

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL POSTCOSECHA DEL LULO (*Solanum quitoense*
Lam) EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EMPAQUE.**

WILLIAM DAVID CUATIN QUIGUANTAR

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO**

2022

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL POSTCOSECHA DEL LULO (*Solanum quitoense*
Lam) EN DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EMPAQUE.**

WILLIAM DAVID CUATIN QUIGUANTAR

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

Asesor:

Ph. D William Albarracín Hernandez.

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.

Puntaje: 89

Ph. D OSWALDO OSORIO MORA

Jurado

Ms. C DAVID FERNANDO LÓPEZ ENRIQUEZ

Jurado

Ph. D WILLIAM ALBARRACÍN HERNANDEZ

Asesor

Pasto, Marzo de 2022

Nota del autor

William D. Cuatin, Facultad de ingeniería agroindustrial, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.

Este trabajo grado fue financiado a través del proyecto titulado “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

Convocatoria de Colciencias 818 -2018, creada a partir del programa nacional de ciencia, tecnología e innovación en ciencias agropecuarias.

Cualquier mensaje con respecto a este trabajo deber ser enviado a la facultad de ingeniería agroindustrial de la Universidad de Nariño, a través del correo electrónico

miller.david@udenar.edu.co.

Dedicatoria

A Dios padre todo poderoso quien es el que dispone de mi vida para su servicio y es quien me permite estar en este momento para cumplir una meta más, a él le brindo y encomiendo mi futuro.

A mi madre Blanca Fabiola Quiguntar por su amor incondicional, por ser mi amiga y compañera de aventuras, te dedico esta meta con la finalidad de hacerte sentir orgullosa de mí; espero vivir muchos momentos felices a tu lado.

A mi padre (abuelo), José Salomón Quiguntar con su sabiduría y entusiasmo me ha motivado a salir adelante en la conquista de mis metas, quiero agradecerle por sus consejos y principalmente por un mensaje que ha calado mucho en mi vida “cuando un palo se pone duro toca que darle más duro”, eso quiere decir dedicación y gracias eso estoy aquí papa, muchas gracias.

A mi padrino Carlos Cuastumal, una persona que me ha ayudado a crecer y sobre todo con su apoyo incondicional.

A mi novia Dolores del Carmen Martínez, que con su cariño y buenas palabras me invita a que de lo mejor de mí en todas las actividades en las que estoy participando.

David Cuatín

Agradecimientos

Para que este trabajo de grado pueda desarrollarse y llegar a feliz término es necesario que agradezca a:

La Universidad de Nariño por colocar a disposición su capital humano e infraestructura para la realización de mi trabajo de grado y terminar mi formación como ingeniero agroindustrial.

Al proyecto titulado “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.

Al profesor Ph. D Oswaldo Osorio Mora por acogerme en el grupo de investigación GAIDA, lo cual ha permitido incursionar en el mundo de la investigación, que es una actividad de gran aporte a la construcción de soluciones para los problemas que tiene la sociedad, que para mi caso son desde el cómo de la ingeniería agroindustrial.

Al profesor Ph. D William Albarracín Hernandez, por ser mi asesor de trabajo de grado, quien con sus consejos y aportes construimos una propuesta solida de investigación genere un aporte real a la generación de conocimiento.

A mi compañero y amigo, Luis Julian Palma Mallama que compartió conmigo todo el proceso de investigación, generando aportes, colaborando en los ensayos, viviendo lo bueno y lo malo de la realización de este trabajo que hoy se consolida.

Resumen

El lulo (*Solanum quitoense* Lam) es un fruto que por su valor nutricional, características, sabor y creciente consumo se lo cataloga como promisorio, con grandes posibilidades de expansión en mercados a nivel nacional e internacional, pero su explotación se hace con baja implementación de tecnología lo cual conlleva a que se presenten altas pérdidas postcosecha, en busca de contribuir a la disminución de este problema, se estudió el comportamiento postcosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam) proveniente de la vereda el PALMAR del municipio de Buesaco (N). el fruto se almacenó con variación en el empaque y temperatura durante un periodo de 15 días con una humedad relativa de 75%, realizando un seguimiento constante de sus propiedades fisicoquímicas en los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15; partir de los resultados se definió como el mejor empaque la bandeja de poliestireno recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad porque el fruto presentó una menor variación de las propiedades fisicoquímicas. También se realizó una evaluación sensorial con una escala hedónica de 7 puntos al fruto almacenado a temperatura ambiente y sin ningún tipo de empaque, evaluando sensorialmente la textura, color y sabor del lulo (*Solanum quitoense* Lam), al mismo tiempo que se realizaba el seguimiento de sus propiedades fisicoquímicas; del análisis de datos de esta prueba se determinó los valores críticos de aceptabilidad, $82,11 \pm 2,901$ N para la firmeza y $5,997 \pm 1,072$ para el índice color.

Finalmente, teniendo en cuenta el mejor empaque con sus correspondientes datos de firmeza e índice de color obtenidos a las diferentes temperaturas de almacenamiento, se aplicó un modelamiento matemático, el cual se ajustó a uno de primer orden para la firmeza y de tipo logístico para el índice de color, obteniendo que la vida útil del fruto es de hasta 14 días después del empacado.

Palabras clave: lulo, postcosecha, conservación, vida útil, modelamiento matemático.

Abstract

The lulo (*Solanum quitoense* Lam) is a fruit that, due to its nutritional value, characteristics, flavor and growing consumption, is classified as promising, with great possibilities for expansion in national and international markets, but its exploitation is done with low implementation of technology which leads to high post-harvest losses, in search of contributing to the reduction of this problem, the post-harvest behavior of lulo (*Solanum quitoense* Lam) from the village of El PALMAR in the municipality of Buesaco (N) was studied. the fruit was stored with variation in packaging and temperature for a period of 15 days with a relative humidity of 75%, constantly monitoring its physicochemical properties on days 0, 3, 6, 9, 12 and 15; Based on the results, the best packaging was defined as the polystyrene tray covered with a low-density polyethylene plastic layer because the fruit presented less variation in physicochemical properties. A sensory evaluation was also carried out with a hedonic scale of 7 points to the fruit stored at room temperature and without any type of packaging, evaluating sensorially the texture, color and flavor of the lulo (*Solanum quitoense* Lam), at the same time that the follow-up was carried out. of its physicochemical properties; From the data analysis of this test, the critical values of acceptability were determined, 82.11 ± 2.901 N for firmness and 5.997 ± 1.072 for the color index. Finally, taking into account the best packaging with its corresponding data of firmness and color index obtained at the different storage temperatures, a mathematical modeling was applied, which was adjusted to one of the first order for firmness and of a logistic type for storage. color index, obtaining that the useful life of the fruit is up to 14 days after packaging.

Keywords: lulo, postharvest, conservation, shelf life, mathematical modeling

Contenido

	pág.
Introducción	21
1. Planteamiento del problema.	22
2. Justificación.....	24
3. Objetivos	26
3.1 Objetivo general	26
3.2 Objetivos específicos.....	26
4. Marco teórico	27
4.1 Generalidades y datos importantes del lulo (Solanum quitoense Lam)	27
4.2 Parámetros fisicoquímicos de interés en el lulo (Solanum quitoense Lam).	31
4.2.1 El color.....	31
4.2.2 La firmeza.	32
4.2.3 El pH.	33
4.2.4 La acidez titulable.....	34
4.2.5 Los sólidos solubles.	35
4.2.6 La pérdida de peso.	35
4.2.7 La respiración.	36
4.3 Empaque.	37
4.4 Pruebas sensoriales	40

4.5 Estimación de la vida útil.	40
5. Marco Referencial	42
6. Metodología	48
6.1 Ubicación del cultivo y del laboratorio de investigación	48
6.2 Diseño de experimentos y análisis de datos	48
6.3 Recepción de la materia prima y empaque	49
6.4 Metodología del objetivo específico uno.....	52
6.4.1 Medición de los sólidos solubles totales.....	52
6.4.2 Medición de la acidez titulable.	52
6.4.3 Medición del pH	53
6.4.4 Medición de la pérdida de peso	53
6.4.5 Medición del color	54
6.4.6 Medición de la firmeza	56
6.4.7 Medición de la respiración.....	56
6.5 Metodología del objetivo específico dos	59
6.6 Metodología objetivo específico tres.....	63
6.6.1 Modelamiento de la firmeza e índice de color del lulo (Solanum quitoense Lam). ...	63
6.6.2 Determinación de la vida útil del lulo (Solanum quitoense Lam)	65

7. Resultados y discusión.	67
7.1 Resultados de objetivo específico uno, seguimiento a las propiedades fisicoquímicas.	67
7.1.1 Sólidos Solubles Totales	67
7.1.2 Acidez titulable.	70
7.1.3 pH.	73
7.1.4 Pérdida de peso	77
7.1.5 Color	79
7.1.6 Firmeza	83
7.1.7 Respiración.	88
7.2 Resultado de objetivo específico dos, análisis de sensorial.....	92
7.2.1 Evaluación sensorial de la textura.	92
7.2.2 Evaluación sensorial del color.	94
7.2.3 Evaluación sensorial del sabor.....	95
7.2.4 Análisis de la pregunta de información	96
7.2.5 Análisis general por el método de la lógica difusa	98
7.3 Resultado de objetivo específico tres, modelamiento matemático	101
7.3.1 Modelamiento de la firmeza.	102
7.3.2 Modelamiento del índice de color.	106

Conclusiones	113
Referencias	115
Apéndice	131

Índice de tablas

	pág.
Tabla 1. Enfermedades y plagas que afectan al fruto del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).	28
Tabla 2. Composición química del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) presentado en una muestra de 100 gramos de pulpa de lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).	29
Tabla 3. Composición química parcial del fruto de <i>Solanum quitoense</i> Lam para las dos formas de cultivo.	29
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de tres grados de madurez en frutos del lulo teniendo en cuenta el Índice de madurez: grado M1 corresponde a verde entre 75 y 100%, el grado 2 (M2) a 50% verde y el grado 3 (M3) entre 0 y 15% verde	30
Tabla 5. Diseño de experimentos completamente al azar con dos factores (temperatura y empaque) y tres niveles, para el desarrollo del proceso de investigación en el estudio de la vida útil del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).	49
Tabla 6. Modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color	64
Tabla 7. Seguimiento al comportamiento de pérdida de peso expresado (%) durante los 15 días de almacenamiento del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.	67
Tabla 8. Análisis de varianza para la evaluación sensorial de la textura del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.	92
Tabla 9. Análisis de varianza para la evaluación sensorial del color del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.	94
Tabla 10. Análisis de varianza para la evaluación sensorial del sabor del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.	95

Tabla 11. Resultados de la evaluación sensorial del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam): percepción de calidad exterior (W) por medio del método de la lógica difusa	99
Tabla 12. Resultados de la evaluación sensorial del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam): sabor (D) por medio del método de la lógica difusa	99
Tabla 14. Parámetros del modelo del modelo de orden uno para la firmeza para diferentes temperaturas de almacenamiento.	103
Tabla 15. Energía de activación y factor preexponencial de la ecuación tipo Arrhenius para la constante cinética k del modelo de primer orden de la firmeza del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).....	104
Tabla 16. Parámetros del modelo del modelo logístico de la firmeza para diferentes temperaturas de almacenamiento.	107
Tabla 17. Energía de activación y factor preexponencial de la ecuación tipo Arrhenius para las constantes cinéticas k y t_m del modelo logístico del índice de color del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).....	109

Índice de figuras

pág.

Figura 1.	Recepción, limpieza, lavado, desinfección y secado del lulo (Solanum quitoense	50
Figura 2.	Cámara climatizada utilizada para el almacenamiento del lulo (Solanum quitoense) a las condiciones propias de cada tratamiento, temperatura e iluminación.	
	BIOBASE	51
Figura 3.	Medición la acidez titulable en el zumo del lulo (Solanum quitoense Lam).....	53
Figura 4.	Medición de la pérdida de peso del lulo (Solanum quitoense Lam) en la balanza	54
Figura 5.	Medición del color del lulo (Solanum quitoense Lam) utilizando el colorímetro	55
Figura 6.	Medición de textura de lulo (Solanum quitoense Lam) mediante el texturometro LLOYD	56
Figura 7.	Instalación de válvula en la válvula para medición de la respiración del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en bolsa de PEBD.....	58
Figura 8.	Analizador de Etileno CO ₂ y O ₂ F-950, utilizado para la medición de la respiración del lulo (Solanum quitoense Lam).	59
Figura 9.	Disposición del área de trabajo en el salón comunal del barrio Las Quintas de San Pedro para la prueba sensorial del Lulo (Solanum quitoense Lam).....	61
Figura 10.	Paneles sensoriales no entrenados realizando la prueba sensorial al lulo (Solanum quitoense Lam) el salón comunal del barrio Las Quintas de San Pedro.....	61

Figura 11.	Seguimiento al comportamiento de la cantidad de solidos solubles totales presentes en la pulpa del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.....	68
Figura 12.	Seguimiento al comportamiento de la acidez titulable expresada como porcentaje de la pulpa del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.....	72
Figura 13.	Seguimiento al comportamiento del pH de la pulpa del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.....	75
Figura 14.	Acumulación de líquidos durante el almacenamiento del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) en bolsa de PEBD.....	79
Figura 15.	Seguimiento del índice de color del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.	81
Figura 16.	Seguimiento al comportamiento de la firmeza (N) de la pulpa del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.....	85
Figura 17.	Seguimiento al comportamiento de la respiración del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes	89
Figura 18.	Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial de la textura del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).....	93
Figura 19.	Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial del color del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).....	94
Figura 20.	Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial del sabor del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam).....	95

- Figura 21. Distribución porcentual de la respuesta a la pregunta ¿Al momento de la compra del fruto usted que tiene en cuenta? cuyas respuestas fueron a) color, b) textura, c) ambas características, d) ninguna de las anteriores..... 97
- Figura 22. Seguimiento al comportamiento de la respiración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en condiciones ambientales del municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia..... 99
- Figura 23. Comparación de la tendencia del modelo de orden uno con los valores de firmeza obtenidos durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes..... 102
- Figura 24. Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) a cada temperatura de almacenamiento..... 104
- Figura 25. Comparación de la tendencia del modelo logístico con los valores de índice de color obtenidos durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes..... 106
- Figura 26. Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) a cada temperatura de almacenamiento. 108
- Figura 27. Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de tiempo medio de respuesta del índice de color (t_m) a cada temperatura de almacenamiento. 109

Índice de Apéndices

pág.

Apéndice 1.	Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en bandeja(PS) recubierta con capa plástica de (PEBD) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.	131
Apéndice 2.	Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en bolsa depolietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.	132
Apéndice 3.	Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en caja detereftalato de polietileno (PET) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.....	133
Apéndice 4.	Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en condiciones ambiente del municipio de San Juan de Pasto.	134
Apéndice 5.	Consolidado de datos de textura y color obtenidos de la evaluación sensorial del lulo (Solanum quitoense Lam).	135
Apéndice 6.	Consolidado de datos de sabor obtenidos de la evaluación sensorial del lulo (Solanum quitoense Lam).	137
Apéndice 7.	Formato general para la evaluación de las propiedades sensoriales de color, textura y sabor del lulo (Solanum quitoense Lam) presentado ante los jueces.	139
Apéndice 8.	Coeficientes y ajuste de los modelos matemáticos de orden cero, orden uno y de tipo logístico, a los datos de firmeza del lulo almacenado en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD).	140

Apéndice 9. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) y tiempo medio de respuesta(t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.....	141
Apéndice 10. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) del modelo de primer orden al modelo de Arrhenius.	142
Apéndice 11. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) del modelo de orden cero al modelo de Arrhenius.	142
Apéndice 12. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) y tiempo medio de respuesta (t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.	142
Apéndice 13. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) y tiempo medio de respuesta (t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.	143
Apéndice 14. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) del modelo de primer orden al modelo de Arrhenius.	143
Apéndice 15. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) del modelo de orden cero al modelo de Arrhenius.	143
Apéndice 16. Fotografías tomadas durante el proceso de investigación del lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam) almacenado con diferentes empaques y temperaturas.	144

Introducción

El presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio postcosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam), el cual que es proveniente de una planta solanácea (Gómez et al., 2014), de tipo climatérico (Monteiro et al., 2013), originario de los Andes, cuyo centro de diversidad se encuentra en Colombia (Alvarez et al., 2016; Ramírez et al., 2018), la comercialización de este fruto se realiza con una baja implementación tecnológica lo que conlleva a que se reporten pérdidas de hasta un 45 % en la etapa postcosecha (Forero et al., 2014; Martín, 2018) dichas pérdidas se reflejan en los costos y en la disminución de las ganancias de todos los eslabones involucrados desde el cultivo, transporte y comercialización del fruto en los diferentes centros de expendio.

Con el desarrollo de esta investigación se buscó evaluar algunas técnicas y metodologías tendientes a aumentar el tiempo de vida útil del fruto, sin sacrificar las propiedades organolépticas, nutricionales y de preferencia del consumidor, basada en el estudio de la relación entre el tipo de empaque con la temperatura de almacenamiento, con el apoyo de una evaluación sensorial con el fruto almacenado a temperatura ambiente, sin ningún tipo de empaque, realizada con 46 jueces no entrenados utilizando una escala hedónica de 7 puntos, finalmente los resultados se interpretan con ayuda del modelamiento matemático para obtener así las mejores condiciones de almacenamiento que garantice la vida útil, que según Hernández et al. (1999) es el periodo que transcurre desde la puesta en el mercado de un producto hasta que llegue a un consumidor; los resultados puedan ser aplicables de manera sencilla, generando así un impacto a la mitigación del problema planteado para el lulo (*Solanum quitoense* Lam).

1. Planteamiento del problema.

En la etapa de la postcosecha cuando no se almacenan y transportan los frutos correctamente, estos pierden sus características propias de turgencia, entrando prematuramente al periodo de senescencia y como resultado serán rechazados por el consumidor final (Rodriguez & Restrepo, 2011), el lulo (*Solanum quitoense* Lam) presenta un problema en esta etapa por culpa del manejo inadecuado que se le da, donde se ha reportado pérdidas aproximadas a un 45% por (Forero et al., 2014; Martín, 2018), el fruto se clasifica como climatérico (Monteiro et al., 2013), lo quiere decir que es capaz de generar etileno, un compuesto químico implicado directamente en el proceso de maduración aún separado de la planta, convirtiéndolo en un fruto autónomo desde el punto de vista madurativo, ya que el sabor, aroma, color y textura están asociados directamente a un transitorio pico respiratorio (punto climatérico) (Ramírez et al., 2018), lo que se busca es que se retarde este punto, ya que desde su alcance comienza la senescencia del fruto, sin contar con que puede verse influenciado por los daños mecánicos o la contaminación con microorganismos, los cuales aceleran los procesos de degradación, acarreando pérdidas económicas y daños graves a la salud de los consumidores (C. García et al., 2012).

El estudio del empaque puede ayudar a la mitigación de este problema, particularmente el que es utilizado cuando el fruto en puesto a la venta al consumidor en tiendas, supermercados o centros de abasto, este empaque debe de cumplir con la prioridad de proteger el producto, eliminar influencias de la manipulación y uniformizar su presentación en el mercado, evitando la migración de componentes del empaque al alimento, permeación de los gases y al vapor de agua, (Raquel et al., 2014); las características mencionadas anteriormente no han cambiado en mucho tiempo, aunque siempre se está actualizando la tecnología de conservación, con el uso de desinfectantes, tratamientos térmicos, aditivos químicos, empaques en atmósferas modificadas,

almacenamiento a bajas temperaturas, etc (Escobar et al., 2014), entonces la finalidad de esta investigación es profundizar en el papel conjunto que juega el empaque y la temperatura en la conservación del lulo (*Solanum quitoense* Lam) y además apoyado con el uso de modelamiento matemático que ayudaría a realizar un seguimiento de la calidad del fruto durante el almacenamiento, garantizando un producto de calidad para el consumidor, disminuyendo pérdidas postcosecha y hacer de este fruto más rentable en su comercio.

2. Justificación

Colombia es el tercer país de América Latina con la mayor cantidad de hectáreas cultivadas con frutas, particularmente en Colombia el cultivo del de lulo en sus diferentes variedades abarca 10.539 hectáreas, con un incremento de 7.912 hectáreas con un rendimiento 8 ton/a en el año 2007 a 10.623 hectáreas con un rendimiento de 9,6 ton/a en el año 2015 según Minagricultura, (2016) de 67.473 toneladas en 2012 a 79.872 toneladas en 2017 según Hinestroza et al., (2020), pese a los problemas que puede tener el fruto a lo largo de la cadena de comercialización, el lulo (*Solanum quitoense* Lam) que ha ido adquiriendo un gran potencial a nivel nacional o para ser exportado a otros mercados como el estadounidense o el europeo (Viera et al., 2021), de hecho, los Estados Unidos es el país con mayor importación de este fruto para su consumo, siendo su mayor proveedor el Perú, pero sigue habiendo otro mercado insatisfecho como el europeo el cual podría aprovechar nuestro país, pues se está dejando perder los beneficios de los tratados comerciales que tiene Colombia con algunos países de este grupo (J. Acosta, 2019), un dato que corrobora que no se explota el mercado internacional por la baja cantidad de lulo (*Solanum quitoense* Lam) que se exporta desde Colombia, pues según la Asociación Nacional de Comercio Exterior que para el año 2017 tan solo se exportaron 33,35 toneladas de fruta en fresco con un precio alrededor de 95861,70 USB, lo cual es muy poco en comparación con otras frutas como la uchuva con 6333 ton, gulupa con 6587 ton, piña tropical con 16683 ton, en el mismo periodo mencionado (ANALDEX, 2018).

Los datos muestran que la producción del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en nuestro país ha visto un incremento en los últimos años, algo similar ha ocurrido con el precio, donde el kilo de lulo (*Solanum quitoense* Lam), en las diferentes ciudades del país oscila en un valor de \$ 3200, precio mayorista (DANE, 2019, 2020, 2021), este precio se puede elevar mucho más en el

mercado internacional donde el costo puede estar alrededor de los \$ 5400 pesos dependiendo del mercado de destino y cabe mencionar que tan solo se exporta el 1% de la producción nacional del lulo, el resto se consume en los mercados nacionales (Arias & Rendon, 2015), pero a nivel general estos precios se mantienen con tendencia estable o creciente, tanto a nivel regional, nacional e internacional (DANE, 2019; Corabastos, 2019).

A nivel regional el Ministerio de Agricultura en el año 2017 mencionó que se sembraron 252.538 hectáreas en el departamento de Nariño, donde la actividad agropecuaria sigue siendo la base económica del departamento, siendo el sector que porta alrededor del 14,8% de PIB del departamento (Mincomercio, 2019), además se estima que el departamento de Nariño tuvo un área sembrada entre las 500 a 1000 hectáreas de lulo (*Solanum quitoense* Lam) para el año 2018, donde la principal problemática es que se realiza de manera artesanal, donde se calcula que el 74% de la producción se realiza bajo el esquema de agricultura campesina, con una baja implementación de tecnología avanzada (Martín, 2018).

El tiempo de vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam) a temperatura ambiente y estado de madures fisiológica es de 6 a 8 días según Acosta et al., (2009), 7 días según Trujillo & Suares, (2010), 8 días según Andrade et al., (2018); con el desarrollo de esta investigación se buscó aumentar el tiempo de vida útil del fruto, sin sacrificar las propiedades organolépticas, nutricionales y la preferencia del consumidor, haciendo uso de la modelación matemática como un recurso confiable de consulta para predecir la vida útil del de fruto, con la ventaja de ser aplicables de manera inmediata y sencilla, ayudando a la disminución de las pérdidas postcosecha que presenta este fruto.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la vida útil del Lulo (*Solanum quitoense* Lam) en diferentes condiciones de almacenamiento y empaque.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del Lulo (*Solanum quitoense* Lam) en almacenamiento a diferentes temperaturas y tipos de empaque
- Determinar mediante análisis sensorial del lulo (*Solanum quitoense* Lam) la mejor condición de preferencia y aceptabilidad por parte del consumidor.
- Establecer los modelos matemáticos para la vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam) teniendo en cuenta los parámetros de firmeza e índice de color, en relación con el empaque y temperatura de almacenamiento.

4. Marco teórico

4.1 Generalidades y datos importantes del lulo (*Solanum quitoense* Lam)

El lulo (*Solanum quitoense* Lam), es una planta solanácea que produce un fruto de exquisito sabor (Gómez et al., 2014), es un fruto climatérico (Monteiro et al., 2013), originario de los Andes, cuyo centro de diversidad se encuentra en Colombia, en donde se cultiva desde los 1300 a 2000 m.s.n.m, a una temperatura entre 14 a 18 °C y con una precipitación que se encuentra entre los 1500 y 2000 mm anuales, es un frutal que se lo considera como promisorio debido a su sabor agri dulce, aroma, color de la pulpa, contenido nutricional, propiedades antioxidantes, medicinales y agroindustriales lo que lo hace atractivo para el mercado nacional e internacional (Alvarez et al., 2016; Ramírez et al., 2018; Alvarez et al., 2021). En Colombia, existen dos tipos de variedades de lulo que se cultivan en el país: *S. quitoense* var. *quitoense*, que es dulce y sin espinas, y *S. quitoense* var. *Septentrional*, que es ácida y con espinas (Morillo et al., 2019).

Como toda planta, el lulo (*Solanum quitoense* Lam) puede sufrir a lo largo de su vida diferentes ataques de enfermedades y plagas, las cuales son controladas por el campesino con el uso constante de agroquímicos, aún así estos aparecen causando daño tanto a la planta como al fruto influyendo directamente el incremento de las pérdidas y en las características de calidad que va a tener el lulo (*Solanum quitoense* Lam) frente al consumidor; a continuación, se presenta en la tabla 1 un resumen de las plagas y enfermedades que amenazan al cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

Tabla 1.

Enfermedades y plagas que afectan al fruto del lulo (Solanum quitoense Lam).

Nombre	Agente Causal	Síntomas
Gusano perforador del fruto	<i>Neoleucinodes elegantalis</i>	El daño comienza con la postura de los huevos en el cáliz del fruto por parte de la hembra, luego al eclosionar los huevos salen unas larvas de color crema las cuales penetran el fruto dejando un pequeño orificio que en pocos días cicatriza, quedando una leve depresión dando el aspecto de una espinilla o pequeños puntos negros en la corteza del fruto del lulo.
Trips o bicho candela	<i>Thrips</i> sp. (<i>Thisanoptera</i> : <i>Thripidae</i>)	Se manifiesta en el envés las hojas con lesiones que al comienzo son áreas blanquecinas que después se vuelven cobrizas y se secan, en el tallo aparecen partes opacas, corchosas y un acortamiento de los entre nudos, en frutos pequeños se pueden observar áreas oscuras que detienen el crecimiento del fruto, si el estado del fruto es más desarrollado se presentan manchas que dan el aspecto de un fruto deshidratado.
Ácaros	<i>Tetranychus cinnabarinus</i> <i>Tetranychus urticae</i> <i>Polyphagotarsonemus latus</i> .	Estos ácaros raspan la epidermis de la lámina foliar por haz como por el envés de las hojas viejas chupando la savia de la planta dando un color café rojizo o cobrizo característico de la parte atacada como también un manchado de los frutos.
Tizón del lulo, gota	<i>Phytophthora infestans</i>	La lesión en el fruto inicia en la base del pedúnculo y avanza irregularmente como una mancha algo deprimida de color café oscuro hacia la región ecuatorial del fruto hasta cubrirlo todo o parcialmente, en estado avanzado hace que se presente una descomposición de la corteza y la pulpa.
Antracnosis del fruto	<i>Glomerella cingulata</i> , <i>Colletotrichum gloeosporoides</i>	Frutos Verdes: en el centro de la lesión se observa una coloración naranja o salmón que corresponde a la esporulación del hongo. Frutos Maduros: la esporulación es menor se presenta una mancha de color café claro que rodea la zona de esporulación.
Nota: Los datos mencionados fueron reportados por: (García et al, 2007), (Rojas, 2004).		

Este fruto es de gran interés al ser catalogado como promisorio por su palatabilidad y valor nutricional (Arias & Rendon, 2015), por la característica anterior se reporta la composición de este fruto en la tabla 3, la cual puede ir variado según las características genotípicas, fenotípicos o manejo del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

Tabla 2.

Composición química del lulo (Solanum quitoense Lam) presentado en una muestra de 100 gramos de pulpa de lulo (Solanum quitoense Lam).

Composición	Contenido	Composición	Contenido
Agua	92.2 g	Sacarosa	1.08 g
Calorías	24 kcal	Glucosa	0.52 g
Proteínas	0.6 g	Fructosa	0.75 g
Grasa	0.0001 g	Cenizas	0.7 g
Carbohidratos Disponibles.	5.7 g	Hierro	1.19 mg
Fibra Dietaria Total	0.53 g	Fosforo	13.5 mg
Azucares	2.4 g	Vitamina C	37.5 – 95.5 mg
<i>Nota: Los datos mencionados fueron reportados por: (Muñoz, 2016).</i>			

Tabla 3.

Composición química parcial del fruto de Solanum quitoense Lam para las dos formas de cultivo.

Indicador (%)	Convencional	Limpia
pH	2,96 ± 0,20 a	3,07 ± 0,13 a
°Brix (°)	7,31 ± 1,15 a	7,63 ± 2,41 a
Acidez Titulable (%)	1,85 ± 0,35 a	1,84 ± 0,68 a
Humedad	90,74 ± 0,73 a	91,24 ± 1,28 a
Materia seca	9,01 ± 0,45 a	8,75 ± 1,28 a
Proteína	11,20 ± 1,99 a	7,91 ± 0,61 a
Grasas	0,69 ± 0,05 a	1,01 ± 0,50 a
Cenizas	5,84 ± 0,85 a	5,81 ± 0,60 a
Fibras	9,22 ± 0,22 a	7,70 ± 0,62 b
Elementos no nitrogenados	72,84 ± 1,08 b	77,54 ± 1,81 a
<i>Nota: Los datos mencionados fueron reportados por: (Torres et al., 2018).</i>		

Tabla 4.

Propiedades fisicoquímicas de tres grados de madurez en frutos del lulo teniendo en cuenta el

Índice de madurez: grado M1 corresponde a verde entre 75 y 100%, el grado 2 (M2) a 50% verde y el grado 3 (M3) entre 0 y 15% verde.

Propiedades	Grado de madurez		
	M1	M2	M3
Peso (g)	114.72 ± 8.27	114.59 ± 9.74	111.11 ± 7.70
Volumen (cm ³)	123.04 ± 8.46	122.68 ± 10.15	119.59 ± 7.92
Densidad (g/cm ³)	0.93 ± 0.10	0.93 ± 0.01	0.92 ± 0.01
Diámetro equivalente (cm)	4.69 ± 0.13	4.67 ± 0.18	4.60 ± 0.13
Rendimiento de pulpa (%)	63.01 ± 1.56	62.52 ± 1.79	64.50 ± 3.10
Rendimiento de cascara (%)	35.19 ± 1.36	35.71 ± 1.71	35.06 ± 2.27
pH	2.89 ± 0.03 b*	2.91 ± 0.04 ab	2.94 ± 0.03 a
Acidez total (g ácido cítrico/100 g de pulpa)	3.78 ± 0.20	3.52 ± 0.30	3.21 ± 0.38
Sólidos solubles (°Brix)	6.57 ± 0.27 c	7.89 ± 0.46 b	9.03 ± 0.63 a
Índice de madurez	1.83 ± 0.32 c	2.26 ± 0.26 b	2.84 ± 0.38 a
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g de pulpa)	4.16 ± 1.49 c	7.36 ± 1.02 b	11.95 ± 2.78 a

Nota: Los datos mencionados fueron reportados por: (González et al., 2014).

Además, también se ha estudiado el contenido fenólico y la capacidad antioxidante del lulo (*Solanum quitoense* Lam), encontrando que esta fruta presenta alto contenido de este tipo de compuestos (Contreras, Calderón, Guerra, & García, 2011); lo cual, brindando unas propiedades beneficiosas para el consumidor, algunas de ellas se mencionan a continuación (Ortega, 2018):

- Tiene propiedades hidratantes y diuréticas, ya que la pulpa está compuesta en un gran porcentaje por agua, lo que permite eliminar desechos producidos por el cuerpo, así como los líquidos retenidos.
- Excelente para incluir en una dieta de pocas calorías, gracias a su bajo porcentaje de grasas, carbohidratos y azúcares.

- Su nivel de hierro ayuda a la producción de glóbulos rojos y a la oxigenación del cuerpo.
- Contiene pectina un tipo de fibra de propiedades desintoxicantes, que permite la eliminación de toxinas y grasas, lo que nivela el colesterol malo de la sangre.
- Es también fuente de vitamina A y vitamina E, las cuales tienen propiedades antioxidantes.

4.2 Parámetros fisicoquímicos de interés en el lulo (*Solanum quitoense* Lam)

Estos parámetros pueden ser considerados como de interés en el estudio de los productos naturales como las frutas y las verduras, su aplicación suele ser muy sencilla, con resultados se obtienen en poco tiempo, presentando una correlación con el grado de maduración y con la calidad según el criterio del consumidor, que rara vez es completamente satisfactorio, de hecho, es necesario su utilización de manera conjunta para poder garantizar un control adecuado de la calidad de la fruta analizada (Brezmes, 2001).

4.2.1 *El color*

Una de las propiedades de gran importancia, pues permite evaluar la calidad de los alimentos, es considerado como un parámetro crítico en la industria alimentaria tanto para producto fresco como para producto procesado, su determinación se realiza usando métodos como el visual, analítico (colorímetro, espectrofotómetros) o digital (mediante imágenes) (Vásquez, 2015). La variación del color se ha tomado muy en cuenta para analizar el estado y calidad de una fruta, como en el caso de la piña donde se ha realizado una investigación alrededor de la medición del índice de color al exocarpio de la fruta a temperatura ambiente (25 °C), en dicha investigación se observó los diferentes cambios en el color de la piña desde el momento de la cosecha hasta que pierde su vida útil, basado en los cambios en el color se determinó que la vida útil de la piña es

de nueve días, siendo óptima para la comercialización entre el día tres al nueve y los días óptimos para el consumo entre el día quinto al octavo después de ser cosechadas (García et al, 2011); en otra de las investigación realizada a la guayaba pera (*Psidium guajava* cv), se hace un análisis del cambio de color en la fruta a diferente temperatura de almacenamiento junto con el seguimiento en la variación de algunas propiedades fisicoquímicas como el pH, grados °Brix y acidez titulable, se encontró que el color se ve influenciado por la temperatura de almacenamiento ya que a temperatura ambiente puede llegar a tonalidades amarillas y uniformes en la superficie del fruto, mientras que a temperatura de refrigeración no se obtiene la misma medida de color (Katusca, Cerquera, & Gutiérrez, 2013).

4.2.2 La firmeza

Se mide como la cantidad de fuerza por unidad de área requerida para penetrar la cascara o superficie de una fruta (kgf/cm², N), este valor va a ir cambiando a medida que avance el tiempo de almacenamiento del fruto debido a la influencia de factores externos e internos que provocaran varios cambios, entre ellos los que ocurren sobre la hemicelulosa de la pared celular por la solubilización y despolimerización de la pectina, etc (Martínez et al., 2017), el seguimiento de cambios en la firmeza es de gran importancia, puesto que se relaciona directamente con el estado de maduración de la fruta (Brezmes, 2001).

Con el cambio de la firmeza aparecen varios efectos, como por ejemplo se ha mencionado que el durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch), donde esta propiedad no presenta un ablandamiento prematuro, más bien, es un cambio brusco en poco tiempo lo cual es generado por el debilitamiento de la estructura del fruto, y como consecuencia se tiene mayor susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Di Santo, Pagano, & Sozzi, 2009), otra investigación en la uchuva (*Physalis peruviana* L.), que es un fruto promisorio climatérico indica que la

firmeza dependerá directamente del estado de madurez, el valor de la firmeza pasa de 5,393 N en estado inmaduro (color verde) a 1,697 N en estado maduro (color amarillo) (Ciro, Buitrago, & Pérez, 2007).

Se ha hecho estudios en el tema de las enzimas que están involucradas en el proceso de pérdida de firmeza del lulo, se menciona las β -xilosidasas las cuales son exo-enzimas encargadas de hidrolizar el xilano presente en la pared celular vegetal, liberando residuos de β -D-xilosa, las enzimas representan un papel importante en todo cambio que se presenta en el fruto, como por ejemplo en frutos sensibles al frío sometidos a un almacenamiento de bajas temperaturas por periodos muy largos, se puede llegar a presentar cambios en la actividad de las poligalacturonasas y pectinesterasas, las cuales son enzimas que están involucradas en el proceso de ablandamiento de los frutos, viéndose afectadas en su síntesis y acción, lo que es una manifestación del daño por frío (Galvis et al, 2002), observándose manchas negras en la superficie del fruto, estos problemas se presentan mucho más en frutos tropicales ya que son más susceptibles a daños por frío, una manera de evitarlos es mediante el control de la temperatura, la humedad relativa y la tasa de respiración del fruto, es por eso que en caso que se esté trabajando con un fruto tropical se recomienda temperaturas entre los 7-13 °C (J. Alvarez et al., 2021)

4.2.3 El pH

El pH es una de las propiedades de mayor estudio y seguimiento, debido a que con los alimentos está asociada con la cantidad de proteína que contienen, puesto que sus grupos ácidos y básicos contribuyen a un sistema amortiguador de la concentración protónica (Kader, 2002), el pH en conjunto con los ácidos orgánicos provenientes de la naturaleza propia de cada fruto, hacen que normalmente se inhiba el crecimiento de bacterias que no sean las ácido lácticas, por

consiguiente los hongos son los únicos microorganismos predominantes en una fruta (Rangel & López, 2012).

En una investigación desarrollada en la piña (Ananas Comosus) variedad Cayena Lisa, donde de hace un seguimiento a diferentes propiedades fisicoquímicas almacenada a temperatura ambiente se ha encontrado que los valores del pH durante los 9 días de almacenamiento aumenta gradualmente después del día inicial hasta el día 3, alcanzando valores máximos de 4,45, los días 5, 7 y 9 con valores promedios de 4,66, 4,92 y 5,22 respectivamente, estos cambios presentados hacen que el fruto sufra putrefacción y senescencia (García et al., 2011), un comportamiento similar también lo ha reportado Mejía et al., (2012), que en su trabajo se menciona que el pH aumenta a medida que el fruto alcanza su tiempo de maduración.

4.2.4 La acidez titulable

Es la cantidad de ácido presente en una unidad de muestra, es uno de los parámetros que varía a medida que avanza la maduración del fruto (Kader, 2002), y tiene una normatividad que muestra un protocolo para su medición que es la norma técnica colombiana NTC 4623 y su resultado se expresa en gramos de ácido cítrico presentes en cien gramos de pulpa (gr de ácido cítrico / 100 gramos de muestra) (Bernal et al, 2015;González et al., 2014); se ha realizado una investigación en el mango (*Manifera indica* L.) donde se ha variado la temperatura y el tiempo de almacenamiento, donde se ha registrado que la acidez titulable tuvo valores más altos a la temperatura más baja de los ensayos (7 °C), estos valores se pueden deber a que la degradación de los ácidos presentes en el fruto fue interferida por la temperatura, impidiendo la madurez del fruto, este comportamiento es una manifestación de daño por frio, esto es común en frutos tropicales como el mango cuyo almacenamiento a temperaturas bajas puede generar acidificación de los tejidos (Galvis et al., 2002).

4.2.5 Los sólidos solubles

Según los estudios se ha determinado que a medida que avanza el grado de madurez de una fruta la cantidad de sólidos solubles totales aumenta y al mismo tiempo que se disminuye el contenido de ácidos, en la actualidad se debe considerar que no se debe utilizar el término azúcares ya que estos tan solo constituyen el 85% del total de los sólidos, el restante pueden ser algunos ácidos orgánicos de los cuales el más importante es el ácido cítrico (Morin, 1980), se ha mencionado que la uchuva alcanza su más alto contenido de azúcares justo en el momento en que también el fruto alcanza la madurez fisiológica (Fischer & Martínez, 1999), algo similar ocurrió con la gulupa el cual es un fruto climatérico, donde el contenido de SST aumento constantemente entre los estados de madurez 0 y 3 alcanzando un valor de 15,91 °Bx, posterior a estado de madures 3 los aumentos no fueron significativos (Pinzón, Fischer, & Corredor, 2007).

4.2.6 La pérdida de peso

La pérdida de peso es algo que se presenta de manera normal como en todas las frutas y las hortalizas cuya composición es alrededor de un 80% de agua al momento de la cosecha (I. Pinzón et al., 2007), ya que por las diferentes interacciones metabólicas y las condiciones externas a la que se encuentra almacenado el fruto hace que se pierda la reserva de agua, a esto se le conoce como el proceso de transpiración, donde se elimina vapor de agua (H₂O) y gases como el dióxido de carbono (CO₂), causando una influencia en la presentación del fruto, se ha mencionado que una pérdida de peso igual o superior al 10 % podría verse reflejado en la frescura del fruto (E. H. Pinzón et al., 2015), pero esta pérdida de peso puede ser combatida de muchas maneras, como la utilización de un empaque convencional o no convencional (Forero et al., 2014), y complementado con el manejo de la temperatura que en conjunto conforman un método que ha sido demostrado en el desarrollo de diversas investigaciones como en la

granadilla, donde se logró la mejor conservación de esta fruta utilizando una bolsa de polietileno de baja densidad y con refrigeración a 6°C (Alvarado et al., 2011).

4.2.7 La respiración

La respiración es un fenómeno bioquímico muy complejo, según el cual los carbohidratos, polisacáridos, ácidos orgánicos y otras fuentes de energía son metabolizados en moléculas más simples con producción de calor, estos cambios generan las modificaciones en la calidad del producto (Najarro et al., 2016); el seguimiento a esta propiedad se hace mediante la tasa respiratoria (TR) que se define como la cantidad de anhídrido carbónico emitido o de oxígeno consumido por kg de fruta y por hora (Ortolá, 2018). Esta tasa depende de numerosos factores, tales como:

- Los relacionados con el producto (tipo, variedad, madurez, grado de corte) y las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, composición del gas) (Bhande et al., 2008).
- Temperatura: tiene un efecto directo en la velocidad de la actividad respiratoria. A mayor temperatura, mayor actividad respiratoria, lo que acelera el proceso de maduración, mientras que, a bajas temperaturas, la velocidad disminuye (Torrieri et al., 2010).
- Composición atmosférica: las concentraciones O₂ y CO₂ ambientales modifican la velocidad de la actividad respiratoria (Gwanpua et al., 2012).
- Presencia de etileno la estimula la respiración de tejidos y órganos vegetales (Ortolá, 2018).

- Daños mecánicos y microorganismos: provocan un aumento en la actividad respiratoria intensidad de la respuesta depende en gran parte de la severidad de los daños y de la variedad de los frutos (Scherrer et al., 2011)

4.3 Empaque

El empaque juega un papel muy importante en la vida cotidiana de las personas, ya que es útil en muchos campos de la industria, como en el campo alimentario donde cumple funciones específicas tales como contener, proteger, informar y atraer, pero sin abandonar las exigencias de calidad del cliente que estará concentrado en la presentación de los productos, lo cual hace que el empaque sea clave como estrategia de comercialización, conservación y mercadeo. En este sentido, es trascendente tener en cuenta el diseño, el tipo de material usado, las características funcionales del mismo, interacciones que existen entre el empaque y el alimento, migración permeación y sorción, principalmente cuando se incorpora el término “sostenibilidad del empaque” que comprende eficiencia en términos económicos, sociales y ambientales (Navia et al., 2014). El empaque de frutas y hortalizas también debe satisfacer los requerimientos tanto de la naturaleza perecible producto como del mercado, teniendo en cuenta diferentes; (Raquel et al., 2014); esto significa que el empaque es una inversión necesaria a fin de proteger al producto en todas las etapas del proceso de comercialización, manipulación, y estandarización de la presentación del producto ante el consumidor (Argueta et al., 2015),

Durante el almacenamiento que sufre el fruto en cualquier empaque, existe una tendencia a la formación de una micro atmósfera en el interior de este, que influye directamente en la velocidad de las reacciones que presenta el fruto en su interior durante el almacenamiento (Gwanpua et al., 2012), alrededor de este tema según Rangel & López, (2012), se ha creado una línea de investigación clasificada como atmósfera modificada y atmósfera controlada, que en conjunto

con la temperatura y el empaque se ha encaminado a la conservación del producto alimenticio; buscando disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático (S. Ospina & Cartagena, 2008).

La modificación de la atmosfera de un producto empacado puede crearse a partir de la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases (Drake et al, 2005), o de manera natural a partir del cambio continuo durante todo el período de almacenamiento por la influencia de diferentes factores como la respiración del producto envasado, cambios bioquímicos y la lenta difusión de los gases a través del envase (Parry, 1995).

Dicho lo anterior es necesario hablar sobre las propiedades, causas y efectos que generan los gases de la atmósfera modificada en el almacenamiento del alimento de interés, algunos de los gases son:

- **Dióxido de carbono:** es un gas que no tiene color, olor ni sabor, modifica el pH de la superficie del alimento, sirve como inhibidor del crecimiento bacterial y fúngico, hay que tener en cuenta que su acción dependerá de la concentración y la temperatura de almacenamiento ya que este gas aumenta su solubilidad a bajas temperaturas, por lo tanto se debe evitar concentraciones mayores al 20% ya que puede inducir a una fermentación anaerobia; entre los datos importantes se ha encontrado que este gas puede reducir la tasa de respiración de frutas y hortalizas a niveles del 1% e inhibir la acción del etileno (S. Ospina & Cartagena, 2008).
- **Oxígeno:** en la atmósfera modificada al tener una concentración menor a la ambiental (21%) provoca una reducción de la intensidad respiratoria, un retraso en la maduración y un aumento en la vida comercial del producto, se ha reportado que si se usa concentraciones de oxígeno en la atmósfera modificada inferiores al 2.5% puede

generar sabores y olores anormales como consecuencia de la generación de procesos fermentativos, lo que deriva en la producción de alcohol (S. Ospina & Cartagena, 2008).

- Nitrógeno: se lo utiliza como un gas de relleno que es sin olor, color y sabor (S. Ospina & Cartagena, 2008), es un compuesto que es químicamente lo cual es una ventaja ya que no reacciona con ningún compuesto y su solubilidad es muy baja, ayuda a disminuir los procesos oxidativos en productos con alto contenido de grasa (García et al., 2006).

Se ha estudiado la permeabilidad al vapor en relación con la temperatura en un empaque multicapa de polietileno, teniendo como objetivo verificar cual es la influencia en la vida útil del empaque (Alarcon & Rigail, 2005), dentro del mismo tema de empaques, se investigó sobre las películas plásticas de PEBD, PVC, PEBD con adsorbente de etileno y testigo (sin empaque plástico) sobre la calidad de mangos Keitt envasados en cajas de cartón y almacenados por 28 días a 12 °C y 90% HR, se evaluaron los principales parámetros de calidad, encontrando que el PEBD retardando el proceso de maduración de los mangos almacenados a la temperatura de refrigeración o al ambiente en comparación con los frutos testigo (Castro et al., 2003). Todo en vista del mejoramiento de los procesos de conservación del fruto de interés, es por ejemplo la investigación alrededor de la influencia del tipo de empaque en conjunto con la temperatura de almacenamiento aplicado a la granadilla, donde se observó los diferentes cambios en las propiedades fisicoquímicas y al final del periodo de almacenamiento se hace el estudio de una prueba hedónica; donde una de las conclusiones menciona que el tiempo de vida útil alcanzado es de 40 días, logrado en conservación a 6 °C con empaques en bolsas de polietileno de baja densidad, con o sin perforar, (Alvarado et al., 2011).

4.4 Pruebas sensoriales

La evaluación sensorial es una disciplina de la ciencia de los alimentos que permite establecer el grado de aceptación o rechazo de un alimento por parte de los consumidores, soportado en la conformación y entrenamiento de grupos de jueces para el análisis sensorial (Quintana et al., 2016), que además se basa tanto en las características organolépticas comunes de los productos como en las representaciones mentales construidas por grupos específicos de personas o jueces (Barbe et al., 2021).

El análisis sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, tiene la ventaja que la persona tiene consigo todos los instrumentos de análisis, es decir los cinco sentidos (Rodríguez et al., 2015), el análisis sensorial tiene diversas clasificaciones, pero, el de interés para el desarrollo de esta investigación es la evaluación sensorial de tipo hedónico que está fundamentada en el nivel de satisfacción o de insatisfacción que posee un juez con relación al producto evaluado (Andrade et al., 2022),

4.5 Estimación de la vida útil

La modelación matemática se muestra como un eje en la predicción o toma de decisiones respecto de fenómenos sociales o naturales (Ulloa & Rodríguez, 2010); los cambios en las diferentes propiedades de un alimento son de gran interés ya que estos se pueden ajustar a modelos cinéticos que los convierten en parámetros predecibles a lo largo del tiempo, lo que implica en una ventaja al poder predecir la vida útil de un alimento o propiedades como el color, la textura cuales pueden obedecer a cinéticas de orden cero o de primer orden, que a su vez muestran una relación con la temperatura, que puede ser demostrada midiendo el ajuste con el modelo de Arrhenius, (García et al., 2012; Sierra et al., 2019)

Pero dentro del proceso de modelamiento existen otros modelos matemáticos para demostrar la relación que presentan las propiedades a las que se ha realizado el seguimiento, cada modelo tiene en cuenta diversos parámetros y es necesario entender su funcionamiento e influencia dentro de la viable de respuesta, como por ejemplo el Modelo logístico, Modelo de Michael, entre otros (Bhande et al., 2008); cada modelo tiene su comportamiento y su elección depende de la tendencia de los resultados con el respectivo ajuste. (Gwanpua et al., 2012).

5. Marco Referencial

A continuación, se presenta una recolección de los diferentes trabajos realizados alrededor del lulo (*Solanum quitoense* Lam), particularmente en la etapa postcosecha donde se ha investigado su comportamiento fisicoquímico, comercialización, transporte, almacenamiento y conservación, en esta última parte no se ha tenido en cuenta a las técnicas de conservación no convencionales ya que creo que no están relacionadas con el desarrollo de esta investigación:

Ospina et al., (2007) realizaron una caracterización reológica del lulo (*Solanum quitoense* Lam x *Solanum hirtum*) a través de la respuesta mecánica bajo ensayos de compresión unidireccional a pruebas de firmeza y fractura, de acuerdo a dos grados de madurez comercial (pintón y maduro) y tiempos de postcosecha (0, 3, 6, 9 días), también se determinaron propiedades fisicoquímicas tales como concentración de azúcares, pH y color, las frutas fueron sometidas a ensayos de compresión unidireccional usando un analizador de textura a una velocidad de deformación de 1 mm*s, la prueba de fractura se realizó según dos sentidos de carga (longitudinal y transversal) y la prueba de firmeza se determinó en dos ángulos de incidencia, lo que permitió determinar que el comportamiento reológico de la fruta para los ensayos de fractura y firmeza es altamente dependiente del tiempo transcurrido después de la cosecha de la fruta y el grado de madurez. Los valores de la fuerza de fractura indicaron que la fruta pintona resiste mayor carga de aplastamiento con respecto al fruta madura, la fruta resiste más carga en sentido longitudinal que transversal, mostrando valores para frutas pintonas en posición longitudinal de 226 N y en posición transversal de 84,8 N, y para las frutas maduras se encontró una fuerza de fractura media en posición longitudinal de 180 N y en posición transversal de 68,5N, para la fuerza de firmeza media (pulpa) el valor máximo para frutas

maduras fue de 1,4 N, y para frutas pintonas de 1,1 N, la fuerza de firmeza máxima (epicarpio) tomó como valores máximos para las frutas maduras 14,4 N y para los frutos pintones de 15,7 N.

Trujillo, Y., & Suarez, J. (2010), en su trabajo de investigación realizaron un rastreo del proceso de maduración del lulo, variedad castilla, cosechado en estado verde con el fin de establecer los cambios fisiológicos, fisicoquímicos y enzimáticos ocurridos durante las etapas de maduración organoléptica del fruto en almacenamiento a granel en ambiente natural. Las observaciones que, se consideraron para este estudio fueron, la tasa de respiración, transpiración, humedad, pH, sólidos solubles, acidez, azúcares reductores, color, firmeza y pectinesterasa, y con ellas se logró concluir que el lulo es un producto cuya maduración organoléptica se genera plenamente durante los primeros siete días cuando la firmeza, la actividad de la pectinesterasa y el color son las características en las que se pronuncian significativamente cambios al ser almacenado al granel a 20°C y humedad relativa del 75%.

Mejía et al., (2012), en su trabajo de investigación tuvieron por objetivo determinar la relación de las medidas del color y otros parámetros fisicoquímicos en seis estados de maduración de lulo variedad Castilla, para definir el tiempo óptimo de cosecha; se tomó 3 frutos por cada estadio y por cada medición, analizando en estado fresco: grados brix, pH, acidez titulable, y los cambios de color de la corteza, de acuerdo al sistema CIElab, durante la maduración de estos. Los rangos de estos parámetros para los 6 estados evaluados fueron: °Brix: 4,2 - 10,3, pH: 3,67 - 3,90, % acidez: 2,63 - 3,00 y color (E): 0 – 53, se encontró que la corteza del fruto varía de verde a naranja intenso, indicando la madurez de consumo, los sólidos solubles totales se incrementaron a medida que el fruto maduraba, la acidez titulable disminuyó durante la maduración, observándose una caída en el estadio 3, estimado el momento óptimo para su

cosecha, el pH aumenta en el estadio 5, por la disminución de la concentración de iones H^+ vacuolar y el aumento de aminoácidos libres.

Quiroga y Murillo, (2012), tuvieron como objeto de estudio el comportamiento cinético de la β -xilosidasa, y analizar su influencia en el proceso de ablandamiento del lulo, la investigación se dividió en dos etapas, donde en la primera en encontrar las mejores condiciones de extracción de la enzima de la corteza, la segunda etapa se tomaron 33 lulos que maduraron a temperatura ambiente durante 11 días, realizando la respectiva medición de la actividad de β -xilosidasa, utilizando los resultados obtenidos en la primera etapa. Durante la maduración del lulo se evidenció que la β -xilosidasa ejerce un papel significativo en la hidrólisis del xilano, especialmente durante los primeros ocho días de maduración, dado que en este intervalo de tiempo se aprecian cambios en la coloración del fruto, después del día 8, la actividad disminuye, por tanto, no cuenta con los mecanismos suficientes para continuar con el proceso de ablandamiento del fruto, de los resultados obtenidos se podría deducir que la β -xilosidasa junto con otras enzimas hidrolíticas estarían implicadas en el proceso de ablandamiento del lulo variedad *Solanum quitoense* Lam.

Monteiro et al., (2013), monitorearon los cambios característicos físicos, químicos y fisiológicos que ocurren durante el desarrollo del lulo, desde la antesis hasta la plena maduración de la planta, el ciclo reproductivo del lulo duró 95 días dividido en tres fases; la primera fase fue hasta los 7,39 días después de la antesis (DAA), caracterizándose por altas tasas respiratorias, probablemente debido a la intensa multiplicación celular y el pericarpio mostró un color verde claro, la segunda fase ocurrió desde los 7,39 DDA hasta los 57,63 DDA, caracterizándose por tasas máximas de aumento de dimensiones del fruto fresco y seco, el pericarpio desarrolló un color verde intenso y las tasas respiratorias aumentaron hasta los 45 DDA y se mantuvieron

estables hasta los 52 DDA, la tercera y última fase de desarrollo ocurrió desde los 57.63 DDA hasta los 95.00 DDA, último día de evaluaciones. Esta fase se caracterizó por la estabilización dimensional y acumulación de masa fresca. En este período ocurrió el ascenso climatérico (de 52 a 59 DDA). El climaterio respiratorio ocurrió a los 66 DDA, con un pico de producción de CO₂ de 110,99 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. El posclimatérico fue entre los 73 y 95 DDA, cuando aumentaron los sólidos solubles y disminuyó la acidez y vitamina C de la pulpa. En esta etapa, el pericarpio de los frutos mostró coloración anaranjada.

Forero et al., (2014), en su trabajo de investigación tuvieron como objetivo evaluar la hoja de plátano como empaque no convencional para el manejo postcosecha del lulo, se realizó un seguimiento a la evolución del peso, pH, acidez titulable (AT), sólidos solubles totales (SST), intensidad respiratoria (IR) y cambios de color en cuatro tratamientos de lulo que consistieron en producto almacenado a temperatura ambiente y a 7,5°C con y sin hoja de plátano como empaque. De la realización de este trabajo se obtuvo la siguiente conclusión, el almacenamiento de lulo con hojas de plátano redujo las pérdidas de peso para temperatura ambiente del 11,8% al 8,3% y para producto refrigerado de 6,4% a 4,6%. Se encontró que el tiempo incide en los valores de AT y SST y en cuanto al color se determinó que el cambio de verde a naranja es más tardío en el producto cubierto con hoja de plátano.

González et al., (2014), evaluaron los cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres grados de madurez. Se utilizaron 300 frutos por grado de madurez y se determinaron las características físicas (peso, volumen, densidad, diámetro equivalente, índice de esfericidad, rendimiento de pulpa y cáscara) y químicas (pH, acidez, sólidos solubles, índice de madurez (IM) y contenido de vitamina C. Los resultados mostraron que la madurez no afecta significativamente las variables físicas, pero sí las propiedades

químicas de los frutos ($P < 0.01$), de la forma siguiente: el pH (2.89 - 2.94), los sólidos solubles (6.58 - 9.04 °Brix), el IM (1.83 - 2.84) y el contenido de vitamina C (ascórbico) (4.17 - 11.95 mg/100 g de pulpa fresca); por el contrario, la acidez (cítico) disminuyó de 3.78 para 3.21 g/100 g de pulpa fresca ($P < 0.01$).

Ochoa et al., (2016), tuvieron como objetivo realizar el estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de lulo cultivar var. Septentrionale, para lo cual se marcaron flores en antesis y se hicieron nueve muestreos de frutos del tercio medio de las plantas cada 20 días, en cada muestreo se determinaron las siguientes variables: masa fresca y seca de los frutos, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total titulable e intensidad respiratoria; a los 180 días, después de la antesis (DDA), los frutos alcanzaron la madurez de cosecha con una coloración naranja intensa y una masa promedio de 209 g. El comportamiento de la masa fresca y la masa seca del fruto fue sigmoideo simple lo cual se ajusta a un modelo no lineal de tipo logístico. La acidez total titulable y los sólidos solubles totales se incrementaron con el desarrollo del fruto, mientras que la intensidad respiratoria disminuyó y la firmeza aumentó hasta los 80 DDA para luego disminuir hasta la cosecha. La tasa absoluta de crecimiento (TAC) se incrementó rápidamente y alcanzó su máximo valor a los 129 DDA.

Alvarez et al., (2016), determinaron las características fisicoquímicas de quince genotipos de lulo seleccionados agronómicamente, y su reacción de resistencia y resistencia moderada para determinar su agro potencial. Métodos: Determinación de la morfología del fruto, porcentaje de pulpa, resistencia a la penetración, tasa de respiración, se determinaron los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Resultados: Se evaluaron las diferencias en los atributos químicos, físicos y morfológicos de la colecta, dando como resultado que los genotipos BR05 y BR01 recolectados en el municipio de Berruecos y CR10 recolectados en San Pedro de Cartago

presentaron los valores más altos bajo la ponderación propuesta, algo adicional que se menciona es sobre el alto potencial de mejora para materiales con características de resistencia a la enfermedad del nudo radicular y atributos aceptables del producto en el mercado.

Torres et al., (2018), tuvieron por objetivo el estudio de la composición química parcial, y las características sensoriales y morfométricas de frutos de naranjilla limpia (Sin agroquímicos) y convencional (Con agroquímicos). Para esta investigación se trabajó en 14 fincas de la comunidad Wamaní en la Amazonía ecuatoriana, de las que siete correspondieron a la forma de producción limpia y siete a la convencional; se llevó a cabo la caracterización química del suelo a partir de cinco muestras al azar en cada unidad de muestreo, y la composición química parcial, sensorial y morfométrica en 50 frutos de producción limpia y convencional, las propiedades químicas del suelo fueron similares independientemente del tipo de producción limpia y convencional, permite determinar que las características de los frutos responden a la forma de producción y no al suelo, la conclusión a la que se llegó fue que la composición química, la evaluación sensorial y la morfología del fruto fueron similares en ambas formas, en la forma de producción limpia se obtiene un fruto de calidad, a lo que se complementa con la sugerencia de que la producción limpia es factible.

6. Metodología

6.1 Ubicación del cultivo y del laboratorio de investigación

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizó fruta proveniente del departamento de Nariño-Colombia, particularmente de la vereda el PALMAR ubicada en el corregimiento de Villamoreno, el cual pertenece al municipio de Buesaco (N), este municipio cuenta con una altitud media de 1959 m.s.n.m y una temperatura promedio de 20°C. La fruta que se eligió para el esta investigación fue trabajada en estado de madurez 2 según la norma técnica colombiana NTC 5093 (ICONTEC, 2002), la cual corresponde al lulo castillo.

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio 2 de planta piloto y el laboratorio de investigación en conservación y calidad de los alimentos del bloque tecnológico de la Universidad de Nariño, los cuales pertenecen al grupo “Grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario-GAIDA”, ubicado en la calle 18 con carrera 50, con una altitud de 2527 msnm, temperatura media de 14 ° C , humedad relativa de 79 % y precipitación media anual de 700 mm (IDEAM, 2021). Otro sitio en el que se desarrolló la investigación fue el salón comunal del barrio Las Quintas de San Pedro ubicado la carrera 46ª con calle 15 esquina de la ciudad de San Juan de Pasto, en el cual se realizó la evaluación sensorial del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

6.2 Diseño de experimentos y análisis de datos

A continuación, se presenta el diseño de experimentos planteado para el desarrollo de esta investigación (tabla 5), manteniendo como constante la humedad relativa (75%) y la exposición a luz (0%), del diseño de experimentos se obtienen 9 diferentes tratamientos para el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam), cada uno de ellos se almacenó durante 15

días y se realizó el seguimiento de las propiedades fisicoquímicas durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15, cada tratamiento se realizó por triplicado.

Tabla 5.

*Diseño de experimentos completamente al azar con dos factores (temperatura y empaque) y tres niveles, para el desarrollo del proceso de investigación en el estudio de la vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam).*

Tipo de empaque	Temperatura (°C)
Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD)	8
	18
	24
Bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD)	8
	18
	24
Caja de tereftalato de polietileno (PET)	8
	18
	24

Fuente. Este estudio

6.3 Recepción de la materia prima y empaque

La recepción de la materia prima se realiza en las instalaciones de la plata piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial para el proceso de limpieza y desinfección, la cual se realizó primero en seco para el retiro de la pelusa con ayuda de un pañuelo y luego por inmersión en agua con hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 10 minutos para luego secar el agua de la superficie del fruto con un pañuelo estéril y dejándolo un momento en la malla, para eliminar cualquier residuo de agua de la superficie del lulo (*Solanum quítense* Lam).

Figura 1.

Recepción, limpieza, lavado, desinfección y secado del lulo (Solanum quitoense Lam).



Fuente. Este estudio

Finalmente se procede al empaque de cada de las muestras, para eso se utiliza una balanza gramera electrónica modelo EK5055 con cual se empacan tres frutas con un peso entre los 350 a 450 gramos para luego colocarlos en almacenamiento bajo las condiciones planeadas de temperatura, empaque y de humedad utilizando un equipo denominado cámara inteligente de clima artificial de la marca BIOBASE modelo BJPX-A300II, la cual es la encargada de simular y mantener constantes las condiciones de almacenamiento planteadas para esta investigación.

Figura 2.

*Cámara climatizada utilizada para el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense*) a las condiciones propias de cada tratamiento, temperatura e iluminación. Fuente: Proveedor BIOBASE*



Fuente. Este estudio

El equipo mencionado anteriormente mencionado posee las siguientes características generales:

- Capacidad de 300 L.
- Control de humedad relativa de 50% a 90% $\pm$ 3%.
- Control de temperatura de 5°C a 50°C $\pm$ 1.5 °C
- Control de iluminación 12000LX, con 5 grados de intensidad.
- Este equipo puede trabajar de manera continúa manteniendo las condiciones de programación conectado a corriente eléctrica de 220v.

6.4 Metodología del objetivo específico uno

A continuación, se menciona una serie de propiedades fisicoquímicas a las cuales se les realizó un seguimiento los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15, al lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en los diferentes tratamientos planteados en el desarrollo de este proceso de investigación.

6.4.1 Medición de los sólidos solubles totales

Para la medición de los sólidos solubles se realizó mediante el método de refractometría, mediante la utilización de un refractómetro de mesa de la marca BRIXCO modelo 3030 y de serie 1305003 con un rango de medición de °Bx 0-95%, además se realizó las respectivas correcciones de medición con la temperatura y el valor de la acidez titulable utilizando la ecuación planteada por Rojas, (2004):

$$SST_{corr} = (0,194 * AT) + sst \quad \text{Ecuación 1}$$

6.4.2 Medición de la acidez titulable

El valor de la acidez titulable se midió mediante el método de titulación con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando como indicador fenolftaleína, esto se aplicó para cada uno de los ensayos y teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 4623 (ICONTEC, 1999) y la NTC 1265 (ICONTEC, 2001), las cuales indican el protocolo de medición de esta propiedad y los estándares de calidad para el lulo respectivamente. El cálculo de esta propiedad se utilizó se realizó con la ecuación planteada por Morillo et al., (2019):

$$Acidez = \frac{V * N * k}{w} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

- V: Volumen de hidróxido de sodio consumido en la titulación (mL).
- N: valor de la normalidad del hidróxido de sodio 0,1N.
- k: constante de la acidez del ácido cítrico 0,064.
- w: volumen de la muestra requerido 3 mL.

Figura 3.

*Medición la acidez titulable en el zumo del lulo (*Solanum quitoense* Lam).*



Fuente. Este estudio

6.4.3 Medición del pH

El valor de pH fue medido mediante la utilización de un potenciómetro de la marca JENWAY modelo 3510; para la medición de dicha propiedad fue necesario extraer el jugo de la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam), el cual fue filtrado para evitar cualquier impureza, a cada lulo empacado en un ensayo se le midió el valor del pH, con su respectivo triplicado.

6.4.4 Medición de la pérdida de peso

Se realiza una selección de las muestras a las que se les midió el peso inicial antes de almacenarse en la cámara climatizada y se las somete a un almacenamiento durante 15 días, al finalizar el tiempo se tomó nuevamente el peso de la muestra; para dicho fin se ha utilizado una balanza analítica LYOD modelo RS232 y de la serie B249584496, para la realización de este seguimiento se utilizó tres frutos por cada ensayo con su respectiva repetición por triplicado.

Figura 4.

*Medición de la pérdida de peso del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en la balanza analítica LYOD.*



Fuente. Este estudio

6.4.5 Medición del color

La medición de esta propiedad se realizó seleccionando unas muestras a las cuales se les realizó un seguimiento constante en los días programados, para el lulo (*Solanum quitoense* Lam) se marca un área circular de 1 cm de diámetro con un marcador y es sobre esta que se realiza el control a los cambios de coloración de la fruta, para esto se utiliza un Colorímetro Konica Micolta modelo CM-5 y serie 1102012, con apertura de medición de 3 mm; la toma de datos, aunque se realiza a la misma área se toma 3 veces para cada fruto y se utilizan 3 frutos por cada uno de los ensayos empacados con su respectivo triplicado.

Figura 5.

Medición del color del lulo (*Solanum quitoense* Lam) utilizando el colorímetro Konica Minolta.



Fuente. Este estudio

Para el análisis de los datos que se obtuvieron de la evaluación del color se planteó la utilización de un índice el cual posee unas características y se rige bajo la ecuación planteada por Vignoni et al., (2006):

$$IC = \frac{a*1000}{L*b} \quad \text{Ecuación 3}$$

Para el análisis del índice de color se tiene que tener en cuenta los siguientes parámetros:

según Vignoni et al., (2006):

- Si IC* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- Si IC* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde profundo al verde amarillento.
- Si IC* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- Si IC* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- Si IC* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

6.4.6 Medición de la firmeza

Cabe mencionar que la firmeza para el desarrollo de esta investigación es el valor de la resistencia medida en Newtons ($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$, N) a la penetración, se toma muestras empacadas y se realiza una medición a esta propiedad mediante un ensayo de resistencia a la compresión con ayuda de un equipo llamado texturometro marca LLOYD modelo LS1SH-115V y serie 2005518 configurado con dirección de compresión, una precarga/tensión de 10N, velocidad de ensayo de 21 mm/min y con un límite de extensión de 25mm. La medición es realizada sobre la parte ecuatorial del fruto por una sola vez, debido a que esta propiedad se ve afectada una vez hecha la primera medición, es por esto que se utilizan tres muestras empacadas por cada ensayo y cada muestra contiene tres frutos, con su respectivo triplicado.

Figura 6.

*Medición de textura de lulo (*Solanum quitoense* Lam) mediante el texturometro LLOYD.*

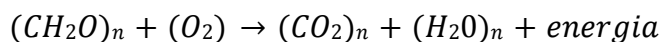


Fuente. Este estudio

6.4.7 Medición de la respiración

Para el seguimiento de esta propiedad se eligió al dióxido de carbono (CO_2) ya que este compuesto es derivado del proceso de respiración, descrito por Montes & Arévalo, (2001), y

que para el desarrollo de esta investigación brinda una posible y cercana aproximación a lo que realmente está pasando durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam):



Los resultados que se presentan en el desarrollo de esta parte están expresados como (mg CO₂/kg*h) y para tal fin fue necesario realizar un proceso de conversión ya que el equipo de medición me expresaba el valor de esta propiedad como un porcentaje (%), para tal fin se utilizó las ecuaciones planteadas por Torrieri et al., (2010):

$$R \quad \frac{dyCO_2}{dt} \quad \frac{V_F}{W} \quad \frac{1}{100} \quad \frac{P_{tot}}{R*T} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_F = V_{recipiente} - V_{muestra} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde, dyCO es cambio de los valores de CO₂ en el empaque, dt es el tiempo que transcurre entre la primera y segunda medición de CO₂ en una hora (h), V_f es el volumen libre (m³), P_{tot} es la presión (Pa), R es la constante universal de los gases y T es la temperatura (°K).

Para la medición de la concentración de dióxido de carbono en el empaque se hace una instalación a estos de una sonda, la cual va sellada de tal manera que se conserve la atmósfera en el interior sin modificación y así tener mayor precisión, para la medición de se utiliza un analizador de gases de CO₂ y O₂ F-950, con las siguientes condiciones de medición, CO₂ (0-20%), O₂ (0-100%), C₂H₄ (0-200), muestra contante de 34,1 mL, finalmente la temperatura de medición no debe superar los 45°C y una humedad relativa de 90%.

La medición de la concentración de CO₂ y de C₂H₄, se realizó en el empaque (Bolsa de PEBD, Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) y Caja de PET), sin que se afectara la micro atmósfera creada en el empaque, esto se logró mediante la instalación de válvulas herméticas donde cada muestra de se obtuvo mediante la inserción de una aguja conectada mediante un conducto directamente al sensor; un detalle

adicional es que para el caso de los ensayos con la caja de PET se utilizó un recipiente hermético en el que se metió el lulo (*Solanum quitoense* Lam) empacado, dejando que se estabilice la micro atmósfera por 15 minutos para luego proceder a la medición.

Para cada día se hace una medición inicial y final, con una diferencia de 1 hora entre ellas; este seguimiento se hace para cada ensayo con su respectivo triplicado.

Figura 7.

*Instalación de válvula en la válvula para medición de la respiración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en bolsa de PEBD.*



Fuente. Este estudio

Figura 8.

*Analizador de Etileno CO₂ y O₂ F-950, utilizado para la medición de la respiración del lulo (*Solanum quitoense* Lam).*



Fuente. Este estudio

6.5 Metodología del objetivo específico dos

El sitio escogido para la realización de esta prueba se escogió debido a que cumplía con los requisitos de bioseguridad impuesto debido a la pandemia Covid-19, estar alejado de perturbaciones acústicas, iluminación con luz blanca para evitar influencias en la percepción del color y permitir la organización correcta de los elementos necesarios para la realización de la prueba como lo dicta la GTC 165 (ICONTEC, 2007).

La prueba sensorial que se utilizó fue hedónica se contó con la participación de 46 paneles sensoriales, los cuales se encontraban en el rango de 15 a 65 años, asegurándose que no sean fumadores, consumidores de alcohol, consumidores de drogas psicoactivas y que tampoco se hayan aplicado loción o sometidos a olores fuertes previamente a la realización de la prueba sensorial, esto con el fin de que no se genere algún tipo de perturbación en el momento de la evaluación por parte de los participantes, utilizando una escala de 7 puntos, me gusta

extremadamente (7), me gusta mucho (6), me gusta ligeramente (5), ni me gusta ni me disgusta (4), me disgusta ligeramente (3), me disgusta mucho (2), me disgusta extremadamente (1), a esta escala de valoración se le asignó una calificación utilizando un número entero que se tomará en cuenta para el momento del análisis de los datos, esta calificación no fue conocida por parte de los paneles sensoriales para evitar influir sobre su respuesta. El lulo (*Solanum quitoense* Lam) se dejó a temperatura ambiente, en un lugar previamente desinfectado; el fruto se almacenó por lotes de 5 kg con un estado de madurez 2, en total fueron 6 lotes, el primer lote tuvo 15 días de almacenamiento, el segundo lote tuvo 12 días de almacenamiento, el tercer lote tuvo 9 días de almacenamiento, el cuarto lote tuvo 6 días de almacenamiento, el quinto lote tuvo 3 días de almacenamiento y el sexto lote tuvo 0 días de almacenamiento, a cada lote almacenado se le realiza un seguimiento de las propiedades fisicoquímicas. El tiempo de almacenamiento de todos los lotes se hizo coincidir con el día de la evaluación sensorial y de esta manera se garantizó que los paneles sensoriales puedan hacer una evaluación del lulo (*Solanum quitoense* Lam) con diferentes tiempos de almacenamiento.

Figura 9.

*Disposición del área de trabajo en el salón comunal del barrio Las Quintas de San Pedro para la prueba sensorial del Lulo (*Solanum quitoense* Lam).*



Fuente. Este estudio

Figura 10.

*Paneles sensoriales no entrenados realizando la prueba sensorial al lulo (*Solanum quitoense* Lam) el salón comunal del barrio Las Quintas de San Pedro.*



Fuente. Este estudio

Para la evaluación sensorial de cada parámetro se realizó en diferentes etapas, como se describe a continuación:

- I. El color: se presentó 6 frutos completos para su evaluación, plenamente identificados con códigos y cambiados continuamente para cada panel; en la evaluación de estos frutos no se permitió que el panel pueda tocar el fruto, ya que se buscó que no se interviniera otro sentido en la evaluación salvo el de la vista.
- II. Textura: se presentó 6 frutos completos para su evaluación, plenamente identificados con códigos y cambiados continuamente para cada panel; en la evaluación de esta propiedad se permitió que el panel pueda interactuar con el fruto mediante el tacto.
- III. Sabor: se presentó una porción de fruta, no superior a 50 gr de 6 frutos plenamente identificados con códigos, para su evaluación el procedimiento fue probar la porción de fruta, evaluar su percepción, refrescar la boca y las papilas gustativas con agua y galleta de soda, antes de continuar con la siguiente porción de fruta a evaluar.

Al finalizar el análisis sensorial se realizaba una pregunta la cual textualmente se formuló de la siguiente manera ¿Al momento de la compra del fruto usted que tiene en cuenta? a) color, b) textura, c) ambas características, d) ninguna de las anteriores; esta pregunta se planteó de esta manera para observar cual es el parámetro parámetros más influyentes a la hora de la compra del lulo (*Solanum quitoense* Lam), se tuvo en cuenta la frecuencia de las respuestas de esta pregunta para continuar con el proceso de análisis de la evaluación sensorial.

Para el análisis de los datos de la evaluación sensorial se los realizó mediante la metodología de la lógica difusa porque permite considerar matemáticamente el fenómeno de la incertidumbre

asociado a la ambigüedad del pensamiento humano, donde la evaluación sensorial de los alimentos es claramente un ejemplo de ello, debido a las diferencias que hay entre la percepción individual de un producto en un grupo de panelistas y además en cómo pueden éstos hacer distinciones entre los atributos del mismo (Ávila & Gonzáles, 2011). De la evaluación sensorial se trató de identificar el día en el cual el lulo (*Solanum quitoense* Lam) mantiene un grado óptimo de aceptabilidad, una vez encontrado este día se comparó con el seguimiento registrado por las propiedades fisicoquímicas de firmeza e índice de color y se obtienen valores numéricos que se tendrán en cuenta en el siguiente objetivo específico de esta investigación.

6.6 Metodología objetivo específico tres.

6.6.1 Modelamiento de la firmeza e índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

El proceso de modelamiento matemático se fundamentó en dos criterios, el primero fue que el proceso de modelación se realiza con los datos de firmeza e índice de color del mejor empaque seleccionado a partir del objetivo específico uno, el segundo criterio es tener en cuenta parámetros críticos de firmeza e índice de color definidos del objetivo específico dos. Ya que cada parámetro fisicoquímico presenta un comportamiento diferente, se hizo la consulta de algunos modelos matemáticos utilizados en previas investigaciones como se representan en la tabla 6 y los cuales se los utilizó para verificar su ajuste a los datos experimentales de los diferentes tratamientos.

Tabla 6.

Modelos matemáticos a los cuales se les verifico el ajuste para describir el comportamiento de la firmeza y el índice de color.

Modelo de orden cero.	$P = P_0 - (k * t)$	(Puente et al., 2013),
Modelo de orden uno.	$P = P_0 \exp(-k * t)$	(Puente et al., 2013), (Sierra et al., 2019)
Modelo logístico.	$P = P_0 - \frac{P_0 - P_{\text{equi}}}{1 + e^{(-k*(t-t_m))}}$	(Ulloa & Rodríguez, 2010), (Sierra et al., 2019)
Modelo de Arrhenius.	$P = P_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$	(Torrieri et al., 2010), (Gwanpua et al., 2012), (Puente et al., 2013)

Fuente. Este estudio

El modelamiento matemático se realizó mediante el uso del programa software Matlab R2021 y particularmente la aplicación Curve Fitting ya que recrear todos los ajustes y representaciones entre los datos experimentales con la tendencia generada por un modelo matemáticos previamente establecidos, el ajuste se realiza por medio de mínimos cuadrados, por regresión lineal o no lineal. A continuación, se describe el paso a paso realizado dentro del programa:

1. En un archivo en Excel de expresa el seguimiento de cada variable en una columna (día de almacenamiento, temperatura, firmeza, índice de color).
2. Cargar los datos experimentales en el programa Matlab 2020R, esto se hace mediante la pestaña importar datos, la cual abre un nuevo recuadro en el cual parecen los datos, a la sección de datos se le aplica la opción columna de vectores y finalmente se da click en importar datos.
3. Abrir la aplicación Curve Fitting, dentro de la aplicación determinó el tipo de ajuste con el que se iba a trabajar el modelo matemático (regresión lineal o no lineal).

4. Seleccionar los datos correspondientes a variable independiente (eje x) y a la variable dependiente (eje y).
5. En opciones de ajuste se selecciona Custom equation y se ingresa el modelo matemático a evaluar, el programa ajusta el modelo por el método de mínimos cuadrados.
6. Se revisa el ajuste de la tendencia del modelo con los datos experimentales de cada uno de los tratamientos, con ayuda de los coeficientes estadísticos R ajustado y RMSE.
7. Se repite el paso 5 y 6 en caso de que el modelo no describa el comportamiento de los datos experimentales.

Para determinar cuál de los modelos se correlaciono mejor con el comportamiento experimental se tuvo en cuenta el coeficiente R cuadrado con un valor superior a 0,90 y un RMSE inferior a 7 en los tres tratamientos, de aquel modelo que cumpla con los requisitos previamente mencionados se obtiene el valor de sus constantes para evaluar su dependencia de la temperatura a través del modelo de Arrhenius, el proceso es similar a los pasos 5 y 6.

Finalmente se presenta las ecuaciones generales de índice de color y de firmeza, las cuales describen el comportamiento de los datos experimentales de las propiedades mencionadas durante el tiempo de almacenamiento.

6.6.2 Determinación de la vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam)

Para el desarrollo de esta investigación la vida útil se define como el tiempo en el cual el lulo (*Solanum quitoense* Lam) mantiene las condiciones de aceptabilidad óptimas definidas previamente a partir de la evaluación sensorial, dicho lo anterior se procedió a despejar el valor del tiempo (t) de las ecuaciones de firmeza e índice de color encontradas mediante el proceso de modelamiento, a las ecuaciones resultantes son las que se utilizó para la determinación de vida útil. Finalmente, en las ecuaciones encontradas se remplaza el valor de cada una de las constantes

del previamente mencionadas y se encuentra el tiempo de vida útil para el fruto a cada una de las temperaturas en las que se almacenó.

7. Resultados y discusión.

7.1 Resultados de objetivo específico uno, seguimiento a las propiedades fisicoquímicas.

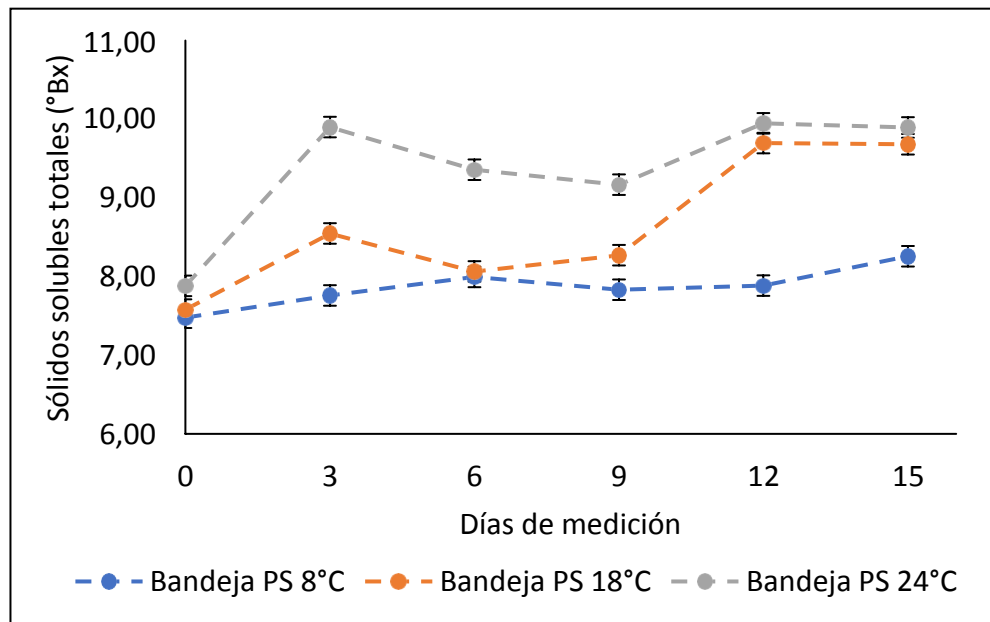
7.1.1 Sólidos Solubles Totales

A continuación, se presenta el comportamiento de esta propiedad en los diferentes ensayos realizados durante el desarrollo de esta investigación.

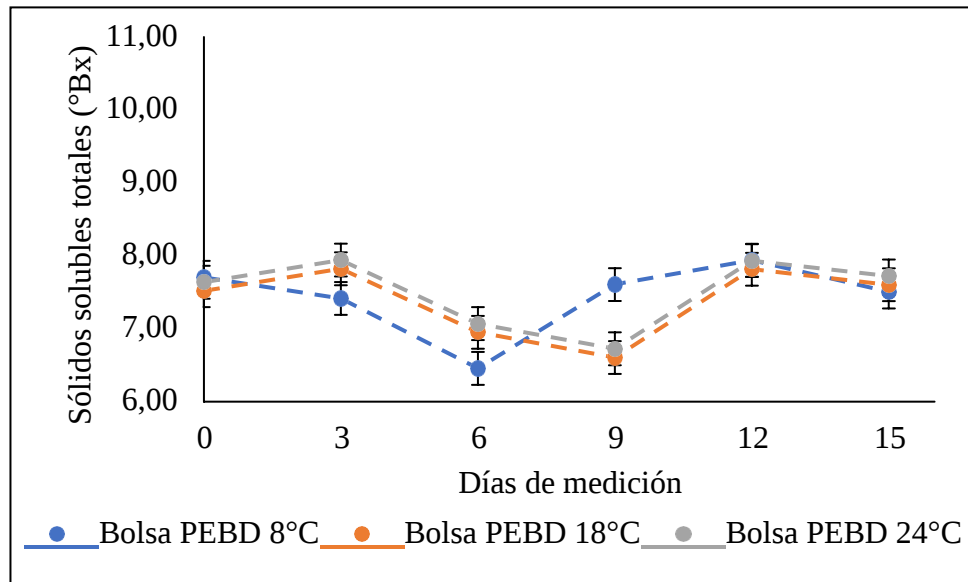
Figura 11.

*Seguimiento al comportamiento de la cantidad de sólidos solubles totales presentes en la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.*

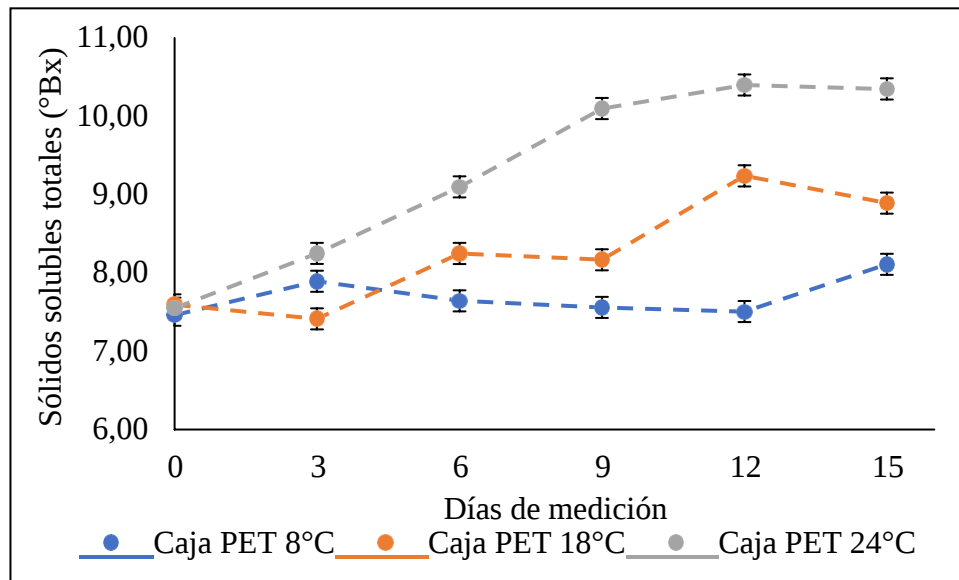
a)



b)



c)



Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En la figura 11.a., se presenta el comportamiento de los sólidos solubles totales, con una relación directa con la temperatura, todos los tratamiento presentan una diferencia muy bien marcada entre ellos ($p < 0,05$), a partir de día 6 de almacenamiento; otro punto a tener en cuenta

es la presencia de un pico en el día 3 para los tratamientos a 18°C y 24°C, en el día 6 para el tratamiento almacenado a 8°C, todo esto seguido de un descenso leve del valor de esta propiedad, lo cual se podría explicar porque en el interior del empaque se conserva algo de oxígeno el cual favorece el metabolismo del fruto y este se consume a razón de la temperatura de almacenamiento, en cuanto la disponibilidad de oxígeno disminuya el fruto puede consumir sus azúcares para obtener energía (Ares, 2006).

En la figura 11.b., el comportamiento de esta propiedad es diferente al de los demás tratamientos pues no se mira un ascenso significativo en el valor de esta propiedad y tampoco se presenta unas diferencias entre los tratamientos ($p > 0,05$), pese a las variaciones de temperatura de almacenamiento, esto pudo deberse a que el lulo (*Solanum quitoense* Lam) estuvo sometido a condiciones anaerobias ya que la permeabilidad del material del empaque que para este caso corresponde a polietileno de baja densidad (PEBD) es muy baja según lo reportado por (Ares, 2006), posiblemente limitando el desarrollo de las reacciones fisicoquímicas que favorecen al incremento de los sólidos solubles en la pulpa del fruto.

En la figura 11.c., se observa un comportamiento de esta propiedad con tendencia al ascenso y los valores más altos están relacionados directamente con la temperatura de almacenamiento, además es claro la diferencia entre los tratamientos ($p < 0,05$), pero estos datos con respecto a esta propiedad son ligeramente más altos con respecto a los otros tipos de empaque utilizados, esto se puede presentar debido a que en este empaque presenta los mayores en los porcentajes de la pérdida de peso como se mencionara más adelante; lo que explicaría lo sucedido con esta propiedad pues gran parte de ese peso es vapor de agua y su pérdida favorece un incremento en la concentración de los sólidos solubles totales.

Ahora bien, haciendo un análisis más general al comportamiento de esta propiedad, en todos los tratamientos se presentan valores similares a los reportados por 6.57 ± 0.27 , 7.89 ± 0.46 , 9.03 ± 0.63 °Bx (González et al., 2014), 7.31 ± 1.15 , 7.63 ± 2.41 °Bx (A. Torres et al., 2018), $9 \pm 0,2$ °Bx (Monteiro et al., 2013), entre 6 a 9 °Bx (Trujillo & Suares, 2010) y de igual manera se puede afirmar que corresponde a lo establecido por la norma técnica colombiana para el lulo (*Solanum quitoense* Lam) que corresponde a valores entre $8 \pm 0,2$ y $10 \pm 0,2$ °Bx (NTC 5093., 2002), todo esto según el estado de madurez en el que se encuentre el fruto en mención.

Finalmente el comportamiento de los sólidos solubles no se ve limitado en su crecimiento cuando el lulo se almacena en Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) y caja PET, esto puede ser explicado porque estos empaques favorecen permeabilidad al oxígeno (O₂) y al dióxido de carbono (CO₂) lo que traduce en el favorecimiento del intercambio de gases entre el interior y exterior del empaque; dicha característica favorece el proceso de degradación de los almidones del fruto mediante la hidrólisis que los transforma en azúcares simples por acción de las enzimas y este tipo de reacción es favorecido por un metabolismo aerobio (Alvarado et al., 2011) , esto queda claro cuando se observa los tratamientos en los que se almacenó el lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bolsa de PEBD donde no se presenta un cambio no esperado de esta propiedad, lo cual puede indicar una inhibición de la reacción de hidrólisis del almidón y por consecuencia de la actividad respiratoria del fruto (C. García et al., 2010).

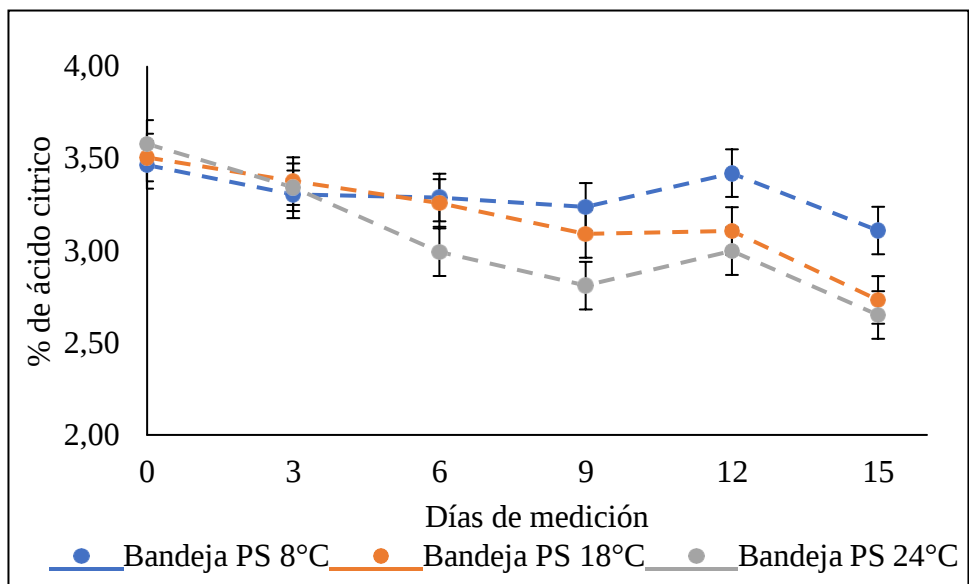
7.1.2 Acidez titulable.

Se presenta un seguimiento al parámetro fisicoquímico de la acidez titulable medido sobre la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam), a continuación, se presenta como se comportó esta propiedad en los diferentes ensayos planeados para el desarrollo de cada investigación.

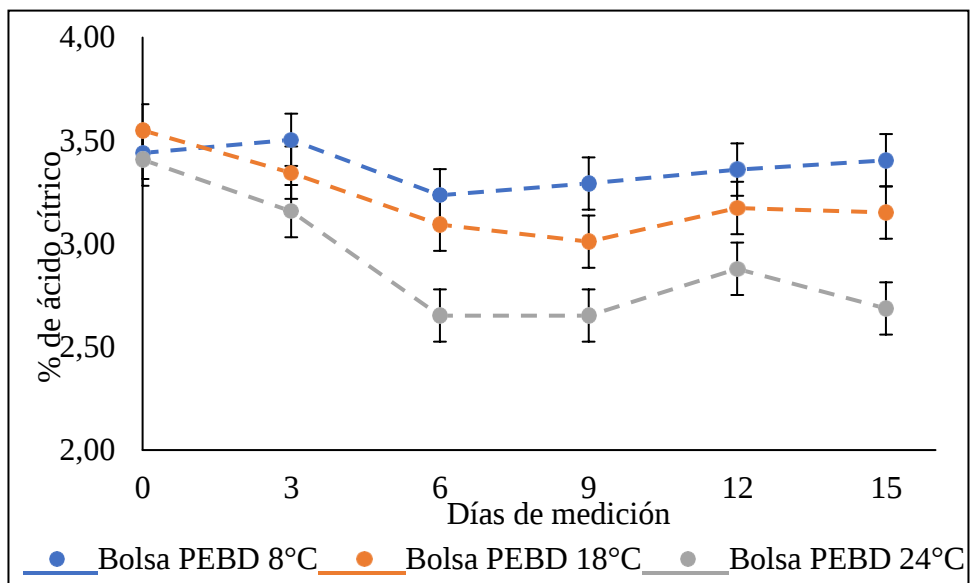
Figura 12.

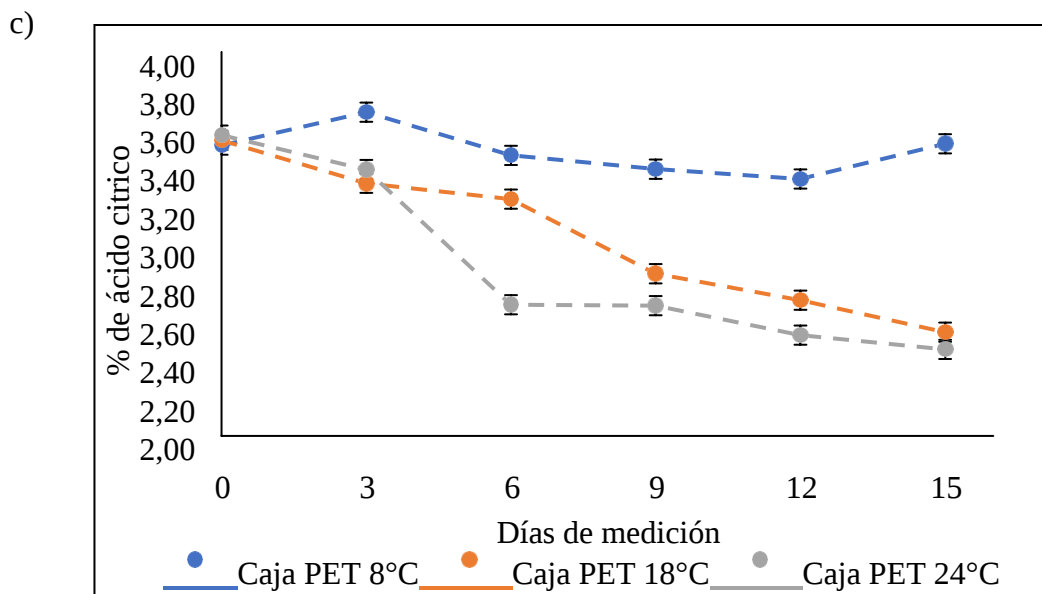
*Seguimiento al comportamiento de la acidez titulable expresada como porcentaje de la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.*

a)



b)





Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En las figuras 12.a, 12.b., 12.c., se observa el cambio de la acidez titulable de lulo (*Solanum quitoense* Lam) durante el tiempo de almacenamiento a condiciones de temperatura y empaque diferentes, con una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos ($p < 0,05$), el valor de esta propiedad dependería del valor de la temperatura, lo cual quiere decir que la podría influir acelerando el metabolismo del lulo (*Solanum quitoense* Lam), pues se estarían consumiendo ácidos orgánicos como parte de la obtención de energía del fruto en su proceso de maduración (Peñuela, 2004), y siguiendo un similar comportamiento con el trabajo realizado sobre el lulo (*Solanum quitoense* Lam) por Loaiza et al., 2014.

Pese a todos los diferentes tratamientos que se han realizado, los valores se ajustan a lo dictado por la norma técnica colombiana, 3,23 % de ácido cítrico/ 100 gr de muestra sin importar el grado de madurez del fruto (ICONTEC, 2002), con el valor reportado de 2,76%,

ácido cítrico/ 100 gr de muestra (Monteiro et al., 2013), 2,77 ácido cítrico/ 100 gr de muestra (Trujillo & Suares, 2010) y este valor es sin importar el estado de madures de la fruta, cosa que se conserva en los diferentes ensayos, pero si es importante mencionar que existen algunos ensayos en los que se observa una menor variabilidad de esta propiedad a lo largo del tiempo de almacenamiento; el comportamiento es similar al reportado en la literatura ya que la disminución de este valor a medida que la fruta sigue su proceso de maduración aumenta el contenido de azúcares y paralelamente se produce la degradación de los ácidos orgánicos que se utilizan como sustrato en el proceso respiratorio (Monteiro et al., 2013).

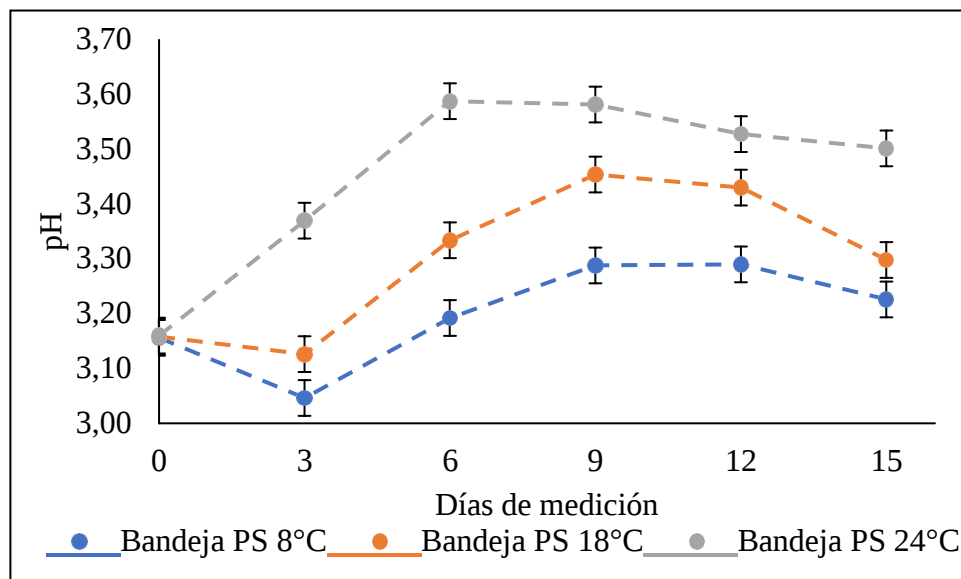
7.1.3 pH.

Es el parámetro fisicoquímico de gran interés que puede estar ligado a la cantidad de proteína, la resistencia al daño microbiano y lo más importante influye en las condiciones químicas, físicas o biológicas pueden afectar el proceso de maduración del fruto (Kader, 2002; Rangel & López, 2012), es decir de la variación de esta propiedad depende el comportamiento de otras propiedades de calidad del fruto, como la firmeza, el sabor y el color, claves en el momento de la compra o la conservación del fruto.

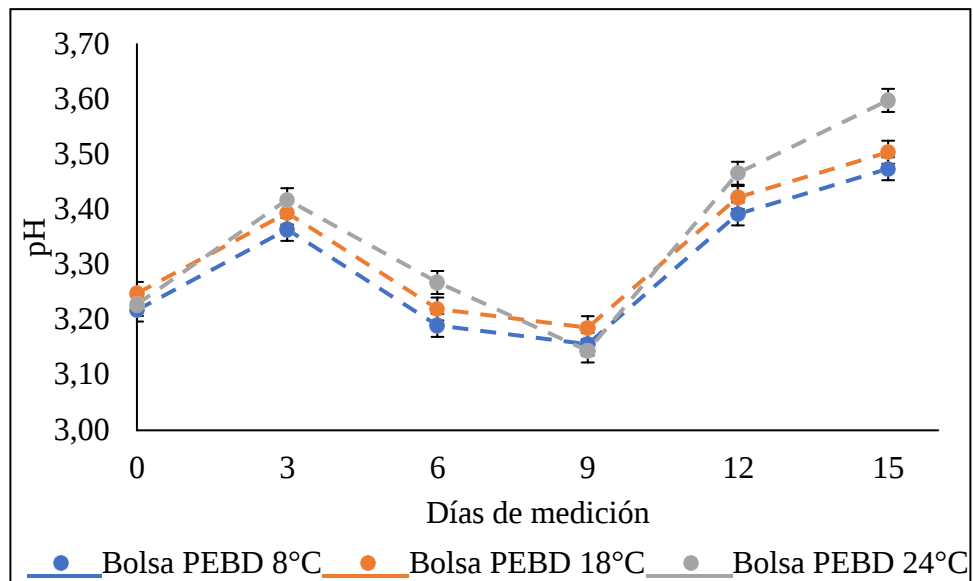
Figura 13.

*Seguimiento al comportamiento del pH de la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes*

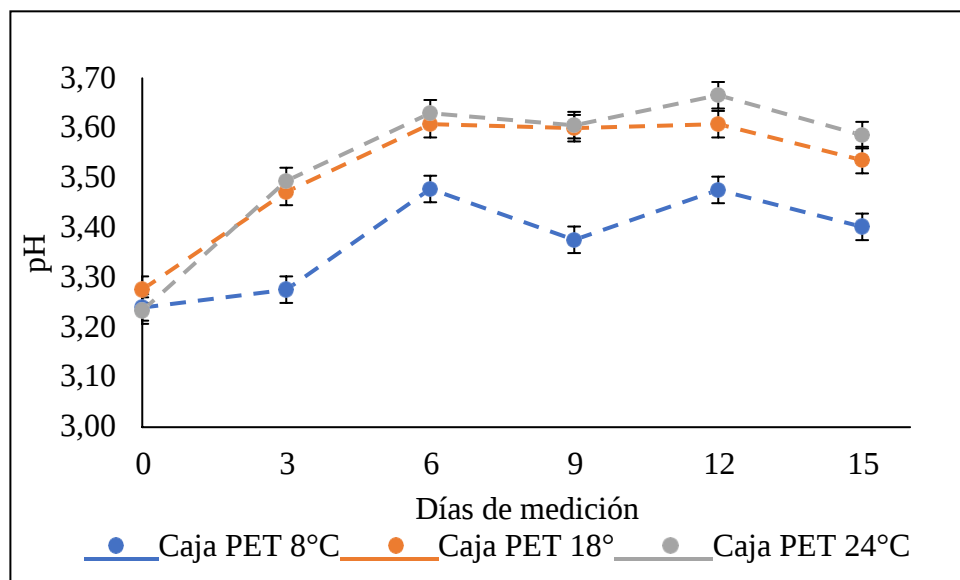
a)



b)



c)



Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En la figura 13.a., el valor del pH presenta un comportamiento ascendente en todos los tratamientos, por lo menos hasta el día 9 de para luego continuar con un descenso hasta el último día de seguimiento, pero también es necesario mencionar que entre los tratamientos existe una diferencia significativa entre ellos ($p < 0,05$).

En la figura 13.b., se puede observar que el comportamiento de esta propiedad donde su tendencia es al ascenso en todos los tratamientos a medida que avanza el tiempo de almacenamiento, aunque cuando se compara los tratamientos no se presenta una diferencia significativa entre estos ($p > 0,05$), es decir se podría concluir que la temperatura no tiene una influencia en el valor de esta propiedad cuando se almacena el lulo (*Solanum quitoense* Lam); lo cual concuerda con la investigación realizada cuando se almacena Mango “Keitt”, donde no se

presenta una significativa variación del pH cuando se almacena en bolsa de PEBD sin ningún o con algún tipo de perforación a 12°C y 25°C. (Castro et al., 2003).

En la figura 12.c., se observa que el comportamiento de esta propiedad está relacionado con la temperatura de almacenamiento, se presenta un incremento entre el día 0 al día 6 de almacenamiento en todos los tratamientos, para luego reportar mínimos incrementos que no presentan diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$) hasta el último día de la medición. Una particularidad a mencionar es que entre los datos reportados en los ensayos almacenados a 18°C y 24°C no se encuentra una diferencia significativa ($p > 0,05$), y esto se presenta en todos los días de almacenamiento; esto puede indicar que a estas temperaturas se presenta una similar actividad metabólica y enzimática en el lulo (*Solanum quitoense* Lam).

Pasando a un análisis más general, todos los datos obtenidos en el desarrollo de esta investigación se ajustan a lo reportado en otros trabajos realizados, entre 3 a 3,7 (Trujillo & Suares, 2010), 3,3 (Morillo et al., 2019), entre 1,92 a 2,76, (Monteiro et al., 2013); 3,20 sin importar el grado de madurez la NTC 5093 (ICONTEC, 2002), dado que los valores de pH reportados son relativamente bajos lo cual hace que los hongos sean los únicos microorganismos predominantes en la degradación de esta fruta (Rangel & López, 2012), y por consiguiente se podría decir que estos microorganismos fueron los únicos que tuvieron una influencia en el proceso de degradación de la fruta a lo largo del tiempo de almacenamiento del fruto si se hubiese presentado una contaminación.

Algo que se observa en todos los tratamientos realizados es que el valor del pH cambia su valor durante el tiempo de almacenamiento y presenta un incremento mínimo, esto se puede explicar por la presencia de un sistema de autorregulación del pH, resultado del efecto amortiguador del ácido cítrico que a su vez se clasifica como un ácido alifático, el cual tiende a

convertirse en la sal correspondiente, dando como resultado el efecto amortiguador de la solución (R. Torres et al., 2013).

7.1.4 Pérdida de peso

A continuación, se presenta cual fue el comportamiento de la pérdida de peso del lulo (*Solanum quitoense* Lam) bajo las condiciones de almacenamiento planteadas para el desarrollo de esta investigación, el valor presentado es teniendo en cuenta el valor de peso inicial versus el peso final que tuvo el fruto al final del almacenamiento.

Tabla 7.

*Seguimiento al comportamiento de pérdida de peso expresado (%) durante los 15 días de almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.*

Tipo de empaque	TEMPERATURA		
	8°C	18°C	24°C
Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD)	2,920 ± 0,129	3,599 ± 0,104	5,832 ± 0,605
Bolsa de PEBD	3,099 ± 0,106	3,320 ± 0,099	3,735 ± 0,118
Caja PET	5,013 ± 0,129	6,017 ± 0,775	9,322 ± 0,170

De la tabla 7, se puede mencionar, que a medida que incrementa la temperatura de almacenamiento también lo hace el porcentaje de pérdida de peso, observándose claramente que entre todos los tratamientos existe una diferencia significativa ($p < 0,05$), es aquí donde se observa que el mejor tratamiento para evitar la pérdida de peso es cuando el lulo (*Solanum*

quitoense Lam) se almacena en bandeja de PS recubierta con capa plástica de PEBD a temperatura de 8°C; ahora bien cabe resaltar que la pérdida de peso es mucho más alta cuando el lulo (*Solanum quitoense* Lam) es empacado en caja PET, esto talvez porque este empaque posee orificios que no protegen al fruto del contacto con el aire exterior, caso contrario pasa en los otros tipos de empaque, los cuales funcionan como una barrera de protección para la fruta evitando que se genere una pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento.

Forero et al., 2014, registró pérdidas a los 15 días de 7,3% para frutos sin empaque y de 3,8% para frutos con empaque a temperatura ambiente, Balaguera et al., (2014) reportó pérdidas de 12,8% para lulo almacenado a temperatura ambiente y con el mismo intervalo de tiempo, finalmente es necesario hablar de la bolsa PEBD la pérdida de peso entre las temperaturas de almacenamiento si presenta diferencias significativas pero es inferior en comparación con los demás empaques, presentando un comportamiento similar al descrito sobre granadilla empacada en bolsa de PEBD perforada y sin perforar, donde la pérdida de peso fue menor cuando se utilizó como empaque una bolsa de PEBD sin perforar (Alvarado et al., 2011), pero cabe mencionar que cuando se almacenó el lulo (*Solanum quitoense* Lam) en las bolsas de PEBD se presenció una acumulación de agua en el fondo del empaque y esto se puede a que el empaque posee una permeabilidad muy baja a los gases, favoreciendo su acumulación con su posterior condensación debido a la alta concentración de estos en el interior. del empaque; el agua se acumula a partir del día 6 de almacenamiento sin importar el empaque, tal como se muestra en la figura 13 que se presenta a continuación.

Figura 14.

*Acumulación de líquidos durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bolsa de PEBD.*



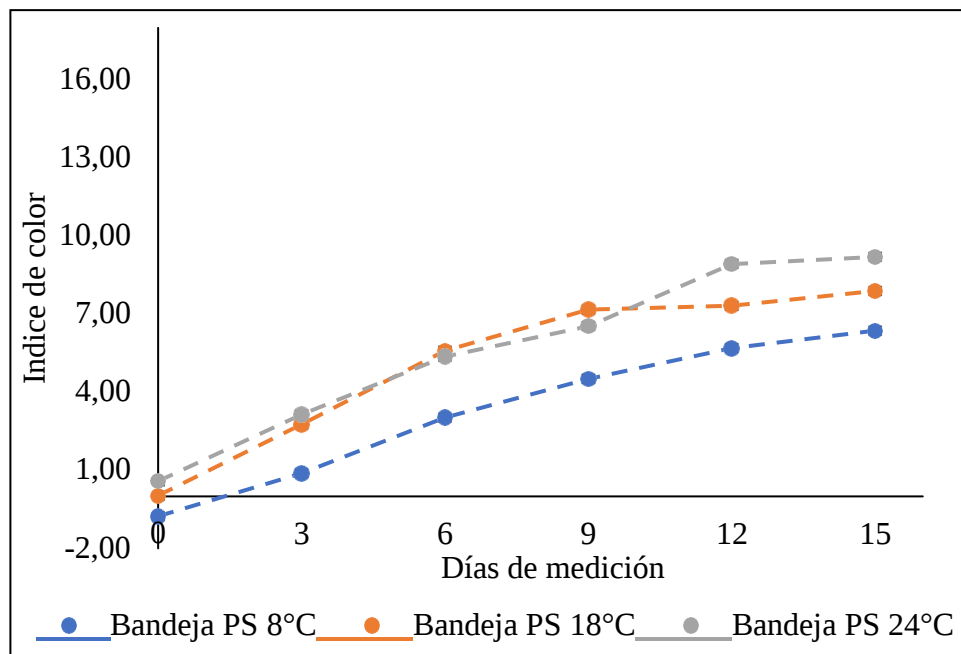
7.1.5 Color

El color es uno de los parámetros de gran importancia en el desarrollo de esta investigación ya que provoca hacia el consumidor que el fruto se vea apetitoso, aunque también se tiene que tener en cuenta que el cliente valora la integridad física y el tamaño (J. Muñoz et al., 2013), a continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron del seguimiento a esta propiedad sobre el lulo (*Solanum quitoense* Lam):

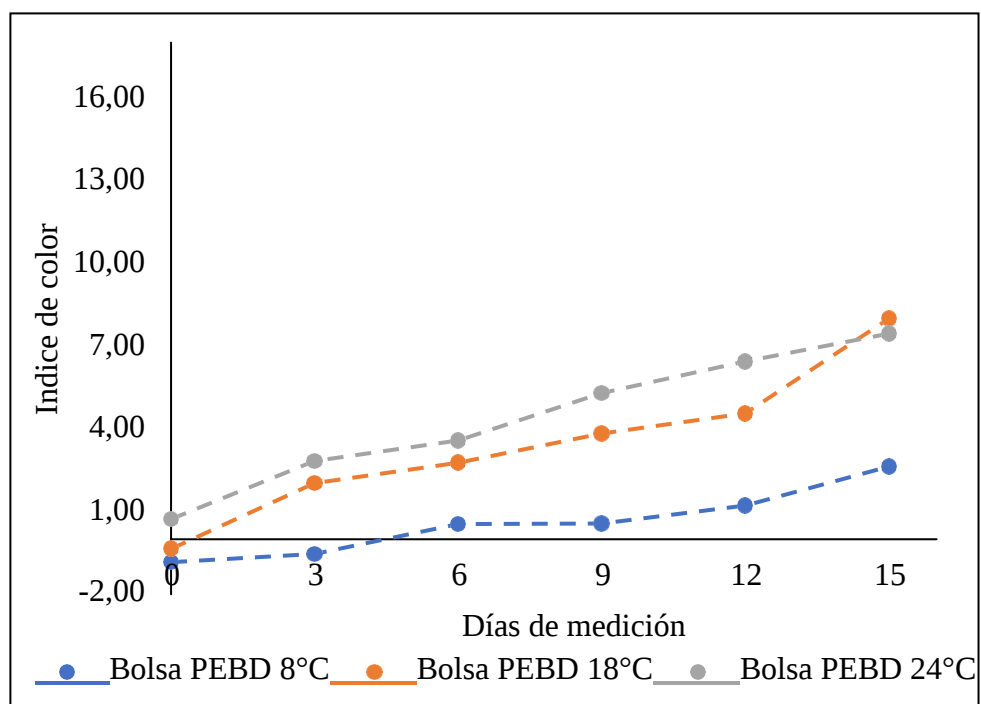
Figura 15.

*Seguimiento del índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.*

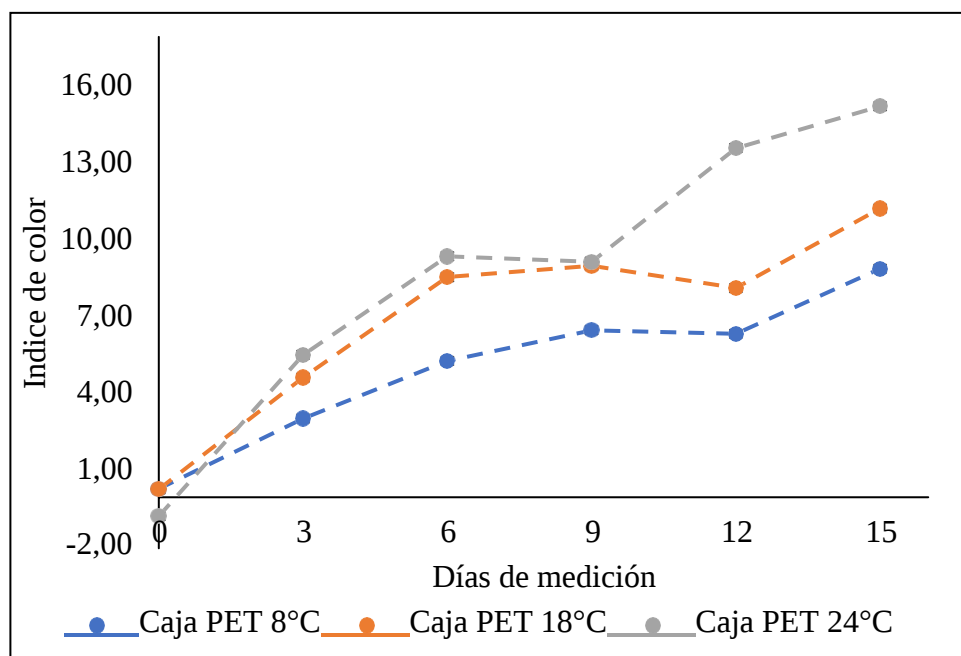
a)



b)



c)



Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En las figuras 15.a., 15.b., 15.c., todos los tratamientos están dentro del rango (-2, 2) el cual corresponde a tono de color amarillo verdoso característico del estado de madurez 2 del lulo (*Solanum quitoense* Lam) según NTC 5093 (ICONTEC, 2002) y entre los diferentes empaques el cambio de coloración al final del almacenamiento tiene una diferencia significativa ($p < 0,05$); se observar que el incremento del valor del índice está relacionado directamente con la temperatura, lo cual quiere decir que a mayor temperatura de almacenamiento se puede lograr que el fruto alcance colores más cercanos al naranja intenso, este cambio de coloración es característico del fruto y es resultado del proceso de maduración, propio de un fruto climatérico como es el lulo (*Solanum quitoense* Lam) (Monteiro et al., 2013).

En el lulo (*Solanum quitoense* Lam), estos cambios de coloración van desde el verde oscuro o verde amarillento hasta el naranja intenso, este cambio puede lograrse debido a la degradación de la clorofila (verde) a compuestos incoloros, al mismo tiempo que los carotenoides se sinterizan desde compuestos incoloros produciendo ξ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo), β -caroteno (naranja) y xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillo) (López Camelo & Gómez, 2004; Llerena et al., 2019), lo cuales pueden estar presentes y variando su concentración en el epicarpio generando los diferentes tonos de color que se observan durante el proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* Lam); además el cambio de color está relacionado con la acidez, astringencia y aroma que a su vez inciden en el sabor de fruto (López Camelo & Gómez, 2004), que es otro parámetro de calidad importante en el momento de juzgar la calidad del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

El cambio del color puede ser influenciado por variaciones en el pH y la acidez, pues estas propiedades tienen una alta incidencia sobre el color verde durante el proceso de maduración, como consecuencia de la degradación de la clorofila y la presencia de otros pigmentos como

betacarotenos y carotenos oxigenados, y xantofilas tal como ocurre en la corteza del lulo (*Solanum quitoense* Lam) (Azcón & Talón, 2009), finalmente es necesario mencionar que el mismo comportamiento del color se puede observar en la investigación realizada en piña variedad Cayena Lisa, la cual durante su periodo de almacenamiento se le hace un seguimiento al color (Y. García et al., 2011), en guayaba (Katusca et al., 2013), en mango (Galvis et al., 2002).

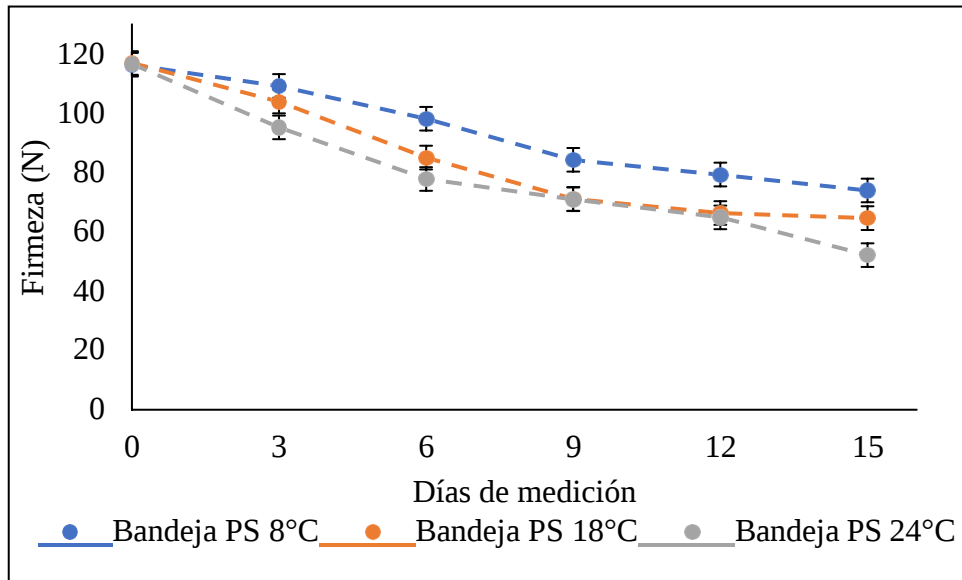
7.1.6 Firmeza

El seguimiento de esta propiedad equivale a realizar un seguimiento de la pérdida de rigidez por parte de la pared celular de la corteza del fruto por degradación de la pectina mediante acción de las enzimas (Martínez et al., 2017); dicho lo anterior es completamente normal que se presente una disminución del valor de la medición durante el almacenamiento del fruto pues están presente diferentes cambios en el interior del fruto que influyen directamente sobre esta propiedad.

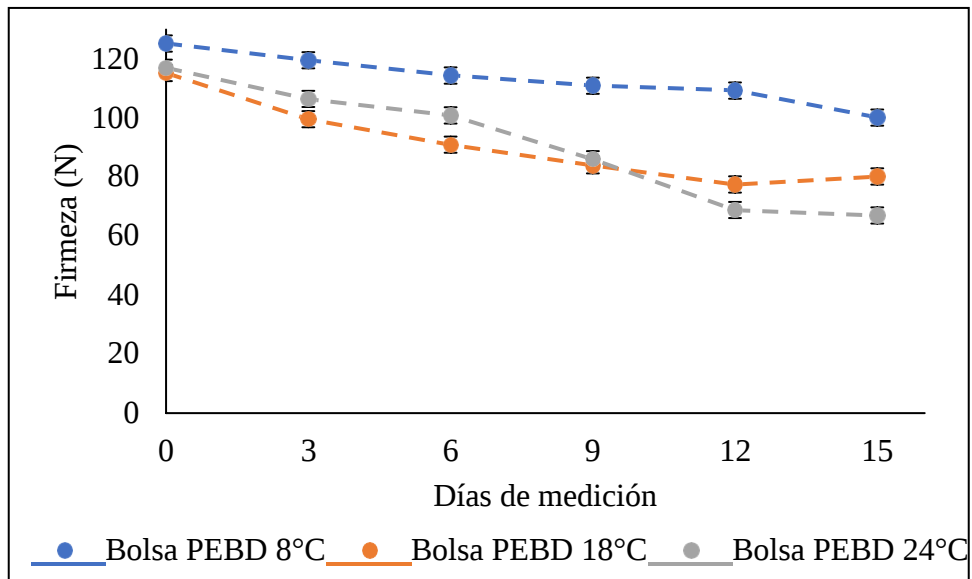
Figura 16.

*Seguimiento al comportamiento de la firmeza (N) de la pulpa del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes.*

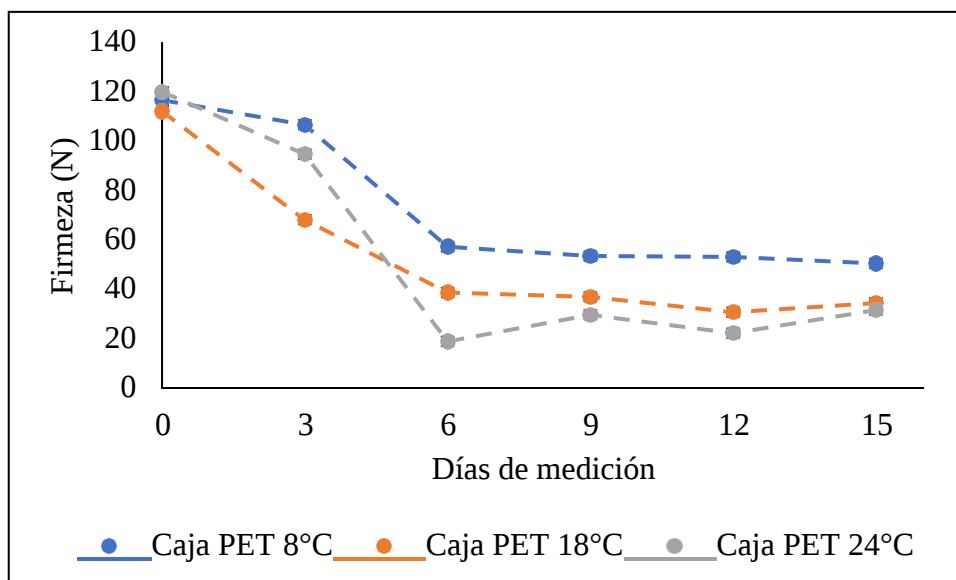
a)



b)



c)



Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En la figura 16.a., se observa el comportamiento de la firmeza donde existe una diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$), la variación de la firmeza en el lulo (*Solanum quitoense* Lam) presenta una tendencia hacia el descenso durante el tiempo de almacenamiento, e incrementa con respecto a la temperatura de almacenamiento; el empaque contiene el fruto posee la característica de ser permeable a los gases producidos, esto dado que la capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD), tiene la capacidad de ser permeable al agua (Saintpack, 2021), (Ares, 2006), generando una micro atmósfera del empaque, que no contiene humedad tan alta, evitando precipitados, la generación de daños al fruto y evitando que se presenten reacciones enzimáticas aceleradas en el lulo (*Solanum quitoense* Lam).

En la figura 16.b., el comportamiento de la firmeza presenta un comportamiento algo un poco inusual durante el tiempo de almacenamiento, pues pareciera que se conserva mejor la firmeza a lo largo de la tiempo de almacenamiento comparando con otros tratamientos con empaque diferente, aunque estos valores siguen dependiendo del incremento de la temperatura; cabe resaltar que esta anomalía puede deberse a la acumulación de gases y la alta concentración de humedad en el interior del empaque lo cual favorece la acumulación de agua dentro del fruto, provocando que este se raje durante el tiempo de la medición, haciendo que tengamos un resultado erróneo del estado de la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam), ahora bien como es un proceso de investigación es necesario aclarar que este error se presentó desde el día 6 de almacenamiento y sin importar la temperatura de almacenamiento.

En la gráfica 16.c., se observa que existe una diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$), donde es claro que esta propiedad sigue dependiendo del valor de la temperatura de almacenamiento, pero también es necesario mencionar que la caída de la firmeza es mucho más pronunciada cuando se almacena lulo (*Solanum quitoense* Lam) en caja de PET en comparación con los demás empaques que se utilizaron en el desarrollo de esta investigación, esto podría deberse a que este empaque no presenta una barrera confiable contra la influencia de agentes externos como microorganismos, hongos o las características propias de la atmósfera creada por el equipo utilizado para el almacenamiento.

El valor de la firmeza inicial del lulo (*Solanum quitoense* Lam) se adapta y es acorde a del estado de madurez 2 según la NTC 5093 (ICONTEC, 2002), correspondiendo a un valor inicial alrededor de $116,634 \pm 0,5$ N para todos los tratamientos, dicho valor va descendiendo según corresponda al tratamiento al que se haya sometido el fruto; este comportamiento puede obedecer a las diferentes reacciones enzimáticas presentes en su interior como por ejemplo

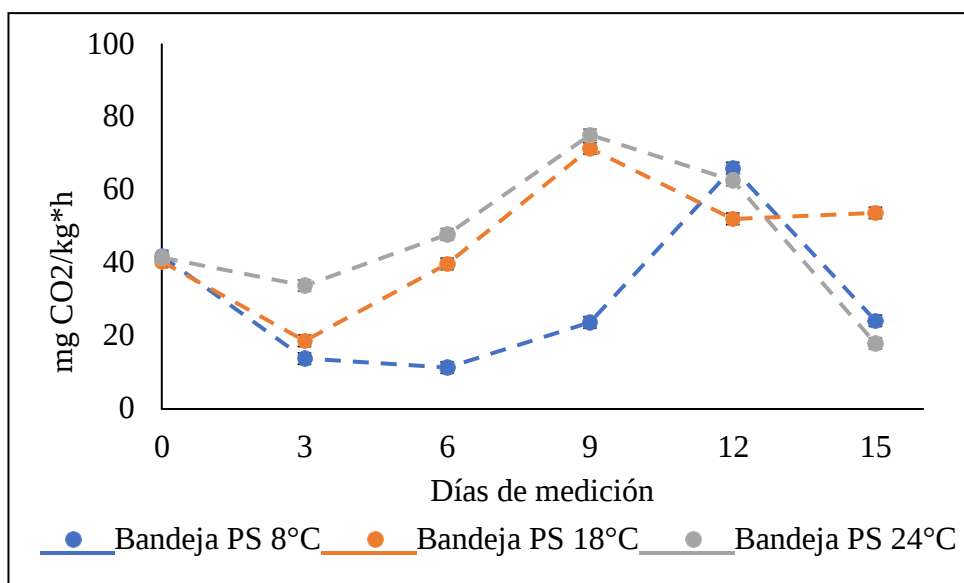
aquellas relacionadas con las β -xilosidasas las cuales son exoenzimas encargadas de hidrolizar el xilano presente en la pared celular vegetal, liberando residuos de β -D-xilosa, evidenciando que la enzima en mención afecta directamente en la rigidez de la pared celular de la célula vegetal, (Quiroga & Murillo, 2012), otra de las enzimas que se ha logrado identificar en el lulo (*Solanum quitoense* Lam) es la pectinesterasa (PE) la cual es una enzima capaz de hidrolizar enlaces éster metílico de los grupos carboxilo esterificados, liberando metanol (erróneamente asociado con el aroma fermentado del fruto), y transforma la pectina en pectina de bajo metoxilo, y finalmente otra de las enzimas importantes es la poligaracturonasa (PG) encargada de romper el enlace glicosídico $\alpha(1-4)$ del ácido galacturónico de pectinas; puede ser en el interior del polímero (endo), produciendo disminución rápida en la viscosidad, o en los extremos del polímero(exo) produciendo moléculas libres de ácido poli galacturónico; este tipo de enzimas se encuentran naturalmente en los frutos, son activas en presencia de Na^+ y algunas por Ca_2^+ (Rodriguez & Restrepo, 2011) y este tipo de compuestos menores también se han reportado en el fruto y son elementos que se aplican durante el desarrollo del cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam) (A. Torres et al., 2018; Viera et al., 2021) A estos factores es necesario agregar la influencia de la temperatura la cual está relacionada directamente con la velocidad de las reacciones de la degradación como se evidencia en estudios realizados en la Uchuva (E. H. Pinzón et al., 2015), arándanos (*Vaccinium myrtillus*) (Zapata et al., 2007), mango (*Manifera indica* L.) (Galvis et al., 2002); en consecuencia de la interacción de los factores ya mencionados se consigue la debilitación de la pared celular liberando una serie de compuestos químicos, que entran en reacción para influir en otras características del fruto como el color, los sólidos solubles totales, el aroma, etc; esto se pudo ver claramente en la evolución de todas estas propiedades en el desarrollo de este trabajo.

7.1.7 Respiración.

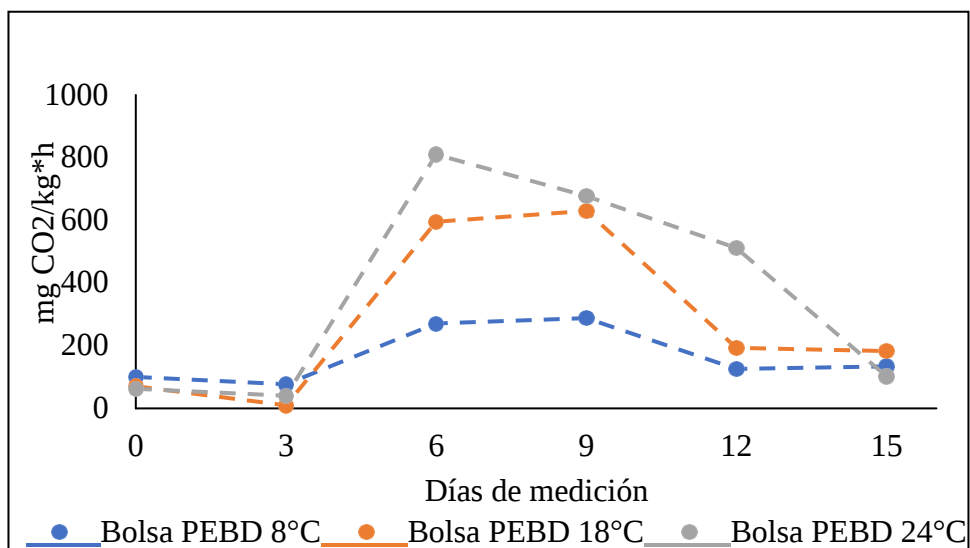
Figura 17.

*Seguimiento al comportamiento de la respiración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en tres temperaturas y empaques diferentes*

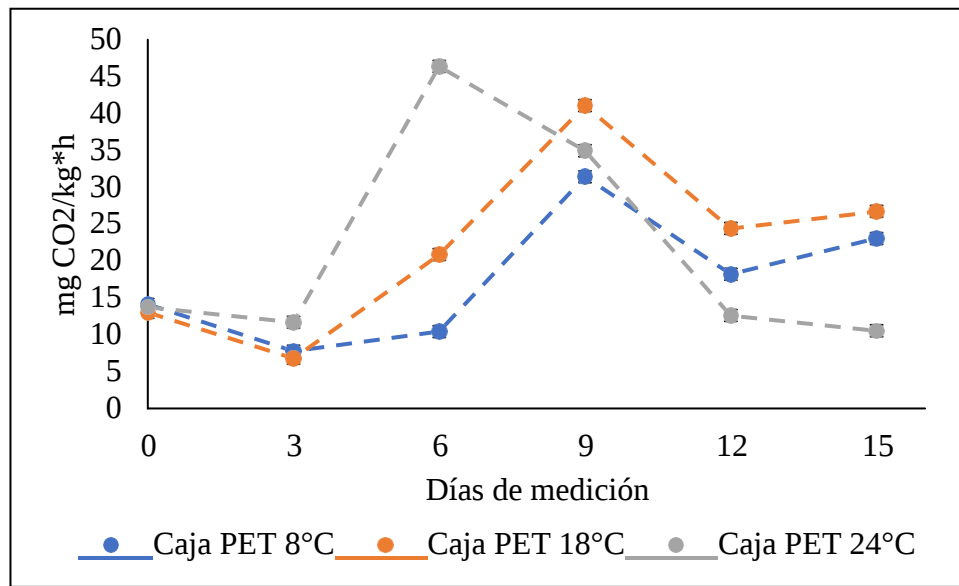
a)



b)



c)



Nota: los gráficos presentados corresponden a). Bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica polietileno de baja densidad (PEBD) b). Bolsa de PEBD c). Caja PET.

En la figura 17.a., se observa un comportamiento los valores se comportan como a lo esperado, donde el punto climatérico se observa claramente en todos los tratamientos, salvo que cuando los tratamientos almacenados a 24°C y 18°C tienen un similar comportamiento y se presume según los resultados que alcanzan el punto climatérico al mismo tiempo, es decir alrededor del noveno día de almacenamiento, mientras que para la temperatura de 8°C este punto se presenta alrededor del día 12 de almacenamiento, lo cual quiere decir que la temperatura de refrigeración retarda ese pico climatérico en el fruto, finalmente todos los datos presentados son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En la figura 17.b., todos los datos presentados en los tratamientos son significativamente diferentes entre ellos ($p < 0,05$), se puede observar que los valores obtenidos son demasiado altos para todos los tratamientos, esto puede tener una explicación en la baja permeabilidad de la bolsa de PEBD utilizada como empaque, favoreciendo una acumulación que se ve reflejado en la

presencia de precipitados en el empaque, pese a la anomalía que se presenta se puede observar el pico climatérico en todos los tratamientos, que independientemente de la temperatura estaría entre los días 6 y 9 de almacenamiento.

En la figura 17.c., se presenta el comportamiento de la respiración del fruto durante el tiempo, donde todos los tratamientos presentan una diferencia significativa entre ellos ($p < 0,05$); en el tratamiento almacenado a 24°C se observa un pico climatérico que estaría entre los días 6 a 9 de almacenamiento, mientras que para los tratamientos almacenados a 18°C y 8°C este pico se presenta alrededor del día 9 de almacenamiento, se podría decir que la temperatura influye en la velocidad con la que se presenta este pico respiratorio, algo adicional a mencionar es que los valores de las mediciones presentados en los tratamientos son mucho menores a los demás empaques utilizados, esto no quiere que la intensidad respiratoria sea menor, más bien puede significar que no se consideró en la investigación las posibles fugas del contenedor utilizado para la medición o que la caja de PET por su diseño no permite la formación de una micro atmósfera estable ya que la cámara en donde se controló las condiciones presenta un flujo de aire constante.

El proceso de respiración en el lulo (*Solanum quitoense* Lam) al ser considerado como un fruto climatérico se espera que este acompañado de un aumento en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y etileno (C₂H₄) (Monteiro et al., 2013), es este último un compuesto que regula y sincroniza todo el proceso de maduración (Omboki et al., 2015), incluso se menciona que el etileno puede funcionar como un coordinador que puede facilitar la maduración rápida y controlada de frutos climatéricos (Giovannoni, 2004), y es por esto que se hace necesario en el desarrollo de esta investigación la realización de un seguimiento de este parámetro ya que se busca la conservación del fruto durante el proceso de postcosecha; lo esperado si se cumple en el

desarrollo de esta investigación, pues en cada uno de los tratamientos se puede mirar que existe un pico climatérico.

El comportamiento de la respiración en Bandeja de PS recubierta con capa plástica de PEBD y Caja de PET, se considera como normal gracias a que diseño y composición de materiales del empaque pueden favorecer el intercambio de gases entre el interior y exterior de este, permitiendo un mejor control del proceso de respiración en colaboración con el manejo de la temperatura, esto se hace de manera convencional al momento de la conservación, modificar la atmósfera o disminuir la temperatura para que este compuesto sea producido en bajas cantidades y de esa manera retardar el proceso de maduración del fruto (Asif et al., 2009).

Los datos que se presentan, salvo los relacionados con el empaque en bolsa de PEBD se pueden considerar como normales y en similar comportamiento con lo reportado por Alvarez et al., (2016), el descenso entre la primera y segunda medición de la respiración en todos los tratamientos, puede deberse a una multiplicación celular al interior del fruto (Monteiro et al., 2013), se reporta que el pico climatérico del fruto se encuentra alrededor del 7 día de almacenamiento cuando este es almacenado en condiciones ambiente (Trujillo & Suares, 2010), aun así es necesario mencionar que los datos reportados pueden verse afectados por la variedad, condiciones de cultivo y almacenamiento del fruto.

Al finalizar el seguimiento de las propiedades fisicoquímicas se considera a la bolsa de polietileno de baja densidad (PEBD) como empaque no viable para este fruto, debido a los diferentes problemas presentados durante el almacenamiento (inflado del empaque, acumulación de líquidos, limitación del proceso de maduración, olores desagradables, etc), luego al comparar los dos empaques restantes se elige a la bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD) como el mejor empaque para el almacenamiento del lulo

(*Solanum quitoense* Lam), debido a que ofrece una protección eficaz al fruto contra efectos de la atmósfera exterior, uno el tratamiento almacenado a 8°C registra una menor pérdida de peso, la firmeza y el índice de color presentan una menor variación con respecto a los valores registrados en el empaque con caja PET, por lo cual se asume que este empaque ofrece una mejor condición para el almacenamiento de este fruto.

Finalmente es necesario mencionar que cuando se utiliza el mejor empaque con la menor temperatura de almacenamiento se obtiene un mejor proceso de conservación, ya que el proceso de maduración con todos sus efectos disminuye su velocidad.

7.2 Resultado de objetivo específico dos, análisis de sensorial.

7.2.1 Evaluación sensorial de la textura.

Tabla 8.

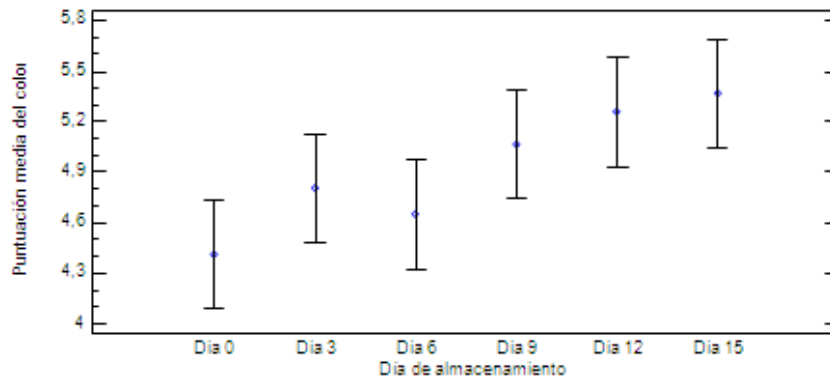
*Análisis de varianza para la evaluación sensorial de la textura del lulo (*Solanum quitoense* Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.*

	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Día de almacenamiento	42,25	5	8,45	2,96	0,0127
Residuos	770,37	270	2,85322		
Total (Corrido)	812,62	275			

Fuente. Este estudio

Figura 18.

Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial de la textura del lulo (*Solanum quitoense* Lam).



Fuente. Este estudio

De la tabla 8 se puede afirmar los días de almacenamiento tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en el momento de medir la sensorialmente la textura, con un alto nivel de confianza (95%), esto quiere que a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento hubo cambios en la textura del lulo (*Solanum quitoense* Lam) que fueron percibidos cuando se realizó la evaluación sensorial, al observar la figura 18 la mejor puntuación media se presentó para la textura en el día 6 de almacenamiento, es decir que este día el cliente asume que la textura percibida del fruto como la mejor para su compra o consumo.

7.2.2 Evaluación sensorial del color.

Tabla 9.

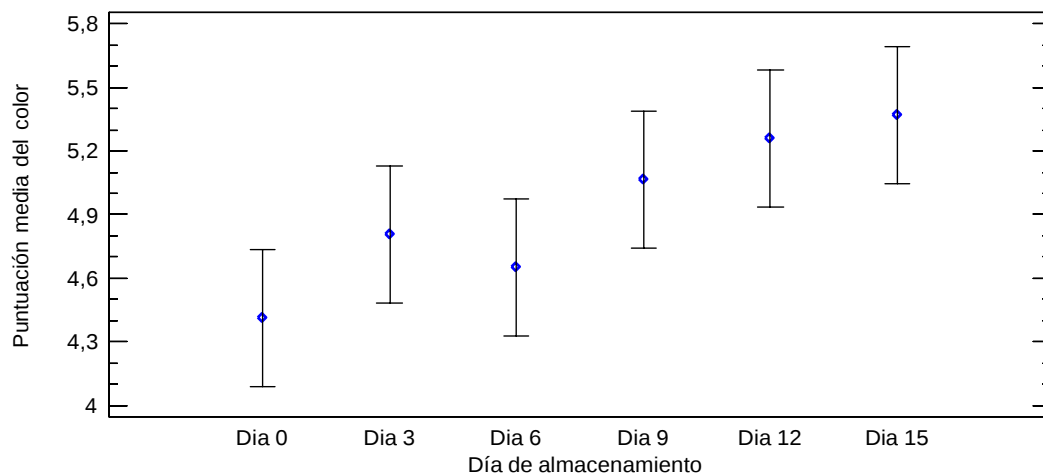
Análisis de varianza para la evaluación sensorial del color del lulo (Solanum quitoense Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.

	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Día de Almacenamiento	31,3333	5	6,26667	2,51	0,0303
Residuos	673,217	270	2,4934		
Total (Corregido)	704,551	275			

Fuente. Este estudio

Figura 19.

Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial del color del lulo (Solanum quitoense Lam).



Fuente. Este estudio

De la tabla 9 se puede afirmar los días de almacenamiento tuvieron un efecto significativo en el momento de medir sensorialmente el color ($p < 0,05$) y con nivel de confianza (95%), esto quiere decir que se identificó los cambios de coloración del fruto a medida que avanza el tiempo de almacenamiento y estos fueron percibidos cuando se realizó la evaluación sensorial. De la figura 19, al realizar la comparación de las medias día a día de almacenamiento no se encuentran diferencias significativas ($p > 0,05$), esto tal vez porque el cambio en la coloración se va

realizando de manera muy sutil y el panel sensorial al no presentar entrenamiento no es capaz de detectar esa mínima variación de color entre los días de una manera más precisa o que esta propiedad por si sola para el panel sensorial es indiferente para la preferencia del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

7.2.3 Evaluación sensorial del sabor.

Tabla 10.

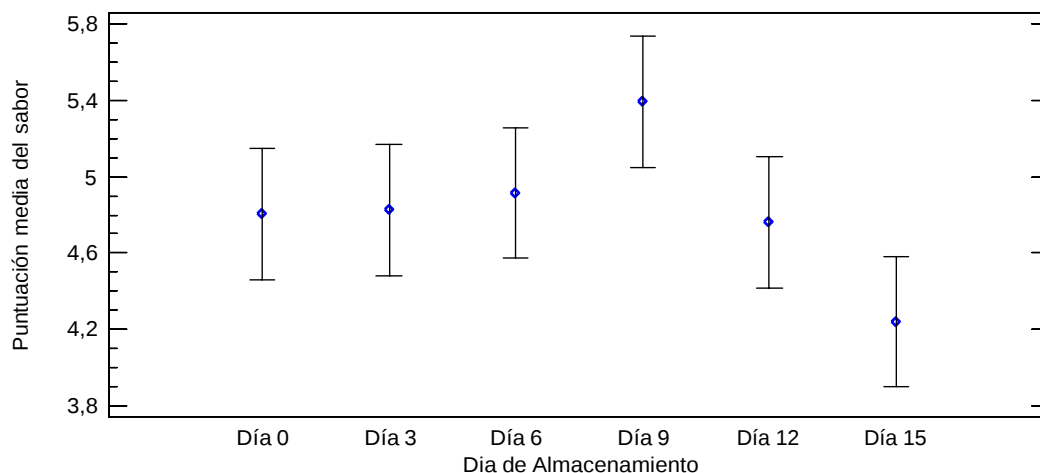
*Análisis de varianza para la evaluación sensorial del sabor del lulo (*Solanum quitoense* Lam) medido durante el almacenamiento en condiciones ambientales.*

	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Día de almacenamiento	31,1051	5	6,22101	2,23	0,0516
Residuos	753,196	270	2,78961		
Total (Corregido)	784,301	275			

Fuente. Este estudio

Figura 20.

*Medias LSD de Fischer correspondientes a la evaluación sensorial del sabor del lulo (*Solanum quitoense* Lam).*



Fuente. Este estudio

De la tabla 10 se puede afirmar los días de almacenamiento no tuvo un efecto significativo en el momento de medir la variable sensorial del sabor ($p > 0,05$), esto quiere decir que la

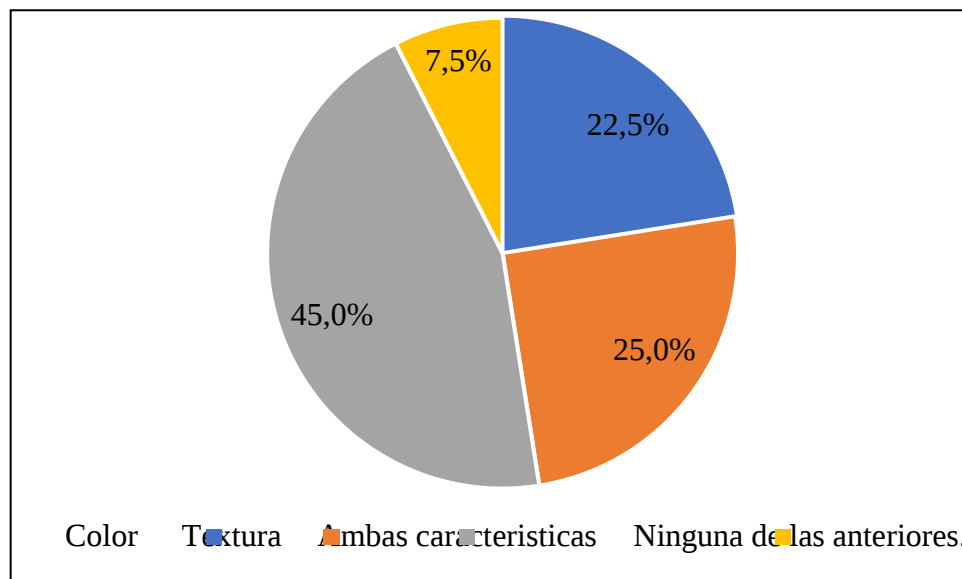
percepción del sabor por parte de los paneles sensoriales fue similar sin importar el tiempo de almacenamiento, esto puede sugerir que el lulo (*Solanum quitoense* Lam) tiene una gran aceptación para el consumo; al analizar la figura 20, posible mirar que existe un pequeño pico en la preferencia del sabor del lulo (*Solanum quitoense* Lam) ubicado en el día 9, es este día de gran importancia para de desarrollo de esta investigación pues este valor se lo tomara como referencia ya que este indica la mayor aceptabilidad al gusto del lulo (*Solanum quitoense* Lam) por parte del consumidor.

7.2.4 Análisis de la pregunta de información

La finalidad fue indagar en el consumidor sobre cual o cuales son las características que debe de tener el lulo (*Solanum quitoense* Lam) en el momento de la compra, pues lo que se buscó con el desarrollo de esta investigación es la conservación del fruto sin que se afecte la calidad del fruto; la pregunta que se practicó fue la siguiente “¿Al momento de la compra del fruto usted que tiene en cuenta?, con las siguientes opciones de respuesta, a) color, b) textura, c) ambas características, d) ninguna de las anteriores”, los datos obtenidos se presentan en la figura 23.

Figura 21.

Distribución porcentual de la respuesta a la pregunta ¿Al momento de la compra del fruto usted que tiene en cuenta? cuyas respuestas fueron a) color, b) textura, c) ambas características, d) ninguna de las anteriores.



Fuente. Este estudio

En la figura 21 se puede observar la distribución porcentual a la respuesta que se planteó al final de la prueba sensorial, lo que la gráfica indica es que en el momento de la compra del lulo (*Solanum quitoense* Lam), el cliente tiene en cuenta varios parámetros para asumir que el producto cumple con las características de su preferencia, a allí donde aparece el concepto de calidad el cual abarca una serie de requisitos microbiológicos, físicos, químicos y el organoléptico (Vásquez, 1995), siendo este parámetro de gran importancia, ya que se busca que el fruto que se almacene bajo las condiciones ideales donde no se vea afectado en su calidad, para que el consumidor no lo juzgue de manera negativa.

Además de los resultados expresados en la figura 23 se decidió juntar bajo una misma variable los parámetros de color y textura (calidad exterior agradable-W), porque los panelistas expresan bajo la respuesta a la pregunta hecha, que no se tiene en cuenta un solo parámetro para

la compra del fruto, más bien es el conjunto de varios parámetros los que hacen que se asuma que el lulo (*Solanum quitoense* Lam) tiene la calidad aceptable para la compra. La variable W es la que se va a analizar bajo la metodología de la lógica difusa, esto con el fin de tener un mejor análisis de los datos de la evaluación sensorial del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

7.2.5 Análisis general por el método de la lógica difusa

Siguiendo la metodología de comprensión de los datos de la evaluación sensorial por medio de una aproximación difusa según Ávila & Gonzáles, (2011), es necesario plantear las siguientes preposiciones y su covalentes.

- W: lulo (*Solanum quitoense* Lam) percepción de calidad exterior agradable.
- D: lulo (*Solanum quitoense* Lam) de sabor agradable.

Donde las variables anteriores se pueden presumir que están influenciadas por las siguientes propiedades fisicoquímicas:

- w: (firmeza, índice de color)
- d: (Brix, Sólidos solubles totales, pH, Acidez titulable)

La idea principal al desarrollar esta metodología es que se puedan encontrar los límites en la evaluación sensorial teniendo en cuenta las preposiciones (W, D), que para este caso son los valores más altos o bajos de la sumatoria y promedio de las calificaciones realizadas por los panelistas, lo que directamente podría interpretarse como los puntos en los que el fruto alcanza su mayor o peor preferencia hacia la característica evaluada.

Tabla 11.

Resultados de la evaluación sensorial del lulo (Solanum quitoense Lam): percepción de calidad exterior (W) por medio del método de la lógica difusa.

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
Suma (Σ)	405	451	460	429	444	439
Promedio (X)	4,402	4,902	5,000	4,663	4,826	4,772

Fuente. Este estudio

Tabla 12.

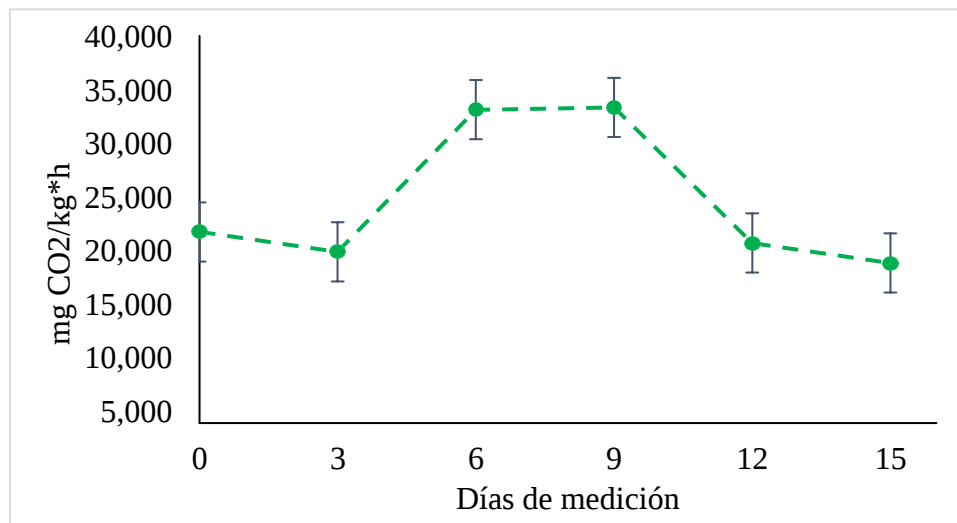
Resultados de la evaluación sensorial del lulo (Solanum quitoense Lam): sabor (D) por medio del método de la lógica difusa.

JUEZ	DIA 0	DIA 3	DIA 6	DIA 9	DIA 12	DIA 15
Suma (Σ)	221	222	221	227	219	195
Promedio (X)	4,804	4,826	4,804	4,934	4,76	4,23

Fuente. Este estudio

Figura 22.

Seguimiento al comportamiento de la respiración del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado en condiciones ambientales del municipio de San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.



Fuente. Este estudio

De la tabla 11 se puede observar que el máximo en la calificación se alcanza al día 6 de almacenamiento, mientras que el mínimo de calificación se alcanza para el día 0, es decir que la

percepción de calidad que tiene el cliente es la mejor en el día 6 cuando las propiedades de color y textura se mezclan de la manera ideal, de tal manera que el cliente asume que con el color que observa y la textura que percibe a través del tacto es la mejor, e intuye que el fruto se encuentra en la madurez o en la calidad óptima para su consumo; caso contrario ocurría para el día 0. El lulo (*Solanum quitoense* Lam), es un fruto que tiene una excelente percepción de calidad al tener en cuenta el color y la textura, esto teniendo en cuenta las diferencias que se puedan presentar en las técnicas de cultivo y la calidad en la cosecha (A. Torres et al., 2018).

En la tabla 12 se presentan los resultados de la evaluación sensorial del sabor, donde se presenta un máximo en la calificación en el día 9 de almacenamiento, mientras que lo contrario se presenta en el día 15 de almacenamiento; en el día donde se alcanza la mayor preferencia en el sabor se presume porque la interacción entre la cantidad de sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Bx}$), la acidez, pH y compuestos volátiles hacen que el lulo (*Solanum quitoense* Lam) tenga una sabor agradable al paladar; esta característica puede verse influenciada por muchos factores, como la temperatura, el tipo de empaque o el manejo del cultivo (A. Torres et al., 2018); es decir que estos factores también deberían ser estudiados para lograr un fruto con la mayor aceptabilidad posible.

Los valores más altos para W y D están dentro del rango donde se presenta el pico climático, entre los días 6 y 9 de medición como se observa en la figura 24, esto quiere decir que coincide con el periodo en el cual el lulo (*Solanum quitoense* Lam) alcanza su madurez organoléptica como lo reporta Trujillo & Suares, (2010), Monteiro et al., (2013), González et al., (2014); del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado a temperatura ambiente sin ningún tipo de empaque y teniendo en cuenta los puntos máximos para W y D se determinó los valores límite de las propiedades fisicoquímicas que

servirán para determinar el momento en el que termine la vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam), es decir en el día 9 de almacenamiento, firmeza de $82,110 \pm 2,901$ (N) e índice de color de $5,997 \pm 1,072$.

Todos los datos que se ha presentado en esta parte de la investigación esta está sujeto a la aceptación intrínseca del lulo (*Solanum quitoense* Lam) que es la consecuencia de la reacción del consumidor entre las propiedades físicas, químicas y texturales del mismo, es por esto que en análisis sensorial se transforma en una herramienta de suma importancia o utilidad, dado que permite encontrar atributos de valor importante para los consumidores (Centurión et al., 2008).

7.3 Resultado de objetivo específico tres, modelamiento matemático

Para la realización del modelamiento matemático se consideró los siguientes criterios:

- Se aplicó el modelamiento matemático a los datos obtenidos de bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD), ya que del objetivo específico uno se lo elige como el mejor empaque para el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam).
- Los valores críticos de firmeza ($82,110 \pm 2,901$ N) e índice de color ($5,997 \pm 1,072$) correspondientes al día 9 de almacenamiento del fruto en condiciones ambiente, se los considera como los valores mínimos que deben tener estas propiedades para que el lulo (*Solanum quitoense* Lam) tenga una óptima aceptabilidad por parte del consumidor.

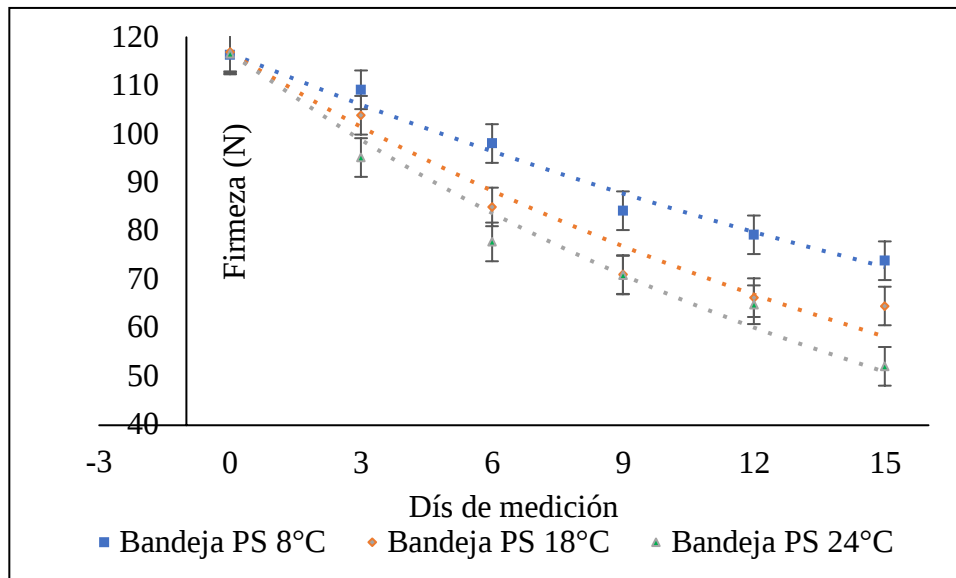
Luego se procede a la evaluación de la tendencia de los valores de firmeza e índice de color durante el almacenamiento a las diferentes temperaturas utilizadas en el proceso de investigación, para después verificar el ajuste con varios modelos matemáticos (VER ANEXO), eligiendo al modelo de orden uno y al modelo logístico como aquellos que describen mejor el

comportamiento de la firmeza e índice de color respectivamente, a continuación se describe a detalle el proceso de modelamiento matemático para cada una de las propiedades.

7.3.1 Modelamiento de la firmeza.

Figura 23.

*Comparación de la tendencia del modelo de orden uno con los valores de firmeza obtenidos durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes.*



Fuente. Este estudio

$$F = F_o * \exp^{-k*t} \quad \text{Ecuación 6}$$

El modelo de orden uno observado en la figura 23 y expresado matemáticamente mediante la ecuación 6 tiene una tendencia no lineal debido a la forma exponencial de la ecuación, para la firmeza su inclinación es hacia el descenso, se eligió el modelo de orden uno por su ajuste con los datos del comportamiento de la firmeza durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam); este ajuste se verificó mediante los valores estadísticos de R cuadrado y RMSE.

El modelo está compuesto por varias constantes, F_0 es el valor inicial de la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en estado de madurez 2, k es la velocidad de decrecimiento que tiene la firmeza a diferentes temperaturas y t es el tiempo de almacenamiento.

Tabla 13.

Parámetros del modelo del modelo de orden uno para la firmeza para diferentes temperaturas de almacenamiento.

Temperatura (°K)	Fo (N)	k (Día ⁻¹)	R- ajustado	RMSE
281,15	116,63	0,0316	0,98	2,31
291,15	116,633	0,0463	0,92	4,27
297,17	116,633	0,0552	0,97	3,80

Fuente. Este estudio

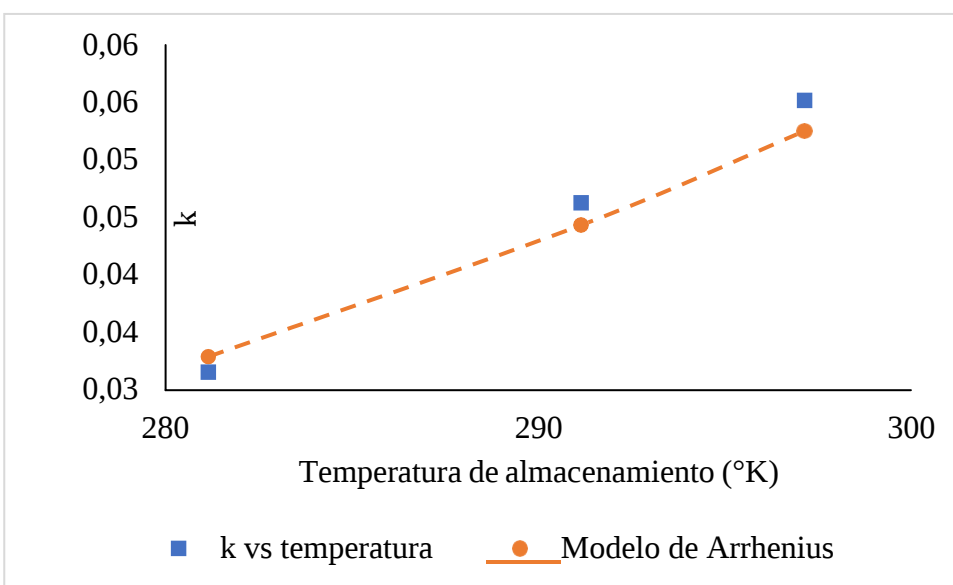
Dentro del modelo de orden uno la constante k es la encargada de describir la velocidad con la que se está realizando el cambio de la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam) durante el tiempo de almacenamiento, cuando se evalúa el modelo con respecto a cada tratamiento se obtienen diferentes valores de k (tabla 14), siguiendo con la metodología se asume que k puede verse influenciada por la temperatura (Salinas et al., 2007), entonces este factor tiene un efecto sobre la velocidad de cambio de la firmeza, para demostrar dicha afirmación se gráfica los valores de k versus la temperatura de almacenamiento °K (Figura 24) y se verifica el ajuste con el modelo de Arrhenius (Ecuación 7), de la gráfica obtenida se observa que velocidad de cambio aumenta con respecto a la temperatura, aunque no de manera directa ya que la ecuación 7 tiene una forma exponencial, lo cual quiere decir el valor k incrementa que hasta cierto valor de temperatura, para después tener una tendencia a ser constante; con un ajuste R cuadrado de 0,93 y un RMSE de 3,49 se puede decir que el modelo de Arrhenius describe el comportamiento de

los datos graficados y que la temperatura tiene un efecto sobre la velocidad de cambio de la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam) como lo ha mencionado (Salinas et al., 2007).

Finalmente, de este mismo proceso también se obtiene el valor del factor preexponencial y de la energía de activación que se expresan en la tabla 14.

Figura 24.

Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) a cada temperatura de almacenamiento.



Fuente. Este estudio

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \text{ Ecuación 7}$$

Tabla 14.

*Energía de activación y factor preexponencial de la ecuación tipo Arrhenius para la constante cinética k del modelo de primer orden de la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam).*

Para la constante cinética k			
K ₀ (Día ⁻¹)	E _a (J/mol)	R ajustado	RMSE
193,4	20286,16	0,991	0,0035

Fuente. Este estudio

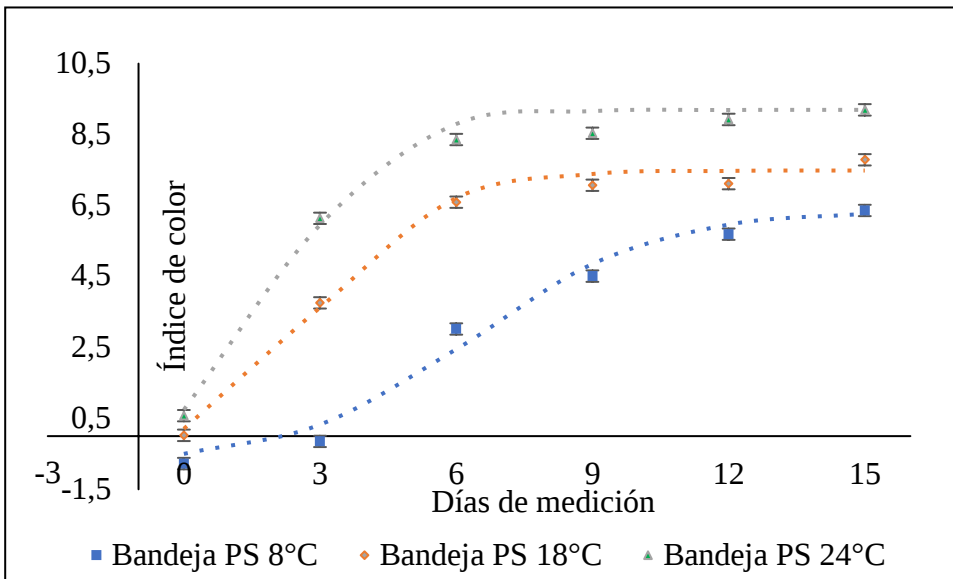
Es necesario mencionar que la energía de activación se asume como el valor mínimo de energía necesario para que se produzca un cambio en la firmeza del lulo (*Solanum quitoense* Lam) mientras que el valor k registra la velocidad con la que se está realizando este cambio, pero es necesario aclarar que k está relacionado con la velocidad de las reacciones enzimáticas, de las cuales se ha demostrado su influencia en el cambio de la firmeza, por ejemplo las β -xilosidasas encargadas de hidrolizar el xilano presente en la pared celular vegetal (Quiroga & Murillo, 2012), la pectinesterasa (PE) que transforma la pectina en pectina de bajo metoxilo, y la poligacturonasa (PG) encargada de romper el enlace glicosídico $\alpha(1-4)$ del ácido galacturónico de pectinas (Rodriguez & Restrepo, 2011), reacciones enzimáticas que también están relacionadas con el efecto de la temperatura, (Galvis et al., 2002; Zapata et al., 2007; (E. H. Pinzón et al., 2015).

Con todos los datos expresados anteriormente se puede encontrar el valor de la firmeza a cualquier temperatura, para dicho fin primero se utiliza del factor preexponencial y la energía de activación de la tabla 15, junto con el modelo de Arrhenius para encontrar el valor de k a la temperatura de interés, este valor se lo reemplaza en la ecuación 6 obtener el valor de la firmeza a la temperatura y tiempo de almacenamiento requerido.

7.3.2 Modelamiento del índice de color.

Figura 25.

Comparación de la tendencia del modelo logístico con los valores de índice de color obtenidos durante el almacenamiento del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plásticas de polietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes.



Fuente. Este estudio

$$IC = IC_o - \frac{IC_o - IC_{equi}}{1 + (-k * (t - t_m))} \quad \text{Ecuación 8}$$

El modelo logístico observado en las líneas punteada la figura 25 y expresado matemáticamente mediante la ecuación 8 describe el comportamiento del índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam) con una forma sigmoideal, es decir que gráficamente esta propiedad presenta un cambio drástico en un tiempo, para finalmente estabilizarse; la ecuación 8 está compuesta de varias constantes, IC_o es el valor inicial del índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam) en estado de madurez 2, IC_{equi} es el valor del índice de color más alto obtenido durante el almacenamiento del fruto a diferentes temperaturas, IC_{cri} es el valor crítico de aceptación del índice de color, k es la velocidad de crecimiento del índice de color a diferentes

temperaturas, t_m es el tiempo medio de respuesta y t es el tiempo de almacenamiento experimentales.

El modelo logístico se evaluó para cada tratamiento planteado con el mejor empaque, obtenido valores de k y t_m para cada temperatura de almacenamiento como se observa en la tabla 16, el ajuste el modelo a los datos experimentales se puede observar en los coeficientes estadísticos de R ajustado y RMSE, los demás parámetros son establecidos como constantes y son producto del comportamiento de la propiedad en todos los tratamientos que utilizan bandeja de poliestireno y la evaluación sensorial realizada.

Tabla 15.

Parámetros del modelo del modelo logístico de la firmeza para diferentes temperaturas de almacenamiento.

Temperatura (°K)	IC _o	IC _{equi}	IC _{crit}	K (Día ⁻¹)	t _m (Día)	R ajustado	RMSE
281,15	-0,771	6,362	9,199	0,230	9,330	0,926	0,758
291,15	-0,771	6,362	9,199	0,314	5,110	0,927	0,839
297,17	-0,771	6,362	9,199	0,336	4,756	0,9743	0,537

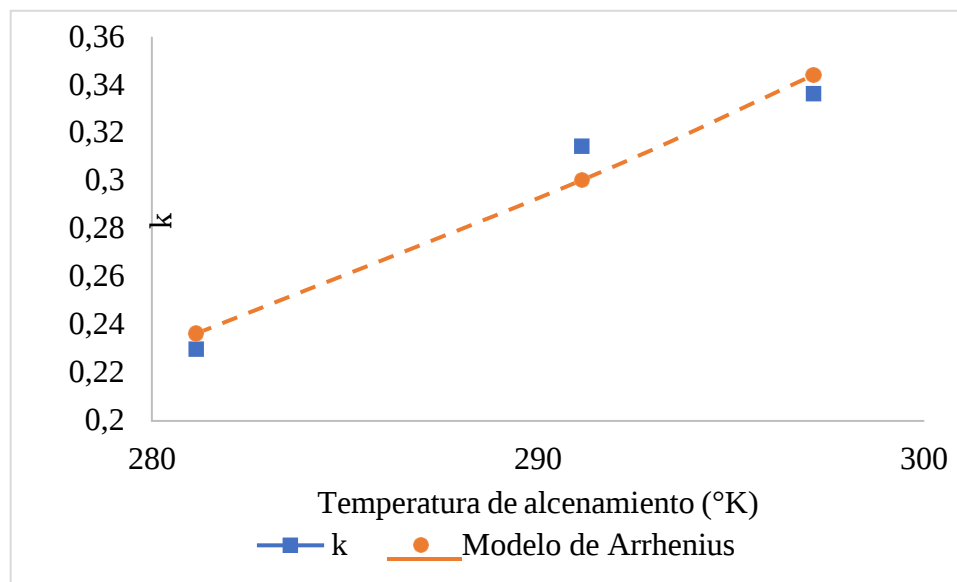
Fuente. Este estudio

Teniendo en cuenta que el cambio del índice de color depende de una velocidad de crecimiento k y que t_m representa el tiempo en donde se produce en mayor cambio de esta propiedad, se presume que estos parámetros pueden verse influenciados por otros factores como la temperatura (Salinas et al., 2007), entonces se asume que el factor de la temperatura tiene un efecto sobre la velocidad de cambio del índice de color, es por esto que se verifico el ajuste de los datos de los tratamientos con el modelo de Arrhenius (Ecuación 9 para k) (Ecuación 10 para t_m) cuando se gráfica los valores de k versus la temperatura de almacenamiento °K (figura 26) y t_m versus la temperatura de almacenamiento °K (figura 27), obteniendo un ajuste R cuadrado de 0,93 y 0,99 para firmeza e índice de color respectivamente, obtenido los valores anteriores se puede

mencionar que el modelo describe el comportamiento de la velocidad de cambio del índice de color y el tiempo medio de respuesta, a su vez que estos coeficientes están influenciados por la temperatura de almacenamiento, adicionalmente del modelo de Arrhenius se obtiene el valor del factor preexponencial y de la energía de activación para para los coeficientes k y t_m expresados en la tabla 15.

Figura 26.

Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) a cada temperatura de almacenamiento.

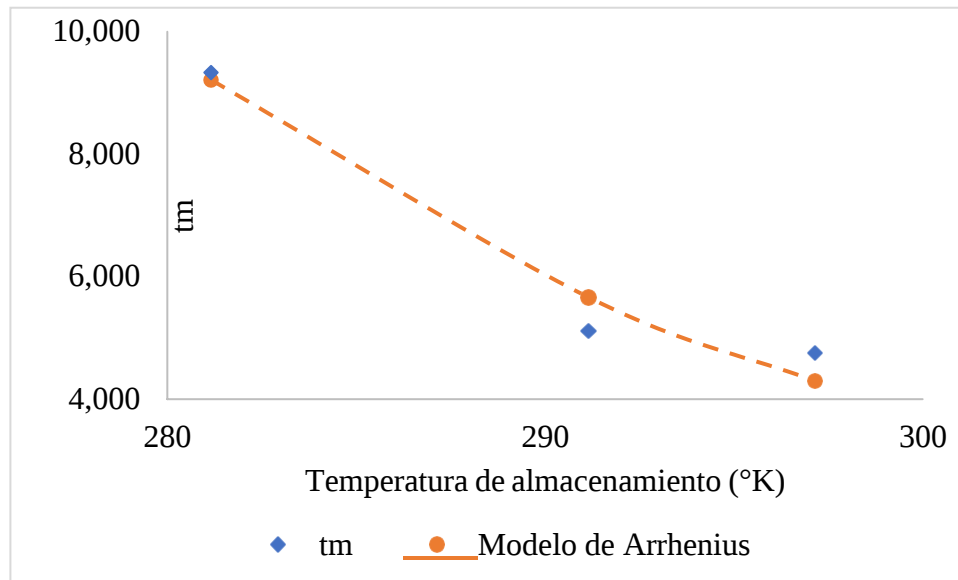


Fuente. Este estudio

$$k_{ic} = k_{ico} \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) \text{ Ecuación 9}$$

Figura 27.

Comparación de la tendencia del modelo de Arrhenius con los coeficientes de tiempo mediante respuesta del índice de color (t_m) a cada temperatura de almacenamiento.



Fuente. Este estudio

$$t_m = t_{m0} \exp \left(\frac{E_a}{RT} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

Tabla 16.

Energía de activación y factor preexponencial de la ecuación tipo Arrhenius para las constantes cinéticas k y t_m del modelo logístico del índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

Para la constante cinética k			
K_0 (Día ⁻¹)	E_a (J/mol)	R ajustado	RMSE
253,8	16312,068	0,905	0,017
Para la constante cinética t_m			
t_{m0} (Día)	E_a (J/mol)	R ajustado	RMSE
6,439E-6	-33131,29	0,918	0,729

Fuente. Este estudio

Con todos los datos expresados anteriormente se puede encontrar el valor del índice de color a cualquier temperatura, para dicho fin primero se utilizan los factores preexponenciales y la energía de activación expresados en la tabla 17, junto con el modelo de Arrhenius para encontrar

los valores de k y t_m a la temperatura de interés, este valor se lo reemplaza en la ecuación 6 obtener el valor de la firmeza a la temperatura y tiempo de almacenamiento requerido.

Un análisis adicional es que el valor k indica que la velocidad con la que se está presentando el cambio el índice de color aumenta en relación con la temperatura, mientras que el valor de t_m tiene un comportamiento inverso con la temperatura. Se podría sugerir que la velocidad k está relacionada con la actividad enzimática que desencadena de la degradación de la clorofila (verde), la síntesis de compuestos químicos que manifiestan un color como ξ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo), β -caroteno (naranja) y xantofilas y carotenoides hidroxilados (amarillo) (López Camelo & Gómez, 2004), este cambio de coloración es complejo de explicar puesto que entran en acción factores como la acidez, pH, concentración de sustrato, efectos catalizadores, etc (López Camelo & Gómez, 2004), pero lo que es claro es que k determina la velocidad con que se realiza el cambio de la coloración del lulo (*Solanum quitoense* Lam). Finalmente, el comportamiento de t_m expresa que se necesita un menor tiempo de para reflejar un cambio significativo en el índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam) a medida que aumenta la temperatura.

Ecuaciones de vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en bandeja de poliestireno recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad.

La vida útil se asume se asume como el tiempo en que la fruta tarda en alcanzar en punto crítico, ya sea para firmeza o para índice de color, dicho lo anterior la ecuación de vida útil de la firmeza (ecuación 11) y la ecuación de vida útil del índice de color (ecuación 12) se obtienen del proceso de despejar la variable tiempo (t) a partir de la ecuación de firmeza (ecuación 6) y la ecuación de índice de color (ecuación 8).

$$vida\ útil\ (t_F) = -\frac{\ln(\frac{F}{F_0})}{k} \text{ Ecuación 11}$$

$$vida\ útil\ (t_{IC}) = t_n - \frac{Ln(\frac{IC_{equi}-IC_o}{IC-IC_o}-1)}{k} \quad Ecuación\ 12$$

Para la obtención de la vida útil con respecto a la firmeza e índice de color del lulo (*Solanum quitoense* Lam), es necesario tener en cuenta los puntos críticos de aceptabilidad para firmeza ($82,110 \pm 2,901$ N) e índice de color ($5,997 \pm 1,072$) obtenidos a partir del segundo objetivo específico de esta investigación, ya que son estos puntos donde se asume que el fruto tiene el mayor grado de aceptabilidad y después de este punto el fruto tiene una disminución en dicho valor, dicho lo anterior con las ecuaciones 11 y 12 se puede determinar el tiempo que tarda el fruto en alcanzar dichos parámetros críticos, al valor encontrado de lo denomina como vida útil, dicho valor dependerá de la temperatura de almacenamiento como se puede observar en la tabla 18.

Tabla 17.

*Vida útil del lulo (*Solanum quitoense* Lam) calculada en base a la firmeza y al índice de color, utilizando como empaque la bandeja de poliestireno recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad.*

Temperatura	vida útil (t_F) – días	vida útil (t_{IC}) – días
8°C – 281,15°K	11,2638 (11)	12,5859 (13)
18°C – 291,15°K	7,5806 (8)	7,4889 (7)
24°C – 297,15°K	6,3584 (6)	6,9801 (7)

Fuente. Este estudio

De la tabla 18 se puede concluir que cuando el lulo (*Solanum quitoense* Lam) se almacena en bandeja de poliestireno recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad a una temperatura de 8°C se logra alcanzar una vida útil de 14 días teniendo en cuenta el parámetro de la firmeza, mientras que si se tiene en cuenta el índice de color se obtiene una vida útil del lulo de hasta 13 días, entonces se podría decir que se logra ampliar el tiempo de vida útil del lulo

(*Solanum quitoense* Lam) con la utilización del tratamiento planteado ya que se ha reportado una vida útil del fruto almacenado a temperatura ambiente de 6 a 8 días según Acosta et al., (2009), 7 días según Trujillo & Suares, (2010), 8 días según Andrade et al., (2018), claro que esto puede cambiar en relación con diversos factores, como el manejo del cultivo, la variedad, el empaque utilizado, la temperatura de almacenamiento, etc.

Adicionalmente es necesario mencionar es que el tiempo de vida útil dependerá mucho de parámetro crítico de calidad tenido en cuenta para el proceso de modelación; el tiempo de vida útil estimado mediante esta investigación está ligado directamente con los resultados de una evaluación sensorial por lo tanto también se pueden explicar como el tiempo en el que el fruto conserva las propiedades óptimas de aceptabilidad por parte del consumidor.

Conclusiones

- El análisis de las propiedades fisicoquímicas es importante porque ayuda comprender los cambios y procesos que están sucediendo durante el proceso postcosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam), permitiendo que se puedan generar técnicas, metodologías y estrategias para la conservación y de esta manera poder disminuir las diferentes pérdidas postcosecha, que a su vez se traducen en pérdidas económicas para los diferentes actores involucrados en la cadena de producción, transporte y comercialización.
- La selección del empaque y la temperatura juegan un papel crucial en el momento del almacenamiento, transporte y comercialización del lulo (*Solanum quitoense* Lam), pues influye directamente en sus propiedades fisicoquímicas, calidad y vida útil que este presentará; el manejo adecuado de estos procesos lo valorará el consumidor final.
- La articulación del estudio de las preferencias de consumo del lulo (*Solanum quitoense* Lam) con el seguimiento de las propiedades fisicoquímicas del mismo, permite construir un concepto de calidad entrelazado entre lo que el consumidor espera del fruto, y de esta manera diseñar las condiciones de tiempo y almacenamiento que tendrá para el cumplimiento de estas exigencias, brindado así la posibilidad que cumplir con un mejor servicio desde la cadena de la comercialización hacia el consumidor de este fruto.
- El modelamiento matemático es una herramienta que permite hacer un seguimiento y control del lulo (*Solanum quitoense* Lam) a lo largo del tiempo de almacenamiento, siempre y cuando se cumplan con las condiciones del modelo, para el desarrollo de esta investigación los modelos creados son aplicados solamente cuando el fruto es

empacado en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD) y su tiempo de vida útil está influenciado por la temperatura de almacenamiento.

- El tratamiento de conservación sugerido en esta investigación es de bajo costo y de fácil implementación particularmente en el estado actual del manejo postcosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam) que a nivel regional o nacional es con poca implementación en la tecnología de conservación.
- Aunque el tratamiento cumple con el propósito propuesto para el desarrollo de esta investigación se sugiere profundizar en técnicas de conservación para este fruto con el fin de ampliar la vida útil y disminuir las pérdidas postcosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam), esto sin sacrificar la calidad del fruto, ya que identifiqué en él un gran potencial de ampliación en el mercado a nivel nacional o internacional que falta por explotar y beneficiaría al sector campesino dedicado a su cultivo.

Referencias

- Acosta, J. (2019). Diseño de un plan de negocios para la exportación de pulpa de lulo a Holanda. In *Fundación Universitaria de América*.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7288/1/458415-2019-I-GE.pdf>
- Acosta, O., Perez, A., & Villant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) cultivated in Costa Rica. Caracterización química, propiedades antioxidantes y constituyentes volátiles de la naranjilla (*Solanum quitoense* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*, 59(abril), 88–94.
- Alarcon, X., & Rigaíl, A. (2005). Estudio de la relación entre la transferencia de vapor de agua, condiciones ambientales y shelf life, en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. *Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de La Producción, Escuela Superior Politécnica Del Litoral*.
https://www.researchgate.net/publication/28793554_Estudio_De_La_Relacion_Entre_La_Transferencia_De_Vapor_De_Agua_Condiciones_Ambientales_Y_Shelf_Life_En_Peliculas_Multicapa_De_Polietileno_Utilizadas_En_Empaques_Alimenticios
- Alvarado, D., Márquez, L., Pretell, C., & Minchón, C. (2011). Influencia del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de granadilla. *Ucv - Scientia*, 3(1), 101–109.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6181481>
- Alvarez, D. E., Casanova, L. D., Córdoba, K. E., & Osorio, O. (2016). Evaluation of post-harvest and quality physicochemical genotypes from lulo (*Solanum quitoense* Lam.)

tolerant *Meloidogyne* sp. *Vitae*, 23(1), 785–789.

[https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo_Osorio/publication/300926394_Evaluation_of_post-](https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo_Osorio/publication/300926394_Evaluation_of_post-harvest_and_quality_physicochemical_genotypes_from_lulo_Solanum_quitoense_Lam_tolerant_Meloidogyne_sp/links/5716e44c08aec49c999cc432/Evaluation-of-post-harvest-and-quality-physicochemical-genotypes-from-lulo-Solanum-quitoense-Lam-tolerant-Meloidogyne-sp)

[harvest_and_quality_physicochemical_genotypes_from_lulo_Solanum_quitoense_Lam_tolerant_Meloidogyne_sp/links/5716e44c08aec49c999cc432/Evaluation-of-post-harvest-an](https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo_Osorio/publication/300926394_Evaluation_of_post-harvest_and_quality_physicochemical_genotypes_from_lulo_Solanum_quitoense_Lam_tolerant_Meloidogyne_sp/links/5716e44c08aec49c999cc432/Evaluation-of-post-harvest-and-quality-physicochemical-genotypes-from-lulo-Solanum-quitoense-Lam-tolerant-Meloidogyne-sp)

Alvarez, J., Guerrero, J., & Fischer, G. (2021). Aspectos de la fisiología y el cultivo del lulo (*Solanum quitoense* LAM.) en Colombia: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 131–148. <https://doi.org/10.22490/21456453.4641>

ANALDEX. (2018). *Informe de exportaciones e importaciones de fruta 2017*. Asociación Nacional de Comercio Exterior. <https://www.analdex.org/2018/04/16/informe-de-exportaciones-e-importaciones-de-fruta-2017/>

Andrade, M., Guijarro, M., Jara, S., Narváez, P., Moreno, C., & Conoellón, A. (2018). Efecto del tratamiento con ozono gaseoso sobre la calidad fisicoquímica y capacidad antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541004>

Andrade, V., Quarta, S., Tagarro, M., Miloseva, L., Massaro, M., Chervenkoy, M., Ivanova, T., Jorge, R., Maksimova, V., Smilkov, K., Rui, J., Darinka, G., Ruskovska, T., Philippou, E., Deligiannidou, G. E., Kontogiorgis, C. A., García, M., & Pinto, P. (2022). Exploring hedonic and eudaimonic Items of well-being in mediterranean and non-mediterranean countries: influence of sociodemographic and lifestyle factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1715.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19031715>

- Ares, A. (2006). *Estudio de las propiedades de barrera de filmes basados en polipropileno y copolimero de etileno y alcohol vinílico*. <https://core.ac.uk/download/pdf/61896758.pdf>
- Argueta, C. M., Cardona, O. C. S., Albán, H. M. G., & Moreno, J. P. M. (2015). Minimum cost package size analysis in the supply chain: a case study in Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2014.06.009>
- Arias, F., & Rendon, S. (2015). Inteligencia de mercados para la cadena del lulo (*Solanum quitoense*). *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 3(2), 38–47.
https://www.researchgate.net/publication/275963871_Inteligencia_de_mercados_para_la_cadena_del_lulo_Solanum_quitoense
- Asif, M., Pathak, N., Solomos, T., & Trivedi, P. (2009). Effect of low oxygen, temperature and 1-methylcyclopropene on the expression of genes regulating ethylene biosynthesis and perception during ripening in apple. *South African Journal of Botany*, 75, 137–144.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.09.002>
- Ávila, R., & Gonzáles, C. (2011). La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: Una aproximación difusa. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 15(60), 171–182.
<http://www.aureal.com.ve>
- Azcón, J., & Talón, M. (2009). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. (Segunda, Vol. 2). McGRAW-HILL - Interamericana de España, S. L.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Balaguera, H., Ramírez, D., Almanza, P., & Herrera, A. (2014). El Tiempo de inmersión en CaCl_2 y la refrigeración modifican algunas características físicas del fruto de lulo (*Solanum*

quitoense Lam.) durante la poscosecha. *Acta Horticulturae*, 1016, 147–150.

<https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1016.20>

Barbe, J.-C., Garbay, J., & Tempère, S. (2021). The sensory space of wines: from concept to evaluation and description. A review. *Foods*, 10(6), 1424.

<https://doi.org/10.3390/foods10061424>

Bernal, C., Buitrago, Y., Rodriguez, C., & Quicazan de Cuanca, M. (2015). Evaluación de las propiedades que determinan la vida útil de la pulpa de mora con inclusión de polen apícola. In *Ponencia oral en el Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo* (pp. 1–6).

http://investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/direcciones/investigacion_bogota/documentos/enid/2015/memorias2015/ingenieria_tecnologias/evaluacion_de_las_propiedades_que_determinan.pdf

Bhande, S., Ravindra, M., & Goswami, T. (2008). Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 87(1), 116–123.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.019>

Brezmes, J. (2001). Capítulo 2: técnicas de control de calidad en fruta. In U. P. de Catalunya (Ed.), *Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta*. (Vol. 1, pp. 13–34).

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94188/TESI_TEXT_COMPLET.pdf

Castro, J. v, Pfaffenbach, L. B., Carvalho, C. R. L., & Rossetto, Y. (2003). Efecto del empaque plástico sobre la vida de anaquel del mango “Keitt.” *Revista Iberoamericana Tecnología Postcosecha*, 5(1), 33–37. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81350105.pdf>

- Centurión, A., Solís, S., Saucedo, C., Báez, R., & Sauri, E. (2008). Sensorial, physical and chemical changes of pitahaya fruits (*Hylocereus undatus*) during developent. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 31(1), 1–5. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61031101.pdf>
- Ciro, H. J., Buitrago, O. H., & Pérez, S. A. (2007). Preliminary study of mechanical resistance to fracture and firmness of uchuva (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3785–3796. <http://ref.scielo.org/vf36s2>
- Contreras, J., Calderón, L., Guerra, E., & García, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047–2053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>
- CORABASTOS. (2019). Boletín Diario de Precios. In *Boletín diario de precios de Corabastos*. <https://www.corabastos.com.co/sitio/historicoApp2/reportes/BoletinDescarga.php>
- DANE. (2019). Boletín semanal, precios mayoristas. In *Boletín semanal precio mayoristas*. (Vol. 133). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Sem_13jul_2019__19jul_2019.pdf
- DANE. (2020). Boletín semanal, precios mayoristas. In *Boletín semanal. precios mayoristas*. (Vol. 450). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Sem_13jul_2019__19jul_2019.pdf
- DANE. (2021). Boletín semanal, precios mayoristas. In *Boletín semanal. precios mayoristas*. (Vol. 450). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Sem_13jul_2019__19jul_2019.pdf

- di Santo, C., Pagano, E., & Sozzi, G. (2009). Differential expression of α -l-arabinofuranosidase and α -l-arabinofuranosidase/ β -d-xylosidase genes during peach growth and ripening. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(7), 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.007>
- Drake, S., Elfning, D., Drake, S., & Visser, D. (2005). Quality of modified atmosphere packaged “Bartlett” pears as influenced by time and type of storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(5), 348–358. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.23051.x>
- Fischer, G., & Martínez, O. (1999). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía colombiana*, 16(1–3), 35–39. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25079/25612>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2014). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1), 73–85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Galvis, J., Arjona, H., Fischer, G., Landwehr, T., & Martínez, R. (2002). Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. *Agronomía Colombiana*, 19(1–2), 23–35. <http://www.bdigital.unal.edu.co/24678/1/21876-74955-1-PB.pdf>
- García, C., Chacon, G., & Molina, M. (2012). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería-Revista de La Universidad de Costa Rica*, 21(2), 31–38. <https://doi.org/10.15517/ring.v21i2.2683>
- García, C., Cury, K., & Dussán, S. (2010). Postharvest evaluation and estimate of shelf-life of fresh guava using the Weibull model. *ACTA AGRONÓMICA*, 59(3), 347–355. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v59n3/v59n3a10.pdf>

García, E., Gago, L., & Fernández, J. (2006). Tecnologías de envasado en atmosfera protectora. *Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid I+D, 1*, 1–137.

García, J., Chamorro, L., Floriano, J., Vera, L., & Dimas, J. (2007). Enfermedades y plagas del cultivo de lulo (*Solanum quitoense*) en el departamento del Huila. In *Centro de Investigación Nataima El Espinal, Tolima*. Corpoica, Huilaunido.
<https://www.librosyeditores.com/ciencias-pecuarias-y-agricolas-/5788-enfermedades-y-plagas-del-cultivo-del-lulo-solanum-quitoense-en-el-departamento-del-huila-9789588311623.html>

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).
<http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta02411.pdf>

García, Y., Pérez, J., García, A., & Hernández, A. (2011). Determination of pineapple (*Ananas Comosus*) quality properties Cayena Lisa variety stored under environmental conditions. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1), 62–65.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93218850011>

Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell*, 16, 170–180. <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>

Gómez, F., Trejo, L., García, C., & Cadena, J. (2014). Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, 1741–1753. <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263137781017.pdf>

González, D. I., Ordóñez, L. E., Vanegas, P., & Vásquez, H. D. (2014). Changes in physicochemical properties of the fruit of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) harvested at three

degrees of maturity. *Acta Agronomica*, 63(1), 11–17.

<https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.31717>.

Gwanpua, S. G., Verlinden, B. E., Hertog, M. L. A. T. M., Bulens, I., van de Poel, B., van Impe, J., Nicolai, B. M., & Geeraerd, A. H. (2012). Kinetic modeling of firmness breakdown in “Braeburn” apples stored under different controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.010>

Hernández, M., Sastre, M., Vidal, M., Izquierdo, M., & Veciana, T. (1999). Estabilidad y métodos de conservación de los alimentos. In *Tratado de Nutrición* (Díaz de Sa, pp. 453–464).

<https://books.google.com.co/books?id=SQLNJOsZCIwC&pg=PA457&dq=definicion+de+conservacion+de+los+alimentos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7K->

[koLfuaHx2TDABHWCXCvsQ6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.co/books?id=SQLNJOsZCIwC&pg=PA457&dq=definicion+de+conservacion+de+los+alimentos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7K-koLfuaHx2TDABHWCXCvsQ6AEwAHoECAUQAg#v=onepage&q&f=true)

Hinestroza, L., Duarte, S., Seguí, L., Barrera, C., & Betoret, N. (2020). Characterization of powdered lulo (*Solanum quitoense*) bagasse as a functional food ingredient. *Foods*, 9(6), 723. <https://doi.org/10.3390/foods9060723>

NTC 4623- Productos de frutas y verduras, determinación de acidez titulable, 1 (1999).

<https://www.icontec.org/normas/>

NTC 1265, lulo, 2 (2001). <https://www.icontec.org/normas/>

NTC 5093, frutas frescas, lulo de castilla, especificaciones, 1 (2002).

<https://www.icontec.org/normas/>

ICONTEC. (2007). *GTC 165* (pp. 1–27). ICONTEC. <https://www.icontec.org/normas/>

IDEAM. (2022, September 2). *Geovisor institucional*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://visor.ideam.gov.co/geovisor/#!/profiles/3>

- Kader, A. (2002). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Postharvest Technology of Horticultural Crops, Universidad de California.
https://books.google.com.co/books?id=x62K8WYwAt4C&dq=acidez+titulable&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Katiusca, J., Cerquera, N., & Gutierrez, N. (2013). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (*Psidium guajava* cv. Guayaba pera), utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. *Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 10(19), 79–89.
<http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a07.pdf>
- Llerena, W., Samaniego, I., Angós, I., Brito, B., Ortiz, B., & Carrillo, W. (2019). Biocompounds content prediction in ecuadorian fruits using a mathematical model. *Foods*, 8(8), 284.
<https://doi.org/10.3390/foods8080284>
- Lopez Camelo, A. F., & Gómez, P. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 534–537. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006>
- Martín, Y. (2018). Estudio de viabilidad para la exportación de pulpa de lulo a Panamá. In *Fundación Universitaria de la Cámara de Comercio de Bogotá*.
<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/22978/Yuri%20Andrea%20Martin%20Hernandez.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Martínez, M., Balois, R., Alia, I., Cortes, M., Palomino, Y., & López, G. (2017). Postharvest fruits: maturation, softening and transcriptional control. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.675>

- Mejía, C., Gaviria, D., Duque, A., Rengifo, L., Aguilar, E., & Alegría, A. (2012). Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) castilla variety in six ripening stages. *Vitae*, 19(2), 157–165.
<http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v19n2/v19n2a2.pdf>
- Minagricultura. (2016). Área Sembrada Y Área Cosechada Del Cultivo De Papa 2007-2016. In *Agronet*. <http://www.agronet.gov.co/Documents/Arveja.pdf>
- Monteiro, P., Lopes de Siquiera, D., Chamhum, L., Pereira, D., & Cecon, P. R. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1), 131–142.
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016>
- Montes, J., & Arévalo, S. (2001). Determinación del calor de respiración en frutas por el método de titulación. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 2(1), 27–37.
<https://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/alimentarias/descargas/vol2/3.pdf>
- Morillo, A., Rodríguez, A., & Morillo, Y. (2019). Caracterización morfológica de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 291–298. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.75832>
- Morin, C. (1980). *Cultivo de cítricos* (Segunda Ed). Instituto Americano de Ciencias Agrícolas. https://books.google.com.co/books?id=fxsPAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbgbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true
- Muñoz, C. A. (2016). Diseño de un producto bifuncional a base de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) con aplicación en alimentos. In *Universidad Nacional de Colombia*.
<http://bdigital.unal.edu.co/57156/1/33377870.2016.pdf>
- Muñoz, J., Rodríguez, L., & Bermúdez, L. (2013). Análisis de competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. *Revista*

Colombiana de Ciencias Hortícolas, 7(2), 173–185.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2233>

Najarro, J., Tinoco, O., & Huari, F. (2016). Simulación de la actividad respiratoria en pos-cosecha de plátano (musa Cavendish) bajo atmósfera modificada para mejora del tiempo de almacenamiento. *Industrial Data*, 19(2), 96. <https://doi.org/10.15381/idata.v19i2.12845>

Navia, D. P., Ayala, A. A., & Villada, H. S. (2014). Interacciones empaque-alimento: migración Food packaging-interactions: migration. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 99–113. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242014000200008

Ochoa, L. M., Balaguera, H. E., Ardila, G., Pinzón, E. H., & Álvarez, J. G. (2016). Crecimiento y desarrollo del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 347–359. https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:512

Omboki, R., Wu, W., & Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(4), 567–572. https://www.researchgate.net/profile/Gandeka-Mamadou/publication/277571565_Ripening_Genetics_of_the_Tomato_Fruit/links/556d89e308aeab77722343ac/Ripening-Genetics-of-the-Tomato-Fruit.pdf

Ortolá, M. (2018). *Determinación de la tasa respiratoria de frutas*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/145648/Ortol%C3%A1%20-%20DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LA%20TASA%20RESPIRATORIA%20DE%20FRUTAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ospina, D., Ciro, H., & Aristizábal, I. (2007). Determinación de la fuerza de fractura superficial y fuerza de firmeza en las frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 60(2), 4163–4178. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/36720>
- Ospina, S., & Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112–123. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v5n2/v5n2a14.pdf>
- Parry, R. T. (1995). Envasado de los alimentos en atmósferas modificada. *Madrid Vicente Ediciones*, 15–150.
- Peñuela, A. (2004). *Cambios físicos químicos durante crecimiento y maduración de los productos hortofrutícolas y su relación con la calidad* (p. 7). Cenicafe. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/4/2>. Cambios físicos químicos durante crecimiento y maduración.pdf
- Pinzón, E. H., Reyes, A. J., Álvarez-Herrera, J. G., Leguizamo, M. F., & Joya, J. G. (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>
- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía colombiana*, 25(1), 83–95. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf>
- Puente, L., Echegaray, E., Castro, E., & di Scala, K. (2013). Application of mathematical model to infrared assisted drying process of lemon wasted (*Citrus limon* (L.) Burm. F. Cv. Genova). *Dyna*, 80, 91–97. <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a10.pdf>

- Quintana, L., Gómez, S., García, A., & Martínez, N. (2016). Conformación de un panel de jueces en entrenamiento para el análisis sensorial de licores de cacao obtenidos de diferentes modelos de siembra. *ENTRAMADO*, 12(2), 220–227.
<https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n2.24212>
- Quiroga, L., & Murillo, M. (2012). Comportamiento cinético de la β -Xilosidasa durante la maduración del lulo (*Solanum quitoense*). In *Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ciencias, Carrera de Microbiología Industrial*.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11856/MurilloCaviedesLinaMarcela2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238(March), 163–176.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Rangel, M., & López, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 94–109. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Rangel-Marron-et-al-2012.pdf>
- Raquel, R., Gustavo, R., Rosa, M., Hugo, P., Benito, R., Humberto, V., & Milagros, C. (2014). Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai*, 10, 151–173.
<http://www.redalyc.org/pdf/461/46132135012.pdf>
- Rodríguez, S., Generoso, S., Gutierrez, D., & Questa, A. (2015). Application of sensory analysis in the evaluation of quality fresh-cut vegetables. *Simiente*, 85(3–4), 21–38.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/72476>

- Rodriguez, J., & Restrepo, L. (2011). Extracción de enzimas pécticas del epicarpio de lulo (*Solanum quitoense* Lam) involucradas en el proceso de ablandamiento. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2011), 1–10.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/1551/28012>
- Rojas, J. (2004). *Guía para la correcta utilización de las normas técnicas colombianas para frutas y hortalizas frescas*. Cenicafe.
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/828/23/5>. Guía correcta utilización normas técnicas frutas hortalizas.pdf
- Saintpack. (2021, noviembre 19). *Película para alimentos PVC*.
- Salinas, R., González, G., & Ulín, F. (2007). Modelling deterioration of fresh-cut vegetables. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183–196. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia
- Scherrer, C. R., dos Santos, L. C., Andreazza, C. S., Getz, B. M., & Bender, R. J. (2011). Mechanical damages increase respiratory rates of citrus fruit. *International Journal of Fruit Science*, 11(3), 256–263. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.608297>
- 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>
- Torres, A., Vargas, J., García, J., & Arteaga, Y. (2018). Composición química parcial, y características sensoriales y morfométricas de frutos de naranjilla (*Solanum quitoense* var. palora) limpia y convencional en la amazonía ecuatoriana. *Interciencia*, 43, 115–119.
https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/03/115-ARTEAGA-43_02.pdf

- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Informacion Tecnológica*, 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, 2186–2193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02387.x>
- Trujillo, Y., & Suares, J. (2010). Evaluación del proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) variedad Castilla. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1), 58–66. http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/download/471/476
- Ulloa, J., & Rodríguez, J. (2010). El modelo logístico: una alternativa para el estudio del crecimiento poblacional de organismos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(3), 2–10. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet->
<http://revista.veterinaria.orgVol.11,Nº03,Marzo/2010->
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310.html>
- Vásquez, M. (1995). El control de calidad en la industria agroalimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1, 34–37. <https://www.redalyc.org/pdf/724/72410108.pdf>
- Vásquez, M. (2015). Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales. *Universidad Nacional de Colombia*, 1–107.
- Viera, W., Díaz, A., Caicedo, C., Suárez, A., & Vargas, Y. (2021). Key Agronomic Fertilization Practices That Influence Yield of Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) in the Ecuadorian Amazon. *Agronomy*, 11(2), 310. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020310>

Vignoni, L. A., Césari, R. M., Forte, M., & Mirábile, M. L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63–67.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>

Zapata, L., Malleret, A., Quinteros, C., Lesa, C., Vuarant, C., Rivadeneira, M., & Gerard, J. (2007). *Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración*. 159–171. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cdyt/n41/n41a08.pdf>

Apéndice

Apéndice 1. Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en bandeja(PS) recubierta con capa plástica de (PEBD) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.

Propiedad fisicoquímica	°C	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Acidez titulable (% de ácido cítrico)	8	3,465 ± 0,036	3,306 ± 0,418	3,289 ± 0,058	3,238 ± 0,346	3,346 ± 0,130	3,110 ± 0,094
	18	3,507 ± 0,080	3,379 ± 0,080	3,260 ± 0,693	3,092 ± 0,023	3,107 ± 0,062	2,73 ± 0,213
	24	3,580 ± 0,183	3,345 ± 0,041	2,993 ± 0,138	2,811 ± 0,115	2,999 ± 0,071	2,651 ± 0,080
Solidos Solubles Totales (°Bx)	8	7,476 ± 0,905	7,757 ± 0,101	7,993 ± 0,237	7,831 ± 0,063	7,884 ± 0,053	8,256 ± 0,291
	18	7,580 ± 0,482	8,547 ± 0,437	8,064 ± 0,170	8,271 ± 0,220	9,696 ± 0,394	9,681 ± 0,160
	24	7,880 ± 0,808	9,899 ± 0,451	9,357 ± 1,264	9,166 ± 0,369	9,947 ± 0,260	9,894 ± 0,528
pH	8	3,156 ± 0,187	3,046 ± 0,131	3,192 ± 0,171	3,228 ± 0,126	3,290 ± 0,156	3,226 ± 0,035
	18	3,158 ± 0,11	3,126 ± 0,023	3,334 ± 0,114	3,454 ± 0,023	3,430 ± 0,116	3,298 ± 0,088
	24	3,160 ± 0,158	3,370 ± 0,029	3,588 ± 0,065	3,582 ± 0,291	3,528 ± 0,070	3,502 ± 0,098
Pérdida de peso total (%)	8	2,920 ± 0,129					
	18	3,599 ± 0,104					
	24	5,833 ± 0,605					
Firmeza	8	116,321 ± 14,198	109,165 ± 14,669	98,101 ± 16,904	84,230 ± 7,888	79,278 ± 32,703	73,921 ± 11,695
	18	116,992 ± 4,810	103,899 ± 16,242	84,992 ± 4,810	71,050 ± 4,170	66,299 ± 1,065	64,571 ± 9,284
	24	116,588 ± 8,383	95,210 ± 2,308	77,810 ± 9,413	70,974 ± 2,594	64,856 ± 4,392	52,158 ± 0,887
Respiración (mg CO ₂ / kg * h)	8	41,882 ± 3,816	13,792 ± 2,111	11,351 ± 10,018	23,683 ± 4,780	66,026 ± 0,437	24,154 ± 2,432
	18	40,358 ± 3,653	18,643 ± 5,994	39,732 ± 5,235	71,397 ± 9,685	52,075 ± 4,850	53,715 ± 0,703
	24	41,561 ± 5,170	33,796 ± 3,170	47,857 ± 1,623	75,133 ± 7,515	62,693 ± 5,335	17,940 ± 2,608
Índice de	8	-0,771 ± 0,012	0,884 ± 0,538	3,022 ± 1,107	4,513 ± 0,587	5,694 ± 0,265	6,362 ± 0,064
color	18	0,026 ± 0,003	2,759 ± 0,191	5,596 ± 0,074	7,173 ± 0,094	7,319 ± 0,103	7,890 ± 0,434
	24	0,580 ± 0,034	3,141 ± 0,689	5,363 ± 0,965	6,540 ± 0,366	8,928 ± 0,795	9,199 ± 0,745

Apéndice 2. Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en bolsa depolietileno de baja densidad (PEBD) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.

Propiedad fisicoquímica	°C	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Acidez titulable (% de ácido cítrico)	8	3,441 ± 0,200	3,504 ± 0,156	3,236 ± 0,090	3,292 ± 0,050	3,360 ± 0,283	3,405 ± 0,084
	18	3,550 ± 0,183	3,345 ± 0,041	3,093 ± 0,138	3,011 ± 0,115	3,174 ± 0,096	3,151 ± 0,080
	24	3,408 ± 0,087	3,158 ± 0,087	2,652 ± 0,223	2,641 ± 0,141	2,878 ± 0,111	2,685 ± 0,110
Solidos Solubles Totales (°Bx)	8	7,705 ± 0,324	7,416 ± 0,328	6,457 ± 0,836	7,605 ± 0,382	7,938 ± 0,236±	7,503 ± 0,418
	18	7,519 ± 0,231	7,822 ± 0,098	6,951 ± 0,405	6,606 ± 0,461	7,815 ± 0,340	7,603 ± 0,195
	24	7,637 ± 0,231	7,940 ± 0,098	7,069 ± 0,405	6,723 ± 0,461	7,933 ± 0,340	7,721 ± 0,195
pH	8	3,218 ± 0,015	3,364 ± 0,054	3,190 ± 0,012	3,156 ± 0,021	3,392 ± 0,073	3,474 ± 0,071
	18	3,248 ± 0,015	3,394 ± 0,084	3,220 ± 0,054	3,186 ± 0,021	3,422 ± 0,073	3,504 ± 0,071
	24	3,228 ± 0,104	3,418 ± 0,110	3,268 ± 0,110	3,144 ± 0,104	3,466 ± 0,121	3,598 ± 0,119
Pérdida de peso total (%)	8	3,131 ± 0,106					
	18	3,320 ± 0,100					
	24	3,734 ± 0,118					
Respiración (mg CO ₂ / kg * h)	8	100,024 ± 6,667	76,796 ± 3,170	270,857 ± 1,624	287,730 ± 20,489	125,075 ± 13,290	133,382 ± 5,816
	18	70,841 ± 6,766	9,451 ± 1,722	594,750 ± 37,702	629,729 ± 17,517	192,681 ± 10,810	182,546 ± 35,574
	24	62,686 ± 1,183	39,954 ± 5,012	809,600 ± 20,614	676,803 ± 13,191	511,024 ± 8,803	101,958 ± 11,554
Firmeza	8	125,282 ± 11,127	119,594 ± 8,798	114,436 ± 6,030	110,964 ± 7,682	109,328 ± 11,381	100,176 ± 15,646
	18	115,282 ± 11,127	99,594 ± 8,798	90,964 ± 7,682	83,964 ± 7,682	77,463 ± 7,682	80,176 ± 15,646
	24	117,054 ± 2,668	106,458 ± 10,743	100,874 ± 8,088	86,025 ± 11,321	68,807 ± 9,624	66,965 ± 6,523
Índice de color	8	-0,833 ± 0,070	-0,529 ± 0,488	0,547 ± 0,081	0,572 ± 0,440	1,215 ± 0,143	2,632 ± 0,500
	18	-0,350 ± 0,52	2,029 ± 0,160	2,772 ± 0,128	3,830 ± 0,172	4,557 ± 0,353	7,996 ± 0,142
	24	0,724 ± 0,072	2,834 ± 0,184	3,572 ± 0,143	5,294 ± 0,280	6,444 ± 0,199	7,447 ± 0,136

Apéndice 3. Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en caja detereftalato de polietileno (PET) a tres temperaturas diferentes en el municipio de San Juan de Pasto.

Propiedad fisicoquímica	°C	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Acidez titulable (% de ácido cítrico)	8	3,514 ± 0,48	3,686 ± 0,168	3,461 ± 0,346	3,389 ± 0,058	3,339 ± 0,346	3,522 ± 0,130
	18	3,540 ± 0,106	3,316 ± 0,037	3,233 ± 0,341	2,845 ± 0,098	2,707 ± 0,235	2,540 ± 0,255
	24	3,566 ± 0,077	2,387 ± 0,069	2,683 ± 0,204	2,678 ± 0,138	2,525 ± 0,130	2,451 ± 0,193
Solidos Solubles Totales (°Bx)	8	7,459 ± 0,220	7,893 ± 0,478	7,642 ± 0,739	7,558 ± 0,280	7,505 ± 0,185	8,109 ± 0,481
	18	7,592 ± 0,356	7,414 ± 0,764	8,249 ± 0,519	8,169 ± 0,276	9,240 ± 0,298	8,891 ± 0,162
	24	7,55 ± 0,325	8,250 ± 0,250	9,100 ± 0,335	10,100 ± 0,720	10,4 ± 0,876	10,35 ± 0,285
pH	8	3,240 ± 0,233	3,276 ± 0,109	3,478 ± 0,133	3,376 ± 0,096	3,476 ± 0,086	3,402 ± 0,145
	18	3,276 ± 0,037	3,472 ± 0,058	3,608 ± 0,043	3,600 ± 0,066	3,608 ± 0,056	3,536 ± 0,128
	24	3,234 ± 0,086	3,494 ± 0,148	3,630 ± 0,063	3,606 ± 0,79	3,666 ± 0,047	3,586 ± 0,074
Pérdida de peso total (%)	8	5,012 ± 0,129					
	18	6,017 ± 0,775					
	24	9,321 ± 0,170					
Respiración (mg CO ₂ / kg * h)	8	14,105 ± 1,827	7,766 ± 0,420	10,435 ± 0,841	31,421 ± 1,595	18,201 ± 1,261	23,055 ± 0,462
	18	13,025 ± 1,574	6,796 ± 0,291	20,857 ± 1,624	41,064 ± 5,456	24,409 ± 3,733	26,715 ± 0,703
	24	13,747 ± 1,774	11,680 ± 1,330	46,376 ± 4,956	34,939 ± 1,569	12,599 ± 1,282	10,532 ± 1,412
Firmeza	8	116,775 ± 4,951	106,836 ± 11,247	57,311 ± 5,014	53,527 ± 0,585	53,207 ± 2,160	50,557 ± 3,477
	18	112,248 ± 10,289	68,3048 ± 1,980	38,744 ± 4,646	36,984 ± 3,706	30,803 ± 4,341	34,548 ± 2,745
	24	120,184 ± 14,631	94,864 ± 9,644	18,924 ± 2,744	29,766 ± 16,762	22,271 ± 3,084	31,643 ± 1,920
Índice de color	8	0,327 ± 0,053	3,074 ± 0,131	5,326 ± 0,289	6,534 ± 0,232	6,384 ± 0,574	8,933 ± 0,026
	18	0,307 ± 0,045	4,676 ± 1,146	8,604 ± 0,020	9,048 ± 0,072	8,174 ± 0,058	11,288 ± 1,377
	24	-0,740 ± 0,088	5,566 ± 0,073	9,418 ± 0,880	9,210 ± 0,343	13,651 ± 0,814	15,285 ± 0,268

Apéndice 4. Consolidado de datos del seguimiento a las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense* Lam) almacenado en condiciones ambiente del municipio de San Juan de Pasto.

Día de almacenamiento	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Acidez titulable (% de ácido cítrico)	3,585 ± 0,150	3,172 ± 0,131	3,163 ± 0,182	3,015 ± 0,247	2,866 ± 0,159	2,895 ± 0,073
Sólidos Solubles Totales (°Bx)	7,563 ± 0,191	8,445 ± 0,379	8,856 ± 0,286	9,009 ± 0,381	9,242 ± 0,261	9,508 ± 0,301
pH	3,050 ± 0,085	3,254 ± 0,138	3,292 ± 0,212	3,440 ± 0,207	3,464 ± 0,092	3,492 ± 0,178
Pérdida de peso total (%)	7,387 ± 0,563					
Respiración (mg CO ₂ / kg * h)	19,747 ± 1,658	17,681 ± 1,331	32,376 ± 2,402	32,606 ± 2,658	18,599 ± 1,445	16,533 ± 1,412
Firmeza (N)	118,93 ± 1,312	114,632 ± 1,847	92,305 ± 2,901	82,110 ± 1,523	72,203 ± 0,839	50,065 ± 1,654
Índice de color	-0,275 ± 0,014	4,172 ± 0,403	5,235 ± 0,27	5,997 ± 0,5	8.809 ± 0,484	8,93 ± 0,136

Apéndice 5. Consolidado de datos de textura y color obtenidos de la evaluación sensorial del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

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

Juez	Día 0		Día 3		Día 6		Día 9		Día 12		Día 15		Día 0
	Textura	Color	Textura	Color	Textura	Color	Textura	Color	Textura	Color	Textura	Color	
24	3	2	7	7	7	3	3	7	3	7	5	4	
25	4	6	5	2	5	4	4	6	4	6	6	5	
26	6	4	6	6	5	5	5	5	5	5	1	7	
27	5	5	2	7	7	4	2	4	2	4	7	6	
28	6	3	4	5	5	6	4	5	4	5	6	6	
29	4	7	6	4	6	3	7	4	7	4	4	5	
30	6	2	7	7	5	4	3	6	3	6	7	7	
31	3	4	5	3	7	3	7	3	7	3	3	3	
32	2	1	6	4	5	4	4	6	4	6	5	6	
33	3	5	6	5	6	4	6	5	6	5	6	7	
34	5	7	7	7	5	6	5	4	5	4	2	5	
35	1	4	4	6	7	5	5	6	5	6	4	7	
36	5	6	6	7	4	2	6	4	6	4	5	6	
37	3	5	3	5	5	4	3	5	3	5	5	3	
38	5	3	7	3	4	4	7	4	7	4	4	6	
39	3	7	6	4	5	1	5	6	5	6	6	5	
40	2	4	7	6	5	6	3	3	3	3	3	6	
41	5	6	6	7	6	4	5	5	5	5	5	2	
42	1	5	7	1	5	6	2	4	2	4	3	1	
43	5	1	3	7	5	5	6	6	6	6	4	6	
44	2	7	7	4	6	4	7	5	7	5	6	1	
45	3	5	5	5	5	6	6	5	6	5	3	2	
46	5	4	7	6	7	5	5	5	5	5	4	6	
Suma (Σ)	405		451		460		429		444		439		
Promedio (X)	4,402		4,902		5,000		4,663		4,826		4,772		

Apéndice 6. Consolidado de datos de sabor obtenidos de la evaluación sensorial del lulo (*Solanum quitoense* Lam).

Panel Sensorial	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
1	6	5	7	7	5	3
2	6	5	5	5	7	6
3	4	4	3	1	3	5
4	7	7	5	7	5	4
5	6	3	7	1	7	6
6	4	1	5	7	2	5
7	2	5	2	7	5	7
8	7	7	5	5	1	6
9	4	3	2	6	5	2
10	6	3	7	6	2	3
11	4	6	2	5	5	6
12	7	5	5	7	2	5
13	6	3	2	5	7	5
14	2	7	7	6	6	6
15	4	6	5	5	5	3
16	6	6	6	7	6	4
17	3	5	2	6	5	2
18	7	6	5	5	3	7
19	6	5	6	4	7	1
20	4	5	2	5	3	5
21	5	7	4	6	5	6
22	4	6	6	4	6	5
23	4	4	4	5	4	7
24	5	4	7	5	5	6
25	4	3	6	6	4	2
26	7	6	3	4	7	1

Panel Sensorial	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
27	5	3	3	5	5	5
28	3	4	7	6	6	3
29	6	7	6	5	4	6
30	5	6	3	4	5	7
31	4	2	7	7	4	2
32	6	6	3	1	7	2
33	7	7	6	4	6	5
34	3	4	3	7	2	6
35	5	6	7	6	4	1
36	2	6	3	6	5	5
37	6	4	7	4	3	6
38	1	6	3	1	5	2
39	3	4	7	6	6	4
40	7	2	6	4	4	3
41	6	2	3	2	5	1
42	3	6	6	6	7	3
43	6	4	6	4	6	6
44	5	6	6	2	4	3
45	3	4	3	4	6	1
46	5	6	6	6	3	6
Suma (Σ)	221	222	221	227	219	195
Promedio (X)	4,804	4,826	4,804	4,935	4,761	4,239

Apéndice 7. Formato general para la evaluación de las propiedades sensoriales de color, textura y sabor del lulo (*Solanum quitoense* Lam) presentado ante los jueces.

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

Apéndice 8. Coeficientes y ajuste de los modelos matemáticos de orden cero, orden uno y de tipo logístico, a los datos de firmeza del lulo almacenado en bandeja de poliestireno (PS) recubierta con capa plástica de polietileno de baja densidad (PEBD).

Modelo Logístico				
Temperatura °K	k	tm	R- Ajustado	RMSE
281,15	0,4493	6,616	0,994	1,422
291,15	0,5568	5,238	0,994	1,655
297,15	0,3342	5,72	0,929	6,109
Modelo de orden uno				
Temperatura °K	k		R- Ajustado	RMSE
281,15	0,03159		0,981	2,310
291,15	0,04632		0,960	4,270
297,15	0,0552		0,972	3,800
Modelo de orden cero				
Temperatura °K	k		R- Ajustado	RMSE
281,15	3,059		0,974	2,730
291,15	4,087		0,907	6,565
297,15	0,9122		0,912	6,836

Apéndice 9. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) y tiempo medio de respuesta(t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	ko	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	0,4493	-0,005363	-7125,9294	-0,7468	0.1471
291,15	0,5568				
297,15	0,3342				
Temperatura °K	t_m	t_{mo}	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	6,616	0,2169	-7930,7246	0,1811	0,6328
291,15	5,238				
297,15	5,72				

Apéndice 10. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) del modelo de primer ordenal modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	k0	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	0,03159				
291,15	0,04632	1,064	20286,16	0,91	0,0035
297,15	0,0552				

Apéndice 11. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de firmeza (k) del modelo de orden cero al modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	k0	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	3,059				
291,15	4,087	0,0003262	-21674,598	-0,5391	2,01
297,15	0,9122				

Apéndice 12. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) y tiempo medio derespuesta (t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.

Modelo logístico				
Temperatura °K	k	t _m	R- Ajustado	RMSE
281,15	0,2301	9,332	0,927	0,758
291,15	0,3146	5110	0,927	0,839
297,15	0,3365	4,756	0,974	0,538
Modelo de orden uno				
Temperatura °K	k		R- Ajustado	RMSE
281,15	5,075		-1,626	4,541
291,15	11,42		-3,267	6,432
297,15	10,27		-2,330	69,040
Modelo de orden cero				
Temperatura °K	k		R- Ajustado	RMSE
281,15	-0,5247		0,967	0,511
291,15	-0,7016		0,710	1,647
297,15	-0,7682		0,830	1,381

Apéndice 13. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) y tiempo medio derespuesta (t_m) del modelo logístico al modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	k_0	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	0,4493	0,406	46,176	0,999	0,001
291,15	0,5568				
297,15	0,3342				
Temperatura °K	t_m	t_{m0}	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	6,616	3,285	-69,364	0,996	0,154
291,15	5,238				
297,15	5,72				

Apéndice 14. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) del modelo de primerorden al modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	k_0	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	5,075	4,37	26072,704	0,324	2,778
291,15	11,42				
297,15	10,27				

Apéndice 15. Ajuste de los coeficientes de velocidad de cambio de índice de color (k) del modelo de ordencero al modelo de Arrhenius.

Temperatura °K	k	k_0	Ea	R- Ajustado	RMSE
281,15	-0,5247	0,0003262	-21674,598	-0,5391	2,01
291,15	-0,7016				
297,15	-0,7682				

Apéndice 16. Fotografías tomadas durante el proceso de investigación del lulo (Solanum quitoense Lam) almacenado con diferentes empaques y temperaturas.



