

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL POSCOSECHA DE UCHUVA (*Physalis peruviana*
L.) EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EMPAQUE**

LUIS JULIÁN PALMA MALLAMA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2022

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL POSCOSECHA DE UCHUVA (*Physalis peruviana*
L.) EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EMPAQUE**

LUIS JULIÁN PALMA MALLAMA

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación presentado como requisito para
optar al título de Ingeniero Agroindustrial**

Asesor:

Mg. William A. Hernández

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

SAN JUAN DE PASTO

2022

Nota de Responsabilidad

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

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación.

Fecha de sustentación: 1-marzo-2022

Puntaje: 83

Ph. D OSWALDO OSORIO MORA

Jurado

ING. CHRISTIAM GUEVARA BETANCOURTH

Jurado

Ph. D WILLIAM ALBARRACÍN HERNANDEZ

Asesor

Pasto, marzo de 2020

Nota del Autor

Este trabajo fue financiado a través del proyecto “Desarrollo y evaluación de recubrimientos comestibles y biopelículas activas adaptables a empaques para prolongar la vida útil de frutas andinas, Lulo (*Solanum quitoense*), Uchuva (*Physalis peruviana L.*) producidas en el departamento de Nariño” de la convocatoria 818 del año 2018 de Colciencias.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo debe ser enviado a la facultad de ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia al correo

palmajulian07@udenar.edu.co

Agradecimientos

Principalmente agradezco a Dios por darme la fortaleza y la capacidad para cumplir con todo este proceso y llegar a cumplir esta meta tan importante dentro de mi proyecto de vida.

Quiero agradecer a mis padres Oscar Palma y Nidia Mallama, por brindarme todo su apoyo de forma incondicional a lo largo de mi vida, por sus consejos y enseñanzas. Sin ellos no hubiera sido posible cumplir esta meta.

Agradezco a la Universidad de Nariño y la facultad de ingeniería agroindustrial por colocar a disposición su capital humano y de infraestructura para poder realizar mi proceso de formación como ingeniero agroindustrial.

También quiero agradecer al profesor Ph. D Oswaldo Osorio, por permite formar parte del grupo de investigación GAIDA y brindarme todas las posibilidades para que este proyecto llegara a su culminación de la mejor manera.

A mi compañero y amigo William Cuatin quien me acompañó durante todo el desarrollo de mi trabajo de grado, colaborando en los ensayos, aportando conocimiento y con quien pasamos momentos tanto malos, así como grandes momentos que perduran.

Al Ing. Chritiam Guevara que de forma incondicional contribuyo en el desarrollo de mi trabajo de grado, realizando aportes de conocimiento, brindando consejos y acompañándome en todo el proceso de investigación.

A la Ing. Amparo Guevara y al personal de la planta piloto de la facultad de ingeniería agroindustrial por brindarme las facilidades para realizar mi trabajo de grado y brindarme herramientas físicas e intelectuales que permitieron llevar a cabo todas las actividades contempladas en el proyecto.

A mi asesor Ph. D William Albarracín Hernández, quien aportó conocimientos, consejos y enseñanzas que permitieron llevar a cabo este proyecto de investigación y generar un aporte al conocimiento.

Agradezco infinitamente a toda mi familia y amigos que de una u otra forma contribuyeron en mi formación como profesional y como persona.

Se hace un agradecimiento especial al proyecto “Desarrollo y evaluación de recubrimientos comestibles y biopelículas activas adaptables a empaques para prolongar la vida útil de frutas andinas: Lulo (*Solanum quitoense*) y Uchuva (*Physalis peruviana* L.) producidas en el departamento de Nariño”, de la Convocatoria de Colciencias 818 -2018, por el financiamiento de mi investigación para la realización de mi trabajo de grado.

Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una especie frutícola que ha adquirido un gran potencial a nivel nacional e internacional debido a sus características nutricionales y sensoriales catalogándose como un fruto promisorio. Esto conlleva a la búsqueda de alternativas que permitan mantener la competitividad, cumplir con las exigencias del consumidor y que contribuyan a la disminución de pérdidas poscosecha; para esto se planteó el uso de diferentes tipos de empaque (bolsa de PEBD, caja PET con perforaciones y bandeja de PS con película PEBD) y variación en la temperatura de almacenamiento (4, 11, 18 °C). Se evaluaron diferentes propiedades fisicoquímicas durante 15 días, lo que permitió determinar que el mejor empaque y temperatura para la conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) es la caja PET a 4 C. También se realizó una prueba sensorial haciendo uso de una escala hedónica, empleando frutos sin control de temperatura y sin uso de empaque, con el fin de determinar el punto en el tiempo en el cual la aceptación del fruto por parte del consumidor comenzó a disminuir, este punto crítico se determinó en el día 12. Finalmente, con los resultados obtenidos en cuanto a empaque y temperatura y a partir del punto crítico de aceptación, se determinaron modelos matemáticos para el comportamiento de la firmeza y del índice de color, siendo el modelo logístico y el modelo de orden uno los que mejor describieron el comportamiento de las variables.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L., vida útil, modelamiento matemático, cinética de degradación, empaques.

Abstract

Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is a fruit species that has acquired great potential nationally and internationally due to its nutritional and sensory characteristics, classifying it as a promising fruit. This leads to the search for alternatives that allow maintaining competitiveness, meeting consumer demands and contributing to the reduction of post-harvest losses; For this, the use of different types of packaging (LDPE bag, PET box with perforations and PS tray with LDPE film) and variation in storage temperature (4, 11, 18 °C) was proposed. Different physicochemical properties were evaluated for 15 days, which allowed determining that the best packaging and temperature for the conservation of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is the PET box at 4 C. A sensory test was also carried out using a hedonic scale , using fruits without temperature control and without the use of packaging, in order to determine the point in time at which the acceptance of the fruit by the consumer began to decrease, this critical point was determined on day 12. Finally, With the results obtained in terms of packaging and temperature and from the critical point of acceptance, mathematical models were determined for the behavior of firmness and color index, being the logistic model and the model of order one the ones that best described the behavior of the variables.

Keywords: *Physalis peruviana* L., shelf life, mathematical modeling, degradation kinetics, packaging.

Contenido

	pág.
1. Planteamiento del problema.....	19
2. Justificación.....	21
3. Objetivos	23
3.1 Objetivo general	23
3.2 Objetivos específicos	23
4. Marco teórico	24
4.1 Generalidades del fruto de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>):	24
4.2 Enfermedades y plagas de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>):.....	25
4.3 Propiedades fisicoquímicas del fruto de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>):	26
4.3.1 Propiedades físicas	26
4.3.2 Propiedades químicas.....	29
4.3.3 Capacidad antioxidante	32
4.4 Contexto comercial de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>):	33
4.5 Poscosecha del fruto de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>):.....	34
4.6 Empaques	35
4.7 Vida útil y modelado matemático	38
5. Marco de antecedentes	41
6. Metodología	48
6.1 Localización del estudio.....	48
6.2 Selección y adecuación de la materia prima	48
6.3 Propiedades fisicoquímicas de la uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>)	48

6.3.1 Propiedades físicas	48
6.3.2 Propiedades químicas.....	49
6.4 Prueba sensorial	51
6.5 Modelamiento matemático de las variables de respuesta (Firmeza e índice de color) ..	54
6.6 Determinación del efecto de la temperatura sobre las constantes del modelo matemático	56
6.7 Modelamiento de la vida útil.....	56
6.8 Diseño de experimentos	57
7. Resultados y análisis	59
7.1 Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de uchuva (Phylsais peruviana L.) durante el periodo de almacenamiento.	59
7.1.1 Comportamiento y análisis de la firmeza.....	59
7.1.2 Comportamiento y análisis del Índice de color.....	63
7.1.3 Comportamiento y análisis de los sólidos solubles totales	67
7.1.4 Comportamiento y análisis del índice de respiración	76
7.1.5 Comportamiento y análisis del pH.....	80
7.1.6 Comportamiento y análisis de la acidez.....	83
7.2 Elección del mejor tratamiento	86
7.3 Análisis sensorial aplicando la metodología de lógica difusa y análisis de varianza	88
Evaluación sensorial del sabor del fruto	88
7.3.1 Evaluación sensorial del color del fruto.....	90
7.3.2 Evaluación sensorial de la textura del fruto	93
7.4 Modelamiento matemático de las variables de respuesta (Firmeza e índice de color) ..	97

7.4.1 Modelamiento de la firmeza.....	98
7.4.2 Modelado de cambio del índice de color	101
7.4.3 Dependencia de la temperatura	103
Conclusiones	108
Recomendaciones	110
Referencias	111
Anexos.....	121

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de la uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).	24
Tabla 2. Enfermedades más comunes presentes en uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	25
Tabla 3. Contenido nutricional de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) recopilados de por el ICBF.	31
Tabla 4. Composición química del fruto de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) obtenido por diferentes autores.....	32
Tabla 5. Modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).	55
Tabla 6. Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L), correspondientes al sabor del fruto.	88
Tabla 7. Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.), correspondiente al sabor del fruto.	88
Tabla 8. Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L), correspondientes al color del fruto.....	90
Tabla 9. Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (<i>Physalis eruviana</i> L.), correspondiente al color del fruto.	91

Tabla 10. Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.), correspondientes a la textura del fruto.....	93
Tabla 11. Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.), correspondiente a la textura del fruto.....	93
Tabla 12. Parámetros correspondientes al punto óptimo de aceptabilidad de la uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) de acuerdo a la evaluación del consumidor.	97
Tabla 13. Parámetros correspondientes al punto crítico de aceptabilidad de la uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) de acuerdo a la evaluación del consumidor.	97
Tabla 14. Parámetros de los modelos de cambio en la firmeza para frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) almacenadas en cajas PET con perforaciones en función de la temperatura.	100
Tabla 15. Parámetros de los modelos de cambio en índice de color para frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) almacenadas en cajas PET con perforaciones en función de la temperatura.	103
Tabla 16 Parámetros de la relación de Arrhenius para las diferentes constantes cinéticas de los modelos orden uno y modelo logístico.....	105
Tabla 17. Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento en bandejas PS, recubiertas con film de PEBD a diferentes temperaturas.....	121
Tabla 18. Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento en bolsas PEBD a diferentes temperaturas.....	123

Tabla 19. Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento en cajas PET con perforaciones a diferentes temperaturas.	125
Tabla 20. Cambio de las propiedades fisicoquímicas de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) sin control de temperatura y sin uso de empaques.	127
Tabla 21. Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial del sabor de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	128
Tabla 22. Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial del color de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	130
Tabla 23. Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial de la textura de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	132
Tabla 24. Resultados obtenidos en los modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	142

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Comportamiento de la firmeza en función del tiempo para uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento para diferentes tipos de empaque y temperatura.	59
Figura 2. Comportamiento del índice de color en el tiempo de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.....	64
Figura 3. Comportamiento de los sólidos solubles totales en el tiempo de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.	68
Figura 4. Comportamiento del peso en uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.....	72
Figura 5. Comportamiento del índice de respiración en (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.....	76
Figura 6. Comportamiento del pH (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.	80
Figura 7. Comportamiento del porcentaje de acidez de (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.....	83
Figura 8. Grafica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial del sabor de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	89
Figura 9. Grafica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial del color de uchuva (<i>Physalis</i>	

	<i>peruviana</i> L.).	92
Figura 10.	Grafica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de la textura de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.).....	94
Figura 11.	Comportamiento de la firmeza de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento en cajas PET a diferentes temperaturas en comparación con el comportamiento predicho por el modelo matemático determinado.	99
Figura 12.	Comportamiento del índice de color de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) durante el almacenamiento en cajas PET a diferentes temperaturas en comparación con el comportamiento predicho por el modelo matemático determinado.	102
Figura 13.	Formato general de calificación utilizado en la evaluación sensorial de textura, color y sabor de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)	134
Figura 14.	Fotografías durante la selección y adecuación de la materia prima.	135
Figura 15.	Fotografías de uchuvas (<i>Physalis peruviana</i> L.), almacenadas en bolas PEBD....	139
Figura 16.	Fotografías de uchuvas (<i>Physalis peruviana</i> L.), almacenadas en bandejas PS recubiertas con film PEBD.	140
Figura 17.	Fotografías de uchuvas (<i>Physalis peruviana</i> L.), almacenadas en cajas PET con perforaciones.....	141
Figura 18.	Fotografías correspondientes a las diferentes pruebas fisicoquímicas.	136
Figura 19.	Fotografías correspondientes a la prueba sensorial hedónica aplicada a uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.), almacenada sin uso de empaques y sin control de temperatura.	137

Lista de anexos

	pág.
Anexo A. Recopilación de los datos correspondientes a las propiedades fisicoquímicas de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>), para los diferentes tipos de empaque y temperatura aplicados:	121
Anexo B. Recopilación de los datos correspondientes a la prueba hedónica de uchuva (<i>Physalis peruviana L.</i>), para frutos almacenados sin control de temperatura y sin uso de empaque.....	128
Anexo C. Registro fotográfico correspondiente a la metodología aplicada en la presente investigación.....	135
Anexo D. Registro fotográfico correspondiente a los frutos almacenados en diferentes tipos de empaque y de los frutos después del periodo de almacenamiento a las diferentes temperaturas.....	139
Anexo E. Resultados de los ajustes obtenidos para los diferentes modelos.....	142

1. Planteamiento del problema

La uchuva es una especie frutícola andina que ha adquirido gran importancia en el país por su potencial para la exportación como fruta fresca. En la actualidad su cultivo está experimentando una considerable expansión (Garavito, 2021), igualmente, su consumo interno se ha incrementado debido a que el consumidor nacional ha tenido oportunidad de conocer nuevos productos que satisfacen sus gustos y exigencias (Coral et al., 2012); además la uchuva (*Physalis peruviana L.*) se ha presentado como una alternativa de producción para la economía de muchos países, dentro de los cuales se encuentra Colombia, quien es uno de los principales productores a nivel mundial, junto con Kenia, Zimbabwe; Australia, Nueva Zelanda, India y Ecuador, esto se debe a que presenta buenas perspectivas e interés en los mercados internacionales por sus características nutricionales y ventajas por su permanente producción y suministro en los mercados internacionales (Fischer et al., 2014) (Pinzón et al., 2015).

Este potencial y su expansión van acompañados de una serie de problemas relacionados con toda la cadena de producción hortofrutícola, problemas como las pérdidas poscosecha, el poco valor agregado, sistemas de distribución, poca adaptación a las tendencias de consumo, entre otros; por lo cual se debe realizar avances en la producción, comercialización, transporte y almacenamiento (Arias et al., 2015) (Magnolia & Palma, 2021), pues se estima que en Colombia se pierden anualmente 9,72 millones de toneladas de alimentos, de los cuales 62% corresponden a frutas y hortalizas (Pinzón et al., 2015) (Garavito, 2021).

Dicho lo anterior, se identifica que uno de las principales limitantes en la comercialización de frutas y hortalizas es el alto carácter perecedero de estos productos, esta problemática se da a causa de factores como, el mal manejo poscosecha, el uso inadecuado de tecnologías de acondicionamiento y almacenamiento, lo que se traduce en elevadas pérdidas de

la calidad durante su comercialización y distribución en los mercados (Garcia et al., 2014)(Balaguera, Ramírez, et al., 2014).

Particularmente en la cadena de distribución de la uchuva (*Physalis peruviana L.*), al ser un fruto perecedero, generan considerables pérdidas poscosecha y además al tener una mala manipulación en el momento de la cosecha, poscosecha y almacenamiento se ocasiona una disminución en la rentabilidad de la cadena productiva, a pesar de esto, la Uchuva (*Physalis peruviana L.*) en Colombia posee un alto potencial, ya que el 70% de la producción es apta para exportación, lastimosamente no se exporta todo este porcentaje (Arias et al., 2015).

Todo lo mencionado nos lleva a la búsqueda de alternativas que ayuden en el aumento de la vida poscosecha del fruto para mantener la competitividad, disminuyendo las pérdidas tanto de características físicas como químicas.

Se considera importante mejorar las condiciones de manejo pos cosecha del fruto, principalmente en factores básicos como el uso de empaques y control de variables ambientales que son determinantes en la conservación de la vida en anaquel durante el almacenamiento y transporte asegurando así la conservación de las características sensoriales y de contenido nutricional exigidas por los consumidor (Pinzón et al., 2015). (Garavito, 2021).

Es así que se formulan las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las mejores condiciones de empaque y temperatura para uchuva (*Physalis peruviana L.*) que contribuyan a la disminución del deterioro poscosecha?

2. Justificación

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) comenzó a ser un cultivo comercial desde la década de los ochenta, conjuntamente tuvo una acogida en los mercados internacionales. Actualmente este fruto se da especialmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño (Katherin, 2017) donde ha tenido un crecimiento en el área cultivada y en su producción, conjuntamente se ha dado una expansión hacia los diferentes mercados internacionales, siendo los principales destinos Países Bajos, Alemania, Reino Unido, Estados Unidos, Ecuador y Canadá (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2018).

En Colombia, el cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) en los últimos tiempos reviste de importancia por ser un producto de exportación (Coral et al., 2012), para el año 2011, el área de producción fue de 743 ha, con una producción total de 10.771 ton (Arias et al., 2015) y para el periodo comprendido entre 2012-2016 se presentó un aumentado considerable, las toneladas producidas pasaron de 11.305,49 a 15.111,78 y el área cultivada cambio de 757,83 a 1.023,10 hectáreas (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2018), en cuanto a las exportaciones entre el periodo 2017 hasta el año 2020 presentan una cifra de 43.292,3 ton, se observa un incremento en este periodo de 9,9% (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2020).

Es por esto que la uchuva (*Physalis peruviana L.*) se ha ubicado a en el noveno lugar dentro del ranking de productos que más aportan al comercio exterior de la economía nacional (Katherin, 2017) y en el quinto lugar de los productos hortofrutícolas que más generan ingresos para el país (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2018), presentando para 2019 ingresos de 20,18 millones USD, mientras que solamente para el periodo enero – mayo de 2021 los ingresos para el país generados por esta fruta exótica ya ascendían hasta 16,9 millones,

presentándose un incremento del 12,1%, en comparación con el mismo periodo en 2019, además se registra que desde 2017 las exportaciones de uchuva (*Physalis peruviana L.*) han tenido un incremento constante del 9% (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior y la gran demanda que se da por este producto, especialmente en los países europeos, así como sus grandes oportunidades de consolidar nuevos mercados, ya que es un cultivo que da cosecha todas las semanas en un período de 12 a 18 meses (Katherin, 2017), es importante mejorar las condiciones de manejo poscosecha del fruto, principalmente en lo que se refiere a almacenamiento, transporte y vida en anaquel, de tal modo que las características organolépticas y de contenido nutricional que sean exigidas por el mercado, se mantengan (Pinzón et al., 2015); esto nos lleva a la búsqueda de alternativas y herramientas que contribuyan en el control, seguimiento y determinación del comportamiento poscosecha del fruto e igualmente en la determinación de la influencia directa o indirecta que tienen factores externos sobre vida poscosecha del fruto. Con el desarrollo de esta investigación se buscó determinar el comportamiento poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) con el fin de mantener y prolongar el tiempo de vida útil, estudiando la influencia que tiene la temperatura de almacenamiento y el uso de diferentes empaques en la conservación de las propiedades fisicoquímicas del fruto, basándonos en la conservación de la calidad sensorial del fruto y el modelamiento matemático para determinar la eficiencia de los tratamientos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la vida útil poscosecha de uchuva (*Physalis peruviana L.*) en diferentes condiciones de almacenamiento y empaque.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas de la uchuva (*Physalis peruviana L.*), sometida a variación de la temperatura y el tipo de empaque durante el almacenamiento.
- Evaluar la cinética de algunos parámetros fisicoquímicos de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) mediante modelamiento matemático.
- Determinar mediante una prueba sensorial cuales, de las condiciones de almacenamiento aplicadas, conservaron mejor las propiedades organolépticas de uchuva (*Physalis peruviana L.*).

4. Marco teórico

4.1 Generalidades del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.):

Es un fruto originario de la región de los andes, se cultiva en américa latina y en algunos países de Sudáfrica, pertenece a la familia de las solanáceas y es la especie más conocida del género *Physalis* (Mokhtar et al., 2018) la descripción taxonómica detallada de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) se presenta en la tabla 1. La característica más distintiva de este género es su cáliz, que crece de forma simultánea con el fruto y lo cubre completamente incluso en el estado de madurez; utilizada fundamentalmente por sus baya comestibles, jugosas, redondeadas, habitualmente de color amarillo y de intenso sabor (Pássaro, 2014).

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de la uchuva (Physalis peruviana L.).

Nombre común	Uchuva, Uvilla, Vejigón, Guchuba
Nombre científico	<i>Physalis peruviana</i> L.
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanácea</i>
Genero	<i>Physalis</i>
Especie	<i>Peruviana</i> L.

Nota: La información contenida en la tabla fue reportada por (SENA, 2014)(Pássaro, 2014).

La planta crece inicialmente en forma herbácea y a partir del segundo año forma un arbusto perenne y semi leñoso (Fischer et al., 2014), su producción inicia a los 6 meses después de la siembra y se puede cosechar cada ocho días por un periodo de 12 y 15 meses en constante producción (Katherin, 2017). Es una planta fácilmente adaptable a una amplia gama de

condiciones agroecológicas, creciendo entre 1800 y 2800 MSNM, con temperaturas promedio entre 13 y 18 °C (Fischer & Melgarejo, 2014). De acuerdo a López (2017) su punto de producción óptimo se genera entre los 2100 MSNM y 2500 MSNM y según Arias (2015) en Colombia las condiciones ideales para el cultivo se ubican a una altura entre los 1.800 y los 2.800 MSNM y se debe cultivar a humedades relativas promedio de 70 y 80% en suelos con pH entre 5.5 y 7.0, ricos en materia orgánica.

Su cultivo requiere de tutorado, alcanzando hasta 2 m o más de altura y sin tutorado puede llegar hasta una altura de 1.0 a 1.5 m, sus hojas son simples, alternas, acorazonadas con un tamaño entre 5 y 15 cm de largo y 4 a 10 cm de ancho (Fischer et al., 2014).

4.2 Enfermedades y plagas de uchuva (*Physalis peruviana* L.):

Tabla 2

*Enfermedades más comunes presentes en uchuva (*Physalis peruviana* L.).*

Plagas	Descripción
Pasador del fruto (<i>Heliothis</i> sp.)	Las larvas de este parásito perforan y consumen los frutos en cualquier etapa de maduración, la presencia de esta plaga se nota cuando el insecto hace el orificio de salida o por excrementos en el capacho.
Ácaro tostador (<i>Aculops</i> sp.)	Las larvas de esta especie consumen los frutos de uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.) en cualquier etapa de maduración, perforando los capachos, la presencia de las larvas solo se notan cuando hacen un orificio de salida para alimentarse de otro fruto o por la presencia de excrementos.

Enfermedades	Descripción
Mancha gris (<i>Cercospora sp.</i>)	Los síntomas se observan en campo en forma de pequeños puntos necróticos que posteriormente forman manchas irregulares y finalmente se tornan redondeadas de color gris, se presenta tanto en el follaje así como en el cáliz o capacho.
Muerte descendente, mal de tierra (<i>Phoma sp. Sacc</i>)	Este patógeno ataca en cualquier estado de desarrollo, afecta hojas, tallos, hojas, frutos, los primeros síntomas son pequeñas manchas oscuras, dentro la lesión se observan pequeños granitos de color negro que contienen las esporas.

Nota: La información presentada en la tabla fue reportada por (SENA, 2014)

4.3 Propiedades fisicoquímicas del fruto de uchuva (*Physalis peruviana L.*):

4.3.1 Propiedades físicas

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) es una especie cuyos frutos se desarrollan dentro de un cáliz y permanecen dentro durante todo su desarrollo, el cáliz mide alrededor de 5 cm y su forma puede ser redonda o alargada y crece a mayor velocidad que el fruto (Balaguera, Martinez, et al., 2014). El cáliz se encarga de proteger al fruto durante el cultivo de la radiación y de problemas fitosanitarios, además brinda protección mecánica, también actúa protegiendo al fruto de las condiciones climáticas extremas, insectos y aves (Balaguera, Martinez, et al., 2014), después de la cosecha el cáliz provee a los frutos protección contra patógenos y maltrato ofreciendo una prolongación importante de la vida poscosecha en relación a frutos sin cáliz (Fischer & Melgarejo, 2014) (Garcia et al., 2014), además los frutos con cáliz generan menores

niveles de etilenos que los frutos sin cáliz; debido a que sufren un menor deterioro poscosecha (Balaguera, Martinez, et al., 2014).

Los frutos con cáliz tiene una duración de aproximadamente de 25 días, mientras que los frutos desprovistos de su capacho solamente duran aproximadamente 8 días, en los dos casos si se almacena bajo condiciones controladas de humedad, temperatura (López, 2017).

El fruto es una baya jugosa con un diámetro entre 1,25 y 2,15 cm con un peso entre 4 y 10 g (Duque et al., 2011) (Mokhtar et al., 2018), su crecimiento y desarrollo comprende un periodo entre 60 y 80 días, dependiendo de las condiciones agroecológicas del lugar (Fischer et al., 2014), durante el almacenamiento, el peso del fruto varía de acuerdo a la temperatura de almacenamiento, a 20°C se ha presentado una pérdida de 29,86%, en comparación a 3,19 % de perdida que se dio en almacenamiento a 2°C (Pinzón et al., 2015).

Los frutos de uchuva (*Physalis peruviana L.*) se caracterizan por tener un color anaranjado cuando alcanza su estado de madurez optimo, pero cuando el fruto se encuentra en estado de madurez uno, de acuerdo a la NTC 4580 presentan una coloración verde intensa, equivalente a valores negativos de la coordenada “a*”, del espacio de color CIELab. Esta coloración se presenta en los primeros 35 días después de la floración y va disminuyendo hasta el día 63, para dar paso a tonalidades amarillas propias de la maduración del fruto; posteriormente en el día 84 la coloración se torna naranja, los valores de la coordenada “a*” pasan a ser positivos, mientras que la coordenada “b*”, aumenta a valores alrededor de 55,79 indicando la sobre maduración del fruto (Enrique & López, 2012), este cambio en la coloración de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) se debe a diversas reacciones, como reacciones de pardeamiento no enzimático y destrucción del pigmentos (Gallagher et al., 2011), una de estas reacciones es la degradación de la clorofila por acción enzimática, por otra parte encontramos que las tonalidades

amarillas y rojas se deben a la síntesis de carotenoides y antocianinas producidas durante los procesos metabólicos del fruto (Y. García et al., 2011)(Valdenegro et al., 2012), lo que ocasiona como se mencionó anteriormente, que hayan valores de a y b más altos. Estos cambios en las coordenadas del espacio de color CIElab ocasiona que el índice de color aumente a medida que el fruto madura, desde el estado de madurez uno con valor de -9,07 hasta llegar a un valor de 4,17 correspondiente al estado de madurez seis (Enrique & López, 2012), aunque se han alcanzado índices de color de 13,53 en frutos almacenados a 20 C (Pinzón et al., 2015).

En cuanto a la firmeza del fruto, se presenta una disminución de esta propiedad en la uchuva (*Physalis peruviana L.*) a medida que avanza el tiempo, este comportamiento puede ser atribuido a diferentes factores, principalmente a la degradación de la pectina e hidrólisis del almidón en las paredes celulares por acción de reacciones enzimáticas (Dueñas et al., 2012)(Castellanos et al., 2016), se ha encontrado que en los frutos de uchuva (*Physalis peruviana L.*) las principales enzimas causantes de la pérdida de firmeza son la pectinmetilesterasa (PME) y la poligalacturonasa (PG) (Balaguera, Martinez, et al., 2014). La PME actúa mediante desestirificación en los enlaces éster de los grupos metilo de las cadenas poligalacturónicas presente en la pared celular y la PG está involucrada en la degradación de los residuos pécticos desmetilados, producidos por acción de la PME (Kaushik et al., 2017) (Sanjeevi, 2020), estos cambios también confieren características sensoriales de color, aroma, sabor y textura a los frutos, la pérdida de firmeza se ve intensificada a medida que avanza el tiempo y estado de maduración del fruto (Balaguera & Herrera, 2012), presentándose para los estados de madurez correspondientes a fruto verdes una firmeza aproximada de 5,393 N, que es superior a la firmeza de frutos pintones que presenta una firmeza alrededor de 2,715 N y de frutos maduros cuya firmeza se acerca a 1,697 N (Ciro & Osório, 2008). Otro factor que influye

en la firmeza del fruto y que se relaciona directamente con la actividad enzimática es la temperatura; se ha observado que uchuvas almacenadas a bajas temperaturas han conservado mejor la firmeza que frutos a temperatura ambiente, se ha encontrado que a una temperatura de 2° la firmeza alcanza 3,48 N de firmeza, mientras que a 4°C llega a un valor de 2,33 N y a 20 °C la firmeza es de 2,01 N (Pinzón et al., 2015). Además la pérdida de firmeza también ocasiona que haya una pérdida de la capacidad de retención de agua en la membrana de la célula vegetal, factor que se relaciona directamente con la pérdida de peso del fruto, este proceso al igual que la actividad enzimática, se ve incrementado a medida que la temperatura de almacenamiento aumenta (Gallagher et al., 2011) (Sierra et al., 2019).

Durante toda la etapa poscosecha la uchuva (*Physalis peruviana* L.) como todos los frutos presenta un pérdida de peso, alrededor de 14,9% para frutos sin cáliz y un 10,6% para frutos con cáliz (Balaguera, Martinez, et al., 2014), además se mantiene por 18 días a 2 C sin afectar las características fisicoquímicas (Pinzón et al., 2015), también se ha encontrado que la uchuva puede alcanzar 5 semanas de vida útil a temperaturas entre 4 y 10 °C con cáliz (Fischer et al., 2014).

4.3.2 Propiedades químicas

Referente a la composición del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) por su alto contenido de vitaminas, minerales y fibra pertenece a la lista de los súper frutos (Balaguera, Martinez, et al., 2014), además por su alto contenido de provitamina A se clasifica como un fruto carotenogeno (Fischer et al., 2014). En los frutos se encuentran compuestos como α -caroteno β -caroteno y β -criptoxantina (Cerón et al., 2010); también es una fuente de algunas vitaminas del complejo B como tiamina, niacina y vitamina B12 (Fischer et al., 2014).

Presenta alto contenido de vitamina C de 19,8 mg/100 g de fruto fresco; (Peña et al., 2012) y a diferencia de otros frutos, los niveles aumentan durante la maduración, se han reportado aumentos en el contenido de vitamina C durante el almacenamiento desde 7.5 mg/100g hasta 15.5mg/100g (Thomás & Sepúlveda, 2014).

También presenta niveles de fosforo y hierro excepcionalmente alto, 39 mg y 1.1 mg respectivamente, pero tiene un bajo contenido de calcio, 9 - 14 mg/100g (Fischer et al., 2014), (Cortés et al., 2015), este fruto también contiene otros minerales como el potasio con 560mg/100g, sodio 70mg/100g y fosforo 130mg/100g, presentes en la piel y las semillas (Mokhtar et al., 2018).

El fruto de uchuva (*Physalis peruviana L.*) presentan de 11 a 20 g de carbohidratos digeribles por cada 100 g fruto fresco (Cortés et al., 2015), la uchuva (*Physalis peruviana L.*) es especialmente rica en azúcares llegando a un contenido de 13 - 15 °Brix en frutos maduros y de 9 - 13 °Brix en frutos pintones (Fischer et al., 2014), siendo los principales azúcares presentes Glucosa, fructosa y sacarosa con contenidos de 2.63, 2.57, 3.44 g respectivamente por cada 100 g de fruta (Pássaro, 2014), este contenido de °Brix aumentan durante todo el periodo de desarrollo del fruto y alcanzan su máximo valor en el grado de madurez fisiológica.

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) tiene un contenido de proteína relativamente alto, entre 1,43 – 1,50 %, aunque se ha encontrados valores de 1,9 g/100g y 2,2 g/100g, además cabe resaltar que la mayoría de frutas no supera 1% de proteína por cada 100 g. (Cortés et al., 2015) (Fischer et al., 2014).

Los frutos también son ricos en fitoesteroles y ácidos grasos poliinsaturados (Fischer et al., 2014), los principales presentes en estos frutos son: linoleico, oleico, palmítico, esteárico y γ -linoleico; que se distribuyen de la siguiente forma, principalmente en semillas y cascara: 77,78 %

de ácido linoleico, 11,32% ácido oleico, 7,39 ácido palmítico y 3,51% de ácido esteárico (Mokhtar et al., 2018) (Cerón et al., 2010).

Tabla 3

Contenido nutricional de uchuva (Physalis peruviana L.) recopilados de por el ICBF.

Componente	Valor ICBF
Proteína (g)	1,5
Energía (kcal)	54
Lípidos	0,5
Carbohidratos (g)	14,2
Azúcares (g)	9,8
Ceniza (g)	1,7
Fibra (g)	5,1
Calcio (mg)	7
Sodio (mg)	0
Hierro (mg)	1,0
Fosforo (mg)	23
Magnesio (mg)	17
Potasio (mg)	134
Tiamina (mg)	0,01
Riboflavina (mg)	0,17
Niacina (mg)	0,8
Vitamina C (mg)	34

Nota: Datos recopilados por (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar & Universidad Nacional de Colombia, 2018).

Tabla 4

Composición química del fruto de uchuva (Physalis peruviana L.) obtenido por diferentes autores.

Componente	Repo de Carrasco y Encina,	Cortés Díaz et al., 2015 (g/100g)
	2008 (g/100g)	
Humedad	79,8	82,43
Cenizas	1	0,75
Proteína	1,9	1,43
Fibra	3,6	-
Grasa	0	0,48
Carbohidratos	17,3	-

Fuente. Esta investigación

4.3.3 Capacidad antioxidante

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) es un fruto con un alto contenido de compuestos bioactivos como ácido ascórbico, β -caroteno y fenoles, entre otros, estos compuestos proporciona un efecto antirradicalario mayor que el obtenido en forma individual, siendo capaces de mejorar la defensa antioxidante del organismo (Peña et al., 2012).

En uchuva (*Physalis peruviana L.*) se han encontrado un porcentaje de inhibición del radical $ABTS^+$ de 41,35% en frutos frescos, mientras que para el radical DPPH se han presentado porcentajes de inhibición de 23,64% (Cortés et al., 2015). En los estudios de Peña et al. (2012) se determinó por el método DPPH una actividad antioxidante de 0,039 mmol eq trolox* g^{-1} y para el método de ABTS obtuvo 0,001 mmol eq trolox* g^{-1} y Repo de Carrasco &

Encina (2008), determinaron que por el método DPPH la uchuva (*Physalis peruviana L.*) presenta 0,291 ug eq de trolox*g⁻¹ y 0,426 ug eq de trolox*g⁻¹ para el método ABTS.

4.4 Contexto comercial de uchuva (*Physalis peruviana L.*):

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) es originaria de la región andina, fundamentalmente es donde se concentra actualmente el cultivo comercial, presentando una área máxima de expansión entre Colombia y Bolivia, aunque también existe un cierto desarrollo comercial en otras regiones, como Nueva Zelanda, Sudáfrica, Egipto, India, Australia y Hawái (Pássaro, 2014).

En Colombia, las principales áreas cultivadas se localizan en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Huila, Magdalena, Nariño, Tolima y Cauca (Coral et al., 2012), de las cuales el 86% de la producción de uchuva (*Physalis peruviana L.*), se centra en 3 departamentos: Boyacá, Cundinamarca y Antioquia (ProColombia, 2017).

La Uchuva (*Physalis peruviana L.*) se ubica en el quinto lugar de los productos hortofrutícolas que generan mayores ingresos al país con una generación de 32,54 millones \$USD para el año 2018 (Asociacion Hortofruticola de Colombia, 2018). Desde el año 2017 hasta el 2020 las exportaciones de uchuva (*Physalis peruviana L.*) han registrado un crecimiento promedio de un 9,0%. En el periodo enero – mayo de 2021, las exportaciones de uchuva (*Physalis peruviana L.*) fresca, registraron un crecimiento del 12,1% con un valor de USD FOB 16,9 millones con respecto al mismo periodo 2020 (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2020), además la uchuva (*Physalis peruviana L.*) posee un alto potencial dado que el 70% de la producción posee calidad para ser exportada, pero todo este porcentaje no es exportado por lo cual se destina a consumo nacional (Arias et al., 2015).

Los principales destinos de exportación son Países Bajos, Estados Unidos y Alemania; siendo Países Bajos el principal país de destino de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) con una

participación de 70,7% para el 2020, seguido de Estados Unidos con 10,9% y Alemania con 6,4% (Asociación Nacional de Comercio Exterior, 2020).

4.5 Poscosecha del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.):

Las operaciones poscosecha consisten en diferentes procesos relacionados entre sí, que van desde la recolección, embalaje, transporte, almacenamiento, envasado y empacado, hasta la manipulación en el lugar de destino o de consumo final (Hidalgo, 2021); durante estos procesos, un factor sumamente importante que se debe tener en cuenta es que las frutas y hortalizas después de ser recolectadas, continúan con su proceso de respiración, por lo cual, todo proceso posterior a la cosecha, debe tener en cuenta el proceso metabólico del fruto; además existen otros factores que influyen en el mantenimiento de la calidad de un producto fresco, entre los que destacan las condiciones higiénicas, el mantenimiento de la cadena del frío y un apropiado diseño del empaque (Najarro et al., 2016).

Existen diferentes factores que influyen en la poscosecha de uchuva (*Physalis peruviana* L.), entre estos encontramos los tipos de maduración del fruto, como lo es la madurez fisiológica que ocurre entre los 60 – 80 días después de la floración y es cuando el fruto ha alcanzado el estado de desarrollo en el cual puede continuar madurando cuando sea separado de la planta y que le permitirá alcanzar la madurez de consumo, que es cuando el fruto reúne las características deseables para el consumidor, se recomienda que la recolección se haga a los 75 días después de la floración (Hidalgo, 2021)(SENA, 2014). Se puede recolectar los frutos en estados de madurez 3, 4 o 5, pero se debe tener en cuenta factores como la distancia que recorrerá el fruto y las condiciones de almacenamiento y transporte. Para mercados distantes, como el de exportación, se prefiere cosechar el fruto en estado de madurez 3 (García et al., 2014).

Como se mencionó previamente, una característica muy importante en poscosecha de frutas es la respiración, proceso que consiste en la descomposición oxidativa de las reservas orgánicas en moléculas más simples, incluido el dióxido de carbono y agua, con liberación de energía. Los sustratos orgánicos descompuestos en este proceso pueden incluir carbohidratos, lípidos y ácidos orgánicos (Mangaraj & Goswami, 2011), dentro de este concepto se debe tener en cuenta el carácter climatérico de los frutos, que es un aumento marcado de la actividad respiratoria. Inicialmente se presenta un pequeño descenso seguido de un rápido incremento hasta un valor máximo conocido como pico climatérico y finalmente disminuye la actividad respiratoria al comenzar la sobre maduración; en la uchuva (*Physalis peruviana L.*), el pico máximo de respiración se presenta entre los días 10 a 19 después de la cosecha (Enrique & López, 2012).

La respiración de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) varía dependiendo de varios factores, entre ellos el estado de madurez inicial, para frutos inmaduros se presenta un valor de 54,6 mg CO₂/kg*h, mientras que para frutos que iniciaron el almacenamiento en estado maduro, se presenta una respiración máxima de 106.4 mg CO₂/kg*h (Valdenegro et al., 2012), otro factor que influye en la respiración de este fruto es la presencia del cáliz que puede garantizar un mejor comportamiento del fruto después de ser cosechado, pues disminuye significativamente la producción de etileno en comparación con frutos sin cáliz (Balaguera, Martinez, et al., 2014) (Peña et al., 2012).

4.6 Empaques

Un gran número de procesos fisicoquímicos se llevan a cabo en las frutas durante el almacenamiento, período en el cual la calidad de la mayoría de frutas y hortalizas se ve severamente afectada (Torres et al., 2013). Las funciones del empaque son muy variadas desde

contener temporalmente el producto o conjunto de productos durante su manipulación, transporte, almacenamiento y presentación a la venta (Mejía et al., 2015) hasta plantearse como mecanismo de conservación, con el fin de proporcionar un mayor tiempo vida útil y por ende un mayor tiempo de almacenamiento (Dussán et al., 2014). Teniendo en cuenta lo anterior las funciones de un empaque tradicional según Vanderroost et al. (2014) se pueden definir de la siguiente manera:

- Protección: Mantener los productos protegidos contra posibles contaminaciones, cambios y daños mecánicos.
- Comunicación: El empaque proporciona información sobre su contenido e información sobre el producto.
- Comodidad.
- Contención: es la función más básica de un empaque y es importante para facilitar el transporte o manejo.

Dentro de los principales materiales usados para empaques en alimentos encontramos vidrio, metal, plástico, papel y cartón, en estos materiales, los empaques pueden ser rígidos o flexibles, estos empaques son esenciales para reducir deshidratación y daño mecánico durante distribución de frutas y hortalizas, el correcto uso y elección de este tipo de empaques requiere de la determinación de los procesos físicos, químicos, bioquímicos y ambientales más influyentes en el mantenimiento de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del fruto (Navia et al., 2014)(Mejía et al., 2015). Principalmente encontramos que los empaques convencionales para frutas y verduras se fabrican de los plásticos, siendo los materiales más comunes, polietileno de alta densidad (PEAD) y de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno-tereftalato (PET) (Navia et al., 2014).

Otro tipo de empaques que encontramos en la industria alimentaria y que se ha utilizado ampliamente en los últimos años para conservar y prolongar la vida útil de una amplia gama de productos frescos, son los empaques con atmosferas modificadas que se basan en la modificación de la atmósfera dentro del empaque, lograda por la interacción natural entre la respiración del producto y la transferencia de gases a través del empaque (Mangaraj & Goswami, 2011), por lo cual es necesario conocer el tipo de producto a envasar, el peso y las tasas de respiración y transpiración y también es necesario conocer la tasa de permeación del sistema de envasado que se utiliza (Castellanos & Algecira, 2012).

También encontramos otro tipo de empaques denominados biodegradables, que son aquellos que se degradan por acción de los microorganismos como bacterias, hongos y algas, este tipo de empaques pueden ser elaborados a partir de materiales como ácido poliláctico (PLA), polohidroxialcanoatos (PHAs), policaprolactona (PCL), almidón, quitina y quitosano (Navia et al., 2014).

De acuerdo a la NTC 5166 de ICONTEC (2003) la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en el mercado nacional se puede comercializar con o sin capacho y en empaques dosificados o sin dosificar en empaques de cartón con resistencia mínima a la presión vertical de 620 kg*f/m, empaques de madera seca con un contenido de humedad inferior al 12% y empaques plásticos de polietileno, PET o canastillas de polietileno de alta densidad, mientras que para el mercado de exportación los empaques deben ser dosificados de plástico y perforados de acuerdo a la especificación anterior, además cada empaque debe ser homogéneo y compuesto por frutos del mismo origen, variedad, categoría, color y calibre;

también se debe tener en cuenta el empaçado de acuerdo a las normas de cada país de destino de exportación.

4.7 Vida útil y modelado matemático

Existe un tiempo determinado en el cual los productos alimenticios mantienen sus propiedades y características, tanto fisicoquímicas como organolépticas, bajo ciertas condiciones de almacenamiento, en cuanto estas características se pierden, se puede afirmar que la vida útil del producto ha terminado (C. García & Molina, 2011). Es de vital importancia conocer el tiempo en el cual se mantiene la vida útil, para así asegurar que el producto llegue a los consumidores finales con todas sus características en un buen estado; se ha identificado que los principales indicadores de deterioro incluyen la pérdida de textura, cambios en el color, pérdida de nutrientes y desarrollo microbiano (Salinas et al., 2007) (C. García et al., 2011).

Paralelamente se ha identificado que los factores más influyentes en la pérdida de las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos son la temperatura, humedad relativa (HR) y concentración de gases (Fischer et al., 2014).

En productos en estado fresco como la uchuva (*Physalis peruviana* L.), tener una adecuada caracterización y seguimiento de su maduración representa una valiosa información que nos permite determinar los momentos de cosecha y vida útil que tendrán los frutos (Hidalgo, 2021). La ausencia de esta información puede conllevar a problemas logísticos y pérdidas del producto, ya que puede ser desechado cuando aún es apto para el consumo o también se puede dar el caso en el cual el producto se desecha antes de llegar al estado de senescencia (Sierra et al., 2019), se estima que la pérdida de productos hortofrutícolas durante su comercialización alcanza hasta un 40% de la producción (Hidalgo, 2021).

Es así que se requiere de herramientas cuantitativas que permitan generar información precisa acerca de los cambios en las propiedades de los productos alimenticios durante el transporte, almacenamiento y distribución, asegurando así productos acordes a las expectativas del consumidor (Salinas et al., 2007).

Para determinar la vida de anaquel se propone identificar reacciones químicas y biológicas que influyen en la calidad fisicoquímica y sensorial del alimento e identificar cuáles son las reacciones que tienen mayor impacto sobre las características de calidad (Gallagher et al., 2011).

Estas reacciones pueden ser descritas mediante modelos matemáticos, herramientas útiles para expresar los cambios en la calidad, que nos permiten identificar cómo procede la reacción correspondiente, relacionando matemáticamente la variable dependiente (indicadores de deterioro) y variables independientes (factores como la temperatura, humedad relativa, concentración de gases), obteniendo parámetros cinéticos necesarios como órdenes de reacción, velocidades de reacción y energías de activación (De Vleeschouwer et al., 2009).

Los modelos matemáticos son usados en la predicción de cambios químicos, físicos y microbiológicos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos, con el uso del modelado matemático se puede determinar el cambio en el estado de madurez y de calidad a través de variables asociadas como la pérdida firmeza o el cambio de color en la corteza, obteniendo información básica de la cinética relacionada con los procesos mencionados (Castellanos & Algecira, 2012) (Nambi et al., 2016). Los cambios que presenten dichas propiedades de calidad, se pueden expresar de acuerdo a factores ambientales o en términos de las condiciones de almacenamiento, teniendo en cuenta variables como la temperatura y tiempo de almacenamiento y así desarrollar una expresión para representar la vida útil del producto;

además hay que tener en cuenta que se requiere de los valores durante la etapa de senescencia para cada una de las propiedades de calidad utilizadas en el modelado (Sierra et al., 2019).

El proceso básico para obtener cierto modelo es identificar inicialmente cual modelo describe mejor el comportamiento de una reacción determinada y posteriormente se estiman los parámetros cinéticos correspondientes al modelo elegido, ajustando dicho modelo con los datos experimentales de los indicadores de deterioro elegidos, usando métodos de regresión apropiados (De Vleeschouwer et al., 2009), los modelos y parámetros cinéticos nos permiten convertir grandes conjuntos de datos en un conjunto de numérico limitado de carácter genérico (De Vleeschouwer et al., 2009).

En uchuva (*Physalis peruviana L.*) no hay mucha información sobre modelamiento matemático de la vida útil, existen estudios de almacenamiento y de seguimiento de las propiedades fisicoquímicas en función del tiempo, pero los datos obtenidos no han sido condensados en modelos matemáticos.

5. Marco de antecedentes

Los estudios realizados acerca de uchuva (*Physalis peruviana* L.) son muy variados, desde propiedades fisicoquímicas, pasando por propiedades sensoriales así como en sus propiedades funcionales, también encontramos que se han realizado estudios relacionados con la importancia de este fruto en diferentes contextos e igualmente estudios que nos muestran el gran potencial económico que tiene este fruto.

A continuación se presentan estudios de autores que centraron su investigación en las propiedades fisicoquímicas de la uchuva (*Physalis peruviana* L.):

Ciro & Osório (2008) realizaron estudios de resistencia mecánica en uchuva (*Physalis peruviana* L.), utilizando técnicas de compresión, con velocidad de carga constante, determinando la fuerza de fractura y la fuerza de firmeza. Determinando en sus resultados que dichas variables, en sentidos de carga longitudinal y transversal disminuyen con el tiempo de poscosecha de la fruta, siendo el fruto maduro más susceptible al daño mecánico con respecto a frutos verdes y pintones, los frutos verdes tuvieron una fuerza de firmeza máxima de 5,393 N, el fruto pinto un valor de 2,715 N y el fruto maduro una fuerza máxima de 1,697 N.

Un año más tarde Márquez et al. (2009) utilizaron frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en estado de madurez de consumo en tres tiempos de cultivo diferentes, para caracterizarlos físico-químicamente y sensorialmente. Evaluaron características como los sólidos solubles totales, acidez, pH color y firmeza. Además, realizaron una evaluación sensorial con la cual concluyeron que no se presentaban diferencias significativas entre las variables elegidas para la prueba que fueron, aroma, textura bucal y sabor. Finalmente concluyeron que las características físico-químicas y organolépticas, fueron similares a un testigo comercial.

En el 2014 el centro de edafología y biología aplicada “CEBAS” publicó el libro titulado “*Physalis peruviana* L.: fruta Andina para el mundo”, donde se compila el conocimiento actual sobre dicha fruta. Su objetivo es aportar al desarrollo e innovación del sector de alimentos de los países Iberoamericanos en un mercado global con una conexión entre el campo y la mesa. Este libro fue desarrollado conjuntamente con investigadores científicos y tecnológicos, personal técnico y profesores universitarios de Colombia, Ecuador, Brasil, Chile, Portugal y España que participaron como contribuyentes o autores, para unificar la información disponible sobre *Physalis* en las áreas de recurso genético, agronomía, poscosecha, agroindustria, nutrición, salud y normativa.

Balaguera, Martínez, et al. (2014) en su estudio titulado “Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia” plantearon como objetivo determinar el papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva. Utilizaron un diseño completamente al azar con dos tratamientos: el primero correspondió a frutos con cáliz y el segundo fueron frutos sin cáliz, en ambos casos los frutos fueron almacenados a una temperatura de 16°C y humedad relativa del 80% durante 22 días y semanalmente realizaron mediciones de los parámetros fisicoquímicos. Encontraron un efecto positivo del cáliz durante el almacenamiento de los frutos de uchuva, con diferencias estadísticas, los frutos con cáliz produjeron menor cantidad de etileno, un menor aumento de los sólidos solubles totales, relación de madurez y del índice de color. Además, los frutos con cáliz tuvieron una mayor firmeza, acidez total titulable y menor pérdida de peso respecto a frutos sin cáliz. Concluyeron que el cáliz tiene gran importancia para los frutos de uchuva durante la poscosecha.

Pinzón et al. (2015) evaluaron el comportamiento del fruto de uchuva sometido a diferentes temperaturas de almacenamiento. Determinaron propiedades fisicoquímicas entre las cuales están la pérdida de masa fresca, índice de color, firmeza, sólidos solubles totales y acidez total. Como resultados obtuvieron diferencias significativas para todas las variables evaluadas en los tratamientos “bajo refrigeración” y el “testigo” concluyendo que la temperatura de almacenamiento, influyó sobre todas las características físicas y químicas evaluadas, ya que luego de 18 días después de almacenamiento los frutos refrigerados conservaron su calidad, siendo favorable para su comercialización.

Mokhtar et al. (2018) evaluaron la composición del polvo obtenido a partir de desperdicios (piel y semillas) de uchuva (*Physalis peruviana* L.), determinando el contenido de humedad, proteína, grasas, ceniza, dietética y carbohidratos. También determinaron el contenido de algunos minerales como el potasio, sodio y fósforo. Determinaron también que aminoácidos contenían los residuos del fruto, obteniendo altos niveles de cistina/metionina, histidina y tirosina/fenilalanina, otras propiedades que evaluaron al polvo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) fueron el índice de absorción de agua, el índice de hinchamiento, la capacidad de formación de espuma y la estabilidad.

En los estudios que se describirán a continuación, se plantean metodologías, técnicas y modelos cinéticos para describir el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas en frutas. Este tipo de estudios, no se han realizado en frutos de uchuva, por lo cual representan la base teórica y técnica para desarrollar la presente investigación.

Rojas et al (2010) estimaron el tiempo de vida útil de cuartos de corazones de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) marinados en conserva. Determinaron el tiempo de vida útil por medio de pruebas aceleradas, trabajando con temperaturas de 37°C, 49°C y 55°C, utilizando el índice de

peróxido para evaluar la cinética de deterioro de la grasa y el efecto de la temperatura fue evaluado con la ecuación de Arrhenius. Como resultados obtuvieron que la cinética de degradación de las grasas en corazones de alcachofa siguió una reacción de orden cero, además encontraron un valor de energía de activación de 96115.6 J/mol; finalmente determinaron que el tiempo de vida útil fue de 892 días a 20 °C. Un dato adicional obtenido por los investigadores fue el contenido de omega 3 y omega 6, siendo 28.69 g/100g y 43.26 g/100g de grasa respectivamente.

Otro estudio relacionado con el modelamiento de propiedades fisicoquímicas fue realizado por Mangaraj & Goswami (2011), quienes desarrollaron dos modelos diferentes basados en análisis de regresión y cinética enzimática para la tasa de respiración de “Litchi Fruit” envasada en atmósfera modificada almacenada a temperaturas de 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 °C utilizando el método de sistema cerrado. Encontraron que la dependencia del modelo de las tasas de respiración tanto de O₂ y CO₂ siguen un comportamiento de inhibición no competitivo. Utilizaron los parámetros del modelo cinético enzimático, calculados a partir de la tasa de respiración a diferentes concentraciones de O₂ y CO₂, para ajustar la ecuación de Arrhenius frente a diferentes temperaturas de almacenamiento, probaron la validez de los modelos a 2 °C, dichos modelos mostraron un buen ajuste con la tasa de respiración estimada experimentalmente.

En el estudio de Castellanos & Algecira (2012) determinaron modelos para la firmeza y el color de la cascara de Banana baby, en función de la temperatura, la mezcla de gases y el tiempo, utilizando atmosferas modificadas. Evaluaron frutos a 11, 13 y 17°C y concentraciones de gas de 5.3 a 15.7 kPa O₂ y 0 a 11.0 kPa para CO₂, con una presión atmosférica local de 74.9 kPa y 80 % de humedad relativa constante en bolsas de polietileno (HDPE) micro perforadas por un período de 30 días. En el modelo que desarrollaron encontraron una inhibición no competitiva

en la tasa de respiración a través de la ecuación de Michaelis-Menten. El cambio de firmeza se ajustó a un modelo de primer orden y para el cambio de color, la coordenada L^* uso un modelo logístico, a^* un modelo de orden cero y b^* un modelo de primer orden, todos dependientes de la temperatura por funciones de Arrhenius. La capacidad predictiva del modelo desarrollado es adecuada, explicando el 97,0 % del efecto de la atmósfera modificada sobre la pérdida de firmeza, el 90,6 % del cambio de la coordenada L^* , el 88,9 % del cambio de a^* y el 96,7 % del cambio de b^* .

Nannyonga et al. (2016), realizaron un estudio de modelado matemático de la firmeza y el color de bananos determinando un punto crítico de desecho, utilizando pruebas sensoriales deterministas, descriptivas y de clasificación para la caracterización de los atributos sensoriales. En cuanto a la textura de los frutos se determinó mediante una máquina universal de ensayos (UTM) y en cuanto al color de la piel de los bananos se determinó calculando L , a , b y ΔE , en siete etapas de maduración y tres temperaturas, 16, 23 y 30 C. Como resultados obtuvieron que las propiedades fisicoquímicas evaluadas se adaptaron a modelos logísticos y modelos de reacción de primer orden. Paralelamente determinaron que el punto crítico de desperdicio de banano comienza en la etapa 6 de acuerdo a la prueba sensorial, mientras que, en los análisis instrumentales con modelo, el punto crítico inicia hasta la etapa 7.

Castellanos et al (2016) realizaron este estudio titulado “Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (emap) for feijoa fruits and modeling firmness and color evolution” con el fin de obtener un sistema EMAP adecuado para las frutas feijoa (*Acca sellowiana* Berg cv. *Quimba*) y para desarrollar modelos matemáticos adecuados que describan la evolución en la firmeza y el color de la pulpa de las frutas almacenadas, dependiendo de temperatura y concentraciones de O_2 y CO_2 dentro del empaque, que fueron determinadas en un

estudio preliminar realizado por los mismos autores. Para realizar el presente estudio, almacenaron fruta a una humedad relativa de 85%, en bolsas de polipropileno (sin perforar y con 1-3 perforaciones de 0.225 mm) a 6, 12 y 17 °C, el efecto de los diferentes tratamientos aplicados a las frutas lo determinaron evaluando el cambio en el índice de deterioro, peso, firmeza, color y ácidos orgánicos. Obtuvieron como resultados que los diferentes sistemas EMAP aumentaron significativamente el tiempo de almacenamiento de las frutas en comparación con los frutos almacenados sin embalaje, determinando en base a los cambios de las propiedades medidas que la configuración EMAP más favorable fue 6°C, 8.2 kPa de O₂ y 5.8 kPa de CO₂ en bolsas de polipropileno con una perforación. Además, desarrollaron satisfactoriamente modelos para representar los cambios en la firmeza y el color de la fruta, obteniendo valores de R² de 0.948 para la firmeza y 0.94-0.95 para las coordenadas de color L *, a * y b *.

Sierra et al. (2019) almacenaron muestras de aguacate "Hass" a diferentes temperaturas con el objetivo de determinar cambios en la firmeza, el color y otras propiedades fisicoquímico y representar así la vida útil en función de la temperatura a partir de la evolución de estas propiedades de calidad. A partir de los datos experimentales y ajustando diferentes modelos para cada propiedad en función de la temperatura y el tiempo obtuvieron que una cinética de primer orden se ajusta para representar la evolución de la luminosidad (L *) y la coordenada cromática b *, y una ecuación logística para representar la firmeza y a*. El efecto de la temperatura se representó usando ecuaciones de Arrhenius. Además, a partir de los modelos de firmeza y color, obtuvieron ecuaciones adecuadas para predecir la vida útil, considerando la relación con la etapa de senescencia (entre 20 y 33 días), todos los modelos obtuvieron coeficientes de regresión superiores a 0,95. Para determinar la capacidad predictiva de los modelos propuestos, realizaron

un experimento de validación almacenando frutas a 12 ° C hasta alcanzar la etapa de senescencia. Con los modelos, ajustados predijeron satisfactoriamente los cambios en el color y la firmeza y estimaron el tiempo de vida útil a 12°C, siendo de 28 ± 3.1 días.

Garavito et al (2022) evaluaron diferentes sistemas de envasado en atmósfera modificada de equilibrio (EMAP) para frutos de uchuva, incluyendo un absorbente de humedad. Se utilizaron tres envases: bandejas de celulosa con película de celulosa, ácido poliláctico (PLA) bandejas y film, y bandejas de tereftalato de polietileno (PET) con film de polipropileno (PP). Los frutos envasados se almacenaron a 6 °C y 75 % HR durante 6 semanas. Los frutos en el PLA las bandejas sin sobres tuvieron la vida útil máxima de 42 días, mientras que las frutas en celulosa con sobres tuvieron una vida útil vida útil de 40 días frente a los 35 días de las bandejas de PET/PP y los 21 días de los frutos testigo.

6. Metodología

6.1 Localización del estudio

La investigación se desarrolló en las instalaciones del grupo de investigación GAIDA (Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario) de la universidad de Nariño, sede Torobajo, San Juan de Pasto (N) a 2527 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 14 °C y humedad relativa aproximadamente de 75%.

6.2 Selección y adecuación de la materia prima

Dentro de la investigación se trabajó con uchuva (*Physalis peruviana L.*) ecotipo Colombia en estado de maduración 3 tipo exportación, el fruto fue suministrado directamente por los productores de corregimiento de José María Hernández del municipio de Pupiales – Nariño.

La uchuva (*Physalis peruviana L.*) se acondicionó de acuerdo a la NTC 4580 (ICONTEC,1999); se hizo una selección y clasificación en campo, posteriormente la fruta se llevó al laboratorio de investigación donde se lavó y desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm, posteriormente se realizó el respectivo empaque y almacenamiento durante un periodo de 15 días.

6.3 Propiedades fisicoquímicas de la uchuva (*Physalis peruviana L.*)

Todos los parámetros que se mencionaran a continuación, fueron medidos durante todo el periodo de almacenamiento de las frutas, para cada empaque y temperatura mencionas anteriormente, la toma de datos se realizó cada tres días durante un tiempo de 15 días.

6.3.1 Propiedades físicas

Peso. Se tomó directamente con una balanza analítica OHAUS PA214; la medición de este parámetro se realizó, retirando las frutas del empaque y tomando el peso de cada muestra por triplicado. Se expresó como porcentaje de pérdida de peso aplicando la siguiente formula:

$$\%Perdida\ de\ peso = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} * 100 \quad Ecuación\ 1.$$

Color. Este parámetro se determinó mediante el índice de color, aplicando la ecuación 1 (Márquez et al., 2009). Para obtener dicho parámetro fue necesario que se determinaran las coordenadas del espacio de color CIElab (L, a, b) con el uso de un colorímetro KONICA MINOLTA CM-5, se utilizó un disco de aluminio con apertura de 3 mm, con tres disparos continuos en tres zonas diferentes del fruto.

$$IC = 1000 \frac{a}{L * b} \quad Ecuación\ 2.$$

Donde:

L = Representa la luminosidad, representa el cambio desde el color negro equivalente a 0 hasta 100 equivalente al color blanco.

a = Corresponde a la variación de color que va desde el verde, con valores negativos, hasta el color rojo, con valores positivos.

b = Esta coordenada va desde números negativos para el color azul hasta los positivos correspondientes al color amarillo.

Firmeza. Se utilizó un texturometro LOYD LS1SH, se usó una celda de 250 N, con una velocidad de 1 mm/s y una fuerza de precarga de 0,01 N. La toma de datos se hizo directamente sobre la zona ecuatorial del fruto con el uso de una aguja cilíndrica de 5 mm de espesor sobre una placa de compresión.

6.3.2 Propiedades químicas

Acidez titulable. La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico, mediante la titulación de la pulpa de uchuva (*Physalis peruviana L.*) con NaOH, como indicador se utilizó fenolftaleína y con la ayuda de un potenciómetro JENWAY 3510, se verificó que la solución

llegue al punto de viraje del indicador, correspondiente a un pH entre 8,10 y 8,30. Finalmente, el porcentaje de acidez se determinó con la ecuación 2 de acuerdo a lo descrito en la NTC 4580:

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{V_1 * N}{V_2} * K * 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dónde:

V_1 = Volumen consumido de NaOH.

V_2 = Volumen de la muestra (5ml).

K = Peso equivalente del ácido cítrico (0,064 g/meq).

N = Normalidad del NaOH (0,1 meq/ml).

Sólidos solubles. Se determinaron mediante refractometría, previamente se extrajo el zumo de uchuva (*Physalis peruviana L.*) y con el uso de un refractómetro de mesa °BRIXCO 3030 se determinó la cantidad de grados °Brix, se realizó además la corrección de los valores obtenidos de acuerdo a la NTC 4580.

pH. Se determinó directamente con el uso de un potenciómetro JENWAY 3510, introduciendo el sensor en el zumo de la muestra de fruta.

Índice de respiración. Se elaboraron respiradores con el uso de recipientes herméticos a los cuales se les adaptó un catéter, provisto de una goma que permitía la toma de las muestras sin que se pierda la hermeticidad del recipiente. Cada muestra de fruta fue retirada de su empaque e introducidas en el respirometro, se midió la concentración inicial de CO₂ dentro del recipiente y al transcurrir una hora se midió nuevamente la concentración de CO₂, una vez terminada la medición, la fruta se empacaba nuevamente y se continuaba con el almacenamiento.

Las muestras del gas dentro del respirometro se tomaron con el uso de un analizador de gases F-950 marca felix instruments, se introdujo la aguja del equipo en el catéter y se tomaron 34 ml de gas como muestra. El equipo nos indica el porcentaje de CO₂ en un determinado momento

y para calcular la tasa de respiración basada en la producción de CO₂ se aplicó la ecuación 3 de acuerdo a Torrieri et al. (2010):

$$R = \frac{dyCO_2}{dt} * \frac{V_{fr}}{w} * \frac{1}{100} * \frac{P_T}{RT} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

R = Tasa respiratoria (mg CO₂/kg*h).

dyCO₂ = Concentración de CO₂.

dt = Tiempo de almacenamiento (h).

V_{fr} = Volumen libre del respirometro.

w = Masa de la muestra de fruta (kg).

P_t = Presión atmosférica (Atm).

R = Constante universal de los gases.

T = Temperatura del medio (K).

6.4 Prueba sensorial

Se realizó una prueba sensorial con escala hedónica de 5 puntos, enfocada en el consumidor, se trabajó con 50 evaluadores no entrenados elegidos al azar. Los frutos utilizados durante la prueba sensorial no tuvieron un control de temperatura y tampoco se hizo uso de empaques. Las propiedades organolépticas evaluadas fueron textura, color, sabor. Se almacenaron 6 lotes de uchuva (*Physalis peruviana* L.) de la siguiente forma: Los frutos del lote 1 tuvieron 15 días de almacenamiento, los frutos del lote 2 doce días de almacenamiento, los frutos del lote 3 nueve días de almacenamiento, los frutos del lote 4 seis días de almacenamiento, los frutos del lote 5 tres días de almacenamiento y los frutos del lote 6 fueron frutos frescos. El fin de esta prueba sensorial fue determinar un parámetro de calidad que nos permitiera determinar el tiempo de vida útil de los frutos evaluados, para esta investigación definimos este

parámetro como “Punto crítico de aceptabilidad”, que es el tiempo de almacenamiento en el cual el fruto comienza a perder las propiedades sensoriales óptimas para el consumidor. Este punto nos permitió determinar en qué momento la uchuva (*Physalis peruviana* L.) comienza a perder su calidad sensorial en condiciones ambiente y así comparar que tan eficientes fueron los tratamientos en conservar al fruto. También se determinó el “punto óptimo de aceptabilidad”, que es el tiempo de almacenamiento en el cual el consumidor percibe las características sensoriales preferidas en el fruto. Este punto permitió establecer una calidad sensorial que es aquella que se busca mantener durante el almacenamiento.

El punto crítico de aceptabilidad se determinó en base a un análisis de varianza y el punto óptimo de aceptabilidad en base a un análisis difuso, aplicado a los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, posteriormente se determinó en laboratorio las propiedades fisicoquímicas que el fruto presentaba en estos dos puntos, ya que para cada punto en el tiempo el fruto tendrá sus respectivas características fisicoquímicas.

La escala hedónica planteada tuvo dos componentes, uno cualitativo, que fue la escala que se le presento a los evaluadores, dicha escala correspondía a: me gusta mucho, me gusta, no me gusta ni me disgusta, me disgusta, me disgusta mucho y cada una de estas afirmaciones se le asignó un equivalente cuantitativo, de la siguiente forma:

Me gusta mucho = 5

Me gusta = 4

No me gusta ni me disgusta = 3

Me disgusta = 2

Me disgusta mucho = 1

El equivalente numérico de la escala hedónica, no fue presentado a los evaluadores para evitar confusiones y facilitar la toma de decisión. Esta equivalencia se aplicó con el fin de utilizar una metodología de lógica difusa, conjuntamente con análisis de varianza, para el uso de esta metodología y así definir las propiedades fisicoquímicas correspondientes al punto crítico de aceptabilidad se usaron conjuntos difusos de la siguiente manera:

Se definió un conjunto C, como los atributos que conforman la calidad sensorial de la fruta.

$$C = \{\text{Color, textura, sabor}\}$$

Posteriormente se define los subconjuntos para cada uno de los atributos del conjunto C:

- Subconjunto C1, se define como el conjunto de parámetros de textura que determinan el grado de aceptación de la calidad sensorial del fruto.

$$C1 = \{\text{Firmeza}\}$$

- Subconjunto C2, se define como el conjunto de parámetros de color que determinan el grado de aceptación de la calidad sensorial del fruto.

$$C2 = \{\text{Luminosidad, coordenadas cromáticas (a,b)}\}$$

- Subconjunto C3, se define como el conjunto de parámetros de sabor que determinan el grado de aceptación de la calidad sensorial del fruto.

$$C3 = \{\text{°Brix, pH}\}$$

Una vez determinados los conjuntos se aplicó la metodología difusa, calculando un puntaje promedio y un puntaje total para cada uno de los días de almacenamiento que fueron sometidos a la evaluación sensorial, así se determinó el punto óptimo de las características sensoriales de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) de acuerdo al consumidor y a partir del análisis

de varianza se determinó el punto crítico en el cual los consumidores comienzan a rechazar las características sensoriales del fruto.

6.5 Modelamiento matemático de las variables de respuesta (Firmeza e índice de color)

Inicialmente se identificó el comportamiento que presentaron las variables de respuesta, es decir el índice de color y la firmeza de los frutos, posteriormente para realizar el modelado matemático y de vida útil se necesitó de dos criterios de vital importancia. El primero fue determinar cuál fue el mejor empaque en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana L.*). El segundo criterio fue definir un punto en el tiempo que nos permitiera determinar en qué momento la fruta comienza a perder las propiedades que definen su vida útil. Además, este punto nos debía permitir si el mejor empaque prolongaba o no el tiempo en el cual se alcanzaba el punto crítico, con respecto a los frutos sin ningún tratamiento.

Con estos dos criterios definidos e identificado el comportamiento de la firmeza del fruto y de su índice de color, el siguiente paso en el modelamiento matemático fue definir el modelo que mejor describiera el comportamiento de cada una de las variables de respuesta. Para la elección del mejor modelo se usó la aplicación CurveFitting de programa MATLAB 2020R, esta función del programa nos permite comparar y correlacionar el comportamiento de los datos experimentales obtenidos con la curva generada por una fórmula matemática o modelo matemático previamente establecido aplicando mínimos cuadrados y regresión ya sea lineal o no lineal. A continuación, se describe paso a paso del proceso que se siguió dentro del programa:

1. Cargar los datos experimentales en el programa MATLAB 2020R.
2. Abrir la aplicación CurveFitting y exportar los datos cargados previamente.
3. Dentro de la aplicación CurveFit determinar el tipo de ajuste con el que se va a trabajar (regresión lineal o no lineal).

4. Cargar los datos correspondientes al eje X y eje Y.
5. Elegir un modelo determinado por el programa o ingresar al módulo “custom ecuacion” para ingresar modelos adicionales.
6. Determinar las constantes cinéticas del modelo y realizar el ajuste de curva correspondiente por mínimos cuadrados y regresión (lineal o no lineal).
7. Verificar las diferentes opciones de ajuste para los modelos.

Para el modelado matemático del índice de color y de la firmeza se tuvieron en cuenta los modelos presentados en la tabla 5

Tabla 5

Modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color de uchuva (Physalis peruviana L.).

Tipo de modelo	Formula del modelo
Orden 0	$A = A_o - kt$
Orden 1	$A = A_o e^{-kt}$
Orden 2	$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_o} + kt$
Michaelis - Meten	$A_o = \frac{V_{max} A}{K_m + A}$
Logístico	$A = A_o - \frac{A_o - A_{eq}}{1 + e^{-k(t-t_{1/2})}}$
Primer orden con conversión factorial	$A = A_{eq} + (A_o - A_{eq})e^{-kt}$

Fuente. Esta investigación

Para determinar cuál de los modelos se correlaciono mejor con el comportamiento experimental se tuvo en cuenta el coeficiente R^2 con un valor superior a 0,90. Aquellos modelos que superaron este valor en las iteraciones hechas por el programa se preseleccionaron y posteriormente para elegir el modelo final se tuvo en cuenta que el R^2 fuera mayor a 0,95. Los resultados obtenidos para los diferentes modelos usados se presentan en el anexo 5.

6.6 Determinación del efecto de la temperatura sobre las constantes del modelo matemático

Una vez determinado el modelo adecuado que describa el comportamiento de las variables de respuesta y con sus respectivas constantes cinéticas, se aplicó la metodología de mínimos cuadrados y ajuste no lineal, para identificar cual fue el efecto de la temperatura sobre las constantes cinéticas del modelo, con el uso de la relación de Arrhenius (ecuación 4) y aplicando los mismos pasos mencionados anteriormente para la elección del mejor modelo matemático e igualmente se hizo uso de la aplicación CurveFitting de MATLAB 2020R.

$$P = P_0 e^{\pm \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde P es el parámetro dependiente de la temperatura, P_0 es un factor pre exponencial, E_a (kJ mol^{-1}) es la energía de activación, R es la constante de los gases ($8,314472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) y T (K) es la temperatura de almacenamiento.

6.7 Modelamiento de la vida útil

Dentro del desarrollo de esta investigación se definió la vida útil como el tiempo en el cual el fruto conserva una calidad sensorial optima de acuerdo a la percepción del consumidor, establecida previamente en el objetivo específico dos como el punto crítico de aceptabilidad.

Para el modelado de la vida útil se necesitó de los valores del índice de color y firmeza correspondientes al punto crítico de aceptabilidad previamente mencionado y también se hizo

uso del modelo matemático que mejor se ajustó al comportamiento de las variables de firmeza e índice de color.

Una vez que se determinaron los parámetros mencionados anteriormente, se remplazan los valores de firmeza e índice de color correspondientes al punto crítico de aceptabilidad en la variable dependiente de la ecuación del modelo y se asume que la variable independiente representa el tiempo de vida útil del fruto. Posteriormente se resuelve la ecuación obtenida del modelo bajo los parámetros mencionados para así obtener el tiempo que tardan los frutos almacenados en el mejor empaque en alcanzar los valores correspondientes al punto crítico de aceptabilidad, finalmente se comparan el resultado obtenido, verificando si el tiempo de vida útil obtenido del modelo es mayor o menor al punto crítico de aceptabilidad y así identificar si el empaque tiene un efecto positivo o negativo en la conservación del fruto.

6.8 Diseño de experimentos

Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se trabajó con dos factores y tres niveles para cada uno; temperatura (4, 11, 18) y tipo de empaque (bandeja de PS recubierta con film de PEBD, caja de PET perforadas y bolsas de PEBD). Se trabajó con 2 variables de respuesta; índice de color y firmeza del fruto. Se realizaron pruebas por triplicado utilizando 200 g de fruto por cada uno de los ensayos planteados. Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se hicieron en los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 del almacenamiento, con humedad relativa constante a 75%. Las condiciones de almacenamiento se controlaron con el uso de una cámara inteligente de clima artificial, marca BioBase modelo BJPX-A300II. Este diseño se planteó con el fin de evaluar los efectos de los empaques y de la variación de la temperatura, sobre la vida útil poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana L.*), para el análisis estadístico se

utilizó el software StatGraphics Centurión XVI y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), con una prueba LSD de Fisher con un 95% de confianza.

7. Resultados y análisis

7.1 Comportamiento de las propiedades fisicoquímicas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el periodo de almacenamiento.

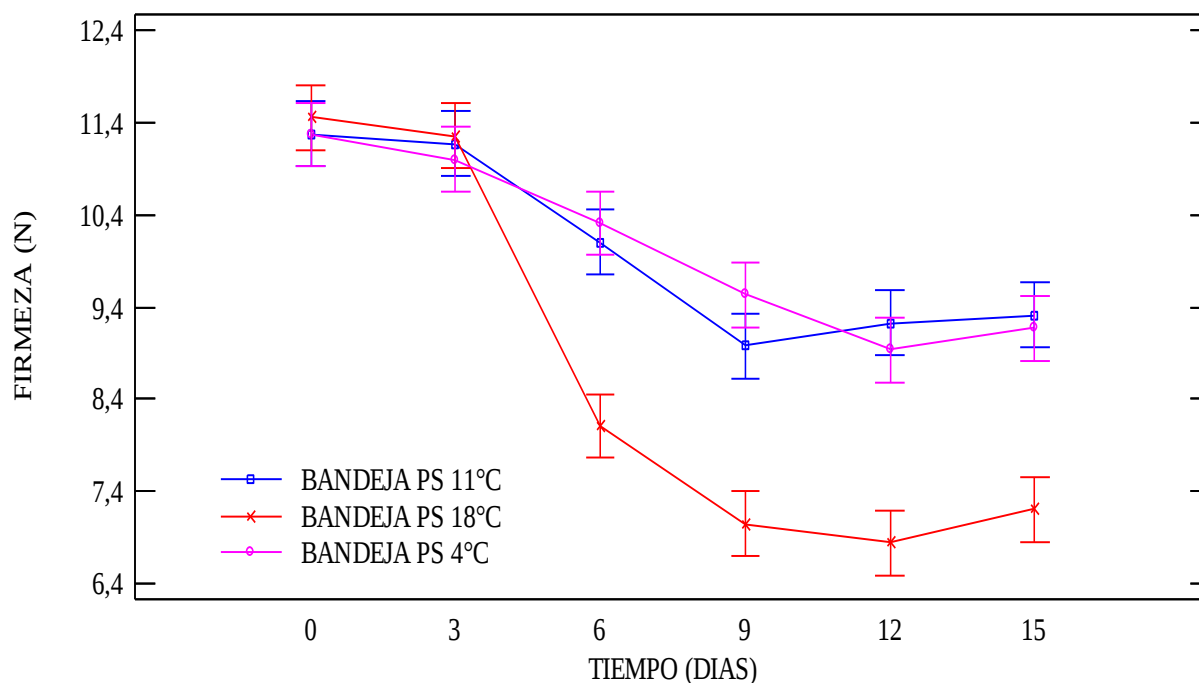
7.1.1 Comportamiento y análisis de la firmeza

La firmeza se puede definir como la fuerza requerida para romper los tejidos celulares y se relaciona con los diferentes estados de maduración (Zapata et al., 2010). En la figura 1, se puede apreciar una disminución en la firmeza para los tres tipos de empaques utilizados en el almacenamiento e igualmente para todas las temperaturas evaluadas; este comportamiento coincide con el observado por Balaguera, Martínez y Herrera (2014) y Pinzón et al (2015).

Figura 1

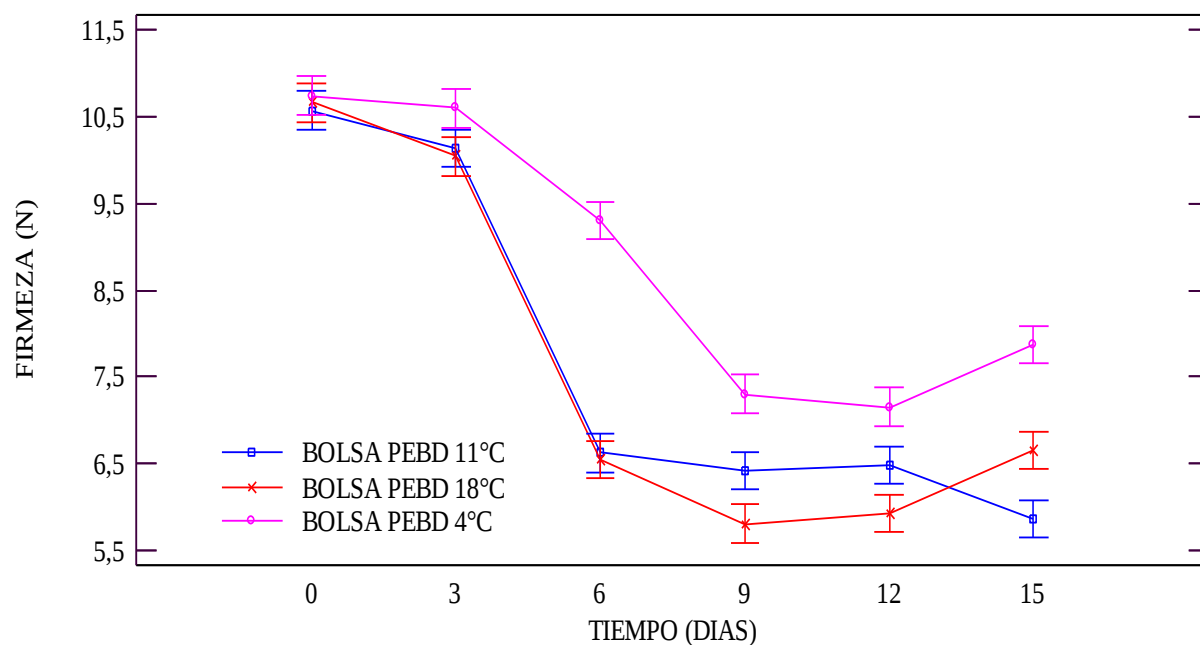
*Comportamiento de la firmeza en función del tiempo para uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el almacenamiento para diferentes tipos de empaque y temperatura.*

a)

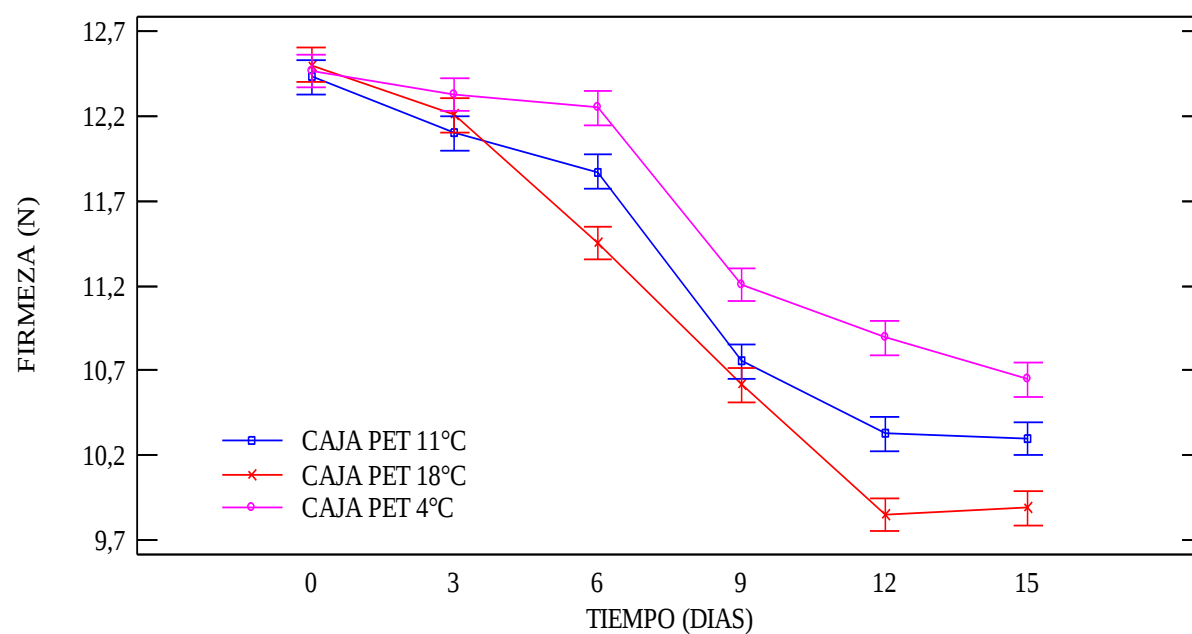


Continuacion (Figura 1).

b)



c)



Nota: Los graficos presentados corresponden a la firmeza en: a) Bandeja de PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

Como se observa en la figura 1, el comportamiento general de las uchucas almacenadas en bandejas PS recubiertas con film de PEBD, presenta inicialmente un descenso significativo de la firmeza hasta el día 9, en los días posteriores no se presentan cambios significativos en la firmeza del fruto, este comportamiento fue similar para las tres temperaturas evaluadas. En el día 3 se observa que las frutas evaluadas a 18C comienzan a tener una pérdida de firmeza mayor en comparación con las demás temperaturas evaluadas y a partir del día 6 se observan diferencias significativas con respecto a las frutas evaluadas a 4 C y 11 C, estas dos últimas temperaturas no presentaron diferencias significativas en ninguno de los días evaluados.

En cuanto a las frutas almacenadas en bolsas PEBD se observa que a partir del día 3 se presentan diferencias significativas entre la firmeza de las frutas almacenadas a 4 C con respecto a la firmeza de las frutas almacenadas a 11 C y 18 C y para estas dos últimas temperaturas, se observa que en el día 9 comienzan a tener diferencias significativas entre sí. El descenso en la firmeza fue significativo hasta el día 9 para los frutos almacenados a 4 C, mientras que para las frutas almacenadas a 11 C y 18 C se presentó un descenso significativo hasta el día 6.

En las frutas almacenadas en cajas PET, se observó un descenso significativo en la firmeza entre el día 6 y 12, para todas las temperaturas evaluadas. A partir del día 3 existen diferencias significativas entre las tres temperaturas evaluadas, este comportamiento se mantiene hasta el final del almacenamiento y se presentó la menor pérdida de firmeza a 4 C y la mayor pérdida a 18 C, se observó además que la firmeza de los frutos almacenados a 11 y 18 C no presenta cambios significativos después del día 12.

La pérdida de firmeza puede ser atribuida a diferentes factores, principalmente a la degradación de la pectina e hidrólisis del almidón en las paredes celulares, esto por acción de reacciones enzimáticas (Castellanos et al., 2016), también se debe considerar que las bajas

temperaturas pueden limitar la actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular (Lanchero et al., 2007).

Entre las enzimas causantes de la pérdida de firmeza encontramos principalmente la pectinmetilesterasa y la poligalacturonasa (Balaguera, Martinez, et al., 2014). La PME actúa mediante desestativación en los enlaces éster de los grupos metilo de las cadenas poligalacturónicas presente en la pared celular y la PG está involucrada en la degradación de los residuos pécticos desmetilados, producidos por acción de la PME (Kaushik et al., 2017) (Sanjeevi, 2020), además de la pérdida de firmeza también se ocasiona que haya una pérdida de la capacidad de retención de agua en la membrana de la célula vegetal, este proceso al igual que la actividad enzimática, se ve incrementado a medida que la temperatura de almacenamiento aumenta (Sierra et al., 2019).

La mayor pérdida de firmeza se observó en las frutas almacenadas a 11 C en bolsas PEBD, para dicho tratamiento se presentó entre los días 3 y 6, un cambio significativo la firmeza de los frutos almacenados en dicho empaque, pasando de 10,13 N a 6,62 N respectivamente y posteriormente, se presentó un nuevo cambio significativo entre el día 12 y 15, en estos días la firmeza paso de 6,48 N a 5,85 N.

Las frutas almacenadas con este tratamiento presentaron una pérdida firmeza de 44,64% con respecto a la firmeza inicial, comportamiento que coincide con lo reportado por Lanchero et al. (2007), que obtuvo un valor de 5,34 N para el día 15 de almacenamiento, en frutos almacenados en bolsas de PEBD a 7 C, este comportamiento puede ser a causa del estrés causado por la acumulación de gases que se presentó en el interior del empaque, la mezcla de gases contenía elevados niveles de CO₂, que puede ocasionar daños en el tejido vegetal y necrosis (Ospina & Cartagena, 2008), esta acumulación de gases fue debido a que el calibre de

las bolsas PEBD fue muy alto, ocasionando que exista una menor permeabilidad al CO₂, O₂ y al vapor de agua (Dussán et al., 2014)(Yahía & Rivera, n.d.)(Garavito et al., 2022).

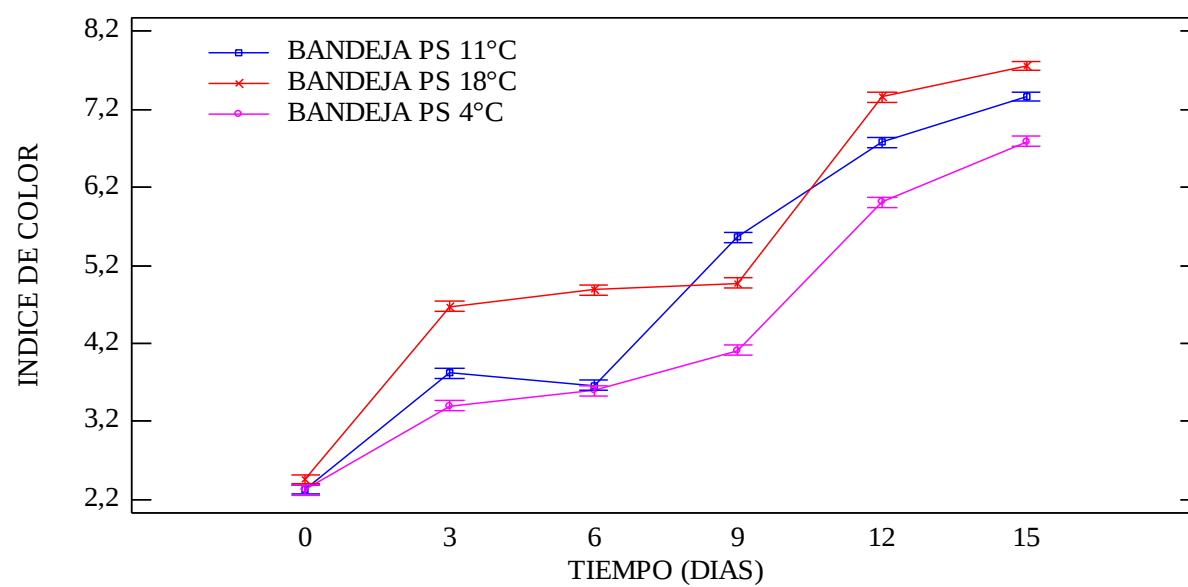
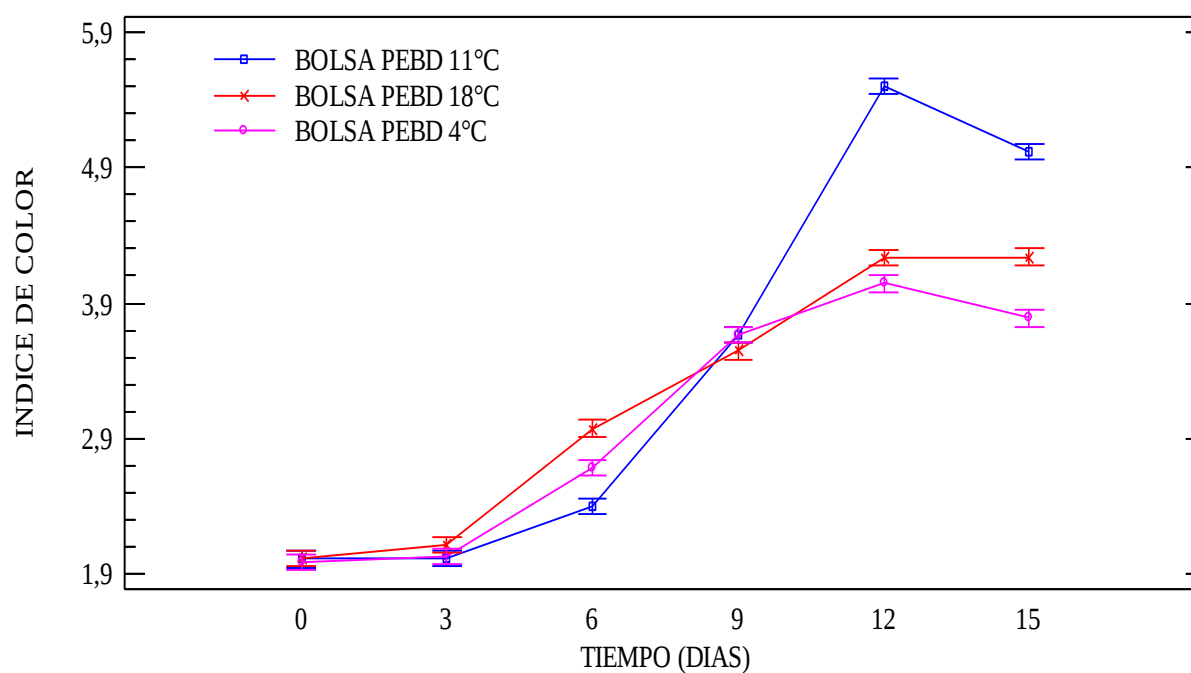
Por el contrario, la menor pérdida de firmeza se dio en las frutas almacenadas a 4 C en cajas PET con perforaciones para el día 15 la fruta alcanzo una firmeza de 10,65 N, en este caso la pérdida de firmeza de las frutas solamente fue de 14,61%, este resultado es superior al obtenido por Balaguera, Ramirez, et al. (2012), donde la uchuva (*Physalis peruviana L.*) alcanza una firmeza entre 3 y 4 N, a 20 C durante 8 días de almacenamiento, sin ningún tipo de empaque; por otra parte Pinzón et al. (2015) obtuvo un valor firmeza de 2,33 N, para el día 15, en uchuva (*Physalis peruviana L.*) almacenada sin ningún tipo de empaque a 4 C. La uchuva (*Physalis peruviana L.*), sin control de temperatura y sin uso de empaques presento un valor final de 10,20; valor inferior al obtenido con las cajas PET a 4 C, lo cual nos demuestra en términos generales que el uso de empaques incide de alguna manera en la calidad y más específico en la conservación de la firmeza, especialmente empaques rígidos como la caja PET, igualmente la temperatura influyo inhibiendo el proceso de degradación enzimática causante de la pérdida de firmeza.

7.1.2 Comportamiento y análisis del Índice de color

El color es considerado una propiedad física fundamental de los productos agrícolas, pues se correlaciona bien con otros indicadores físicos, químicos y sensoriales de la calidad (Enrique & López, 2012). Se puede observar en la figura 2, que en todos los tratamientos existe un aumento en el índice de color, este aumento se presenta desde el día 0 y es constante hasta el final del almacenamiento para todos los empaques y temperaturas estudiadas.

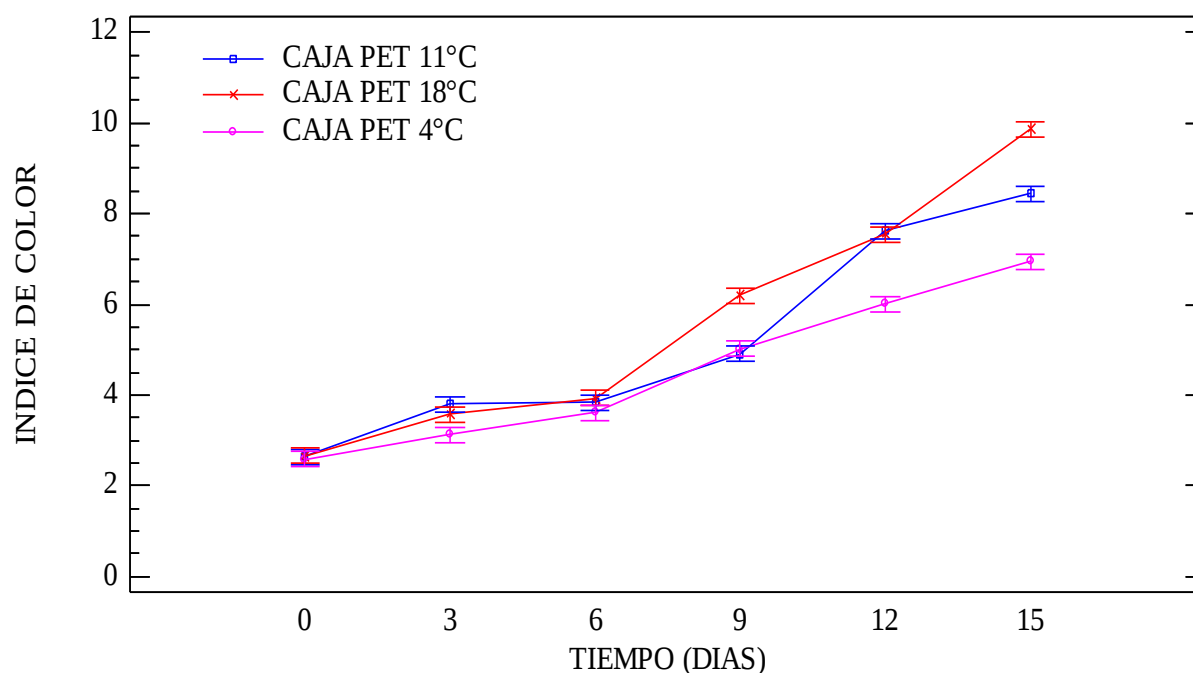
Figura 2

*Comportamiento del índice de color en el tiempo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.*

a)**b)**

Continuacion (Figura 2).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden al indice de color en: a) Bandeja PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

En cuanto a las bandejas de PS, se puede determinar tres etapas de cambio en el índice de color, inicialmente se presentó un incremento pronunciado entre los días 0 y 3 para todas las temperaturas evaluadas, posteriormente se presentó una etapa en la cual no hay diferencias significativas en el cambio de color, entre los días 3 y 6 para las temperaturas de 4 y 11 C, mientras que para los frutos almacenados a 18 C esta etapa se dio entre el día 3 y 9; en los días restantes de almacenamiento se dio un incremento en todas las temperaturas hasta el día 15, a 18 C dicho incremento inicio el día 9, mientras que para 4 y 11 C inicio en el día 6.

Los frutos almacenados en bolsas de PEBD presentaron el siguiente comportamiento; una etapa en la cual no hubo cambios significativos en el color, dicha etapa se presentó entre los días 0 y 3 para las tres temperaturas evaluadas, a partir del día 3 se presentó un incremento sostenido

hasta el día 12, con una pendiente mayor para los frutos a 11 C, por último se presentó un leve descenso del color entre el día 12 y 15, a excepción de los frutos almacenados a 18 C que no tuvieron cambios significativos en este periodo de tiempo, este comportamiento puede ser atribuido a la variabilidad de la materia prima, podemos observar que la diferencia entre los puntos es muy pequeña, prácticamente no existen diferencias significativas.

En cuanto a los frutos almacenados en cajas PET con perforaciones, se puede observar que entre el día 0 y 6 no existen diferencias significativas en el cambio del IC para ninguna de las tres temperaturas evaluadas, posteriormente al día 6 se observa que para todas las temperaturas evaluadas se dio incremento constante del IC, este incremento se da hasta el final del almacenamiento, se observa además que a partir del día 6 se presentan diferencias significativas de las cajas PET almacenadas a 18 C con respecto a las demás temperaturas, estas diferencias se mantienen hasta el final del almacenamiento, esto nos demuestra el efecto que la temperatura tiene sobre el cambio de color, ya que las bajas temperaturas inhiben el proceso metabólico del fruto, retrasando el cambio de color del mismo. En cuanto a las cajas PET almacenadas a 4 C y 11 C, se presentan diferencias significativas a partir del día 9.

El tratamiento que tuvo el menor incremento en el índice de color fue, bolsas PEBD a 4 C, los frutos almacenados en estas condiciones pasaron de 1,98 a 3,79 en los 15 días de almacenamiento, en este tratamiento se presentó una acumulación de gases, con baja presencia de O₂, por lo cual IC se ve influenciado directamente ya que, a mayor concentración de este gas las frutas tienden a cambiar más rápidamente su color (Castellanos et al., 2016), además en condiciones bajas de O₂, se presenta una disminución en la degradación de las clorofilas y una inhibición en la biosíntesis de carotenos causantes del color amarillo de los frutos (Ospina & Cartagena, 2008) además este comportamiento se ve influenciado por la baja temperatura

utilizada en este tratamiento, ya que las reacciones enzimáticas causantes del cambio de color dependen de la temperatura. En comparación con los frutos de control (sin uso de empaque y sin control de temperatura), se observa una clara inhibición del metabolismo del fruto durante el almacenamiento en bolsas PEBD, ya que en el ensayo de control (tabla 20) se obtuvo un IC de 10,55 para el día final del almacenamiento, un valor muy superior al presentado por las bolsas PEBD a 4 C.

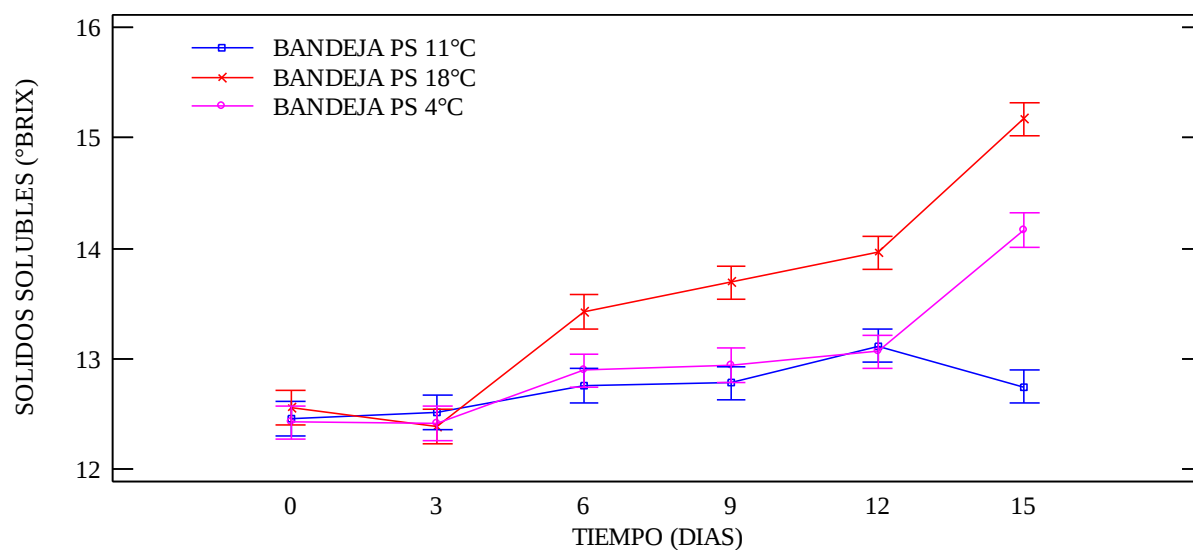
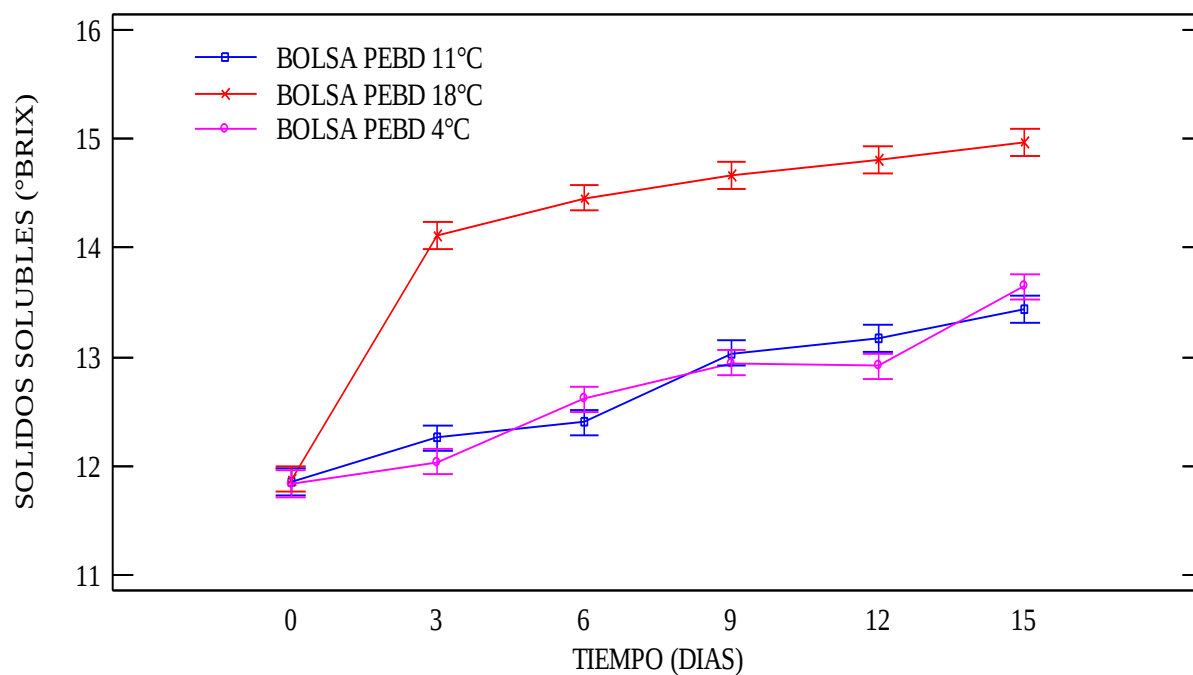
Por el contrario, las cajas PET perforada almacenadas a 18 C presentaron un IC que cambio de 2,65 a 9,86 siendo el tratamiento que ocasiono un mayor cambio en el índice de color. El incremento considerable en este tratamiento se puede relacionar con frutos que tuvieron un mayor metabolismo, ya que al tener una tonalidad amarilla mayor, también es posible que exista una mayor concentración de carotenoides, responsables de las tonalidades amarillas y aumentan continuamente en la maduración del fruto (Enrique & López, 2012), este incremento en el metabolismo se debe a la mayor exposición al O₂ y a la mayor temperatura del tratamiento, conjuntamente ocasionan un mayor metabolismo en las frutas.

7.1.3 Comportamiento y análisis de los sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales se encuentran asociados con los azúcares disueltos en el jugo celular (Alvarado et al., 2004), podemos observar en la figura 3 que los SST, expresados en grados °Brix, tienen una tendencia a aumentar, conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, este aumento se puede atribuir a la hidrólisis del almidón y de los polisacáridos de la pared celular que dan origen a azúcares solubles (Balaguera, Martinez, et al., 2014), igualmente el aumento en los sólidos solubles se debe a la oxidación de ácidos, consumidos en la respiración (Almanza et al., 2016), cabe resaltar que estos procesos son dependientes de la actividad enzimática y por lo tanto de la temperatura (Pinzón et al., 2015).

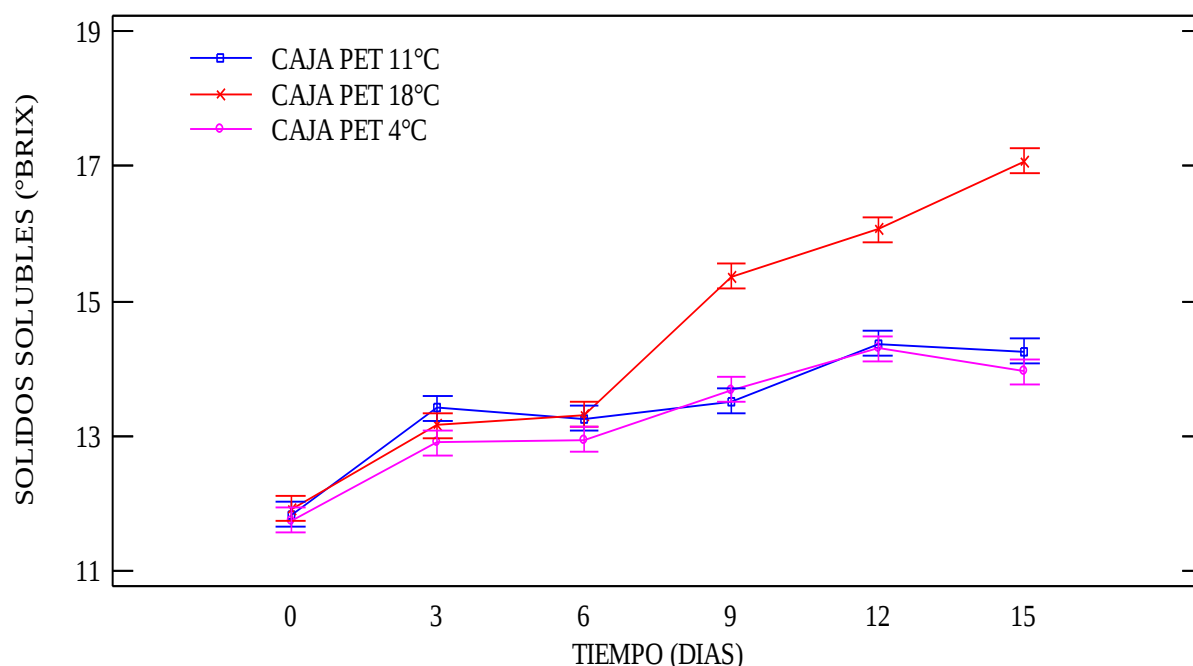
Figura 3

Comportamiento de los sólidos solubles totales en el tiempo de uchuva (Physalis peruviana L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.

a)**b)**

Continuacion (Figura 3).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden a los solidos solubles totales en: a) Bandeja de PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

En el caso de los frutos almacenados en bandejas PS se observan diferencias significativas en los SST a partir del día 4, entre los frutos a almacenados a 18 C con respecto a los frutos almacenados a 4 y 11 C; entre estas dos últimas temperaturas solamente se presentan diferencias significativas a partir del día 12. Se observó que 18 C, se dio un aumento significativo en los grados °Brix entre el día 3 y 6, posteriormente se presentó un nuevo aumento entre día 12 y 15. Por otra parte a 4 y 11 C, no hubo un cambio significativo en los SST durante los 15 días de almacenamiento, solamente se presentó un cambio significativo entre el día 12 y 15 en los frutos almacenados a 4 C.

En el caso de los frutos almacenados en bolsas de PEBD, se presentó un aumento constante en los SST, se observa una diferencia significativa a partir del día 2 entre los frutos

almacenados a 18 C con respecto a los frutos almacenados a 4 C y 11 C, las cuales no tuvieron diferencias significativas entre sí, durante todo el transcurso del almacenamiento. Entre el día 0 a 3, se dio un incremento significativo a 18 C, este incremento es constante hasta el día 15. Por otra parte, a 4 C y 11 C, el incremento en los sólidos solubles es mucho menor que a 18 C, dicho aumento es leve y de forma sostenida.

Se puede observar en la figura 3, para las cajas PET con perforaciones, que entre el día 0 y 3 existe un incremento significativo en los sólidos solubles para las tres temperaturas evaluadas, en el día 6 se evidencia un incremento constante de los SST a 18 C, este incremento se mantiene hasta el final del almacenamiento. En cuanto a las temperaturas de 4 C y 11 C, en el día 6 se presenta un incremento leve que se mantiene hasta el día 12, posteriormente los SST no presentan cambios significativos en ninguna de las dos temperaturas.

Podemos decir que los valores de SST obtenidos, son acordes a los valores mínimos de la NTC 4580, para frutas en estado maduro, a excepción del comportamiento de las bandejas PS a 11 C, este tratamiento prácticamente no tuvo un cambio en los SST durante el periodo de estudio, los SST pasaron de 12,45 °Brix a 12,74 °Brix es decir aumentaron solamente 0,29 grados °Brix, además se observó que los frutos tuvieron un descenso en el contenido de SST entre el día 12 y 15, dicho comportamiento es similar al reportado por (Enrique & López, 2012) donde los frutos de uchuva (*Physalis peruviana L.*) incrementan sus grados °Brix hasta el día 6 y posteriormente presentan un descenso, dicho comportamiento se presentó en frutos almacenados a 12 C, este descenso en los SST puede ser causado por el aumento en la respiración debido a que este proceso requiere de carbohidratos y la mayor parte de los SST son carbohidratos, esto se puede evidenciar en la figura 5, donde se observa que el pico climatérico coincide con el día el descenso en los SST de las bandejas de PS a 11C.

Por el contrario, los frutos que tuvieron un mayor incremento de los SST fueron los almacenados en cajas de PET a 18 C, este tratamiento incremento los grados °Brix de los frutos en 5,17 unidades, es decir pasaron de 11,91 °Brix a 17,08 °Brix, desde el primer día de almacenamiento hasta el día 15, esto se debe a que los frutos almacenados en cajas PET a 18 C, tuvieron una mayor exposición al oxígeno y una mayor temperatura de almacenamiento, ocasionando una mayor actividad enzimática del fruto, provocando mayor producción de carbohidratos simples (Ospina & Cartagena, 2008)(Castellanos et al., 2016). Este resultado es similar al reportado por Pinzón et al. (2015) en uchuvas almacenadas a 20 C sin ningún tipo de empaque, en este estudio la uchuva (*Physalis peruviana L.*) alcanzo 17,3 °Brix.

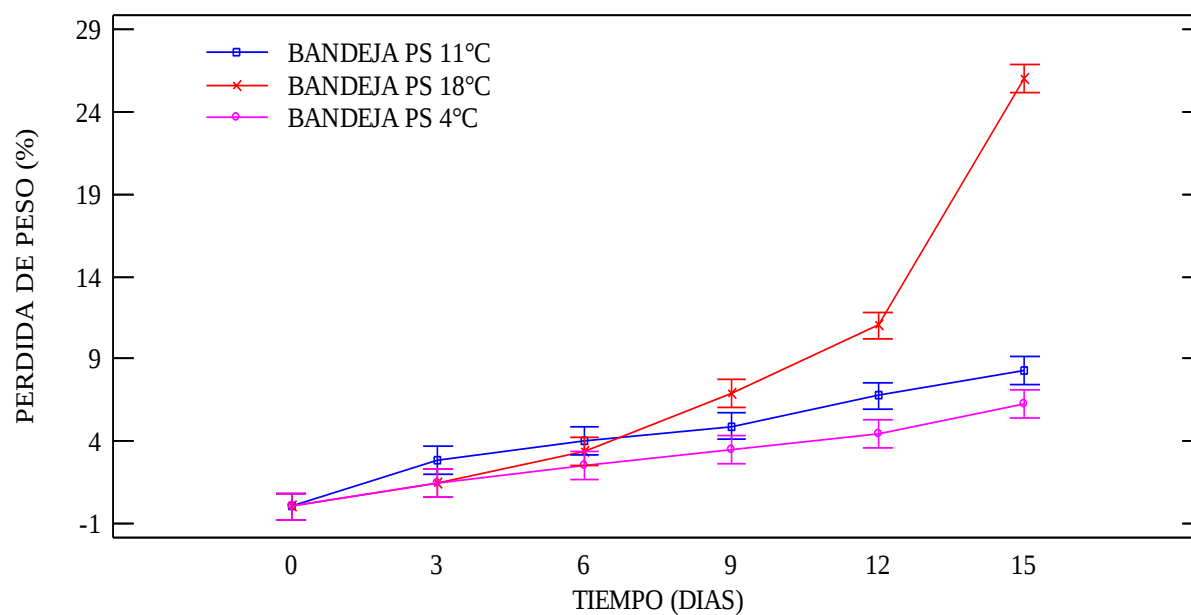
Cabe resaltar que los SST de las cajas PET con perforaciones a 18 C, fueron superiores a los reportados por autores como Puente et al. (2011) quien reporta que la uchuva (*Physalis peruviana L.*) debe tener valores de SST entre 13,73y 14,30 °Brix, Duque et al. (2011) reporta valores de 13,8 °Brix, además se debe mencionar que los SST alcanzados en frutos sin control de temperatura y sin uso de empaques fue de 14,37 °Brix, siendo mayor el resultado obtenido en las cajas PET a 18C, pero se debe aclarar que en otras propiedades como la firmeza y la pérdida de peso, este tratamiento no fue favorable para el fruto. Se aclara además que, a excepción de los frutos almacenados en cajas PET a 18 C, ningún otro tratamiento tuvo valores que se alejen de los reportado en la literatura.

Comportamiento y análisis de la pérdida de peso

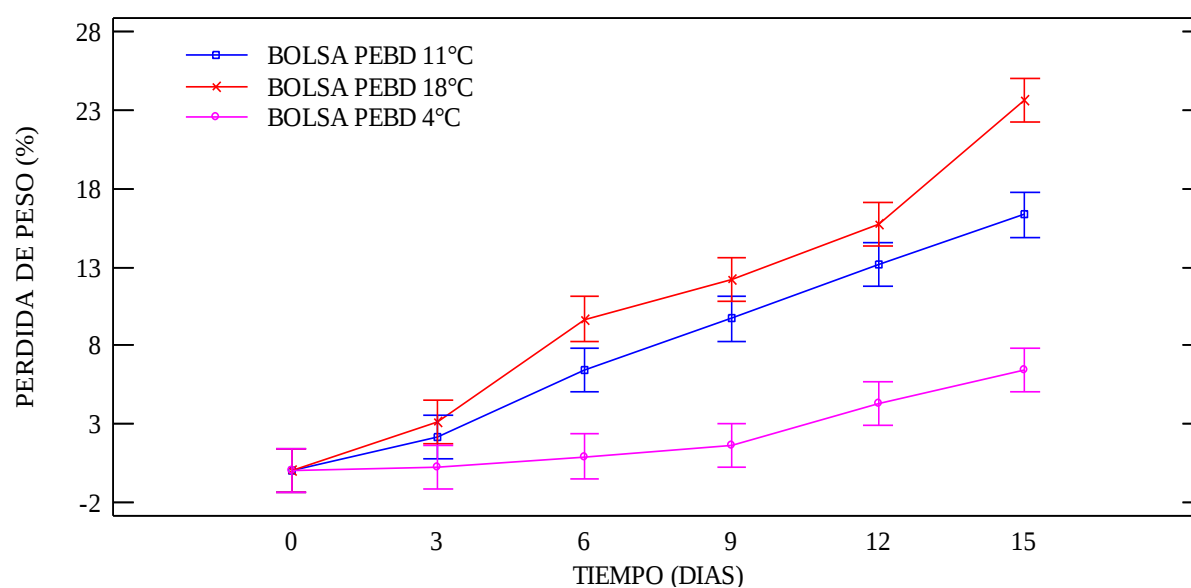
Figura 4

Comportamiento del peso en uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.

a)

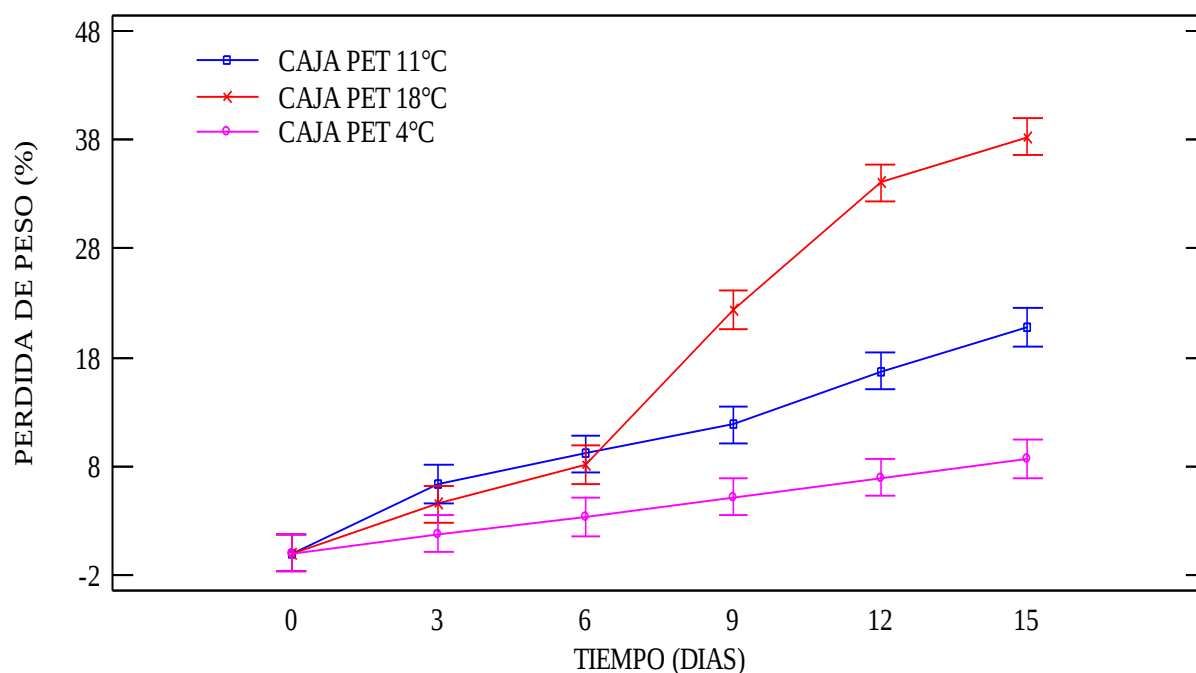


b)



Continuacion (Figura 4).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden al comportamiento del peso en: a) Bandeja de PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

Desde el inicio del almacenamiento, todos los tratamientos presentaron disminución en el peso del fruto de una forma constante y sostenida, esta pérdida ocurre cuando la presión de vapor de agua del medio externo es menor que la del fruto internamente, entre mayor sea la diferencia de presiones entre el fruto y el ambiente, mayor será la pérdida del peso fresco en el fruto, esta pérdida es irreparable y la pérdida de agua trae como consecuencia una disminución de peso a lo largo del tiempo (Gallagher et al., 2011), según Pinzón et al. (2015) los procesos de transpiración y respiración son las principales causas de la pérdida de peso.

De acuerdo a la figura 4 observamos que la pérdida de peso en los frutos almacenados en bandejas PS, no presento diferencias significativas entre las tres temperaturas evaluadas, aproximadamente hasta el día 10, a partir de este punto se observó que los frutos almacenados a

4 y 11 C, hubo un aumento en la pérdida de peso controlado y con diferencias significativas entre si y por el contrario, los frutos almacenados a 18 C después del día 10 tuvieron un aumento drástico en la pérdida de peso con respecto a las demás temperaturas.

En cuanto a los frutos almacenados en bolsas de PEBD, aquellos que fueron sometidos a una temperatura de 4 C presentaron diferencias significativas con respecto a 11 C y 18 C a partir del día 4, por el contrario, las dos últimas temperaturas mencionadas solo presentaron diferencias significativas en los días 6 y 15 del almacenamiento, se observó además que los frutos almacenados a 4 C tienen una pérdida de peso mucho menor que los frutos almacenados a 11 y 18 C.

Se observa que la pérdida de peso en los frutos almacenados en cajas PET, tienen diferencias significativas a partir del 6, para los frutos almacenados a 4 C con respecto a 11 y 18 C; a partir del día 9 se observan diferencias entre las tres temperaturas evaluadas, este comportamiento se mantiene hasta finalizar el tiempo de almacenamiento, presentando una mayor pérdida de peso los frutos almacenados a 18 C.

La mayor pérdida de peso se registró en las cajas PET perforadas a 18 C, las cuales tuvieron una pérdida del 38,31 % del peso inicial de la fruta, pasando de 200,81 g a 123,87 g, por el contrario, las condiciones de almacenamiento que propinaron una menor pérdida de peso fueron, bandeja PS a 4 C, solamente tuvieron un 6,23 % de pérdida con respecto al peso inicial, pasando de 199,7 g a 187,32 g, esto se debe a que a menor temperatura existe una menor actividad metabólica del fruto, ocasionando que los procesos de respiración y transpiración que son los principales procesos involucrados en la pérdida de peso, se vean ralentizado (Pinzón et al., 2015). Pinzón et al (2015), reporta pérdidas de peso inferiores para uchuvas almacenadas en refrigeración, luego de 18 días los frutos perdieron 3,19% y 4,16% a 2 y 4 C respectivamente;

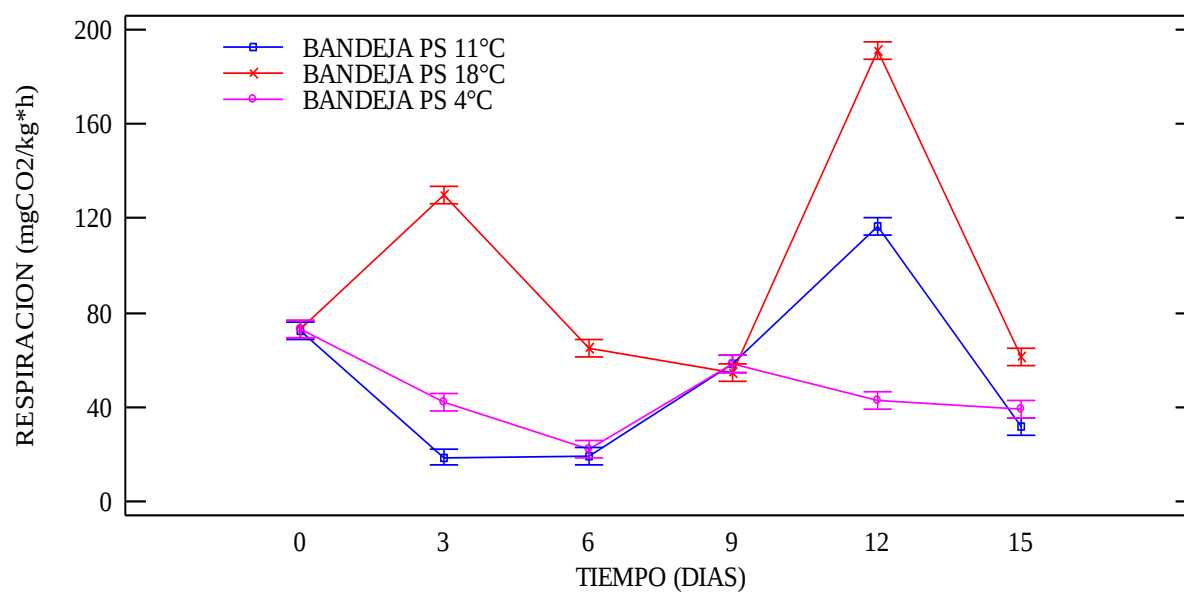
Lanchero et al (2007), reporta que en frutos almacenados en diferentes tipos de empaques usados en su estudio, no presentaron pérdidas superiores a 0,74% y frutos sin ningún tipo de empaque tuvieron pérdidas de 4,58%. En comparación con los resultados obtenidos en nuestro estudio, se observa que los empaques utilizados no fueron muy eficientes, esto también en el control de la pérdida de peso, ya que las pérdidas obtenidas se asemejan bastante a las que se reportan en la literatura para frutos sin ningún tipo de empaque; pero se debe resaltar que de acuerdo a Pinzón et al. (2015), cuando la pérdida de peso supera el 10% se pierde la frescura de los productos vegetales, por lo cual se puede afirmar que los frutos almacenados en bandejas de PSa 4 C, mantuvieron muy bien la frescura, también cabe aclarar que todos los tratamientos a 4 C, tuvieron pérdidas de peso inferiores al 10% del peso inicial.

7.1.4 Comportamiento y análisis del índice de respiración

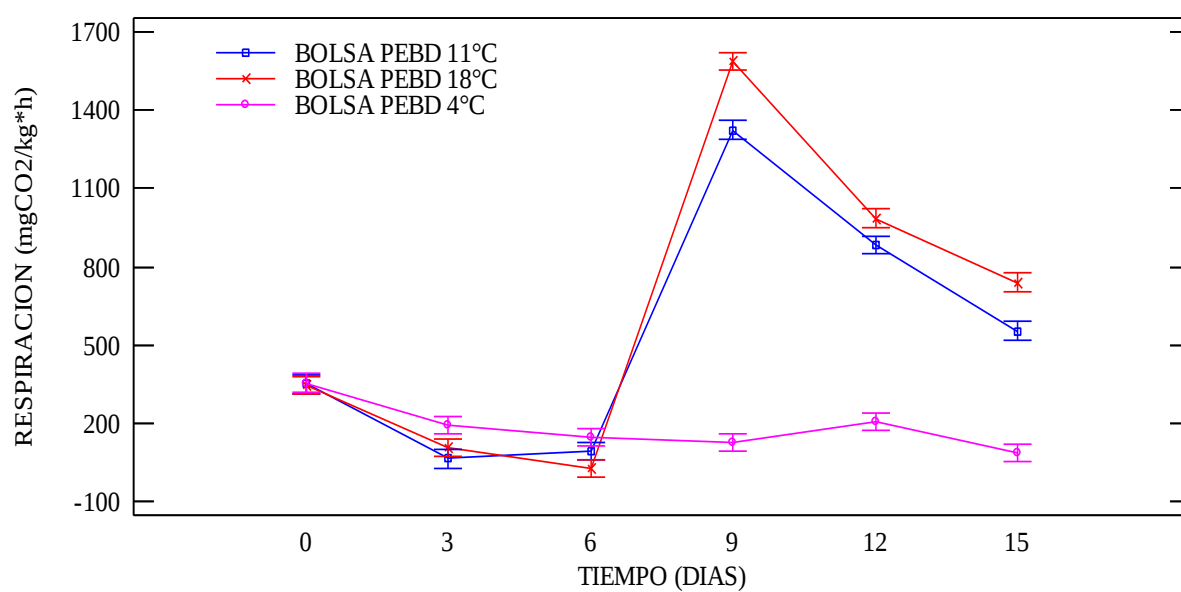
Figura 5

Comportamiento del índice de respiración en (*Physalis peruviana* L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.

a)

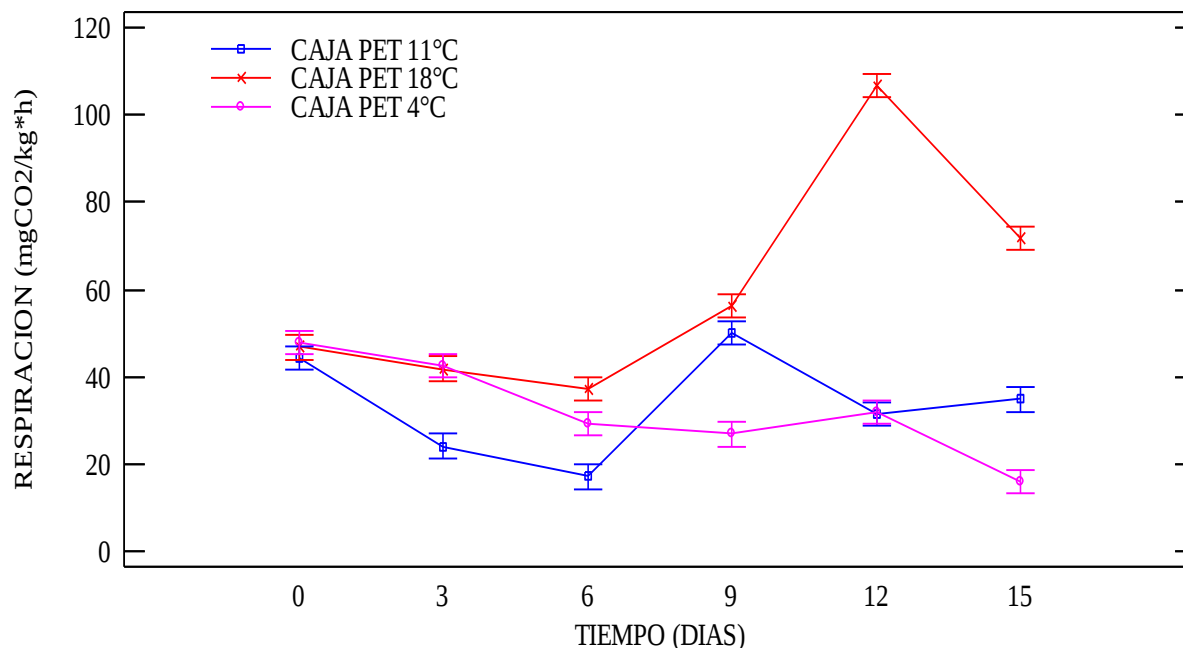


b)



Continuacion (Figura 5).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden al comportamiento del indice de respiracion: a) Bandeja de PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

Se observa que en todos los tratamientos se presentó un descenso en la respiración de forma lenta y controlada, seguido de un aumento hasta alcanzar un máximo, este pico se presentó entre el día 9 y 12 para todos los tratamientos, finalmente cuando el fruto entro en la etapa de senescencia, la intensidad respiratoria disminuyo nuevamente.

En el estudio realizado por Novoa et al. (2006), la tasa respiratoria de los frutos en todos los tratamientos presentaron una disminución de la respiración entre los días 1 y 9, posteriormente se presentó un incremento que alcanzo el valor máximo en el día 12; este comportamiento es muy similar a lo obtenido en este estudio, donde el máximo valor de la respiración se presenta entre el día 9 y 12 para todos los casos, este comportamiento además se asemeja a lo descrito por Garcia et al. (2014), quien reporta que generalmente entre los días 10 a

19 del almacenamiento, se presenta el pico máximo de respiración en uchuva (*Physalis peruviana* L.).

Para los frutos almacenados en bandejas de PS a 4 y 11 C, el aumento en la respiración inicia a partir del día 6, alcanzaron su máximo pico en el día 9 y 12 respectivamente, se debe aclarar que el pico que se presenta a 11 C es superior y presenta diferencias significativas con respecto al pico alcanzado a 4 C; paralelamente los frutos almacenado a 18 C inician el incremento de la respiración en el día 9 y alcanzaron el pico máximo en el día 12, este pico es superior y presenta diferencias significativas con respecto al pico de 4 C y 11 C.

En el caso de los frutos almacenados en bolsas de PEBD se observa que a partir del día 6 comienza el incremento en la respiración para los frutos a 11 y 18 C, para ambos casos el pico máximo se presentó el día 9, el pico que se presentó a 18 C es superior y tiene diferencias significativas con respecto al pico a 11 C; por otra parte los frutos almacenados a 4 C, presentaron un comportamiento en el cual prácticamente no existe un cambio en la respiración, a pesar de esto, se observa que en el día 6 existe un leve incremento hasta el día 9, este es el único día que presenta diferencias significativas con respecto a los días anteriores y posteriores, además este incremento es inferior con respecto a los picos de los frutos a 11 y 18 C.

A partir del día 6 se observa que en los frutos almacenados en cajas PET, comienza el incremento en respiración para las temperaturas de 11 y 18 C, presentando sus picos máximos en el día 9 y 12 respectivamente, siendo superior el pico que se presentó a 18 C con diferencias significativas, en el caso de los frutos a 4 C se presenta un leve incremento que inicia el día 9 y presenta su máximo en el día 12, siendo este pico el menor de los tres, presentando diferencias significativas con respecto a 11 y 18 C.

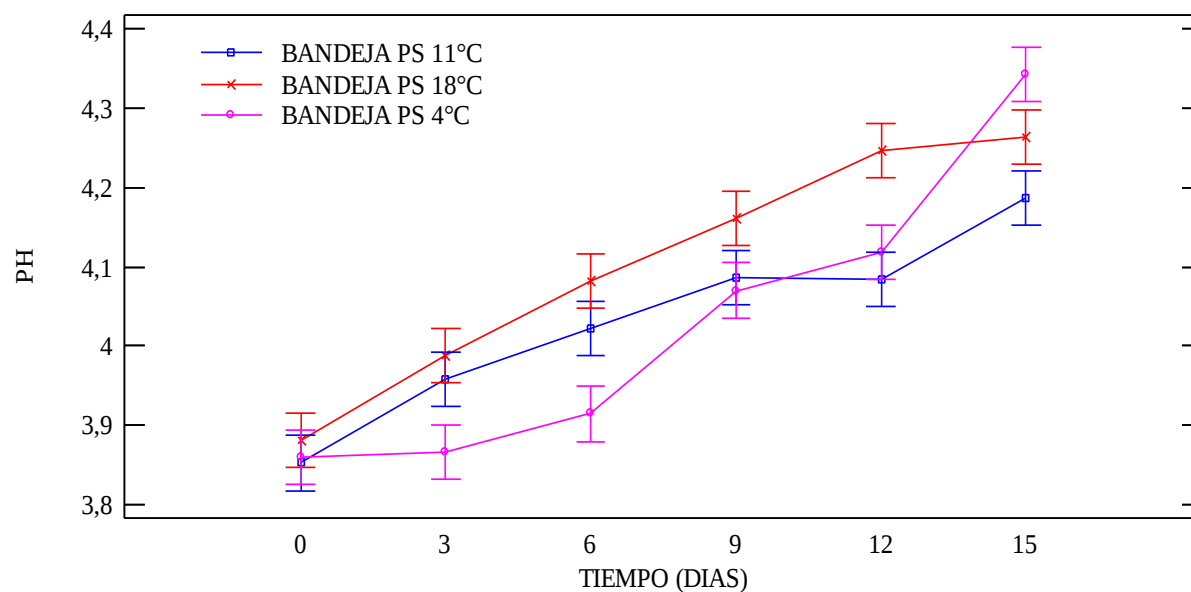
Los frutos que presentaron la mayor intensidad respiratoria fueron aquellos que se empacaron en bolsas PEBD a 18 C, se registrando el mayor índice de respiración en el día 9 con un valor de 1585,88 mg CO₂/kg*h, siendo uno de los tratamientos que presento más rápidamente el pico climatérico, cabe mencionar que en este tratamiento los frutos presentaron un mayor estrés, ya que se presentó una gran acumulación de gases dentro del empaque como comportamiento normal del desarrollo de la respiración de las frutas en un envase herméticamente cerrado, además existió presencia de lixiviados. Por el contrario, el tratamiento que presento la menor intensidad respiratoria fue la caja PET almacenada a 4 C, los frutos almacenados en estas condiciones registraron 31,94 mg CO₂/kg*h en el día 12 del almacenamiento, siendo uno de los tratamientos que tuvieron un tiempo más prolongado en presentar dicho pico respiratorio, este resultado se encuentra por debajo de los valores reportados por Valdenegro et al (2012), para el caso de uchuvas que iniciaron su almacenamiento en estado inmaduro presentan un valor de 54,6 mg CO₂/kg*h para el día 6 del almacenamiento, mientras que frutos que iniciaron el almacenamiento en estado maduro presentaron una respiración de 106.4 mg CO₂/kg*h igualmente para el día 6. Un comportamiento que se debe mencionar es que todos los empaques retrasaron la presencia del pico climatérico, ya que en los frutos que no tuvieron empaque y tampoco control de temperatura, el pico climatérico se presentó en el día 6, con una respiración de 41,28 mg CO₂/kg*h.

7.1.5 Comportamiento y análisis del pH

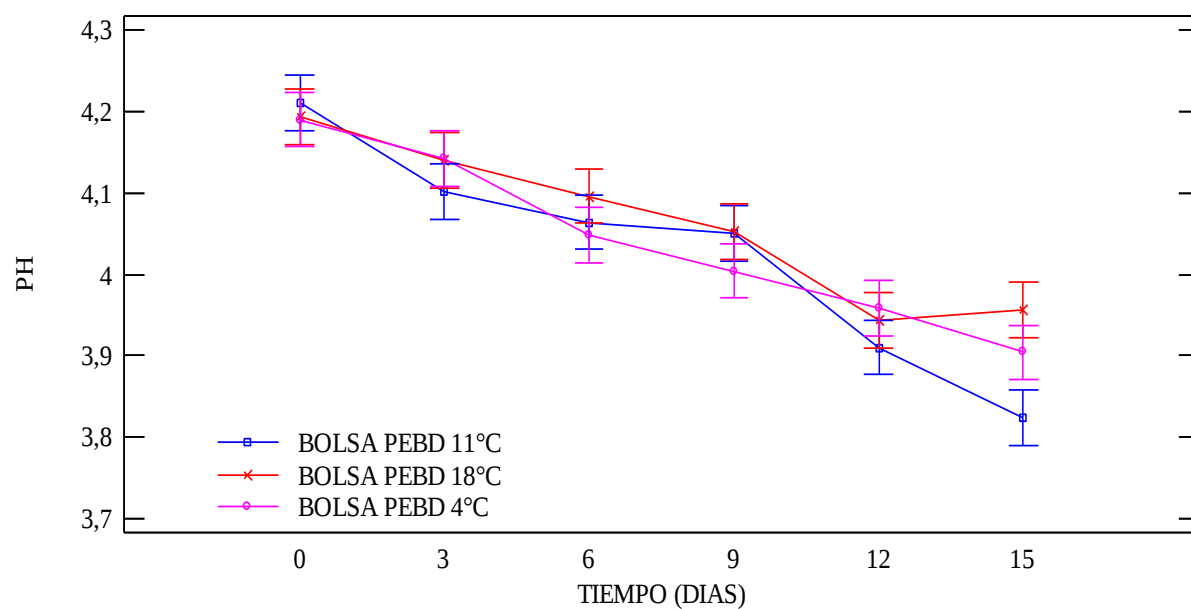
Figura 6

Comportamiento del pH (Physalis peruviana L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.

a)

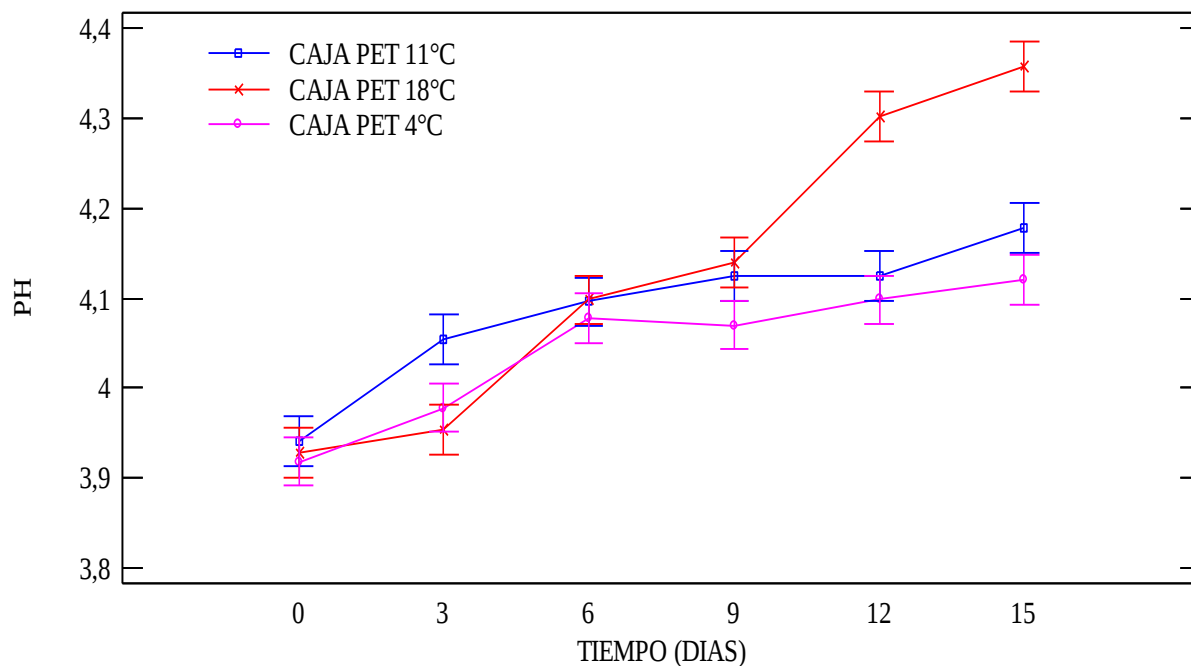


b)



Continuacion (Figura 6).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden al comportamiento del pH en: a) Bandeja de PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

A partir de la figura 6 se puede observar un comportamiento normal del pH de la uchuva (*Physalis peruviana L.*) para el caso de los frutos que fueron almacenados en bandejas de PS recubiertas con film PEBD y para el caso de las cajas PET, por el contrario, se observó un comportamiento anormal en el caso de las bolsas PEBD, en este tipo de empaque y para las tres temperaturas evaluadas se presentó un descenso del pH.

Como se mencionó anteriormente las bandejas PS tuvieron un comportamiento en el cual el pH de los frutos tuvo un aumento de forma sostenida, desde el inicio hasta el final del almacenamiento para las tres temperaturas evaluadas. Se observaron diferencias significativas en los días 3, 6 y 15 para la temperatura de 4 C, con respecto a las temperaturas de 11 y 18 C, en

cuanto a estas dos temperaturas se presentaron diferencias significativas entre sí, a partir del día 6, estas diferencias se mantuvieron hasta el final del almacenamiento.

En cuanto a las bolsas PEBD se presentó un descenso en el pH para las tres temperaturas evaluadas, además se observó que solamente existió diferencia significativa entre temperaturas en el día final del almacenamiento, este descenso en el pH de los frutos puede estar relacionado con la acumulación de gases y líquidos dentro del empaque; la atmosfera creada tuvo un elevado contenido de CO₂, este gas tiene elevada solubilidad en agua ocasionando una acidificación, además el CO₂ también ocasiona acidificación de la superficie de los frutos, cabe resaltar que el calibre de las bolsas PEBD afecta en la permeabilidad de los gases entre el interior del empaque y el medio de forma negativa, provocando mayor acumulación (Ospina & Cartagena, 2008)(Pallé, 2018).

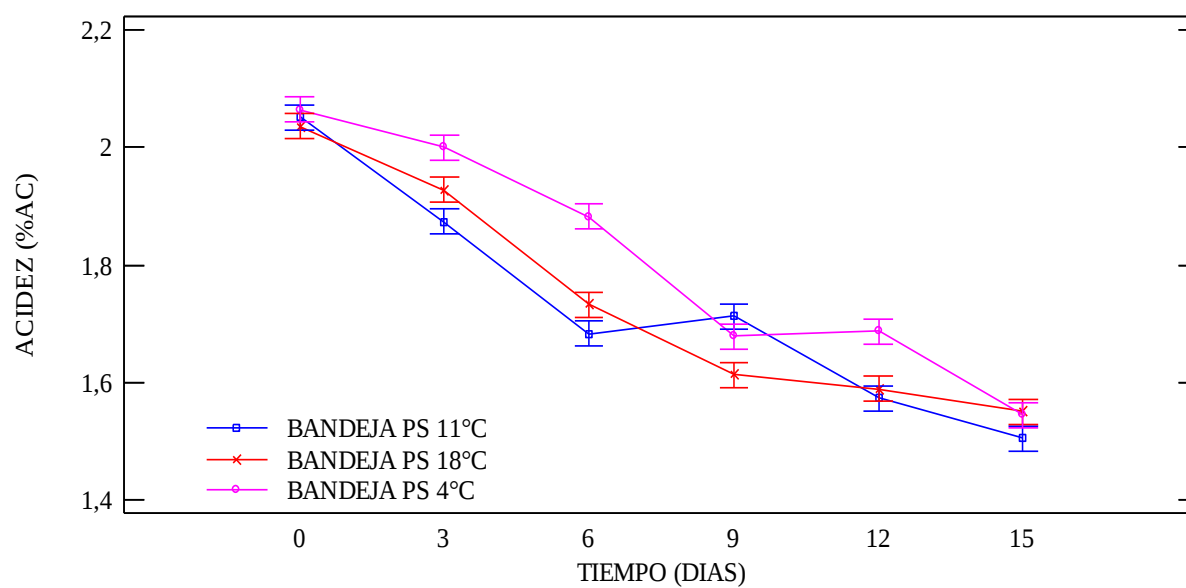
Los frutos almacenados en cajas PET, tuvieron un comportamiento normal, se observó un incremento sostenido y constante, en cuanto a los frutos almacenados a temperaturas de 4 y 11 C, solamente presentaron diferencias significativas en el día 3, en cuanto a los frutos almacenados a 18 C, presentaron diferencias significativas con respecto a 4 y 11 C, a partir del día 9 que se mantuvieron hasta el día final del almacenamiento.

7.1.6 Comportamiento y análisis de la acidez

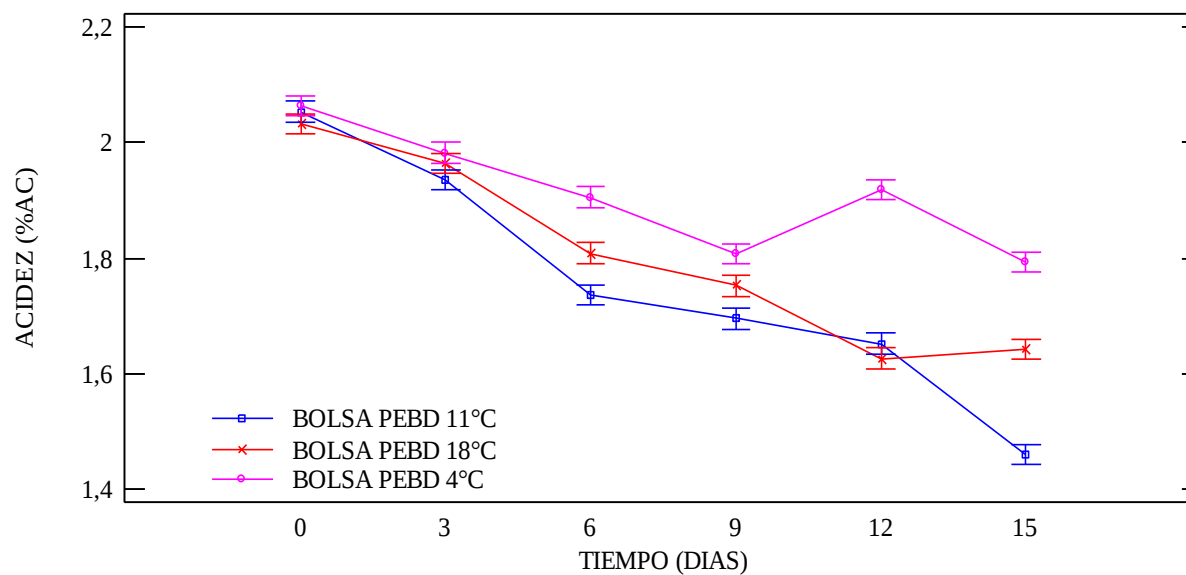
Figura 7

Comportamiento del porcentaje de acidez de (*Physalis peruviana* L.) durante almacenamiento para los diferentes tipos de empaque y temperatura.

a)

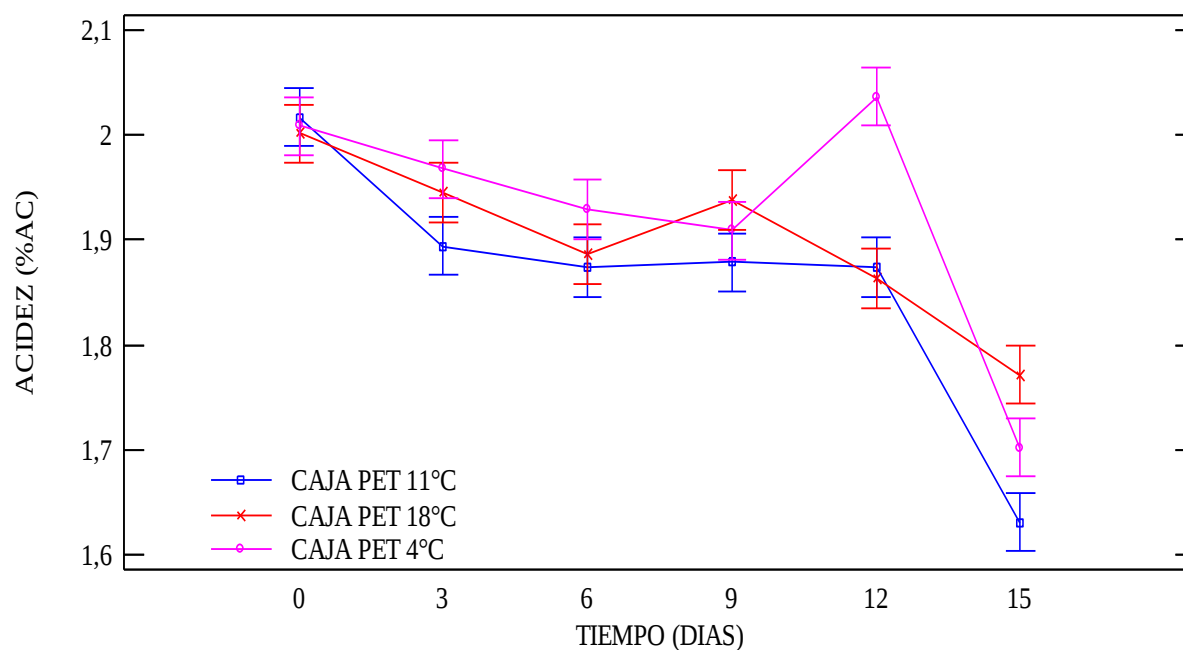


b)



Continuacion (Figura 7).

c)



Nota: Los graficos presentados corresponden al comportamiento de la acidez en: a) Bandeja PS recubierta con film de PEBD, b) Bolsa de PEBD, c) Caja PET.

Como se observa en la figura 7 para todos los tratamientos se presentó un descenso en el porcentaje de acidez expresado como porcentaje de ácido cítrico, debido a que es el ácido más representativo, reportando el 3% del tejido sobre el peso fresco (Duque et al., 2011), sin embargo, se observa que existen periodos en los cuales no hay descenso significativo y en algunos casos existe un incremento del porcentaje de acidez, este periodo se presenta entre los días 6 a 12, cabe aclarar que posterior a este fenómeno nuevamente el porcentaje de acidez continua disminuyendo, este comportamiento se asemeja con los descrito por Ávila et al (2006), en dicho estudio se presentó un descenso marcado en los dos primeros días de almacenamiento y posteriormente éntrelos días 4 y 6 se presentó un incremento en el porcentaje de acidez para todos los tratamientos, posteriormente la acidez comenzó a disminuir continuamente, de acuerdo

a Novoa et al (2006) este incremento se presenta entre el día 2 y 4, posteriormente la acidez disminuye nuevamente, dicho autor asocia este comportamiento a una maduración lenta y a la adaptación de la fruta a las diferentes temperaturas.

Con respecto a los frutos almacenados en bandejas PS recubiertas con film, se observa que solamente en el día 3 de almacenamiento se presentan diferencias significativas entre las tres temperaturas evaluadas y en el día 6 y 12 se presentan diferencias significativas de los frutos almacenados a 4 C con respecto a los almacenados a 11 y 18 C, un punto importante que se debe recalcar es que, a pesar de que hubo descenso del porcentaje de acidez en todas la temperaturas evaluadas no se presentaron diferencias significativas en el día final del almacenamiento para ninguna de las temperaturas evaluadas.

En cuanto a los frutos almacenados en bolsas PEBD, se observa un comportamiento similar hasta el día 9 entre las tres temperaturas evaluadas, con diferencias significativas a partir del día 6 que se mantienen hasta el final del almacenamiento. Se observa que a 4 C la acidez presenta un incremento entre el día 9 y 12 para posteriormente disminuir nuevamente hasta el día 15, por otra parte, el porcentaje de acidez a 11 y 18 C, continua con un descenso hasta el día final del almacenamiento, cabe resaltar que en el día 15 existe diferencias significativas entre todas las temperaturas evaluadas.

Para los frutos almacenados en cajas PET perforadas, no se encontró diferencias significativas hasta el día 12, en el cual se presenta un incremento del porcentaje de acidez para los frutos a 4C, dicho punto presenta diferencias significativas con respecto a las temperaturas de 11 y 18C, finalmente en el día 15, se presentan diferencias significativas entre las tres temperaturas de almacenamiento, cabe resaltar que es el único día en el que hay diferencias entre las temperaturas de 11 y 18 C.

El tratamiento que ocasiono el mayor descenso del porcentaje de acidez fueron las bolsas PEBD almacenadas a 11 C, la acidez de los frutos cambio de 2,05% hasta 1,46%, presentando un descenso de 0,59%, por el contrario, los frutos que tuvieron el menor descenso en la acidez fueron aquellos almacenados a 18 C, en cajas PET perforadas, la acidez en este tratamiento disminuyo solamente 0,23% es decir paso de 2,00% a 1,77%; como se mencionó anteriormente, todos los tratamientos tuvieron disminución de la acidez a lo largo del tiempo, dicho comportamiento es normal durante el proceso de maduración y se debe a que los ácidos orgánicos son convertidos en azúcares mediante gluconeogénesis, durante el proceso de respiración de los frutos (Balaguera, Martinez, et al., 2014), los resultados obtenidos para todos tratamientos, coinciden con los valores reportados por Pinzón et al. (2015) dicho autor reporta valores de 2,23% y 1,9% para frutos almacenados en refrigeración, mientras que frutos almacenados a temperatura ambiente presentaron un valor de 1,5%, además los valores de acidez encontrados en el presente estudio se encuentran dentro del rango para uchuvas de buena calidad que va desde 1,6% hasta 2,0% (Lanchero et al., 2007).

7.2 Elección del mejor tratamiento

La elección del mejor tratamiento se enfocó inicialmente en el comportamiento presentado por las dos variables de respuesta, el índice de color y la firmeza del fruto. Las bolsas PEBD fue un empaque que tuvo diferentes problemas durante el almacenamiento del fruto, como la acumulación de gran cantidad de gases y líquidos en el caso de los frutos almacenados, debido a que se hizo uso de PEBD de elevado calibre ocasionando que exista una menor permeabilidad al CO₂, O₂ y al vapor de agua (Dussán et al., 2014)(Garavito et al., 2022)(Yahía & Rivera, n.d.), esto genero problemas adicionales como perdida de firmeza debido al estrés ocasionado por la acumulación de gases, además al no tener una permeabilidad al oxigeno que permita el ingreso

de O₂ del exterior, se creó un ambiente pobre en este gas, ocasionando que no se diera un desarrollo en el color de los frutos (Ospina & Cartagena, 2008), adicionalmente la acumulación de agua ocasiono un pH inadecuado para los fruto, teniendo en cuenta todos los problemas presentados con este tipo de empaque, se descartan la totalidad de tratamientos relacionados con las bolsas PEBD.

Por otra parte, los tratamientos con bandeja PS y recubrimiento PEBD no tuvieron los problemas presentados por las bolsas PEBD posiblemente porque el calibre del film era mucho menor en comparación al de la bolsa (Dussán et al., 2014), por lo cual en los tratamientos en los que se hizo uso bandejas PS los frutos desarrollaron el color característico y la firmeza solamente estuvo influenciada por la temperatura de almacenamiento. Conjuntamente los tratamientos en los que se hizo uso de las cajas PET, también presentaron un adecuado comportamiento tanto de la firmeza como en el índice de color y además no presentaron acumulaciones de líquidos. Finalmente encontramos que la bandeja PS almacenada a 4 C y la caja PET almacenada a 4 C presentaron la mejor conservación de color, mientras que la mejor conservación de la firmeza solo se dio en la caja PET a 4 C, por lo cual para decidir cuál fue el mejor tratamiento, se consideraron beneficios prácticos que nos otorgaría el uso de un determinado empaque, es así que se elige la caja PET a 4 C ya que este empaque permite una mejor logística, nos brinda una mayor facilidad de empackado y una mayor protección contra daños mecánicos.

7.3 Análisis sensorial aplicando la metodología de lógica difusa y análisis de varianza

Evaluación sensorial del sabor del fruto

Tabla 6

Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (Physalis peruviana L), correspondientes al sabor del fruto.

	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Puntaje total	199	200	179	189	190	165
Promedio	3,98	4	3,58	3,78	3,8	3,3

Fuente. Esta investigación

Tabla 7

Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (Physalis peruviana L.), correspondiente al sabor del fruto.

Efectos principales	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Días de almacenamiento	20,27	5	4,054	2,37	0,0395
Residuos	502,86	294	1,71041		
Total (corregido)	523,13	299			

Fuente. Esta investigación

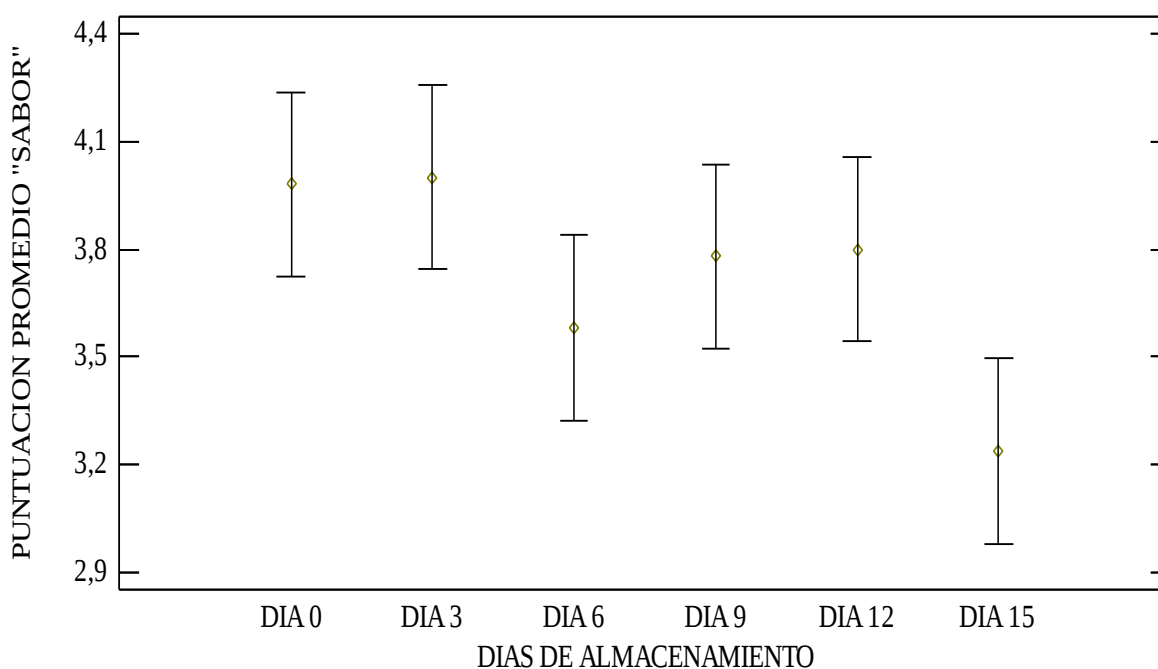
Se puede observar, de acuerdo a la tabla 6 que los frutos que tuvieron un tiempo de almacenamiento de tres días presentaron un puntaje total de 200 siendo el mayor puntaje entre las muestras evaluadas, esto quiere decir que las muestras del día 3, tuvieron una mejor aceptación por parte del panel de evaluador; el puntaje promedio de estas muestras es de 4, equivalente a “me gusta” dentro la escala hedónica planteada, este día se definiría como el punto

óptimo de aceptabilidad para el sabor del fruto y la calidad sensorial correspondiente es aquella que se debe mantener con la aplicación de los tratamientos.

También se puede determinar a partir de la tabla 7 que existe una influencia del tiempo de almacenamiento sobre la percepción que tuvieron los evaluadores en cuanto al sabor de los frutos, se obtuvo un valor P inferior a 0,05 que nos indica diferencias significativas entre la percepción en la valoración emitida por los consumidores para cada uno de los días de almacenamiento, lo cual muestra que existió un cambio en el sabor que fue perceptible por los evaluadores.

Figura 8

*Grafica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial del sabor de uchuva (*Physalis peruviana* L.).*



Fuente. Esta investigación

Observando la figura 8, se determina que la única diferencia significativa se presentó en el día 12 con respecto al día 15, ya que en los días previos no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, posteriormente al día 12 se observa que hay un descenso en la calificación de la calidad sensorial con respecto al sabor del fruto, presentándose en el día 15 el menor puntaje total, siendo de 165 y un puntaje promedio de 3,3 que equivale a “ni me gusta ni me disgusta” de acuerdo a la escala hedónica establecida.

Se puede definir el día 12 como el punto crítico de aceptabilidad en el cual el sabor del fruto comienza a perder su calidad sensorial, cabe aclarar que en este punto comienza la pérdida de calidad sensorial pero no ha sido perdida totalmente, ya que podemos observar que la calificación obtenida para este día equivale a “Ni me gusta, ni me disgusta” en la escala hedónica. Como se mencionó anteriormente en este día se presenta diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, en este punto el fruto presenta ciertos valores de sólidos solubles y pH, que son los factores cuantificables más importantes que influyen en el sabor del fruto, dichos valores se presentan en la tabla 13.

7.3.1 Evaluación sensorial del color del fruto

Tabla 8

*Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (*Physalis peruviana* L), correspondientes al color del fruto.*

	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Puntaje total	209	212	200	211	164	143
Promedio	4,18	4,24	4	4,22	3,28	2,86

Fuente. Esta investigación

Tabla 9

Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (Physalis peruviana L.), correspondiente al color del fruto.

Efectos principales	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Días de almacenamiento	85,4167	5	17,0833	12,91	0,0000
Residuos	389,18	294	1,32374		
Total (corregido)	474,597	299			

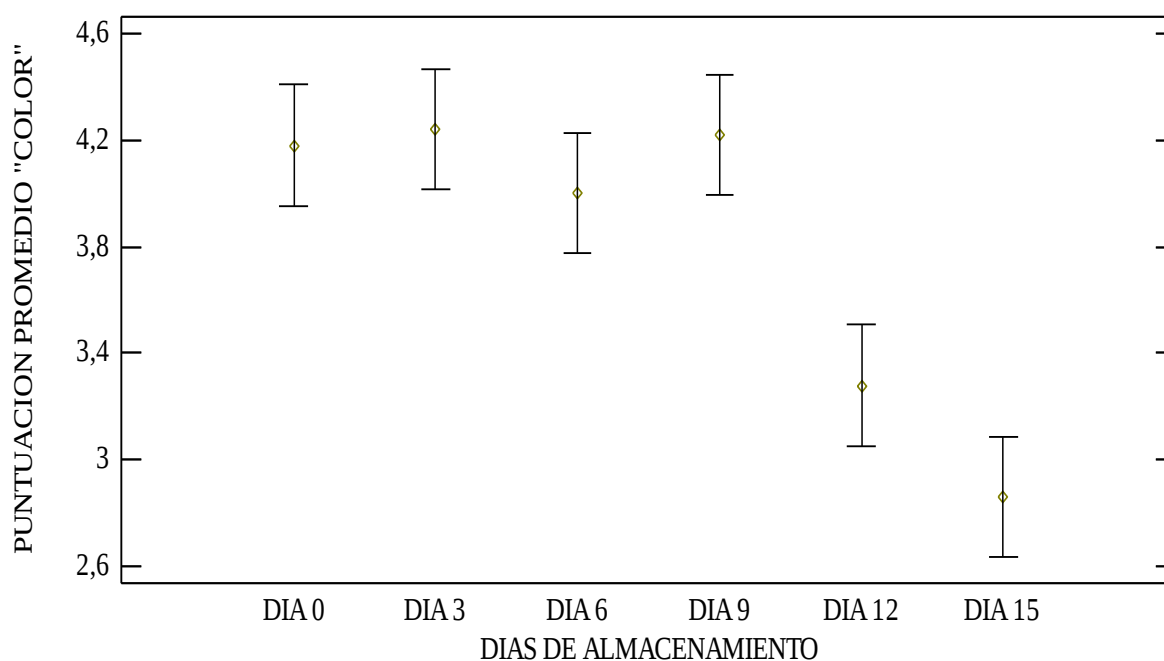
Fuente. Esta investigación

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 8 correspondiente a la evaluación sensorial del color del fruto, se determina que las muestras almacenadas por un periodo de 3 días fueron las que más gustaron a los panelistas, para este día los frutos obtuvieron un puntaje total de 212, y un puntaje promedio de 4,24 que equivale en la escala hedónica planteada a frutos que están entre “me gusta” y “me gusta mucho”, se define entonces el día 3 del almacenamiento como el punto óptimo de aceptabilidad para el color del fruto.

También se determina a partir del análisis de varianza presentado en la tabla 9 que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo en la percepción del color del fruto por parte del consumidor, presentándose un valor P inferior a 0,05; esto indica que existen diferencias significativas entre las valoraciones realizadas por los consumidores para cada uno de los días de almacenamiento.

Figura 9

Grafica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial del color de uchuva (*Physalis peruviana* L.).



Fuente. Esta investigación

Se observa en la figura 9, que hasta el día 9 de almacenamiento hay una conservación de la calidad sensorial del color del fruto, los panelistas no perciben una diferencia significativa en el cambio de las propiedades sensoriales del color del fruto, es decir hasta el día 9 del almacenamiento se conservan las propiedades sensoriales del punto óptimo de aceptabilidad. Posteriormente a este día se presentan diferencias significativas que son captadas por los evaluadores, también se observa que posteriormente al día 9, el color del fruto comienza a perder calidad sensorial, los puntajes totales y promedios descienden significativamente hasta llegar a un puntaje total de 143, con un promedio de 2,86 que equivale a frutos comprendidos entre “me disgusta” y “ni me gusta ni me disgusta” dentro de la escala hedónica, por lo cual el día 9 se define como el punto crítico de aceptabilidad para el color del fruto. Los valores

correspondientes al índice de color para este punto se presentan en la tabla 13. Paralelamente los valores del punto óptimo de aceptabilidad se muestran en la tabla 12

7.3.2 Evaluación sensorial de la textura del fruto

Tabla 10

Puntajes totales y promedios, obtenidos de los resultados de la evaluación sensorial de acuerdo a los días de almacenamiento de uchuva (Physalis peruviana L), correspondientes a la textura del fruto.

	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Puntaje total	179	221	196	170	174	149
Promedio	3,58	4,42	3,92	3,4	3,48	2,98

Fuente. Esta investigación

Tabla 11

Análisis de varianza ANOVA para los resultados de la evaluación sensorial de uchuva (Physalis peruviana L.), correspondiente a la textura del fruto.

Efectos principales	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Días de almacenamiento	60,43	5	12,086	7,98	0,0000
Residuos	445,5	294	1,51531		
Total (corregido)	505,93	299			

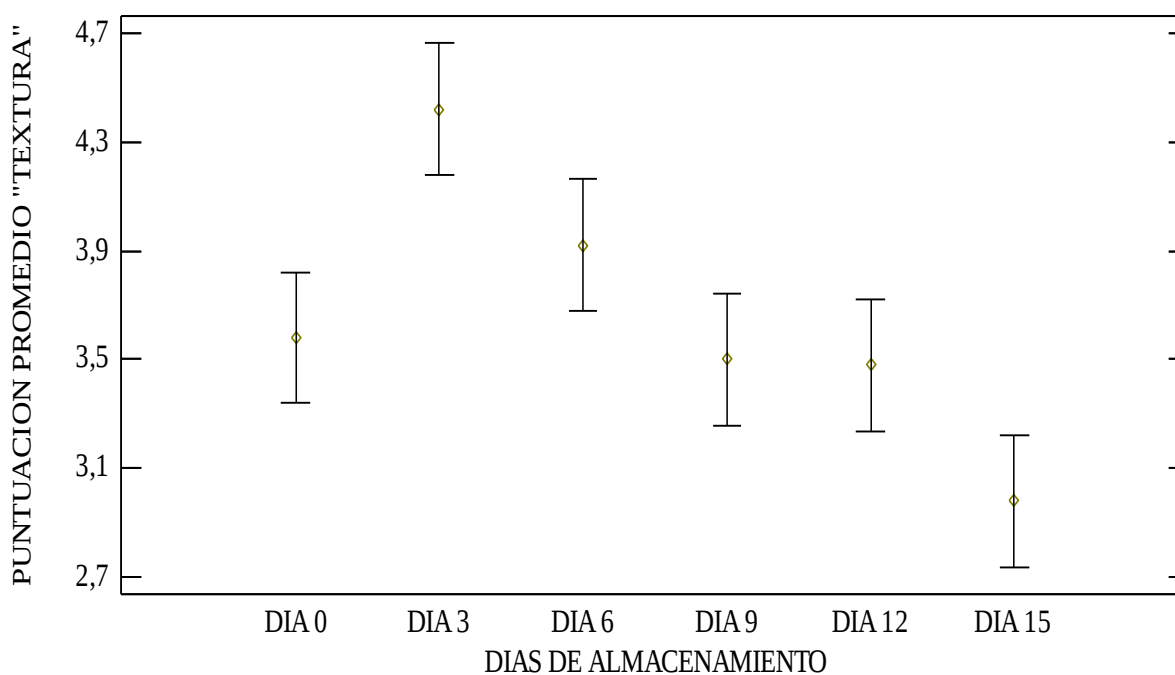
Fuente. Esta investigación

La tabla 10 permitió identificar que los evaluadores tuvieron preferencias por la textura de las muestras con tres días de 3 de almacenamiento, para este día, los frutos obtuvieron un puntaje total de 221 y un puntaje promedio de 4,42, equivalente en la escala hedónica a frutos

entre “me gusta” y “me gusta mucho”, como se realizó anteriormente, el día con mayor puntaje obtenido se define como el punto óptimo de aceptabilidad, en este caso para la textura del fruto. De acuerdo al análisis de varianza ANOVA realizado para la textura del fruto presentado en la tabla 11, se determinó que el valor P fue inferior a 0,05 demostrando que el tiempo de almacenamiento si tiene un efecto significativo en la percepción de textura del fruto que tienen los consumidores para cada uno de los días de almacenamiento y que este cambio fue perceptible por los panelistas durante la evaluación sensorial.

Figura 10

Gráfica de medias con intervalos LSD de Fisher a un 95% de confianza para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de la textura de uchuva (Physalis peruviana L.).



Fuente. Esta investigación

De acuerdo a la figura 10 se determinó que el gusto por la calidad sensorial de la textura por parte de los panelistas presento un pico, que se presenta en el día 3, previamente y posteriormente a este día, la calificación sensorial de los frutos desciende; también se logró

identificar que existe una diferencia significativa en la aceptabilidad sensorial de la textura del fruto a partir del día 12, posteriormente a este día se obtuvieron los menores puntajes de aceptación, un puntaje total de 149 y un puntaje promedio de 2,98; equivalente a frutos entre “no me gusta” y “ni me gusta ni me disgusta”.

Se define entonces que en el día 12 del almacenamiento es el punto crítico de aceptabilidad, es decir hasta este día se mantiene la calidad sensorial de la textura del fruto sin un cambio perceptible por el consumidor, después de este día, ya existen diferencias en la percepción sensorial de la textura por parte de los evaluadores, que tienden a disminuir la calificación sensorial del fruto. Para el día 12 del almacenamiento, las muestras presentan ciertas características de textura que se expresan en términos cuantificables como la máxima fuerza requerida para romper el tejido del fruto o firmeza del fruto, en el día 12 estos valores de firmeza corresponden se muestran en la tabla 13. Por otra parte, el punto óptimo de aceptabilidad que fue nuevamente en el día 3 se muestran sus valores en la tabla 12.

Con los resultados obtenidos en las evaluaciones sensoriales de acuerdo a la metodología de lógica difusa, se puede definir para cada uno de los subconjuntos C, que los frutos de uchuva (*Physalis peruviana L.*) alcanzan su máximo nivel de aceptación para el subconjunto C1, C2 y C3, cuando son almacenados durante 3 días, sin ningún tipo de empaque y sin control de temperatura; partiendo de frutos en estado 3 de maduración, para este día dichos frutos han alcanzado las cualidades sensoriales adecuadas para agradar al consumidor, los puntajes totales se encuentran por encima de los 200 puntos y el puntaje promedio por encima de 4, lo cual equivale a “me gusta” en las escala hedónica que se planteó para el estudio, por lo tanto el día 3 del almacenamiento se define como el punto óptimo de aceptabilidad para uchuva (*Physalis*

peruviana L.) y en la tabla 12 se reportan los valores correspondientes a los parámetros de evaluación para cada uno de los subconjuntos C.

De acuerdo al análisis de varianza ANOVA realizado a los resultados de las evaluaciones sensoriales, se llegó a la conclusión de que las características organolépticas óptimas del fruto, se mantienen durante un cierto periodo posteriormente, la calificación de la calidad sensorial desciende indicando que la fruta comienza a perder sus atributos sensoriales y por ende el gusto del consumidor; se identificó de acuerdo a las pruebas sensoriales que el punto crítico de aceptabilidad se encuentra en el día 12 en los días posteriores se presenta las calificaciones más bajas de acuerdo a la metodología de lógica difusa para los tres subconjuntos C. Hasta el día 12 los consumidores no perciben el cambio en las cualidades sensoriales del fruto, es decir las características sensoriales del punto óptimo de aceptabilidad se mantienen hasta el día 12. Un punto importante que se debe aclarar es que el punto crítico de aceptabilidad nos presenta un límite en el cual las cualidades sensoriales comienzan a perderse, pero no se han perdido totalmente, esto se puede identificar debido a que para el día 12 la calificación equivale a “Ni me gusta, ni me disgusta” que es un punto intermedio en la escala hedónica planteada. Los valores de las propiedades fisicoquímicas definidas en los conjuntos difusos para el punto óptimo y crítico de aceptabilidad se presentan en la tabla 12 y 13 respectivamente.

Tabla 12

*Parámetros correspondientes al punto óptimo de aceptabilidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) de acuerdo a la evaluación del consumidor.*

SST	pH	Índice de color	Firmeza
14,41 ± 0,27	3,91 ± 0,05	3,8 ± 0,01	12,36 ± 0,25

Fuente. Esta investigación

Tabla 13

*Parámetros correspondientes al punto crítico de aceptabilidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) de acuerdo a la evaluación del consumidor.*

SST	Ph	Índice de color	Firmeza
14,87 ± 0,16	4,14 ± 0,08	9,40 ± 0,07	10,30 ± 0,05

Fuente. Esta investigación

7.4 Modelamiento matemático de las variables de respuesta (Firmeza e índice de color)

El mejor tratamiento en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L.); de acuerdo a los resultados obtenidos en el objetivo uno fue la caja PET almacenada a 4 C, por lo cual el modelamiento de la firmeza, del índice de color y de la vida útil se enfocó en el empaque “Caja PET” en las diferentes temperaturas evaluadas (4, 11, 18), ya que se requiere de los datos para las variables de respuesta a diferentes temperaturas.

En cuanto al punto crítico en el tiempo que determina el periodo en el cual se mantienen las propiedades del fruto en estado óptimo para el consumidor, se definió en el día 12 de acuerdo con los resultados obtenidos en el objetivo dos. Este punto nos permitió definir, si el empaque usado prolongaba o no el tiempo en el cual se alcanzaba el punto crítico, con respecto a los frutos sin ningún tratamiento.

Con estos dos criterios definidos e identificado el comportamiento de la firmeza del fruto y de su índice de color, se definió que el modelo logístico y el modelo de orden uno, eran aquellos que mejor describían el comportamiento de la firmeza y del índice de color respectivamente, a continuación, se describe detalladamente los resultados del modelamiento matemático para la firmeza y el índice de color.

7.4.1 Modelamiento de la firmeza

Como se mencionó en la metodología, se determinó que el modelo que mejor describía el comportamiento de la firmeza de uchuva (*Physalis peruviana* L.) es el modelo logístico, la formula general del modelo se presenta a continuación:

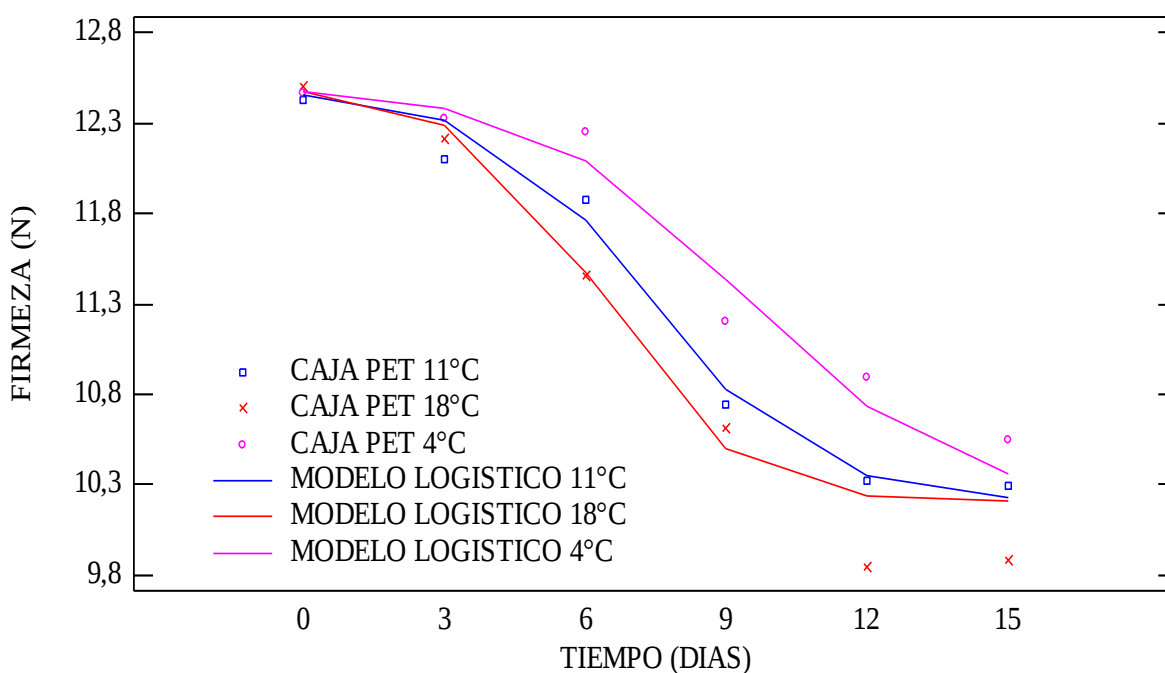
$$F = F_0 - \frac{F_0 - F_{eq}}{1 + e^{-k\left(t - \frac{t_1}{2}\right)}} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde F_0 es la firmeza del fruto en su madurez fisiológica (firmeza del día inicial), F_{eq} corresponde a la firmeza del fruto en el equilibrio (es el valor de la firmeza más bajo obtenido entre las diferentes temperaturas evaluadas), k (d^{-1}), es el coeficiente de pérdida de firmeza, $t_{1/2}$ (d) es el tiempo medio de respuesta y t (d) es el tiempo de almacenamiento.

Este modelo describe un descenso leve para posteriormente presentar un descenso abrupto en los valores de firmeza y finalmente estabilizarse en un punto determinado como firmeza en el equilibrio, que es la mínima firmeza alcanzada durante el periodo de maduración, atribuida a compuestos celulares que no se ven afectados por la degradación en el tiempo como la celulosa y la hemicelulosa, estos compuestos contribuyen a la firmeza fija del fruto, mientras que la firmeza que se pierde se puede definir como firmeza variable, representada por la diferencia entre F_0 y el componente exponencial de la ecuación (Castellanos et al., 2016) (Sierra et al., 2019).

Figura 11

Comportamiento de la firmeza de uchuva (Physalis peruviana L.) durante el almacenamiento en cajas PET a diferentes temperaturas en comparación con el comportamiento predicho por el modelo matemático determinado.



Fuente. Esta investigación

En la figura 11 se puede observar el comportamiento lo descrito anteriormente, representado por líneas continuas para las diferentes temperaturas evaluadas en las cajas PET, además se presentan los valores obtenidos experimentalmente, representados como puntos. La figura 11 se obtuvo por el ajuste de los datos experimentales con respecto al modelo logístico, mediante el uso de la herramienta CurveFitting de MATLAB, obteniendo un coeficiente R^2 entre 0,95 – 0,98 para las diferentes temperaturas evaluadas en las cajas PET, como se presenta en la tabla 14, esto nos demuestra que el modelo represento adecuadamente el comportamiento experimental de la firmeza de los frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Dentro de este proceso también se determinan los parámetros cinéticos del modelo, el coeficiente de pérdida de

firmeza y el tiempo medio de respuesta. El primer coeficiente, como su nombre lo indica nos determina la velocidad con la cual se está perdiendo la firmeza variable del fruto y el tiempo medio de respuesta nos determina el tiempo en el cual se presenta el cambio abrupto que tiene el modelo logístico. Además, los resultados obtenidos nos permitieron identificar que estos parámetros cinéticos son inversamente proporcionales, a medida que la pérdida de firmeza aumenta, se presenta más rápidamente el cambio abrupto de la firmeza. El uso de este modelo ha sido planteado para describir el comportamiento de la firmeza en otros frutos, como el aguacate (Sierra et al., 2019), también se ha usado en mango (Nambi et al., 2016) y en banana (Nannyonga et al., 2016).

Tabla 14

*Parámetros de los modelos de cambio en la firmeza para frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) almacenadas en cajas PET con perforaciones en función de la temperatura.*

Ecuación logística			
F_0	12,50		
F_{eq}	10,20		
T (°C)	K (d ⁻¹)	T _{1/2} (d)	R ²
4	0,4536	9,341	0,96
11	0,5707	7,301	0,98
18	0,7007	6,303	0,95

Fuente. Esta investigación

7.4.2 Modelado de cambio del índice de color

En cuanto al modelamiento del índice de color, se determinó de acuerdo al comportamiento observado y después de la aplicación de varios modelos matemáticos, que aquel que mejor describía dicho comportamiento, es un modelo de orden 1:

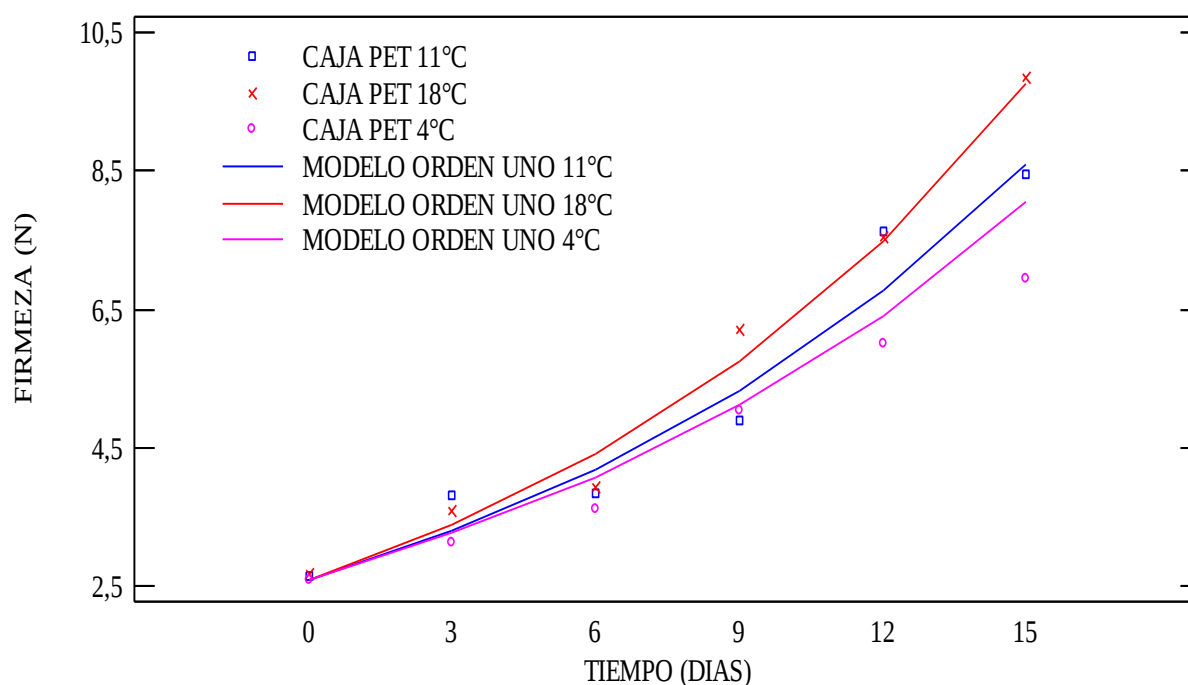
$$IC = IC_0 * e^{-Kt} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde IC_0 corresponde al índice de color durante la madurez fisiológica del fruto, k (d^{-1}) es el coeficiente de cambio de color y t (d) corresponde al tiempo de almacenamiento.

El modelo de primer orden describe un cambio de forma exponencial en los parámetros característicos de un producto, ya sea un incremento o una pérdida en la calidad de estos parámetros, específicamente la velocidad con la que se dan estos cambios. El índice de color se ve influenciado por la síntesis y degradación de compuestos que determinan sus valores y el modelo de primer orden describe la velocidad en que estos compuestos cambian para dar los valores del IC.

Figura 12

Comportamiento del índice de color de uchuva (Physalis peruviana L.) durante el almacenamiento en cajas PET a diferentes temperaturas en comparación con el comportamiento predicho por el modelo matemático determinado.



Fuente. Esta investigación

En la figura 12 se puede observar el comportamiento obtenido para el índice de color de acuerdo al modelo de orden uno, representado por líneas continuas para las diferentes temperaturas evaluadas en las cajas PET y también se presentan los valores obtenidos experimentalmente, representados como puntos. Esta grafica fue obtenida por el ajuste de los datos experimentales con respecto al modelo de orden uno, mediante el uso de la herramienta CurveFitting de MATLAB, obteniendo coeficientes R^2 entre 0,95 – 0,99 como se presenta en la tabla 15, esto nos demuestra que el modelo represento adecuadamente el comportamiento experimental del índice de color para las diferentes temperaturas evaluadas en los frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L), conjuntamente se determinó la constante de crecimiento, que es

el parámetro cinético del modelo de orden uno, que determina la velocidad con la cual aumentan los componentes que determinan los valores del índice de color (Salinas et al., 2007)(De Vleeschouwer et al., 2009).

Tabla 15

Parámetros de los modelos de cambio en índice de color para frutos de uchuva (Physalis peruviana L.) almacenadas en cajas PET con perforaciones en función de la temperatura.

Ecuación de orden uno		
F_0	2,59	
T (°C)	K (d ⁻¹)	R ²
4	-0,075	0,97
11	-0,080	0,95
18	-0,089	0,99

Fuente. Esta investigación

7.4.3 Dependencia de la temperatura

Entre los diferentes factores tanto internos como externo, la temperatura es particularmente el factor que tiene el mayor efecto sobre las reacciones de deterioro en los alimentos (Salinas et al., 2007). El efecto de la temperatura sobre las reacciones de deterioro y sus respectivas constantes de velocidad de reacción, comúnmente se describe mediante la relación de Arrhenius (Ecuación 5).

La determinación de la dependencia de la temperatura se realizó por regresión lineal y se obtuvo coeficientes de correlación R^2 entre 0,95 y 0,99 como se muestran en la tabla 16. Para el caso de las constantes cinéticas del modelo de firmeza, se obtuvo una energía de activación de 20751,74 J/mol y un factor pre exponencial de 3703 d⁻¹ para el coeficiente de pérdida de firmeza

y conjuntamente se obtuvo una energía de activación de $-19446,45 \text{ J/mol}$ y un factor exponencial de $0,002 \text{ d}$ para el tiempo medio de respuesta, estas dos constantes cinéticas se ajustaron adecuadamente al modelo de Arrhenius con R^2 de $0,99$ y $0,97$ respectivamente.

La relación del coeficiente de pérdida de firmeza con la temperatura fue directa, pues a medida que aumento la temperatura, también aumento dicho coeficiente. Por el contrario, para el tiempo medio de respuesta esta relación fue inversa, es decir la constante disminuía con el aumento de la temperatura. Estos comportamientos se presentan en la figura 12 donde se puede observar que las pendientes de las líneas (relacionadas con el coeficiente de pérdida de firmeza) son más pronunciadas en las temperaturas más altas, igualmente el cambio abrupto en la tendencia de las líneas (relacionado con el tiempo medio de respuesta) se da más rápidamente a medida que aumenta la temperatura, cabe aclarar que la relación aumento/disminución de las constantes con respecto a la temperatura no tiende al infinito, sino que tiene una temperatura limite después de la cual las constantes alcanzan un equilibrio y ya no aumentan/disminuyen de forma significativa con la temperatura. Además, se determinó que dichas constantes tienen efecto inverso entre sí, mientras el coeficiente de pérdida de firmeza aumenta con la temperatura, el tiempo medio de respuesta disminuye.

Para la constante cinética relacionada con el índice de color, se determinó un R^2 de $0,95$ indicando que el modelo de Arrhenius describe correctamente el comportamiento que presento el coeficiente de cambio de color, los parámetros de la ecuación de Arrhenius obtenidos para dicho coeficiente se presentan en la tabla 16. Esta constante cinética tuvo una relación directa con la temperatura, es decir que a medida que se incrementa un factor el otro también lo hace, aunque cabe aclarar que el coeficiente de cambio de color no incrementa infinitamente con la temperatura, solamente lo hace hasta una temperatura limite y posteriormente se estabiliza, lo

cual nos permite inferir que el máximo valor del coeficiente de cambio de color que se logre alcanzar equivale a la velocidad máxima con la que un fruto de uchuva puede cambiar su color.

Tabla 16

Parámetros de la relación de Arrhenius para las diferentes constantes cinéticas de los modelos orden uno y modelo logístico.

Ecuación de Arrhenius		
Coeficiente de pérdida de firmeza		
K_0 (d ⁻¹)	Ea (J/mol)	R ²
3703	20751,74	0,99
Tiempo medio de respuesta		
$T_{1/2}$ (d)	Ea (J/mol)	R ²
0,002	-19446,45	0,97
Coeficiente de cambio de color		
K_0 (d ⁻¹)	Ea (J/mol)	R ²
-2,603	8190,95	0,95

Fuente. Esta investigación

Modelado de la vida útil

Los valores de firmeza y del índice de color correspondientes al punto crítico de aceptación definido por los consumidores en la prueba sensorial del objetivo 2 se presentan en la tabla 13 y los modelos matemáticos definidos para firmeza e índice de color fueron el modelo logístico y modelo de orden uno respectivamente presentados en la ecuación 6 y 7 respectivamente.

Una vez se determinaron estos dos componentes se procedió a obtener las ecuaciones 8 y 9 que corresponden al tiempo de vida útil para los frutos empacados en cajas PET a partir de las ecuaciones 6 y 7.

$$t_{vida\ util} = -\frac{1}{k} \ln \left(\frac{F_0 - F_{eq}}{F_0 - F_{sen}} - 1 \right) + t_{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$t_{vida\ util} = -\frac{1}{k} \ln \left(\frac{IC_{sen}}{IC_0} \right) \quad \text{Ecuación 9.}$$

En las ecuaciones 7 y 8, F_{sen} y IC_{sen} , corresponden a los valores de firmeza e índice de color del fruto en el punto crítico de aceptación. El termino $t_{vida\ útil}$, corresponde al tiempo de vida útil.

Con estas ecuaciones de vida útil y los valores de firmeza e índice de color en el punto crítico se determinó el tiempo requerido para que los frutos almacenados en cajas PET alcancen los valores del punto crítico de aceptabilidad. Este tiempo requerido para alcanzar los valores del punto crítico equivalen al tiempo de vida útil (basado en la calidad sensorial) que tendrían los frutos almacenados en caja PET. Los tiempos de vida útil estuvieron influenciados por la temperatura ya que a medida que iba aumentando el tiempo de vida útil disminuía, es así que, para 4 C, se obtuvo un tiempo de 17 días y para 18 C un tiempo de 13 días, también esto se debe al efecto que tiene la temperatura sobre las constantes cinéticas del modelo. Como podemos observar, los tiempos de vida útil correspondientes al mejor tratamiento fueron superiores a los 12 días de los frutos control, es decir que el tratamiento si favoreció en alargar el tiempo en el cual se alcanza el punto crítico de aceptabilidad.

Un punto importante que se debe mencionar es que los tiempos de vida útil determinados en base al punto crítico de aceptabilidad representan un tiempo de vida útil asociado a las percepciones sensoriales del consumidor y el tiempo de vida útil determinado nos indica el

momento en el cual el fruto ha comenzado a perder las características sensoriales optimas definidas por los consumidores.

En este estudio se hizo uso del punto crítico de aceptabilidad para definir la vida útil del fruto, al no existir un parámetro de calidad determinante relacionado con la firmeza o el índice de color. Se aclara que se puede hacer uso de otro tipo de parámetro determinante de la vida útil, relacionados con la firmeza y el índice de color y aplicarlos en los modelos definidos en la presente investigación.

Estos modelos pueden ser utilizados en situaciones particulares donde se requiera predecir el tiempo de vida útil de la fruta dependiendo de la temperatura que se vaya a utilizar y de la firmeza o color que se requiera; también los modelos pueden ser utilizados cuando se necesite saber la firmeza o el color que tomaría el fruto en un determinado tiempo de almacenamiento a una determinada temperatura. Para calcular el tiempo de vida útil a una temperatura diferente a las mencionadas en este estudio se debe utilizar la ecuación de Arrhenius con sus respectivas constantes para calcular la constante cinética que corresponda a la temperatura requerida y posteriormente continuar el proceso descrito anteriormente para el modelamiento de la vida útil.

Conclusiones

Caja PET a 4 C, fue el mejor tratamiento en todos los aspectos fisicoquímicos evaluados, a excepción de la pérdida de peso, aunque fue el tratamiento que mejor conservo la firmeza del fruto, con solo 14,61% de pérdida de firmeza, además con estas condiciones de almacenamiento se presentó una menor intensidad respiratoria y además este tratamiento fue uno de los tratamientos que retraso la aparición del pico máximo en la respiración.

Las bolsas PEBD crearon una atmosfera modificada pasiva, pobre en O₂, disminuyendo el metabolismo del fruto, que se observó en el poco desarrollo del color de los frutos, aunque presentaron el problema de acumulación de agua, lo cual con lleva a problemas relacionados, como lo es la acidificación del medio por causa de solubilizarían del CO₂ producido por los frutos durante la respiración.

El punto óptimo y crítico de aceptabilidad se presentaron en los días 3 y 12 respectivamente, esto se determinó gracias a la prueba sensorial aplicada y se aclara que en el punto crítico de aceptabilidad las propiedades sensoriales no se han perdido totalmente, solamente es el punto del almacenamiento en el cual comienza a percibirse la pérdida de calidad sensorial.

Las cajas PET y las bandejas PS recubiertas con film PEBD a 4 y 11 C, prolongaron la aparición del punto crítico de aceptabilidad, verificando así que el uso de estos dos empaques fue beneficioso en la conservación del fruto de estos dos tipos de empaque se determina que el mejor son las cajas PET, por brindarnos beneficios adicionales como protección ante daños mecánicos, facilidad de transporte y logística.

En base a los modelos obtenidos se define que la caja PET almacenada a 4 C retrasa la aparición del punto crítico de aceptación por 17 días; 5 días más que la fruta sin ningún tipo de

empaque, demostrando la eficiencia de este tipo de empaque a la hora de conservar las propiedades sensoriales optimas del fruto y por ende sus propiedades fisicoquímicas.

Los modelos propuestos para describir el comportamiento de la firmeza y color en función del tiempo, tuvieron un buen ajuste ($R^2 > 0,95$) por lo cual describen correctamente los comportamientos de firmeza e índice de color, además fue posible determinar ecuaciones para estimar el tiempo de vida útil en base a un parámetro de calidad determinado (Punto crítico de aceptabilidad)

Estos modelos matemáticos pueden ser utilizados como herramientas de fácil implementación y eficaces para predecir o simular el comportamiento del fruto durante su comercialización, logrando determinar temperaturas óptimas para el almacenamiento, los valores de firmeza y color que alcanzaran los frutos durante cierto tiempo a una determinada temperatura y determinar en cuanto tiempo los frutos alcanzaran su máxima vida útil de acuerdo a un parámetro de calidad específico.

Recomendaciones

Se deben realizar pruebas sensoriales de aceptabilidad aplicada a los frutos almacenados bajo las condiciones del mejor tratamiento con el fin de determinar si el tratamiento además de conservar las propiedades fisicoquímicas, también es eficiente en la conservación de las propiedades sensoriales del fruto.

Con el comportamiento observado en las bolsas PEBD se recomienda realizar estudios enfocados en la creación de una atmosfera modificada pasiva, que favorezca la conservación del fruto.

Referencias

- Almanza, P., Velandia, J., & Tovar, Y. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo en dos variedades de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam .) Physicochemical properties during growth and development of fruits of two varieties of lulo (*Solanum quitoense* Lam .). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 222–231.
- Alvarado, P., Berduo, C., & Fischer, G. (2004). Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5° C) y la humedad relativa sobre. *Agronomía Colombiana*, 22(2), 147–159.
- Arias, F., Rendón, S., Suarez, E., & Gómez, L. (2015). Inteligencia de mercados para la cadena de uchuva colombiana (*Physalis peruviana* L). *Revista Oidles*, 9(18), 13.
<http://www.eumed.net/rev/oidles/18/%5Cnhttp://bit.ly/1MifCUt%5Cnhttp://bit.ly/1LlG43d>
- Asociacion Hortofruticola de Colombia. (2018). *Balance del sector hortofruticola en 2018*.
http://www.asohofrucol.com.co/imagenes/BALANCE_DEL_SECTOR_HORTIFRUTICULTURA_2018.pdf
- Asociación Nacional de Comercio Exterior. (2018). Comportamiento de la Uchuva - Producción y comercio. In *Anal dex.org*. <https://www.anal dex.org/wp-content/uploads/2018/02/2018-02-08-Mercado-de-la-Uchuva.pdf>
- Asociación Nacional de Comercio Exterior. (2020). Informe de las exportaciones de uchuva. In *Anal dex.org*.
- Ávila, J., Moreno, P., & Fischer, G. (2006). Influencia de la madurez del fruto y del secado del cáliz en uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada a 18°C. *Acta Agron (Colombia)*, 55(4), 29–38.
- Balaguera, H., & Herrera, A. (2012). ESTUDIO DE ALGUNOS CAMBIOS BIOQUÍMICOS DURANTE EL CRECIMIENTO Y HASTA LA COSECHA DEL FRUTO DE CHAMPA

(*Campomanesia lineatifolia* R. & P. Familia MYRTACEAE) 1 BIOCHEMICAL CHANGES DURING GROWTH AND UNTIL HARVEST OF CHAMPA (*Campomanesia lineatifolia* R. & P. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal-SP, 2012(2), 460–461.*

<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v34n2/19.pdf>

Balaguera, H., Martínez, C., & Herrera, A. (2014). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 8(2), 181–191.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3212>

Balaguera, H., Ramírez, L., & Herrera, A. (2014). Fisiología y bioquímica del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante la maduración y poscosecha. In C. Pássaro (Ed.), *Physalis peruviana L.: Fruta andina para el mundo* (pp. 113–131). Limencop s.l.

Castellanos, D., & Algecira, N. (2012). Modelling change in color and firmness of baby banana (*Musa acuminata* AA) in modified atmosphere packaging. *Agronomia Colombiana*, 1, 84–94.

Castellanos, D., Polanía, W., & Herrera, A. (2016). Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for feijoa fruits and modeling firmness and color evolution. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 193–203.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.06.012>

Cerón, I., Higuera, J., & Cardona, C. (2010). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. *Vector*, 5(1909–7891), 17–26.

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211616/Articulos/Material_extendido/Capacidad_antioxidante_y_contenido_fenolico_total_de_tres_frutas_cultivadas_en_la_region_andina.pdf

Ciro, H., & Osório, J. (2008). Avance experimental de la ingeniería de poscosecha de frutas

Colombianas: resistencia mecánica para frutos de Uchuva (*Physalis peruviana* L.). *DYNA (Colombia)*, 75(154), 39–46.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1712/11604>

Coral, L., Torres, F., & Tepez, B. (2012). Estudio de mercado para la comercialización de Uchuva *Physalis peruviana* L. en Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(1), 92–102.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5104108>

Cortés, G. M., Prieto, G. A., & Rozo, W. E. (2015). Caracterización bromatológica y fisicoquímica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) y su posible aplicación como alimento nutraceutico. *Ciencia En Desarrollo*, 20(1), 87–97.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

[74882015000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

De Vleeschouwer, K., Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Modelling acrylamide changes in foods: from single-response empirical to multiresponse mechanistic approaches. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 20, Issues 3–4, pp. 155–167).

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.01.060>

Dueñas, Y., Narváez, C., & Restrepo, L. (2012). (*ACANTHOCEREUS PITAJAYA*) A

TEMPERATURA AMBIENTE Y EN REFRIGERACIÓN : ACTIVIDAD DE

POLIGALACTURONASA , CELULASA Y XILANASA Yellow Pitaya (*Acanthocereus*

pitajaya) Fruit Softening During its Storage at Room Temperature and on Refrigerated

Conditions : Po. *Acta Biológica Colombiana*, 17, 259–270.

Duque, A., Giraldo, G., & Quintero, V. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y conentrado de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Temas Agrarios*, 16(1), 75–83.

http://apps.unicordoba.edu.co/revistas/rta/actualizacion2011/revista_temas

agragrios/caracterizacion de la fruta.pdf

Dussán, S., Reyes, P., & Hleap, J. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes tipos de empaque en los atributos físico-químicos y sensoriales de piña “Manzana” mínimamente procesada. *Informacion Tecnologica*, 25(5), 41–46.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500007>

Enrique, H., & López, B. (2012). Fisiología y bioquímica del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L .) durante la maduración y poscosecha Fisiología y bioquímica del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L .) durante la maduración y poscosecha. In C. Passaro (Ed.), *Physalis peruviana L.: FRUTA ANDINA PARA EL MUNDO* (pp. 113–131). LIMENCOP S.L.

Fischer, G., Almanza, P., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 01–15.

<https://doi.org/10.1590/0100-2945-441/13>

Fischer, G., & Melgarejo, L. (2014). Ecofisiología de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). In C. Pássaro (Ed.), *Physalis peruviana L.: FRUTA ANDINA PARA EL MUNDO* (pp. 29–47). LIMENCOP S.L.

Gallagher, M. J., Mahajan, P. V., & Yan, Z. (2011). Modelling chemical and physical deterioration of foods and beverages. In *Food and beverage stability and shelf life*.

Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092540.2.459>

Garavito, J. (2021). *EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE EMPAQUE BIODEGRADABLES CON ATMÓSFERAS MODIFICADAS EN EQUILIBRIO PARA FRUTOS DE UCHUVA (Physalis peruviana)*.

Garavito, J., Mendoza, S. M., & Castellanos, D. A. (2022). Configuration of biodegradable

- equilibrium modified atmosphere packages, including a moisture absorber for fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 314(April 2021), 110761. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110761>
- García, C., Chacón, G., & Molina, M. (2011). Evaluación De La Vida Útil De Una Pasta De Tomate Mediante Pruebas Aceleradas Por Temperatura. *Revista Ingeniería*, 21(2), 31–38. <https://doi.org/10.15517/ring.v21i2.2683>
- García, C., & Molina, M. (2011). Estimación De La Vida Útil De Una Mayonesa Mediante Pruebas Aceleradas. *Revista Ingeniería*, 18(1–2), 57–64. <https://doi.org/10.15517/ring.v18i1-2.653>
- García, M., Peña, A., & Brito, B. (2014). Desarrollo tecnológico para el ortalecimiento del manejo poscosecha de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). In C. Pássaro (Ed.), *Physalis peruviana* L.: *Fruta andina para el mundo* (Primera ed, pp. 80–111). Limencop s.l.
- García, Y., García, A., Hernández, A., & Pérez, J. (2011). Study of the Color Index variation during pineapple fruit (Cayena Lisa variety) conservation at environment temperature. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 12–16. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=en%0Ahttp://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta02411.pdf
- Hidalgo, E. (2021). Evaluación de pérdidas físicas en poscosecha de cinco productos hortofrutícolas de la “Feria plataforma su” Pichincha, Quito. In *Universidad central del Ecuador*. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, & Universidad Nacional de Colombia. (2018).

Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC) (Primera ed). Proceditor LTDA.

https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac_web.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2003). *NTC-5166.Frutas frescas.*

Uchuva. Especificaciones del empaque. <https://www.icontec.org/rules/frutas-frescas-uchuva-especificaciones-del-empaque/>

Katherin, A. (2017). *La Uchuva duplica exportaciones a EE.UU.* Agronegocios.Co.

<https://www.agronegocios.co/agricultura/la-uchuva-duplica-exportaciones-a-eeuu-2622616>

Kaushik, N., Rao, P. S., & Mishra, H. N. (2017). Effect of high pressure and thermal processing on spoilage-causing enzymes in mango (*Mangifera indica*) pulp. In *Food Research International* (Vol. 100). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.056>

International (Vol. 100). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.056>

Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 61.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:84

López, V. (2017). La Uchuva en el contexto de la producción agrícola colombiana y los TLC.

Revista Ensayos, 10, 131, 144. file:///C:/Users/ASUS/Downloads/72501-384734-1-SM.pdf

Magnolia, R., & Palma, M. (2021). Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(4),

4605–4625. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.644

Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2011). Modeling of Respiration Rate of Litchi Fruit under Aerobic Conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 272–281.

<https://doi.org/10.1007/s11947-008-0145-z>

- Márquez, C., Trillos, O., Cartagena, J., & Cotes, J. (2009). Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Vitae*, 16(1), 42–48.
<http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v16n1/v16n1a05.pdf>
- Mejía, C., Soto, O., Gámez, H., & Moreno, J. (2015). Análisis del tamaño de empaque en la cadena de calor para minimizar costos logísticos: un caso de estudio en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.06.009>
- Mokhtar, S., Swailam, H., & El-Sayed Embaby, H. (2018). Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: Composition of goldenberry juice waste. *Food Chemistry*, 248, 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.117>
- Najarro, J., Tinoco, O., & Huari, F. (2016). Simulación de la actividad respiratoria en pos-cosecha de plátano (*Musa cavendishii*) bajo atmósfera modi cada para mejora del tiempo de almacenamiento. *Industrial Data*, 19, 96–103.
- Nambi, V. E., Thangavel, K., Shahir, S., & Chandrasekar, V. (2016). Color Kinetics During Ripening of Indian Mangoes. *International Journal of Food Properties*, 19(10), 2147–2155.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1089281>
- Nannyonga, S., Bakalis, S., Andrews, J., Mugampoza, E., & Gkatzionis, K. (2016). Mathematical modelling of color, texture kinetics and sensory attributes characterisation of ripening bananas for waste critical point determination. *Journal of Food Engineering*, 190, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.006>
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2014). Interacciones empaque-alimento : migración. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(100), 99–113.
- Novoa, R., Bojaca, M., Galvis, J., & Fischer, G. (2006). La madurez del fruto y el secado del

- cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 77–86.
- Ospina, S., & Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigacion*, 5(2), 112–123.
<https://doi.org/http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v5n2/v5n2a14.pdf>
- Pallé, C. (2018). El dióxido de carbono como forma sostenible de reducir el pH del agua. *Tecnoaqua*, 34, 84–88.
- Pássaro, C. (2014). *Physalis peruviana* L.: *Fruta andina para el mundo* (C. Pássaro (ed.); Issue October). Limencop s.l. <http://www.cyted.org/es/noticias/libro-physalis-peruviana-l-fruta-andina-para-el-mundo>
- Peña, R., Cortés, M., & Gil, J. (2012). Estabilidad fisicoquímica y funcional de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) impregnada a vacío con calcio y vitaminas B9, D y E, durante el almacenamiento refrigerado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(1), 6929–6938. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v66n1/v66n1a10.pdf>
- Pinzón, E., Reyes, A., Álvarez, J., Leguizamo, M., & Joya, J. (2015). Comportamiento del fruto de uchuva *Physalis peruviana* L., bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 26. <https://doi.org/10.22267/rcia.153202.10>
- ProColombia. (2017). *Uchuva (Goldenberry)*. https://docs.procolombia.co/int-procolombia/es/exportaciones/ficha_uchuvas_final.pdf
- Puente, L., Pinto, C., Castro, E., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Repo de Carrasco, R., & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y

- compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 74(2), 108–124. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v74n2/a04v74n2.pdf>
- Rojas, C., Arteaga, H., Barraza, G., Méndez, E., & Miano, C. (2010). Estimation of the shelf life of canned marinated hearts of artichoke (*Cynara scolymus* L.) and the content of omega 3 and omega 6. *Scientia Agropecuaria*, 1(3–4), 207–211. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5113746>
- Salinas, R., Gonzáles, G., Pirovani, M., & Ulín, F. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183–196. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15423209>
- Sanjeevi, S. (2020). *Enzymes used in food and textile technologies* (S. Sanjeevi (ed.)). Delve Publishing.
- SENA. (2014). *Manual técnico del cultivo de uchuva bajo buenas practicas agricolas*. Francisco Vélez Litografía.
- Sierra, N. M., Londoño, A., Gómez, J. M., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2019). Evaluation and modeling of changes in shelf life, firmness and color of ‘Hass’ avocado depending on storage temperature. *Food Science and Technology International*, 25(5), 370–384. <https://doi.org/10.1177/1082013219826825>
- Thomás, J., & Sepúlveda, S. (2014). Recursos genéticos y mejoramiento de *Physalis peruviana* L. In C. Pássaro (Ed.), *Physalis peruviana* L.: *Fruta andina para el mundo* (Primera ed, pp. 8–27). Limencop s.l. <http://www.cytod.org/es/noticias/libro-physalis-peruviana-l-fruta-andina-para-el-mundo>
- Torres, R., Montes, E., Pérez, O., & Andrade, R. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Informacion Tecnologica*,

24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>

- Torrieri, E., Perone, N., Cavella, S., & Masi, P. (2010). Modelling the respiration rate of minimally processed broccoli (*Brassica rapa* var. *sylvestris*) for modified atmosphere package design. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(10), 2186–2193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02387.x>
- Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., & Moya-León, M. A. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.021>
- Vanderroost, M., Ragaert, P., & Devliehere, F. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39, 47–62.
- Yahía, E., & Rivera, M. (n.d.). Empaque de algunas frutas tropicales en atmosferas modificadas. *Punlicaciones Miscelaneas Agriculas*, 42, 115–121.
- Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., & J.A., G. (2010). Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 21(41), 159–171.

Anexos

Anexo A. Recopilación de los datos correspondientes a las propiedades fisicoquímicas de uchuva (*Physalis peruviana* L.), para los diferentes tipos de empaque y temperatura aplicados:

Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (Physalis peruviana L.) durante el almacenamiento en bandejas PS, recubiertas con film de PEBD a diferentes temperaturas.

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Firmeza	4	11,27 ± 0,04	11,00 ± 0,04	10,31 ± 0,03	9,53 ± 0,12	8,94 ± 0,08	9,17 ± 0,08
	11	11,28 ± 0,76	11,17 ± 0,15	10,10 ± 0,86	8,98 ± 1,39	9,22 ± 0,71	9,31 ± 0,18
	18	11,45 ± 0,04	11,26 ± 0,69	8,11 ± 0,59	7,04 ± 0,81	6,84 ± 0,41	7,20 ± 0,30
Índice de color	4	2,32 ± 0,05	3,40 ± 0,05	3,59 ± 0,04	4,11 ± 0,11	6,00 ± 0,22	6,79 ± 0,07
	11	2,32 ± 0,15	3,82 ± 0,07	3,66 ± 0,01	5,56 ± 0,05	6,78 ± 0,07	7,36 ± 0,14
	18	2,46 ± 0,03	4,67 ± 0,07	4,88 ± 0,05	4,97 ± 0,05	7,36 ± 0,09	7,76 ± 0,15
Ph	4	3,86 ± 0,01	3,87 ± 0,02	3,91 ± 0,03	4,07 ± 0,04	4,12 ± 0,04	4,34 ± 0,07
	11	3,85 ± 0,02	3,96 ± 0,09	4,02 ± 0,03	4,09 ± 0,02	4,08 ± 0,03	4,19 ± 0,01
	18	3,88 ± 0,02	3,99 ± 0,07	4,08 ± 0,07	4,16 ± 0,07	4,25 ± 0,09	4,26 ± 0,10
Solidos solubles totales (°BRIX	4	12,42 ± 0,47	12,41 ± 0,43	12,89 ± 0,35	12,94 ± 0,10	13,06 ± 0,11	14,17 ± 0,11
	11	12,45 ± 0,10	12,51 ± 0,14	12,75 ± 0,13	12,78 ± 0,11	13,11 ± 0,22	12,74 ± 0,27
	18	12,56 ± 0,10	12,38 ± 0,20	13,42 ± 0,40	13,69 ± 0,17	13,96 ± 0,15	15,17 ± 0,20

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Acidez (%AC)	4	2,06 ± 0,02	2,00 ± 0,03	1,88 ± 0,02	1,68 ± 0,03	1,68 ± 0,01	1,54 ± 0,01
	11	2,05 ± 0,01	1,87 ± 0,04	1,68 ± 0,06	1,71 ± 0,01	1,57 ± 0,04	1,51 ± 0,03
	18	2,04 ± 0,04	1,93 ± 0,07	1,73 ± 0,02	1,61 ± 0,04	1,59 ± 0,03	1,55 ± 0,03
Pérdida de Peso (%)	4	0,0	1,46 ± 1,49	2,51 ± 1,71	3,47 ± 1,79	4,41 ± 1,82	6,23 ± 1,08
	11	0,0	2,86 ± 0,62	3,97 ± 0,58	4,90 ± 0,41	6,74 ± 0,69	8,27 ± 1,06
	18	0,0	1,45 ± 0,85	3,40 ± 1,04	6,87 ± 0,63	11,01 ± 0,55	26,04 ± 0,94
Respiración (mgCO ₂ /kg*h)	4	73,12 ± 2,52	42,44 ± 3,17	22,27 ± 0,73	58,41 ± 1,93	42,86 ± 2,18	39,50 ± 1,93
	11	72,38 ± 1,29	18,96 ± 1,97	19,39 ± 2,58	58,59 ± 0,75	116,32 ± 1,29	31,88 ± 4,54
	18	73,00 ± 3,76	130,01 ± 8,90	65,21 ± 6,85	54,54 ± 4,97	191,11 ± 8,73	61,11 ± 5,55

Fuente. Esta investigación

Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (Physalis peruviana L.) durante el almacenamiento en bolsas PEBD a diferentes temperaturas.

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Firmeza	4	10,74 ± 0,30	10,60 ± 0,40	9,30 ± 0,25	7,30 ± 0,22	7,15 ± 0,26	7,87 ± 0,61
	11	10,57 ± 0,78	10,13 ± 0,05	6,62 ± 0,17	6,42 ± 0,17	6,48 ± 0,42	5,86 ± 0,22
	18	10,66 ± 0,28	10,04 ± 0,11	6,54 ± 0,11	5,80 ± 0,32	5,93 ± 0,17	6,65 ± 0,51
Índice de color	4	1,98 ± 0,07	2,02 ± 0,07	2,68 ± 0,08	3,66 ± 0,11	4,04 ± 0,02	3,79 ± 0,15
	11	2,00 ± 0,06	2,01 ± 0,05	2,40 ± 0,02	3,66 ± 0,14	5,50 ± 0,17	5,02 ± 0,15
	18	2,01 ± 0,03	2,11 ± 0,14	2,97 ± 0,05	3,54 ± 0,03	4,24 ± 0,03	4,24 ± 0,07
pH	4	4,19 ± 0,04	4,14 ± 0,07	4,05 ± 0,02	4,00 ± 0,04	3,96 ± 0,07	3,90 ± 0,01
	11	4,21 ± 0,05	4,10 ± 0,06	4,06 ± 0,09	4,05 ± 0,04	3,91 ± 0,05	3,82 ± 0,02
	18	4,19 ± 0,04	4,14 ± 0,03	4,10 ± 0,06	4,05 ± 0,08	3,94 ± 0,08	3,96 ± 0,03
Solidos solubles totales (°BRIX	4	11,83 ± 0,10	12,04 ± 0,14	12,61 ± 0,34	12,95 ± 0,21	12,91 ± 0,02	13,64 ± 0,23
	11	11,85 ± 0,11	12,26 ± 0,22	12,40 ± 0,33	13,03 ± 0,14	13,17 ± 0,11	13,44 ± 0,14
	18	11,88 ± 0,29	14,11 ± 0,20	14,46 ± 0,11	14,67 ± 0,11	14,81 ± 0,12	14,96 ± 0,21
Acidez (%AC)	4	2,06 ± 0,01	1,98 ± 0,02	1,90 ± 0,02	1,81 ± 0,02	1,92 ± 0,01	1,79 ± 0,02
	11	2,05 ± 0,03	1,94 ± 0,04	1,74 ± 0,03	1,69 ± 0,02	1,65 ± 0,05	1,46 ± 0,01
	18	2,03 ± 0,02	1,96 ± 0,02	1,81 ± 0,01	1,75 ± 0,04	1,63 ± 0,03	1,64 ± 0,05
Peso (%)	4	0	0,26 ± 0,10	0,91 ± 0,16	1,59 ± 0,17	4,32 ± 0,30	6,46 ± 1,03
	11	0	2,18 ± 0,87	6,45 ± 0,87	9,69 ± 0,75	13,11 ± 0,50	16,32 ± 1,38
	18	0	3,07 ± 0,88	9,68 ± 0,55	12,24 ± 0,79	15,76 ± 6,44	23,63 ± 1,58

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Respiración (mgCO2/kg*h)	4	355,50 ± 5,50	193,30 ± 8,20	147,92 ± 5,96	127,33 ± 10,77	206,75 ± 5,04	86,56 ± 8,10
	11	350,0 ± 36,63	65,38 ± 7,48	93,68 ± 2,46	1323,20 ± 80,93	883,56 ± 89,21	553,42 ± 26,80
	18	347,25 ± 10,04	107,71 ± 8,41	28,87 ± 1,97	1585,88 ± 103,40	983,58 ± 15,51	739,30 ± 67,31

Fuente. Esta investigación

Cambio en las propiedades de los frutos de uchuva (Physalis peruviana L.) durante el almacenamiento en cajas PET con perforaciones a diferentes temperaturas.

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Firmeza	4	12,47 ± 1,27	12,33 ± 0,37	12,25 ± 0,14	11,20 ± 0,06	10,89 ± 0,07	10,55 ± 0,17
	11	12,43 ± 0,09	12,10 ± 0,48	11,87 ± 0,07	10,75 ± 0,61	10,33 ± 0,78	10,30 ± 0,21
	18	12,50 ± 0,10	12,21 ± 0,11	11,45 ± 0,08	10,61 ± 0,47	9,85 ± 0,10	9,89 ± 0,20
Índice de color	4	2,59 ± 0,09	3,12 ± 0,05	3,61 ± 0,08	5,02 ± 0,15	6,00 ± 0,47	6,95 ± 0,49
	11	2,63 ± 0,05	3,80 ± 0,11	3,83 ± 0,08	4,90 ± 0,06	7,62 ± 0,09	8,45 ± 0,07
	18	2,65 ± 0,03	3,57 ± 0,04	3,93 ± 0,08	6,20 ± 0,02	7,54 ± 0,08	9,60 ± 0,32
pH	4	3,92 ± 0,02	3,98 ± 0,08	4,08 ± 0,08	4,07 ± 0,02	4,10 ± 0,04	4,12 ± 0,04
	11	3,94 ± 0,03	4,05 ± 0,03	4,10 ± 0,06	4,12 ± 0,03	4,12 ± 0,01	4,18 ± 0,03
	18	3,93 ± 0,06	3,95 ± 0,04	4,10 ± 0,03	4,14 ± 0,03	4,30 ± 0,02	4,36 ± 0,05
Solidos solubles totales (°BRIX	4	11,75 ± 0,38	12,90 ± 0,58	12,94 ± 0,23	13,68 ± 0,20	14,29 ± 0,28	13,95 ± 0,20
	11	11,83 ± 0,19	13,41 ± 0,20	13,26 ± 0,12	13,51 ± 0,14	14,37 ± 0,01	14,25 ± 0,11
	18	11,91 ± 0,05	13,16 ± 0,21	13,31 ± 0,62	15,37 ± 0,62	16,07 ± 0,48	17,08 ± 0,11
Acidez (%AC)	4	2,01 ± 0,02	1,97 ± 0,04	1,93 ± 0,04	1,91 ± 0,05	2,04 ± 0,04	1,70 ± 0,07
	11	2,02 ± 0,01	1,89 ± 0,09	1,87 ± 0,05	1,88 ± 0,04	1,87 ± 0,02	1,63 ± 0,03
	18	2,00 ± 0,04	1,95 ± 0,01	1,89 ± 0,05	1,94 ± 0,04	1,86 ± 0,06	1,77 ± 0,03

PROPIEDAD	TEMPERATURA	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIAS 15
Peso (%)	4	0	$1,78 \pm 0,09$	$3,35 \pm 0,10$	$5,18 \pm 0,20$	$6,95 \pm 0,34$	$8,65 \pm 0,82$
	11	0	$6,35 \pm 2,29$	$9,12 \pm 1,26$	$11,79 \pm 1,69$	$16,74 \pm 2,34$	$20,73 \pm 2,64$
	18	0	$4,47 \pm 3,31$	$8,12 \pm 3,54$	$22,39 \pm 2,97$	$34,07 \pm 3,76$	$38,32 \pm 3,28$
Respiración (mgCO ₂ /kg*h)	4	$47,90 \pm 1,26$	$42,44 \pm 0,73$	$29,42 \pm 1,93$	$26,89 \pm 1,93$	$31,94 \pm 1,93$	$15,97 \pm 1,93$
	11	$44,38 \pm 1,97$	$24,13 \pm 0,75$	$17,23 \pm 0,75$	$49,98 \pm 2,69$	$31,45 \pm 0,75$	$34,90 \pm 10,58$
	18	$46,75 \pm 1,23$	$41,83 \pm 4,44$	$37,32 \pm 3,55$	$56,19 \pm 3,95$	$106,63 \pm 1,88$	$71,77 \pm 1,88$

Fuente. Esta investigación

Cambio de las propiedades fisicoquímicas de uchuva (Physalis peruviana L.) sin control de temperatura y sin uso de empaques.

PROPIEDAD	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
Firmeza (N)	10,88 ± 0,10	12,36 ± 0,25	11,05 ± 0,09	10,21 ± 0,02	10,30 ± 0,05	10,20 ± 0,05
Índice de color	1,83 ± 0,08	3,8 ± 0,01	6,34 ± 0,06	8,43 ± 0,06	9,40 ± 0,07	10,55 ± 0,13
pH	3,96 ± 0,04	3,91 ± 0,05	4,08 ± 0,01	4,14 ± 0,08	4,15 ± 0,08	4,20 ± 0,04
Solidos solubles totales (°Brix)	12,98 ± 0,19	14,41 ± 0,27	14,18 ± 0,59	14,05 ± 0,29	14,88 ± 0,16	14,37 ± 0,18
Acidez (%AC)	1,94 ± 0,01	2,14 ± 0,05	1,69 ± 0,03	1,72 ± 0,04	1,88 ± 0,06	1,86 ± 0,03
Peso (%)	100 ± 0	95,81 ± 0,42	90,30 ± 0,14	85,02 ± 0,36	80,91 ± 0,38	74,28 ± 0,85
Respiración	37,19 ± 1,41	34,33 ± 4,90	41,28 ± 3,09	30,65 ± 4,25	23,71 ± 2,55	23,71 ± 1,42

Anexo B. Recopilación de los datos correspondientes a la prueba hedónica de uchuva (*Physalis peruviana* L.), para frutos almacenados sin control de temperatura y sin uso de empaque

*Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial del sabor de uchuva (*Physalis peruviana* L.)*

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
1	5	4	3	5	5	5
2	5	5	4	3	3	3
3	5	4	5	5	5	5
4	5	4	3	3	5	3
5	1	5	5	4	5	3
6	5	5	5	5	5	5
7	4	5	5	3	4	4
8	4	4	2	1	3	1
9	5	4	5	4	5	3
10	4	5	4	4	2	2
11	4	4	5	4	5	5
12	5	5	5	5	5	4
13	4	5	3	1	3	2
14	2	5	4	5	3	4
15	5	1	3	4	5	4
16	3	5	5	5	3	3
17	5	4	3	5	5	4
18	2	2	4	1	5	1
19	2	3	1	5	5	3
20	4	5	5	3	3	4
21	3	5	3	5	5	2
22	5	5	5	5	5	5
23	5	5	4	4	5	3

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
24	5	5	1	5	5	5
25	4	5	5	5	3	4
26	5	4	4	4	4	2
27	5	5	2	3	3	4
28	1	1	1	1	1	1
29	4	2	2	5	4	1
30	3	4	4	5	4	2
31	1	5	3	4	2	4
32	5	4	2	4	4	4
33	5	4	4	4	4	2
34	1	5	5	1	2	5
35	3	4	5	3	1	4
36	5	5	1	4	5	2
37	5	3	4	2	3	2
38	3	4	5	5	2	3
39	5	2	3	1	2	1
40	5	5	5	5	5	5
41	5	2	1	5	1	4
42	5	1	2	5	4	3
43	4	3	5	3	5	4
44	4	3	1	4	4	3
45	3	4	1	4	4	2
46	3	5	5	3	1	3
47	4	4	4	1	3	4
48	5	4	3	4	5	4
49	5	3	5	5	5	3
50	4	5	5	5	5	3
PUNTAJE TOTAL	199	200	179	189	190	162
PROMEDIO	3,98	4	3,58	3,78	3,8	3,24

Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial del color de uchuva (Physalis peruviana L.)

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
1	5	4	5	4	5	3
2	4	5	4	5	5	2
3	5	5	4	4	3	3
4	4	4	2	4	3	3
5	3	5	4	4	3	3
6	5	5	4	5	1	5
7	2	4	5	4	2	2
8	4	5	3	5	3	2
9	3	5	4	5	4	4
10	5	5	5	4	3	2
11	4	5	2	5	2	1
12	5	4	4	2	2	1
13	1	4	4	5	2	5
14	5	4	3	4	3	1
15	4	2	4	4	2	1
16	4	2	5	5	3	1
17	5	1	4	5	2	3
18	5	5	4	5	4	3
19	5	5	5	5	5	4
20	5	5	4	3	4	3
21	3	5	5	4	3	2
22	4	3	5	4	5	2
23	2	5	5	5	4	3
24	5	5	4	4	3	2
25	5	5	4	5	4	3
26	5	5	3	5	3	2
27	5	4	5	5	4	4
28	5	3	5	4	5	4
29	5	3	4	1	1	2

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
30	5	5	3	4	3	3
31	3	4	2	5	5	2
32	5	5	3	2	4	1
33	4	5	4	4	4	3
34	5	5	5	5	4	5
35	4	5	4	5	3	2
36	5	4	3	2	2	2
37	5	4	4	3	3	1
38	3	4	2	4	4	4
39	5	3	4	5	1	2
40	1	2	5	4	3	2
41	1	5	4	4	3	2
42	5	4	5	5	3	3
43	5	4	4	2	1	3
44	5	5	5	5	5	5
45	5	5	5	5	5	5
46	5	5	5	5	5	5
47	5	5	4	5	4	4
48	5	5	5	5	5	5
49	5	5	4	5	3	3
50	1	1	1	3	1	5
PUNTUACION TOTAL	209	212	200	211	164	143
PROMEDIO	4,18	4,24	4	4,22	3,28	2,86

Consolidado de datos obtenidos durante la evaluación sensorial de la textura de uchuva (Physalis peruviana L.)

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
1	2	5	2	2	3	2
2	5	5	5	2	2	1
3	4	3	3	3	3	3
4	4	5	3	2	3	1
5	1	5	3	2	3	2
6	5	4	5	3	1	2
7	4	3	5	3	3	4
8	5	4	5	4	3	3
9	3	5	2	3	4	2
10	4	5	5	4	3	5
11	3	5	3	5	4	2
12	1	5	3	4	2	1
13	4	5	3	2	1	2
14	4	5	5	5	4	5
15	5	4	5	2	2	1
16	4	5	5	2	4	5
17	2	5	4	2	4	3
18	3	5	4	5	5	3
19	4	5	5	4	4	4
20	5	5	4	4	3	1
21	1	5	5	5	5	5
22	5	2	1	3	4	5
23	5	4	4	3	3	3
24	5	2	3	4	5	1
25	5	5	2	2	1	1
26	4	5	2	2	2	5
27	1	5	3	4	3	2
28	5	5	2	3	4	3
29	1	5	3	3	4	1

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
30	3	5	1	1	5	4
31	3	4	5	2	5	1
32	5	4	4	4	3	4
33	2	4	5	5	5	2
34	2	5	5	5	5	5
35	3	4	4	5	5	3
36	5	4	5	4	5	4
37	4	4	3	4	3	4
38	5	5	4	3	3	3
39	3	4	5	2	4	4
40	1	5	5	5	1	5
41	1	5	5	4	4	4
42	5	5	5	5	5	5
43	4	3	4	5	5	4
44	5	3	5	4	3	4
45	5	5	4	3	4	1
46	4	5	4	2	2	1
47	3	5	5	5	5	4
48	2	4	5	4	5	4
49	5	4	5	3	2	3
50	5	3	4	3	3	2
PUNTAJE TOTAL	179	221	196	170	174	149
PROMEDIO	3,58	4,42	3,92	3,4	3,48	2,98

*Formato general de calificación utilizado en la evaluación sensorial de textura, color y sabor de uchuva (*Physalis peruviana* L.)*

EVALUACION SENSORIAL PARA UCHUVA (<i>Physalis peruviana</i> L.)						
Usted está apunto de realizar una prueba sensorial de las propiedades de Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.); frente a usted tiene 6 muestras de fruta, de acuerdo a su percepción, elija que tanto le agrada o le disgusta [Propiedad a evaluar] de cada una de las muestras, teniendo en cuenta la escala que se presenta en la siguiente tabla. Marque con una “X”.						
	[Propiedad a evaluar]					
	457	323	765	343	575	345
Me gusta mucho.						
Me gusta ligeramente.						
Ni me gusta ni me disgusta.						
Me disgusta ligeramente.						
Me disgusta mucho.						

Nota: En la sección [Propiedad a evaluar] se debe remplazar por la propiedad sensorial correspondiente ya sea color, sabor o textura - La codificación de las muestras se realizó de la siguiente forma: 457 = día 0, 76 5= día 3, 323 = día 6, 575 = día 9, 345 = día 12, 343 = día 15.

Anexo C. Registro fotográfico correspondiente a la metodología aplicada en la presente investigación.

Fotografías durante la selección y adecuación de la materia prima.

1)



2)

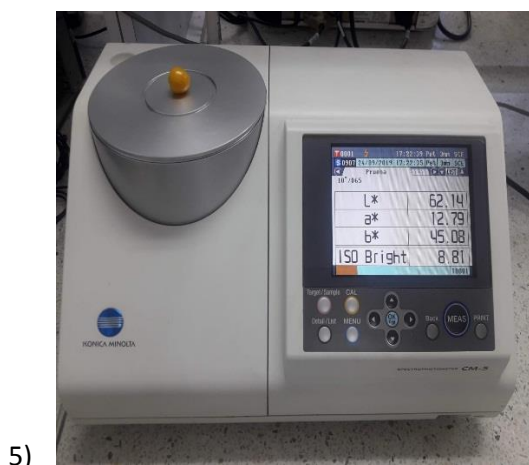
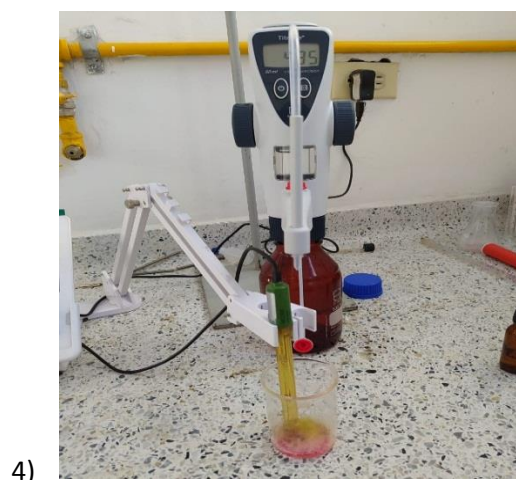
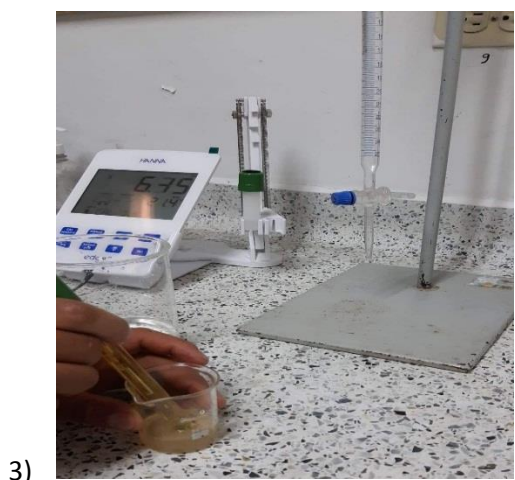
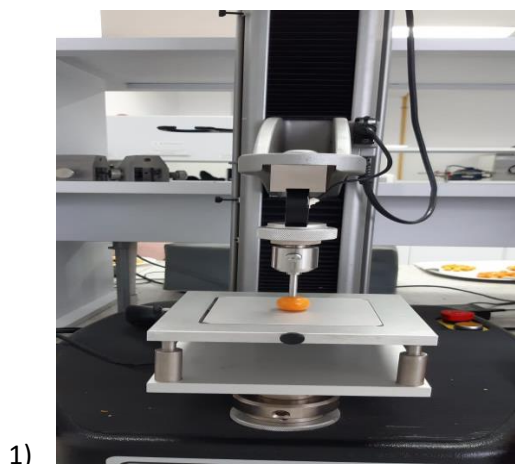


3)



Nota: Las fotografías presentadas en la figura 14 corresponden a: 1) Selección de la materia prima en campo, 2) Selección y clasificación de la materia prima en las instalaciones del laboratorio de investigación, 3) Estado de madurez seleccionado para la presente investigación.

Fotografías correspondientes a las diferentes pruebas fisicoquímicas.



Nota: Las fotografías presentadas corresponden a: 1) Determinación de la firmeza del fruto, 2) Determinación de la cantidad de sólidos solubles totales C, 3) Medición del pH del suma del fruto, 4) Determinación del porcentaje de acidez, 5) Determinación del color, 6) Medición del porcentaje de CO₂ para respiración.

*Fotografías correspondientes a la prueba sensorial hedónica aplicada a uchuva (*Physalis peruviana* L.), almacenada sin uso de empaques y sin control de temperatura.*





4)

Nota: Las fotografías presentadas corresponden a: 1) Uchuva almacenada sin ningún tipo de empaque y sin control de la temperatura en diferentes tiempos de almacenamiento (Miras figura 13), 2) Consumidor de uchuva (*Physalis peruviana* L.) describiendo sensorialmente al fruto, 3) Consumidores de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante la prueba sensorial, 4) Consumidor del fruto recibiendo la explicación de cómo realizar la prueba sensorial.

Anexo D. Registro fotográfico correspondiente a los frutos almacenados en diferentes tipos de empaque y de los frutos después del periodo de almacenamiento a las diferentes temperaturas.

*Fotografías de uchuvas (*Physalis peruviana* L.), almacenadas en bolsas PEBD.*



Nota: Las fotografías presentadas corresponden a: 1) Frutos en estado de madurez 3 recién empacados, 2) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 4 C, 3) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 11 C, 4) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 18 C.

Fotografías de uchuvas (Physalis peruviana L.), almacenadas en bandejas PS recubiertas con film PEBD.

1)



2)



3)



4)



Nota: Las fotografías presentadas corresponden a: 1) Frutos en estado de madurez recién empacados, 2) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 4 C, 3) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 11 C, 4) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 18 C.

Fotografías de uchuvas (Physalis peruviana L.), almacenadas en cajas PET con perforaciones.



Nota: Las fotografías presentadas corresponden a: 1) Frutos en estado de madurez recién empacados, 2) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 4 C, 3) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 11 C, 4) Frutos después de 15 días de almacenamiento a 18 C.

Anexo E. Resultados de los ajustes obtenidos para los diferentes modelos

Resultados obtenidos en los modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color de uchuva (Physalis peruviana L.).

Modelo matemático	Temperatura	R ² (Firmeza)	R ² (Índice de color)
Orden 0	4	0,83	0,88
	11	0,81	0,92
	18	0,89	0,88
Orden 1	4	0,90	0,97
	11	0,92	0,95
	18	0,93	0,99
Orden 2	4	0,72	0,90
	11	0,85	0,92
	18	0,78	0,96
Michaelis - Menten	4	0,95	0,88
	11	0,90	0,90
	18	0,88	0,91
Logístico	4	0,96	0,90
	11	0,98	0,94
	18	0,95	0,89
Primer orden con conversión factorial	4	0,05	-
	11	0,82	-
	18	0,73	-
Fourier	4	0,58	0,85
	11	0,81	0,89
	18	0,67	0,91

Fuente. Esta investigación