caso Pitahaya Amarilla (*Selenicereus Megalanthus*). *Revista De La Asociacion Colombiana De Ciencias Biologicas*, *1*(23), 52–64.
<http://www.ojs.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/index.php/accb/article/view/33/34>
- Cañar, D., Caetano, C., & Bonilla, M. (2014). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PROXIMAL DEL FRUTO DE PITAHAYA AMARILLA [*Selenicereus*

- megalanthus (K . SCHUM . *Agronomía*, 22(1), 77–87.
- Castro, J., Cerquera, N., & Gutiérrez, N. (2013). EN LA GUAYABA PERA (*Psidium guajava* cv . Guayaba pera),. *Revista EIA*, 10, 79–89.
<https://www.redalyc.org/pdf/1492/149228694007.pdf>
- Centurión, A. R., Solís, S., Saucedo, C., Báez, R., & Sauri, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 1–5.
- Daza, L., Herrera, A., Murillo, E., & Méndez, J. (2014). Evaluación de propiedades antioxidantes de parte comestible y no comestible de pitahaya, uchuva y mangostino. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(1), 98–105.
- De La Vega, J. C., Cañarejo, M. A., & Pinto, N. S. (2017). Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. Una revisión. *Informacion Tecnologica*, 28(3), 75–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300009>
- Díaz, N. A., Bárcena, J. A., Fernández, E., Aurora, G., Jorrín, J., Peinado, J., Meléndez-Valdés, F., & Túnez, I. (2010). *Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. <https://doi.org/10.4271/841496>
- Díaz, Y. L., Torres, L. S., Serna, J. A., & Sotelo, L. I. (2017). Efecto de la encapsulación en secado por atomización de biocomponentes de pitahaya amarilla con interés funcional. *Informacion Tecnologica*, 28(6), 23–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>
- Duarte, T., Jimenez, R., & Ruiz, M. (2007). Análisis económico de proyectos de inversión. *Análisis Económico de Proyectos de Inversión*, 1(35), 333–338.
<https://doi.org/10.22517/23447214.5429>
- Dueñas, Y., Narváez, C. E., & Restrepo, L. P. (2008). Inhibición de lesiones por frío de pitaya amarilla (*acanthocereus pitajaya*) a través del choque térmico: Catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasas. *Acta Biologica Colombiana*, 13(1), 95–106.
- Enciso, T. O., Zazueta, M. E. I., Rangel, M. D. M., Torres, J. B. V., Romero, M. V., & Verdugo, S. H. (2011). Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus*

- undatus Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 63–72.
- Escobar, A., Márquez, C., Restrepo, C., & Cordoba, L. (2014). Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados Application of Barrier Technology for the Conservation of Minimally Processed Vegetables Mixtures Los vegetales mínimamente procesados poseen componen. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67, 7237–7245.
- Figuroa, R., Tamayo, J., González, S., & Moreno, G. (2011). Actividad antioxidante de antocianinas presentes en cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), 44–50.
- Flores, J., & García, M. (2016). Perfil fitoquímico y actividad antioxidante de extractos de pitahaya *Hylocereus undatus*. *Jóvenes En La Ciencia*, 2(1), 29–33.
file:///C:/Users/VISERION/Downloads/Flores-Vazquez_2016.pdf
- Freitas, S. T., & Mitcham, E. J. (2013). Quality of pitaya fruit (*Hylocereus undatus*) as influenced by storage temperature and packaging. *Scientia Agricola*, 70(4), 257–262.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400006>
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2010). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu. *Universidad Politecnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos.*, 1–9.
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia Mart?nez et al.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Martinez%20et%20al.pdf?sequence=1)
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.*
- García, L., Salinas, Y., & Valle, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(SPE5), 01–05.
- García, M. C., & Robayo, P. (2008). Evaluación del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinicereus megalanthus* Shuman). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 30.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol9_num1_art:102

- Guerrero, G. (2014). *Estudio del manejo poscosecha de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus.) procedente del cantón Pedro Vicente Maldonado de la Provincia de Pichincha (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial)*. Escuela Politécnica Nacional.
- Henshall, J. (2012). Food Safety and Standards Authority of India Ministry of Health and Family Welfare Government of India New Delhi. *Manual of Methods of Analysis of Foods Fruit and Vegetables Products*, 5(1), 1–59.
<https://doi.org/10.1079/PNS19730004>.
- Herl, D. (2012). Sobre supuestos irreales y su uso en modelos económicos. *Estudios Nueva Economía*, 1(1), 8–10.
- Horwitz, W., & Latimer, G. (2007). AOAC Official Method 932.12 Solids (Soluble) in fruits and fruit products. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 15(1932), 384.
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M., Coronel, D., Verdugo, K., & Coba Santamaría, P. (2015). Desarrollo de la pitahaya (Cereus SP.) en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 22(2), 50–58. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.05>
- Huamani, D., & Paucar, P. (2015). *Determinación del contenido de ácido ascórbico y capacidad antioxidante del fruto liofilizado de pitahaya amarilla (Hylocereus megalanthus) y pitahaya roja (Hylocereus undatus)*. Universidad Católica De Santa María.
- INAMHI. (2020, January 8). *Red de Estaciones Automáticas | INAMHI*.
<http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>
- Jami, M. (2020). *Evaluación del método de conservación de atmósferas controladas sobre el contenido de polifenoles totales y ácido ascórbico de la pitahaya amarilla Selenicereus megalanthus*. Universidad Técnica del Norte.
- Jiménez-Esparza, L. O., González-Parra, M. M., Yanez-Yanes, Á. W., Cruz-Tobar, S. E., & Villacís-Aldaz, L. A. (2017). Características organolépticas de frutas de pitahaya

- amarilla (*Cereus triangularis* Haw.) bajo dos condiciones de almacenamiento. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 160–167.
- Kader, A. A., & Ben-Yehoshua, S. (2000). Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 1–13.
- Katiusca, J., Cerquera, N., & Gutiérrez, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* cv . Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA*, 10(19), 79–89.
- Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., & Kobori, M. (2003). Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(1), 68–75.
<https://doi.org/10.1021/jf025781x>
- Londoño, J. (2012). *Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad* (Corporació, pp. 129–162). <http://hdl.handle.net/10567/133>
- MAG, M. de A. y G. (2019). Manual del cultivo de Pitahaya para la amazonia Ecuatoriana. In *Manual N° 117* (Issue June).
- Magaña-Benítez, W., Balbín, A., Corrales, G., Saucedo, V., & Sauri, D. (2010). Frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) frigoconservadas a 4°C en atmósferas controladas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(2), 143–147.
- Márquez, C., Trillos, O., Cartagena, J., & Costes, J. (2009). Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L .). *Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 16, 42–48.
<http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v16n1/v16n1a05.pdf>
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Montesinos, J., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M. D. L. Á., Ruíz, G., & Guevara, F. (2015). Revisión bibliográfica pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con

- historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76.
- Mora, F. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia García Moreno. *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural García Moreno – Cantón Cotacachi*, 12–21. <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2003:2005 Frutas Frescas. Pitajaya Amarilla. Requisitos, (2005).
https://archive.org/stream/ec.nte.2003.2005/ec.nte.2003.2005_djvu.txt
- Ochoa-Velasco, E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J., Luna-Guevara, M., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 279–289.
- OIRSA. (2020). Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco , equipos y superficies en establecimientos. *Dirección Regional de Inocuidad de Los Alimentos*, 15. <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia para uso de cloro como desinfectante en establecimientos 23.06.2020.pdf>
- Ortiz, Y. D., & Carrillo, J. A. (2012). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A short review. *Comunicata Scientiae*, 3(4), 220–237. <https://doi.org/10.14295/cs.v3i4.334>
- Ospina, S., & Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–123.
- Pereira, A. G., Becerá, S. M., Gómez, A. H., & González, L. M. (2013). Evaluación económica de la aplicación de los procesos tecnológicos de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la piña (*Ananas Comosus*) variedad Cayena lisa. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 16–20.
- Perez-Jimenez, J., & Saura-Calixto, F. (2007). Metodología Para La Evaluación De Capacidad Antioxidante En Frutas Y Hortalizas. *In V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*, 1150–1160.
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39406881/71429.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DINDICE_o_TABLA_DE CONTENIDOS.pdf&X-Amz-

Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-
Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191111%2Fus-east-
1%2Fs3%2Faws4

Pinto, N., De La Vega, J. C., & Cañarejo, M. (2016). Fruits and vegetables' preservation method using controlled atmospheres. *Agroindustrial Science*, 2, 231–238.
<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2016.02.08>

PRO ECUADOR. (2018). *Pitahaya*. www.proecuador.gob.ec

Quintana, M., & Calderón, J. (2009). La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 28, 89–101.
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49016098004>

Quiroz-González, B., Corrales-García, J. E., Colinas-León, B. T. B., & Ybarra-Moncada, M. C. (2017). Identification of variables correlated with chilling injury in pitahaya (*Hylocereus undatus haworth*). *Agrociencia*, 51(2), 153–172.

Romero-Tejeda, M., Martínez-Damián, M. T., & Rodríguez-Pérez, J. E. (2015). Effect of storage temperature on enzyme activity and antioxidant capacity in *Salvia officinalis* L. shoots. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 21(3), 199–213.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.01.003>

Salinas, M. (2015). *Cuantificación de antioxidantes en alimentos naturales y artificiales* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador].
http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8655/TRABAJO_FINAL.pdf?sequence=1

Serna, L., Torres, L. S., & Ayala, A. A. (2011). Aplicación de 1-metilciclopropeno, una alternativa a la estacionalidad de la pitahaya amarilla. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 20(23), 79–98.

Sosa, L., Van de Velde, F., & Pirovani, M. (2012). Aplicación de niveles de oxígeno superatmosféricos en naranjas mínimamente procesadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13, 175–180.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441011>

- Sotomayor, A., Pitizaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE*, *10*(1), 89–96. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1.386>
- Torres, L., Serna, L., Ayala, A., Ortiz, J., & Bedoya, C. (2012). Cambios en propiedades químicas y firmeza de pitahaya amarilla refrigerada por efecto de la aplicación de 1-MCP. *Vitae*, *19*(1), S141–S143.
- Torres, Y., Melo, D. V., Torres-Valenzuela, L. S., Serna-Jiménez, J. A., & Sanín, A. (2017). Evaluación de componentes bioactivos con interés funcional a partir de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *70*(3), 8311–8318. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66330>
- Vargas, M., Centurión, A., Sauri, E., & Tamayo, J. (2005). Industrialización de la pitahaya (*Hylocereus undatus*): Una nueva forma de comercialización. *Revista Mexicana de Agronegocios*, *IX*, 498–509. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14101609>
- Vásquez-Castillo, W., Aguilar, K., Vilaplana, R., Viteri, P., Viera, W., & Valencia-Chamorro, Y. S. (2016). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) en Ecuador. *Agronomía Colombiana*, *34*(1), S1081–S1083. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58279>
- Vásquez, M. (2015). *Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales* [Universidad Nacional de Colombia]. http://bdigital.unal.edu.co/47272/1/Andrea_Melisa_Vasquez_Riascos.pdf
- Vasquez, M., & Bacalla, Y. (2017). Propuesta De Modelo De Negocio Para Mejorar El Posicionamiento De Mercado, Asociación La Flor De La Pitahaya, Distrito De Churuja - Amazonas- 2017. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas*, 382. <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1482/CHAPA GRANDEZ SALLY PATRICIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, *11*(3), 439–453.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>

Vicente, A., Concellón, A., Viña, S., Lemoine, M., Rodoni, L., Zaro, M., Hasperue, J., Massolo, J., Ortiz, C., Gonzáles, L., Quinterios, N., Velerga, L., Darré, M., Ortiz Araque, L., & Pintos, F. (2017). *Alteraciones de los Polifenoles en la Etapa de Poscosecha*. 1–3.

Yahia, D. E. M., & Flores, D. R. A. (2001). *Physical treatments for the postharvest handling of horticultural products*.

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de los métodos analíticos

Peso

Para la medición de la fruta se utilizó una balanza digital con precisión de 0,1 y una capacidad máxima de 5kg para determinar el peso de cada unidad experimental.

Color

Se realizó con la ayuda de un colorímetro portátil Konica Minolta, espectro-color d/8° digital (DR LANGE Serie- Nr 300074) y se siguió la metodología utilizada por Serna et al., (2011). Se obtuvieron las coordenadas de color $L^*a^*b^*$ en cinco puntos de cada fruta distribuidos (separados proximadamente 72°) en la zona ecuatorial de la cáscara de cada fruto, utilizando una referencia iluminante. A partir del componente a^* y b^* se calculó el ángulo de tono Hue y la cromaticidad mediante la ecuación 1 y 2 respectivamente (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Los parámetros de color se analizaron mediante el cambio total de color (ΔE) respecto al tiempo cero, empleando la ecuación 3. En cada medición se tomaron dos frutas por tratamiento.

$$H = \arctg(b^*/a^*) \quad (1)$$

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

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Dónde:

H: ángulo Hue

C*: Cromaticidad

ΔE : Cambio de color total

L*: Luminosidad

a^* : Coloración verde

b^* : Coloración amarilla.

Sólidos Solubles Totales (SST).

Para la determinación de sólidos solubles totales (SST), se exprimió la pulpa de la fruta, luego, con la ayuda de un refractómetro marca Reichert Ametek® (modelo 1310499) se procedió a realizar la lectura de forma directa con la fase líquida de la pulpa homogenizada, utilizando el método AOAC Official Methods 932.12-1980 (Hensall 2012).

pH

La medición de pH fue realizada mediante la metodología AOAC 981.12 (2016). Antes de su medición se realizó la calibración con Buffer de pH 4,01 y pH 7,01 posteriormente se obtuvo 50ml de zumo de la fruta, se filtró y seguido a esto fue medido con la ayuda un potenciómetro marca Jenway modelo 3510 introduciendo los electrodos en la muestra.

Acidez Titulable.

Para la determinación de la acidez titulable se utilizó el método AOAC Official Methods 942.1-1990 (Hensall 2012) empleando una bureta y un agitador magnético. Se inicio obteniendo 5ml de zumo de la fruta en un vaso de precipitación, luego, se adicionó 50ml de agua destilada, seguidamente se adicionaron 5 gotas de indicador fenolftaleína al 1% para finalizar se tituló la muestra utilizando hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1N. A los datos obtenidos se aplicó la ecuación 7 y el resultado fue expresado en % ácido cítrico.

$$AT = \frac{fa \times V \times N \times f}{V_{sol}} \quad (4)$$

Dónde:

AT = acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico.

V= ml de hidróxido de sodio gastados en la titulación.

N= normalidad del hidróxido de sodio (0,1N).

fa= Factor del ácido predominante (ácido cítrico = 0.064).

V_{sol} = volumen de la muestra homogenizada y filtrada en ml.

Índice de madurez.

El índice de madurez (IM) fue determinado en función a la metodología empleada por Cañar et al. (2014), se realizó mediante la relación entre el contenido de SST medido en °Brix y la concentración del ácido predominante, en este caso ácido cítrico (ecuación 5).

$$IM = \frac{SST(^{\circ}Brix)}{ATT} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

IM: índice de madurez.

SST: sólidos solubles totales.

ATT: acidez titulable total

Vitamina C.

Para la respectiva medición del contenido de vitamina C se realizó mediante el método AOAC Official Methods 967.21 (Hensall 2012). Previo a la determinación se realizaron las soluciones de extracción, estándar de ácido ascórbico e indofenol.

Para la solución de extracción se disolvió, con agitación, 15 g de gránulos de ácido metafosfórico HPO_3 en barra recién pulverizada en 40 ml de ácido acético CH_3COOH y 200 ml de H_2O ; se aforó con agua destilada a 500 ml, para luego ser filtrado rápidamente a través de papel estriado en una botella con tapón de vidrio. Para la solución estándar de ácido ascórbico, con precisión fueron pesados 50 mg ácido ascórbico, luego fueron transferidos a un balón aforado de 50 ml. La solución estándar de indofenol se realizó disolviendo 50 mg de sal de 2,6-dicloroindofenol en 50 ml de H_2O destilada la que previamente se le agregaron 42 mg de NaHCO_3 ; se agitó vigorosamente hasta que el tinte fue disuelto, luego, fue diluido a 200 ml con H_2O destilada. Seguidamente se filtró a través de papel estriado en una botella con tapón de vidrio ámbar. La solución estándar de ácido ascórbico y extracción fueron tituladas con la solución de indofenol.

Una vez preparadas las tres soluciones descritas anteriormente, se procedió a preparar los extractos de cada uno de los tratamientos por triplicado. Se diluyó 1 g de muestra previamente liofilizada en 10 ml de solución de extracción, se agitó durante 30 minutos, luego se filtró con ayuda de papel Whatman N°4 y se aforó con solución extractora en balones volumétricos de 50 ml. Por último, se realizó la cuantificación del contenido de ácido ascórbico con ayuda de una microbureta de 2ml, se tomaron 5 ml de muestra para ser titulados utilizando la solución de indofenol hasta obtener un cambio de color a rosa que persista por 15 segundos. Los resultados fueron expresados en mg de ácido ascórbico mediante la ecuación 6.

$$AA = (X - B) \times \frac{F}{E} \times \frac{V}{Y} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

X: ml promedio para la titulación de la solución de prueba.

B: ml promedio para la valoración del blanco de prueba.

F: mg de ácido ascórbico equivalente a 1,0 ml de solución estándar de indofenol.

E = g o ml analizados.

V = solución de prueba inicial de volumen.

Y = volumen de la resolución de la prueba titulada.

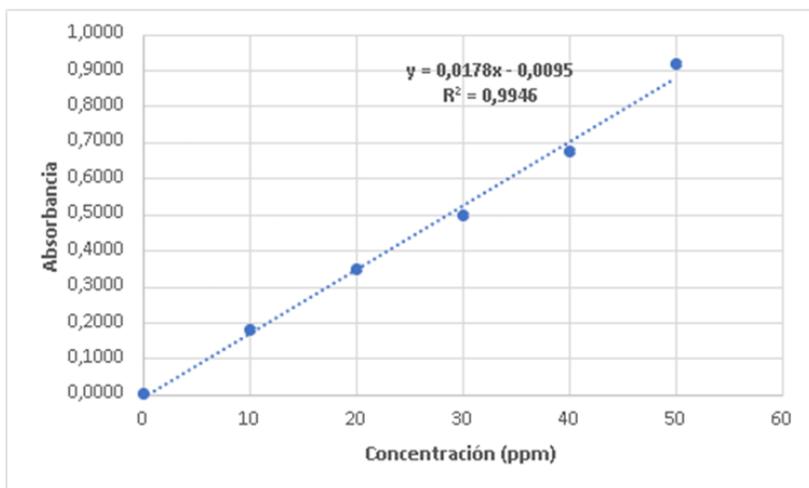
Polifenoles

Previo a la cuantificación de polifenoles por el método de Folin-Ciocalteu, se procedió a realizar la validación obteniendo una curva de calibración con diferentes estándares de ácido gálico y sus respectivas absorbancias, posterior a ello se determinaron los parámetros de validación: linealidad, precisión y exactitud mediante técnicas estadísticas.

Para linealidad se utilizaron estándares de ácido gálico de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm, se realizaron los análisis de cuantificación y se midieron sus respectivas absorbancias en un espectrofotómetro marca Jenway (modelo 6705 UV/Vis) con una longitud de onda de 760nm, se realizaron mediciones por triplicado por 3 días consecutivos, con los datos obtenidos se realizó un promedio para obtener una curva de calibración patrón con su respectiva regresión lineal. A continuación, en la Figura 22 se presenta la curva de calibración que fue utilizada para la cuantificación del contenido de polifenoles.

Figura 23

Curva de Calibración para Polifenoles Totales.



La curva de calibración de ajuste lineal presentó un coeficiente de determinación de R^2 igual a 0,9946 (Tabla 26), esto indica que existe un alto nivel de correlación lineal entre las concentraciones de los estándares de ácido gálico y sus medidas de absorbancia.

Tabla 27

Ajuste Lineal de la Curva de Calibración de Polifenoles.

Parámetro	Promedio
m(pendiente)	0,0178
Lo (ordenada en el origen)	0,0095
R^2	0,9946

Previamente a la determinación de la precisión del método, se liofilizó 100g de pitahaya fresca triturada y luego la muestra fue analizada en un espectrofotómetro de absorbancia, se realizaron 6 repeticiones. Posterior a esto se utilizó la ecuación de regresión lineal antes establecida y con los datos de absorbancia se realizó la cuantificación de polifenoles totales, por último, se estableció la desviación estándar de los datos obtenidos en las 6 repeticiones y su coeficiente de variación. En la Tabla 27 se puede observar el número de repeticiones realizadas con sus respectivos resultados expresados en mg GAE /100g de materia seca.

Tabla 28

Resultado de Polifenoles de 6 Muestras de Pitahaya.

Muestra	Polifenoles mg GAE /100g MS
1	421,16
2	405,10
3	414,01
4	419,52
5	421,25
6	421,31
Promedio	417,06
SD	6,50
CV (%)	1,56

Nota. **SD:** Desviación estándar. **CV:** Coeficiente de variación.

Para la exactitud del método se tomó 0,5g de muestra liofilizada de pitahaya amarilla en estado fisiológico, se colocó en un tubo Falcon y se agregó 10 ml de solución de extracción (metanol), se agitó por 15 segundos y se dejó en reposo por 24h en refrigeración a 4°C, con la finalidad de extraer la mayor parte de contenido de polifenoles presentes en la muestra, transcurrido este tiempo los tubos con las muestras fueron llevadas a centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos, aquí se obtuvo la fase líquida (extracto) y la fase sólida precipitada (muestra en polvo). Se filtró la parte líquida en papel Whatman N°4 para obtener el extracto y se cuantificó el contenido de polifenoles totales, luego a la fase precipitada se añadió nuevamente solución de extracción con el fin de obtener un segundo extracto. De acuerdo con Jami, (2020) fueron 4 los ciclos necesarios para extraer el 100% de polifenoles contenidos en la muestra.

Finalmente, para su cuantificación, se tomaron 0,5ml de muestra extraída de cada frasco se colocarlos en los tubos y se agregaron 0,25ml del reactivo Folin (0,5 N) para ser colocados por 3 segundos en el Vortex, se dejó reposar por 5 minutos, posteriormente se agregó 1,25 mL de NaCO₃ al 18% y 1 mL de agua destilada, se colocó los tubos en el Vortex, luego se dejó reposar por 90 minutos en completa oscuridad. Por último, se colocó cada solución en cubetas para ser medida la absorbancia en el espectrofotómetro. Para conocer la concentración de polifenoles se utilizó la ecuación de la curva de calibración obtenida y la ecuación 7 para expresar los resultados en mg AGE/100 g MS.

$$\frac{mg\ AGE}{g} = \frac{LE \times VT \times FD}{P} \quad (7)$$

Donde:

LE: Lectura del equipo en mg/L.

VT: Volumen total del extracto en litros

FD: Factor de dilución.

P = Peso de la muestra en gramos.

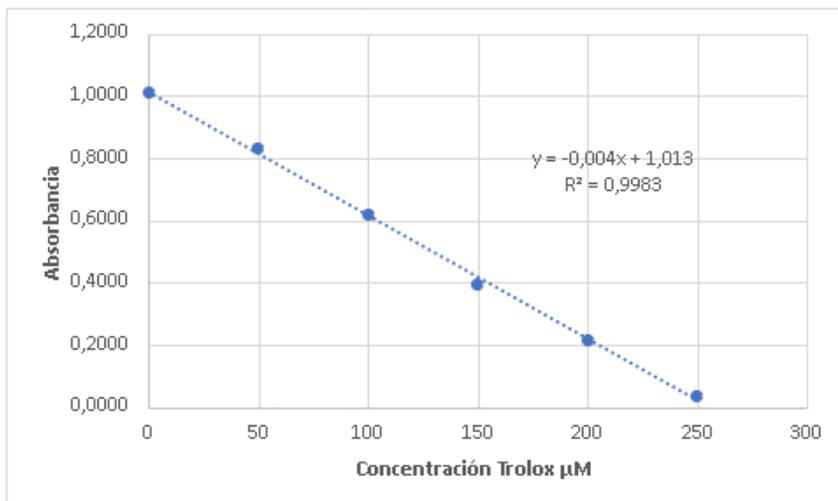
Capacidad antioxidante

La cuantificación de capacidad antioxidante se realizó por el método DPPH* descrito por Huamani & Paucar, (2015). Se procedió a realizar la validación del método obteniendo una curva de calibración con diferentes estándares de trolox y sus respectivas absorbancias, posterior a ello se determinaron los parámetros de validación: linealidad, precisión y exactitud.

Para determinar el parámetro de linealidad se procedió a realizar la curva de calibración, para ello se preparó una solución madre de DPPH a una concentración de 300 µM con etanol al 96%; luego se preparó una solución stock de trolox a 1598 µM con etanol al 96% y a partir de esta solución se prepararon estándares de trolox de 50, 100, 150, 200 y 250 µM. Posteriormente, en un ambiente con poca luz se tomó 1,2 mL de cada estándar se colocaron en diferentes tubos de ensayo, se agregaron 1,5 mL de la solución de DPPH* a cada tubo de ensayo, se agitó por 15 segundos, luego, se agregaron 2,3 mL de etanol al 96% y se volvió agitar por un tiempo de 15 minutos. Terminado el tiempo de agitación se dejó reposar en oscuridad por 30 min para luego proceder a leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm y así obtener la curva de calibración para capacidad antioxidante Figura 23.

Figura 24

Curva de Calibración para Capacidad Antioxidante.



Se realizaron mediciones por triplicado por 3 días consecutivos, con los datos obtenidos se realizó un promedio para obtener una curva de calibración patrón con su respectiva regresión lineal, como se puede observar en la Tabla 28, la curva de calibración de ajuste lineal presentó un coeficiente de determinación de R^2 igual a 0,9983, esto indica que existe un alto nivel de correlación lineal entre las concentraciones de los estándares de trolox y sus medidas de absorbancia.

Tabla 29

Ajuste Lineal de la Curva de Calibración de CA.

Parámetro	Valor
m(pendiente)	-0,0040
Lo (ordenada en el origen)	1,0130
R^2	0,9983

Previo a la determinación de la precisión del método, se liofilizó 100g de pitahaya fresca triturada y luego la muestra fue analizada en un espectrofotómetro de absorbancia, se realizaron 4 repeticiones. Posterior a esto se utilizó la ecuación de regresión lineal antes establecida y con los datos de absorbancia establecida para se realizó la cuantificación de capacidad antioxidante, por último, se estableció la desviación estándar (SD) de los datos obtenidos en las 4 repeticiones y su coeficiente de variación. En la Tabla 29 se pueden observar el número de repeticiones realizadas con sus respectivos resultados expresados en $\mu\text{M TE}/100\text{g MS}$.

Tabla 30

Resultado de CA de 4 Muestras de Pitahaya.

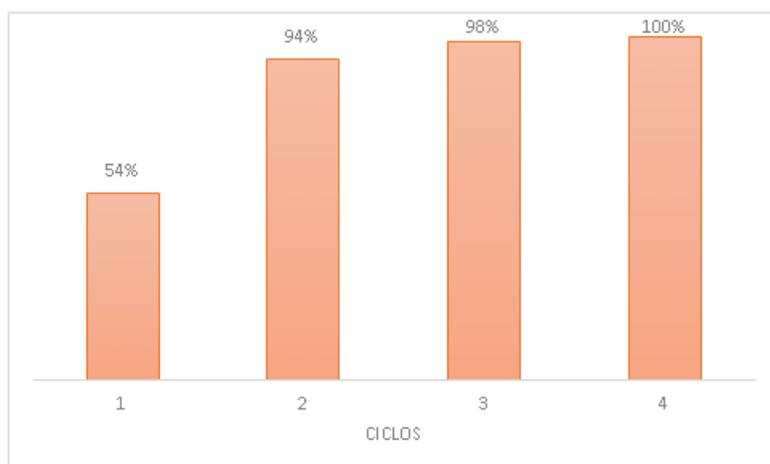
Muestra	Capacidad Antiox. μM TE/100g MS
1	16,59
2	15,60
3	17,08
4	15,52
Promedio	16,28
SD	0,84
CV (%)	5,15

Nota. **SD:** Desviación estándar. **CV:** Coeficiente de variación.

Las exactitud se realizó pesando 1g de muestra previamente liofilizada, se colocó en un tubo Falcon, seguidamente se agregaron 3 mL de etanol al 96% para ser agitada por 15 minutos, luego se llevó a centrifugar a 5000 rpm por 10 minutos para lograr separar la fase sólida (precipitado) de la fase líquida (extracto) misma que fue filtrada con papel Whatman N°4 y se colocó en un balón volumétrico de 10 mL, luego a la fase precipitada se añadió nuevamente solución de extracción con el fin de obtener un segundo extracto, de este modo se realizaron varios ciclos hasta lograr obtener la totalidad de capacidad antioxidante de la muestra. en la Figura 24 se puede observar los ciclos necesarios para lograr obtener el 100% de la capacidad antioxidante presente en la muestra. Para mayor optimización de tiempo y reactivos se optó por realizar 3 ciclos, ya que al tercer ciclo se obtiene un porcentaje de recuperación del 98%.

Figura 25

Porcentaje de Recuperación en Cada Ciclo de Extracción.



Por último, se realizó la cuantificación para ello se tomaron 1,2 mL de muestra extraída de cada frasco se colocaron en tubos de ensayo y se agregaron 1,5 mL de reactivo DPPH* para ser colocados por 3 segundos en el Vortex, posteriormente se agregó 2,3 ml de etanol al 96%, se agitó por 30 segundos, luego se dejó reposar por 30 minutos en completa oscuridad. Finalmente se colocó cada solución en cubetas para ser medida la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm. Para conocer el contenido de capacidad antioxidante se utilizó la ecuación de la curva de calibración obtenida y la ecuación 8 para expresar los resultados en $\mu\text{M TE}/100\text{g}$ de materia seca.

$$\frac{\mu\text{M TE}}{g} = \frac{LE \times VT \times FD}{P} \quad (8)$$

Donde:

LE: Lectura del equipo en $\mu\text{M/L}$.

VT: Volumen total del extracto en litros

FD: Factor de dilución.

P = Peso de la muestra en gramos.

Anexo 2. Metodología para el análisis microeconómico

La metodología se basó en la aplicada por Pereira et al., (2013), se calculó el gasto de energía eléctrica de los equipos y amortización, gasto de la fruta que va a ser almacenada, insumos, así como las fundas de polietileno extruido de baja densidad y la mano de obra para el tratamiento que presentó las mejores características fisicoquímicas y funcionales después de los 16 días de almacenamiento. A continuación (Tabla 31), se muestran las fórmulas que fueron aplicadas para realizar el análisis microeconómico del mejor tratamiento.

Tabla 31

Fórmulas para el Análisis Microeconómico.

Variable	Formula	Dónde:
Gastos totales(G)	$G = S + A + C + O$	S: Salario del obrero o técnico de laboratorio. A: Gastos de renovación (amortización). C: Gastos por consumo de energía eléctrica. O: Gastos en insumos y materiales auxiliares.
Salario del obrero o técnico de laboratorio (S).	$S = \frac{1}{W_{07}} \times \sum_{j=1}^k H_j \cdot P_j$	H_j: Cantidad de obreros o técnicos de servicio. P_j: Pago del personal según la tarifa salarial por jornada laboral. W₀₇: Valor de productividad para el proceso (se considera igual a uno porque se establece en función de la cantidad de fundas obtenidas con productos elaborados en una jornada laboral).
Gastos de renovación (A)	$A = \frac{B \times a}{100 \times W_{07} \times C_{za}}$	B: Precio del equipo nuevo. a: Coeficiente de descuento C_{za}: Carga zonal anual, h/año.
Gastos por consumo de energía eléctrica (C).	$C = V_{al} \times \sum_{j=0}^n C_e \times t$	V_{al}: Precio actual del kW C_e: Consumo de energía del equipo, kW/h. t: tiempo de trabajo de un equipo, h.
Gastos en insumos (O)	$O = \sum_{i=1}^n C_p \times P_p$	C_p: Cantidad de producto utilizado; P_p: Precio del producto.

Con la finalidad de conocer el gasto de cada volumen de los gases, se determinó el volumen de la concentración a 3 unidades experimentales elegidas aleatoriamente, primero, las unidades fueron pesadas, luego cada una fue colocada en un recipiente graduado para proceder a llenarlo con arena hasta lograr cubrir completamente la unidad experimental, seguidamente se registró el peso. Finalmente se utilizó la ecuación 9 para conocer el volumen de la concentración que contiene la unidad experimental.

$$V_t = V_a - \frac{P_a - P_f}{\rho} \quad (9)$$

Donde:

V: Volumen de la concentración.

V_a: Volumen que cubrió completamente la unidad experimental.

P_a: Peso de la arena

P_p: peso de la funda

ρ: densidad de la arena (1,7 g/mL)

Anexo 3. Datos para el análisis microeconómico

GASTO	INDICADORES			SUBTOTAL
Amortización				
<i>Equipos</i>	B	a	C_{za} (día/año)	
Controlador	\$350,00	0,04	1	\$0,21
Refrigerador	\$350,00	0,04	0,667	\$0,21
Mezclador	\$2.500,00	0,04	0,250	\$4,00
Consumo energético				
<i>Equipos</i>	V_{al}	C_e (Kwh)	t (h)	
Controlador	\$0,10	0,11	384	\$4,42
Refrigerador	\$0,10	0,12	384	\$4,82
Mezclador	\$0,10	0,22	8	\$0,18
Salario del obrero				
	H_j	P_j		
Mano de obra	2	\$26,67		\$53,33
Gasto en insumos				
	C_p	P_p		
Pitahaya	50 kg	\$0,70		\$35,00
Fundas	70 unidades	\$0,05		\$3,50
Mezcla de gases en la funda				
Gas	Vol. x funda (L)	Vol. Total (L)	Costo x L	
Oxígeno	0,03	2,08	\$0,03	\$0,06
Dióxido de Carbono	0,01	0,69	\$0,04	\$0,03
Nitrógeno	0,01	0,69	\$0,05	\$0,04
GASTO TOTAL				\$105,81
Costo/kg				\$2,12

Nota: B: precio del equipo nuevo; a: coeficiente de descuento; C_{za}: carga zonal; V_{al}: precio actual del KW; C_e: consumo de energía del equipo; t: tiempo de trabajo del equipo; H_j: cantidad de obreros; P_j: tarifa salarial por jornada laboral; C_p: cantidad de producto; P_p: precio del producto.

Anexo 4. Especificaciones técnicas del empaque.



PRODUCTOS PARAISO DEL ECUADOR

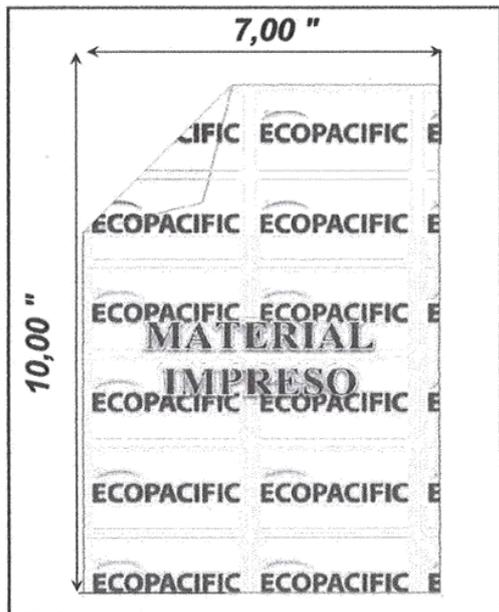
DIVISION POLIETILENO

CERTIFICADO DE CALIDAD DEL PRODUCTO

CLIENTE	ECOPACIFIC	FECHA	2 de enero de 2018
CANTIDAD	60.000	CODIGO	4394.07

FUNDAS POR BULTO	4.000	TIPO DE FUNDA TRADICIONAL TRANSPARENTE
FUNDAS POR PAQUETE	15	
NÚMERO DE LOTE	21217	
USO	EMPAQUE PRODUCTO TERMINADO REFERENCIA SAMBO PICADO	

MATERIAL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD



ESPECIFICACIONES DE MEDIDAS			
PARAMETRO	MEDIDA	TOLERANCIA	REVISADO
ANCHO	7,00 "	±5 %	✓
LARGO	10,00 "	±5 %	✓
ESPESOR	3,50 mils	±10 %	✓
FUELLE LATERAL	--	--	--
FUELLE FONDO	--	--	--
LENGÜETA	--	--	--

COLORES DE IMPRESIÓN			
ANVERSO		REVERSO	
COLOR	REVISADO	COLOR	REVISADO
1 NEGRO	✓	1 BLANCO	✓
2 BLANCO	✓	2 NEGRO	✓
3 NARANJA 130C	✓	3 VERDE 349C	✓
4 NARANJA 151C	✓	4	
5 VERDE 349C	✓	5	
6		6	

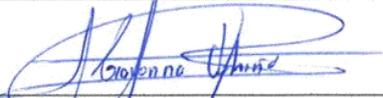
PROPIEDADES DEL PRODUCTO	
ESPECIFICACION	REVISADO
RESISTENCIA LONGITUDINAL	✓
RESISTENCIA TRANSVERSAL	✓
CARGA DE RUPTURA	✓
BLOQUEO DE MATERIAL	✓
TRATADO SUPERFICIAL DE MATERIAL	✓
ADHERENCIA DE LA TINTA	✓
RESISTENCIA DE SELLOS	✓

Los materiales usados en la fabricación de este empaque, se encuentran dentro de la lista positiva y cumplen con las regulaciones FDA "Food and drugs administration" aptos para estar en contacto con alimentos según: FDA: 21CFR parte 177 §1520 FDA: 21 CFR 177.1520(c) 3.2(a) FDA: 21CFR parte 175 §105 y § 320; parte 176 §125,180,200, 210 y 176(c) y que son utilizados para la elaboración de empaques para alimentos de consumo humano.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Los paquetes deben almacenarse en bodegas o depósitos cerrados con techo en buen estado, ventilados, evitando condiciones adversas de humedad, exposición al sol o a la lluvia y excesivo calor. Deben estar aislados de materiales aromáticos, químicos y vapores. Evitar contaminación por plagas y polvo. Un período largo de almacenamiento puede causar alteraciones en las características y especificaciones técnicas del material.

El lote al que se hace referencia en el presente certificado cumple con las especificaciones de calidad establecidas, por lo que se LIBERA para su uso comercial como empaque de alimentos.


INSPECCIONADO POR
Control de Calidad

PRODUCTOS PARAISO DEL ECUADOR

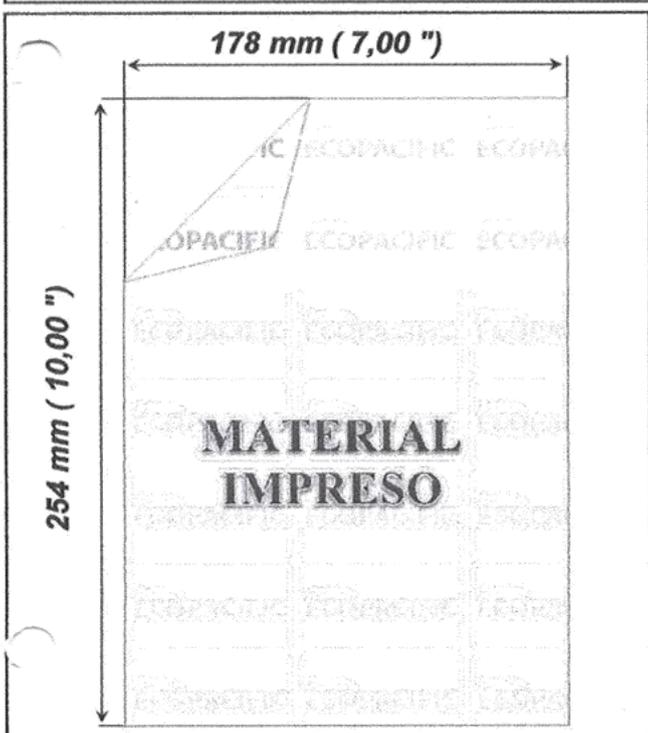
DIVISION POLIETILENO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CLIENTE	ECOPACIFIC EMPRESA COMERCIAL DEL PACIFICO S.A
REFERENCIA	SAMBO PICADO

FUNDAS POR PAQUETE	100	TIPO DE EMPAQUE
FUNDAS POR BULTO	4.000	
CODIGO	4394.07	
		TRADICIONAL TRANSPARENTE

MATERIAL	POLIETILENO EXTRUIDO DE BAJA DENSIDAD
-----------------	--



ESPECIFICACIONES DE MEDIDAS		
PARAMETRO	MEDIDAS	TOLERANCIA
ANCHO	178 mm (7,00 ")	± 5%
LARGO	254 mm (10,00 ")	± 5%
ESPESOR	88,9 μ (3,50 mils)	± 10%

COLORES DE IMPRESIÓN	
COLORES ANVERSO	COLORES REVERSO
NEGRO	BLANCO
BLANCO	NEGRO
NARANJA 130C	VERDE 349C
NARANJA 151C	
VERDE 349C	

EMPAQUES IMPRESOS utilizamos SISTEMA DE CONTROL DE COLOR X-RITE que garantiza la uniformidad del color y la fidelidad con los colores aprobados por nuestros clientes en cada uno de los lotes de producción fabricados.

PROPIEDADES DEL PRODUCTO		
ESPECIFICACIONES	VALORES	NORMAS
RESISTENCIA AL DESGARRE MD (gf.)	600	ASTM D-1922 (1)
RESISTENCIA AL DESGARRE TD (gf.)	1.200	ASTM D-1923
RESISTENCIA AL IMPACTO (g)	>600	ASTM D-1709
ESFUERZO DE RUPTURA MD/TD (MPa).	24/26	ASTM D-882
DEFORMACIÓN POR RUPTURA MD/TD (%).	100/150	ASTM D-883
SELLABILIDAD (° C)	100 ~ 105	PPE -1011

Para valoraciones en nuestros laboratorios aplica Norma ASTM

REGULACIONES PARA EL CONTACTO CON ALIMENTOS.

Los materiales usados en la fabricación de esta lámina, se encuentran dentro de la lista positiva y cumplen con las regulaciones FDA "Food and drugs administration" aptos para estar en contacto con alimentos según: FDA:21CFR parte177 §1520 FDA: 21 CFR 177.1520(c) 3.2(a) FDA: 21CFR parte175 §105 y § 320; parte 176 §125,180,200, 210 y 176(c) y que son utilizados para la elaboración de empaques para alimentos de consumo humano. No se permite el uso de material reciclado para este tipo de empaques.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL

Los paquetes deben almacenarse en bodegas o locales cerrados con techo en buen estado, ventilados, evitando condiciones adversas de humedad, exposición al sol o a la lluvia y excesivo calor. Deben estar aislados de materiales aromáticos, químicos y vapores. Evitar contaminación por plagas y polvo. Un período largo de almacenamiento puede causar alteraciones en las características y especificaciones técnicas del material. Teniendo en cuenta el manejo y las condiciones de almacenamiento, el material puede conservar sus propiedades hasta 6 meses, sin embargo recomendamos utilizar dentro de los primeros 4 meses desde su fabricación.



Ing. Ernesto Albán.