

Evaluación del efecto de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y la aplicación de un recubrimiento comestible sobre la calidad postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*).

**ANGIE PAOLA BASTIDAS LEGARDA
JHEIN FIORELA BENAVIDES CAICEDO**

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

2022

Evaluación del efecto de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y la aplicación de un recubrimiento comestible sobre la calidad postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*).

**ANGIE PAOLA BASTIDAS LEGARDA
JHEIN FIORELA BENAVIDES CAICEDO**

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

**Asesor:
David Fernando López Enríquez. Ms.C.**

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

2022

Nota de Responsabilidad

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

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

Nota de Aceptación:

Fecha sustentación: 1-marzo-2022

Puntaje: 94

OSWALDO OSORIO MORA. Ph.D.

Firma del Presidente del Jurado

LEANDRO GIOVANNY BRAVO ASMAZA. Ing.

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2021

Dedicatoria

Dedico este logro y gran paso en mi vida profesional a toda mi familia en especial a mis padres Oscar Bastidas y Diela Legarda por su apoyo incondicional y la inspiración más grande para alcanzar mis sueños y metas, quienes me inculcado los valores y principios que me han llevado a crecer como persona.

A mis hermanos Brayan Bastidas y Jhon Bastidas por su compañía y animo brindado día a día, que ha permitido llenarme de fortaleza para afrontar cualquier circunstancia en la vida y convertirme en un ejemplo a seguir para ellos. A mis abuelos, tíos y primos que siempre me apoyaron para alcanzar todos los sueños que me he propuesto.

A mi compañera de tesis Fiorela Benavides por sus consejos y motivación para el desarrollo de la investigación en un agradable ambiente de trabajo, y lo más importante por su amistad y apoyo en todo momento.

A mis amigos y compañeros con los que compartí buenos y malos momentos, que permitieron generar fuertes lazos y aprender de la vida a su lado.

Angie Paola Bastidas Legarda

Dedicatoria

A Dios por la vida y por permitirme alcanzar una meta más.

A mis queridos padres Jaime y Patricia, la luz de mi vida y mi mayor motivación, gracias a ellos por su ejemplo de tenacidad y fortaleza, por su amor y apoyo incondicional durante esta etapa aun cuando no los tuve cerca.

A cada uno de mis hermanos Katerine, Marcela, Dani y Claudia, por haber creído en mí, en mis capacidades, y por su gran apoyo durante esta etapa. Y en especial a Katerine por sus consejos, su apoyo y motivarme a siempre seguir adelante. A Marcela por su cariño y ejemplo de perseverancia y esfuerzo para alcanzar los sueños.

A mis sobrinos Matías, Yojhan y Marlon, quienes han sido una de mis motivaciones e inspiración.

A mi amiga y compañera de tesis Angie Bastidas por su apoyo, su amistad y su compañía en el proceso y culminación de esta etapa.

A mis amigos y compañeros con quienes emprendí este camino, compartí y aprendí, y a cada una de las personas que han aportado su granito de arena, y me han acompañado durante toda esta etapa de formación profesional..

Jhein Fiorela Benavides Caicedo

Agradecimientos

Los autores agradecen a:

M.Sc David Fernando López Enríquez por su asesoría y guía en la realización y desarrollo de este trabajo de investigación.

Ph.D. Oswaldo Osorio Mora e Ing. Leandro Bravo y, quienes a través de su colaboración y aporte contribuyeron en el desarrollo de la investigación.

Grupo de apoyo a la investigación y desarrollo agroalimentario GAIDA por el apoyo técnico y académico brindado durante el desarrollo de la investigación.

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y a la Gobernación de Nariño por su financiación a través del proyecto 80740-215-2019 aprobado en la Convocatoria 818-2018 I+D+i NARIÑO.

Personal del Laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de los alimentos y de Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño.

Universidad de Nariño en especial a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y a cada uno de sus docentes que hicieron parte de nuestra formación profesional.

Resumen

El lulo (*Solanum quitoense*) fruta nativa de los Andes de gran importancia en Colombia y promisorio en el sector agroindustrial, se ve afectada por las altas pérdidas postcosecha ocasionadas por inadecuados manejos, por ello la combinación de tecnologías de conservación como la aplicación de recubrimientos a partir de materiales biopoliméricos y compuestos activos ha cobrado gran interés. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como pretratamiento y la aplicación de un recubrimiento comestible sobre la calidad postcosecha de lulo. Para la determinación del mejor recubrimiento se prepararon 9 formulaciones al 3% en relación p/v de biopolímeros totales con porcentajes de mezcla de polisacárido (pectina o HPMC) y proteína (gelatina) al 75/25, 50/50, 25/75, incluido los biopolímeros sin mezcla y para 1-MCP se establecieron 6 tratamientos en función de la concentración (mg L^{-1}) y tiempo de inmersión (minutos). Los frutos fueron seleccionados, acondicionados y distribuidos en 4 tratamientos: fruto control (LC), 1-MCP (LM), recubrimiento (LR) y 1-MCP/recubrimiento (LRM).

Los frutos tratados se almacenaron durante 15 días bajo condiciones ambientales ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR). Se obtuvo el recubrimiento pectina-gelatina 50/50 % (RPG2) como el mejor y el tratamiento $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ de 1-MCP con 30 minutos de inmersión (T5) como pretratamiento. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, se destacó el tratamiento con aplicación de 1-MCP y recubrimiento (LRM), ya que disminuyó la pérdida de peso y firmeza en un 22,13 % y 35,01 % respectivamente, retardó el cambio del IC $8,42 \pm 0,1$ referente al control como consecuencia de una baja producción de etileno $5,17 \pm 0,61 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ y tasa de respiración $16,94 \pm 0,97 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ e incluso presentó un efecto positivo sobre los sólidos y la acidez titulable. Finalmente, la evaluación y seguimiento de la

calidad postcosecha de lulo tras aplicación de los diferentes tratamientos de conservación con 1-MCP, recubrimiento y su combinación, aporta una alternativa de conservación a los productores y por consiguiente ofrecer al mercado y al consumidor final productos de calidad.

Palabras clave: 1-Metilciclopropeno, calidad postcosecha, conservación, recubrimiento, *Solanum quitoense*.

Abstract

Lulo (*Solanum quitoense*), a native fruit of the Andes of great importance in Colombia and promising in the agroindustrial sector, is affected by high postharvest losses caused by inadequate handling; therefore, the combination of conservation technologies such as the application of coatings from biopolymeric materials and active compounds has become of great interest. The objective of this study was to evaluate the effect of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) as a pretreatment and the application of an edible coating on the postharvest quality of lulo. To determine the best coating, 9 formulations were prepared at 3 % w/v ratio of total biopolymers with percentages of polysaccharide mixture (pectin or HPMC) and protein (gelatin) at 75/25, 50/50, 25/75, including the biopolymers without mixture and for 1-MCP, 6 treatments were established according to the concentration (mg L^{-1}) and immersion time (minutes). The fruits were selected, conditioned and distributed in 4 treatments: control fruit (LC), 1-MCP (LM), coating (LR) and 1-MCP/coating (LRM). The treated fruits were stored for 15 days under ambient conditions ($18,84 \pm 1,07$ °C and $51,33 \pm 4,55$ % RH). The 50/50 % pectin-gelatin coating (RPG2) was obtained as the best and the $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ 1-MCP treatment with 30 min immersion (T5) as pretreatment.

The results showed significant differences between the treatments; the treatment with application of 1-MCP and coating (LRM) stood out, since it decreased weight loss and firmness by 22, 13 % and 35,01 %, respectively, and delayed the change of IC $8,42 \pm 0,1$ relative to the control as a consequence of a low ethylene production $5,17 \pm 0,61 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ and respiration rate $16,94 \pm 0,97 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ and even presented a positive effect on solids and titratable acidity. Finally, the evaluation and monitoring of the postharvest quality of lulo after application of the different preservation treatments with 1-MCP, coating and their combination,

provides an alternative preservation method for producers and therefore offers quality products to the market and the final consumer.

Key words: 1-Methylcyclopropene, postharvest quality, conservation, coating, *Solanum quitoense*.

Contenido

	pág.
Introducción	23
1. Planteamiento del problema.....	25
2. Justificación	27
3. Objetivos.....	30
3.1 Objetivo general	30
3.2 Objetivos específicos.....	30
4. Marco teórico y Estado del arte	31
4.1 Fundamento teórico.....	31
4.1.1 Lulo (<i>Solanum quitoense</i>)	31
4.1.2 Recubrimientos	36
4.1.2.1 Materiales para elaboración de recubrimientos	37
4.1.2.2 Formación de recubrimientos y películas.	42
4.1.2.3 Aplicación de Recubrimientos.	43
4.1.3 Biosíntesis de etileno	44
4.1.4 Retardantes de maduración.....	45
4.1.4.1 Metilciclopropeno (C_4H_6).	46
4.1.4.2 Mecanismo de acción del 1-Metilciclopropeno.	47
4.2 Estado del Arte	49
5. Metodología	52
5.1 Ubicación	52
5.2 Materia prima	52
5.3 Materiales	53

5.4 Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas.....	53
5.4.1 Peso.....	53
5.4.2 Pérdida de Peso (%)......	54
5.4.3 Firmeza.	54
5.4.4 Color.	54
5.4.5 pH.	56
5.4.6 Acidez total titulable (ATT).	56
5.4.7 Sólidos solubles totales (SST).	57
5.4.8 Índice de madurez.....	57
5.4.9 Humedad.....	57
5.4.10 Actividad acuosa (Aw).	58
5.4.11 Determinación del Diámetro.	58
5.4.12 Producción de etileno.	59
5.4.13 Producción de CO ₂ (Tasa de respiración TR).	60
5.5 Comparación de diferentes formulaciones de recubrimiento con proporciones de mezcla polisacárido/proteína sobre las propiedades fisicoquímicas del lulo (<i>Solanum quitoense</i>).	60
5.5.1 Pruebas preliminares para la elaboración del recubrimiento.....	60
5.5.2 Elaboración y aplicación del recubrimiento comestible.....	62
5.5.3 Diseño experimental.	63
5.5.4 Caracterización fisicoquímica del recubrimiento comestible seleccionado.	64
5.5.5 Evaluación de propiedades mecánicas de la película comestible.....	65
5.5.5.1 Porcentaje de Elongación (%) y Resistencia a la Tracción (MPa).	66

5.6 Evaluar el efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas del lulo (<i>Solanum quitoense</i>).....	66
5.6.1 Preparación y aplicación del inhibidor de etileno (1-MCP).....	66
5.6.2 Diseño experimental.	67
5.7 Evaluación de la calidad postcosecha de lulo (<i>Solanum quitoense</i>) durante el almacenamiento con la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y un recubrimiento comestible a base de polisacárido/proteína.	68
5.7.1 Diseño experimental.	68
6. Resultados y discusión.....	70
6.1 Identificación de propiedades fisicoquímicas de lulo (<i>S. quitoense</i>).....	70
6.2 Formulación del recubrimiento con base en diferentes porcentajes de mezcla polisacárido-proteína.....	71
6.3 Evaluación del efecto de los recubrimientos sobre las propiedades fisicoquímicas de lulo	72
6.3.1 Mezclas pectina-gelatina (PG).....	72
6.3.2 Mezclas HPMC-gelatina (HG)	81
6.3.3 Análisis comparativo de los polímeros.....	88
6.3.4 Caracterización del recubrimiento seleccionado	91
6.3.4.1 Caracterización fisicoquímica del recubrimiento seleccionado.....	91
6.3.5 Evaluación de propiedades de la película comestible	92
6.4 Evaluar el efecto de la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-mcp) sobre las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas del lulo (<i>Solanum quitoense</i>).....	94
6.4.1 Evaluación sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas en lulo	94
6.4.2 Evaluación de la Pérdida de peso (%)	94

6.4.3 Evaluación de la Firmeza (N)	97
6.4.4 Evaluación del Índice de color	99
6.4.5 Evaluación de la Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ .h ⁻¹).....	101
6.4.6 Evaluación de la Tasa de respiración (mg CO ₂ Kg ⁻¹ .h ⁻¹).....	103
6.4.6.1 Selección del mejor tratamiento.....	105
6.5 Evaluación de la calidad postcosecha de lulo (solanum quitoense) durante el almacenamiento con la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y un recubrimiento comestible a base de polisacárido/proteína.	107
6.5.1 Evaluación de la Pérdida de peso (%).	108
6.5.2 Evaluación de la Firmeza (N).	110
6.5.3 Evaluación del Índice de color	112
6.5.4 Evaluación de la Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ h ⁻¹ .).....	113
6.5.5 Evaluación de la Producción de CO ₂ -Tasa de respiración (mg CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹).....	115
6.5.6 Evaluación de propiedades fisicoquímicas: pH, SST, ATT e IM	117
Conclusiones	124
Recomendaciones	126
Referencias.....	127
Anexos	155

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1 Clasificación taxonómica de lulo (<i>Solanum quitoense</i>).	32
Tabla 2 Composición química de 2 variedades de lulo: lulo la selva y lulo castilla.	33
Tabla 3 Rango de concentraciones para recubrimientos comestibles.	61
Tabla 4 Matriz experimental de la formulación del recubrimiento.	63
Tabla 5 Matriz experimental para la evaluación del efecto de 1-MCP.	68
Tabla 6 Matriz experimental para análisis fisicoquímico y fisiológico de lulo con aplicación de 1-MCP y recubrimiento comestible.	69
Tabla 7 Promedio y desviación estándar de las propiedades fisicoquímicas de lulo (S. quitoense) en estado de madurez 3, evaluadas previo a la aplicación de recubrimiento.	70
Tabla 8 Índice de color determinado sobre lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla pectina-gelatina durante 15 días de evaluación.	80
Tabla 9 Índice de color determinado sobre lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante 15 días de evaluación.	87
Tabla 10 Variables de respuesta pérdida de peso (%), índice de color y firmeza (N) evaluadas sobre lulo (S. quitoense) bajo diferentes tratamientos para el día 15 de evaluación.	89
Tabla 11 Pruebas de caracterización fisicoquímica y mecánica del recubrimiento seleccionado con la porcentaje de mezcla 50/50 % pectina-gelatina.	91

Tabla 12	Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas sobre lulo (S. quitoense) con aplicación de diferentes tratamientos con 1-MCP para el día 15 de evaluación.	105
Tabla 13	Índice de color determinado sobre lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante 15 días de evaluación.....	112
Tabla 14	pH, sólidos solubles totales, acidez total titulable e índice de madurez determinados sobre lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante 15 días de evaluación.	118
Tabla 15	Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas sobre lulo (S. quitoense) bajo diferentes tratamientos para el día 15 de evaluación.....	122

Lista de figuras

	pág.
Figura 1 Porcentaje de representación de los grupos del sector agrícola en Nariño.	35
Figura 2 Ruta de biosíntesis de etileno.....	45
Figura 3 Tabla de color para diferentes estados de madurez de lulo según NTC 5093.	52
Figura 4 Medición gravimétrica en lulo (Balanza analítica).	53
Figura 5 Medición de firmeza en lulo (Texturómetro).....	54
Figura 6 Prueba colorimétrica en lulo (Espectrofotómetro-colorímetro).	55
Figura 7 Codificación para Índice de color.	55
Figura 8 Medición de pH en muestra de jugo extraído de lulo (pH-metro Jenway).	56
Figura 9 Medición de ATT para lulo (Bureta acoplable a frascos-Titrette).	57
Figura 10 Medición de la humedad (Balanza de humedad Kern).	58
Figura 11 Medición de actividad de agua (Higrolab Rotronic).	58
Figura 12 Determinación de etileno y tasa de respiración de los frutos de lulo.	59
Figura 13 Metodología de preparación de recubrimiento comestible.	62
Figura 14 Pruebas de caracterización realizadas al recubrimiento seleccionado 50/50 pectina-gelatina.	64
Figura 15 Medición de humedad material preformado.	65
Figura 16 A). Elaboración de películas, y B). Medición de la Elongación (%) y resistencia a la tracción (MPa) (Texturómetro).	66
Figura 17 Preparación y aplicación de las soluciones de 1-MCP sobre el fruto.	67

Figura 18	Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla pectina-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.	73
Figura 19	Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de la pérdida de peso en diferentes concentraciones de mezcla pectina-gelatina para el día 15.	75
Figura 20	Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos.....	77
Figura 21	Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de firmeza en diferentes concentraciones de mezcla Pectina-gelatina para el día 15.	78
Figura 22	Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.	82
Figura 23	Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de la pérdida d peso en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.....	83
Figura 24	Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.	85
Figura 25	Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de firmeza en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.	86

Figura 26	Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación del Índice de color en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.....	88
Figura 27	Diagrama de Pareto estandarizado de la pérdida de peso (%) para el día 15 de evaluación.	94
Figura 28	Diagrama de Pareto estandarizado para la firmeza (N) para el día 15 de evaluación.	97
Figura 29	Diagrama de Pareto estandarizado para el índice de color para el día 15 de evaluación.	99
Figura 30	Diagrama de Pareto estandarizado para la producción de etileno para el día 15 de evaluación.	101
Figura 31	Diagrama de Pareto estandarizado para la tasa de respiración para el día 15 de evaluación.	103
Figura 32	Superficie de respuesta estimada para producción de etileno, tasa de respiración y firmeza al día 15 de evaluación.....	106
Figura 33	Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días.	108
Figura 34	Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días.	110

- Figura 35 Comportamiento de la producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) de lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días. 113
- Figura 36 Comportamiento de la Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) de lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días. 115

Lista de anexos

	pág.
Anexo A. Registro fotográfico de aplicación y seguimiento de los tratamientos RPG1, RPG2 y fruto sin recubrimiento durante 15 días de evaluación bajo condiciones ambientales.	155
Anexo B. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para las mezclas PG y HG, recubrimiento de polímeros sin mezcla (RP, RH, RG) y fruto sin recubrimiento bajo condiciones ambientales de estudio.	156
Anexo C. Registro fotográfico de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 al día inicial y final de evaluación.	161
Anexo D. Resultados del diseño experimental de los análisis realizados en el Programa Statgraphics Centurion XV. II.	162
Anexo E. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 bajo condiciones ambientales de estudio. .	170
Anexo F. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para los tratamientos LC, LRM, LM y LR bajo condiciones ambientales.....	171

Introducción

Las tendencias de consumo saludable y la ampliación de mercados internacionales para frutas exóticas se han convertido en una alternativa de inversión y crecimiento del sector hortofrutícola. Sin embargo, la economía y comercialización se ve afectada por las altas pérdidas postcosecha, ocasionadas por un mal manejo y por factores tecnológicos y fitosanitarios (Angulo, 2008). “Se estima pérdidas entre un 5-25 % en países desarrollados y hasta un 80% en países en vías de desarrollo dependiendo del producto y la región de cultivo” (Aguilar et al., 2012).

El lulo es una fruta sudamericana de la familia solanáceas con 8 especies presentes en Colombia (Gómez-Merino et al., 2014). Es una de las frutas exóticas más apetecidas en los mercados nacionales e internacionales (Andrade et al., 2015), y está catalogada como promisoría por sus características, calidad, propiedades nutricionales (Legiscomex, 2013; Ramírez, 2020) y ser una de las frutas tropicales más utilizadas en procesos de transformación agroindustrial (jugos, jaleas, mermeladas, entre otras) (Ramírez y Davenport, 2019), entre los principales países cultivadores y consumidores están Colombia y Ecuador. Pese a estas ventajas comerciales, el lulo es un fruto climatérico (Ramírez et al., 2018) con alta intensidad respiratoria y producción de etileno, durante su madurez fisiológica, lo que lo lleva a alcanzar más pronto la senescencia (Fernández-Trujillo et al., 2008), por ello es necesario conservar su calidad disminuyendo las pérdidas que en Colombia son cercanas al 50% de la producción (Forero et al., 2014).

Actualmente, se han desarrollado tratamientos para prolongar la vida y calidad postcosecha de frutas y hortalizas. El control de temperatura, uso de atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC) son algunas de las técnicas más importantes (Baldwin, 2003). La aplicación de recubrimientos se ha convertido en una alternativa viable, más aún en combinación

con agentes activos que favorecen la conservación, incrementar el tiempo de vida útil y garantizar la calidad del producto, mejorando no solo su apariencia, siendo una efectiva barrera a la transmisión de gases, vapores y solutos (Vishwasrao y Ananthanarayan, 2016). En vista de que los materiales elaborados con un solo componente presentan propiedades deficientes, es necesario emplear mezclas (León et al., 2018). La combinación de estos permite aprovechar las ventajas y propiedades de cada componente y obtener recubrimientos con buenas propiedades funcionales.

Además, el uso de compuestos activos en combinación con otros tratamientos de conservación ha tomado gran auge. Los retardantes de etileno como 1-Metilciclopropeno (1-MCP) promueven la ralentización del proceso de maduración, y menor deterioro de los alimentos alargando su frescura. La aplicación comercial fue llevada a cabo por AgroFresh Inc. Este producto está catalogado como un químico GRAS, compuesto seguro y regulador de crecimiento, con un modo de acción completamente inocuo para el ser humano (Guillén, 2009). No tóxico y altamente efectivo en dosis bajas (partes por billón ppb) (Velásquez, 2017).

Por lo tanto, en la presente investigación se estudió el efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como pretratamiento y la aplicación de una matriz biopolimérica polisacárido/proteína sobre la calidad postcosecha de lulo (*S. quitoense*) como alternativa de conservación.

1. Planteamiento del problema

La calidad postcosecha de los productos frutihortícolas combina las características, atributos y propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales brindando un producto aceptable al consumidor (Parra, 1989). Sin embargo, se presentan daños visibles en los productos debido a un mal manejo, alta perecibilidad y a múltiples factores de índole tecnológico, fitosanitario y de comercialización, los cuales amenazan su sostenibilidad (Angulo, 2008) y por consiguiente ocasionan altas pérdidas postcosecha durante toda la cadena de comercialización con un costo económico y social importante (López, 2000). Se estima que las pérdidas pueden alcanzar entre 5-25 % en países desarrollados y hasta un 80 % en países en vías de desarrollo frente al total de producción dependiendo del tipo de producto y de la región de cultivo (Aguilar et al., 2012).

El lulo es una fruta tropical exótica de origen sudamericana, ampliamente cultivada en Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Honduras (Andrade-Cuvi et al., 2016; Silva et al., 2016) cuyos principales países consumidores son Colombia y Ecuador. Presenta excelentes propiedades fisicoquímicas y nutricionales; sin embargo, se descuida su tratamiento postcosecha ocasionando altas pérdidas y baja rentabilidad al sector, debido a su sensibilidad al daño por frío a temperaturas inferiores a 7 °C, alto contenido de humedad y altamente perecible posterior a su cosecha y postcosecha (Andrade-Cuvi, 2018). Asimismo, al ser un fruto climatérico (Monteiro-Matarrazzo et al., 2013) aumenta significativamente la producción de etileno (hormona vegetal que afecta el desarrollo de distintos procesos relacionados con la maduración y senescencia de productos vegetales) durante su proceso de maduración, y se convierte en un fruto susceptible a cambios provocados por factores fisiológicos, físicos, químicos y de manejo responsables del deterioro del mismo, es así como la alta actividad metabólica durante su desarrollo, maduración

y almacenamiento se considera un factor importante (Balaguera-López et al., 2014), estos procesos conllevan a la pérdida de turgencia, alta transpiración, cambios en la coloración y disminución de la firmeza, ocasionando disminución de la calidad del fruto (Agustí, 2010), alcanzando pérdidas de hasta un 45 % antes de llegar al consumidor final (Forero et al., 2014), factores que limitan el tiempo de almacenamiento y la vida útil del fruto (Valero y Serrano, 2010) normalmente de hasta 8 días a temperatura ambiente y hasta 15 días en refrigeración de acuerdo con el grado de madurez en el que se cosecha (Andrade-Cuvi, 2018) reduciendo su valor comercial y afectando la exportación a la Unión Europea que se constituye como uno de los mercados más importantes para frutas tropicales (Pérez, 2020).

Entre los métodos de conservación, el uso de tecnologías como recubrimientos comestibles permite prolongar la calidad postcosecha de frutas a través de la reducción en la tasa de respiración y la producción de etileno, mantener la firmeza y retrasar el decaimiento producido por microorganismos. Sin embargo, no se evidencia muchos estudios en lulo con la aplicación de recubrimientos y agentes inhibidores de etileno como 1-MCP, clasificado como regulador de crecimiento de la planta e inofensivo para el humano, relacionado principalmente con el retraso en la maduración de la fruta (Guillén, 2009).

2. Justificación

La producción mundial de frutas tropicales y exóticas ha tenido un fuerte crecimiento, alrededor del 99 % se encuentra en países en desarrollo, gracias a las tendencias de consumo saludables y a la internacionalización de mercados. El lulo o naranjilla (*S. quitoense*) originario de Ecuador, Colombia y Perú presenta una amplia adaptación a diferentes altitudes; en Colombia su desarrollo óptimo se da entre 1900 a 2200 msnm (Fischer et al., 2021). Ha tomado un papel importante dentro de las tendencias de consumo en mercados nacionales e internacionales, cuyos principales países de exportación son Francia, España, Alemania, Países bajos y Suiza (MARO, 2020) por sus propiedades características agroindustriales (sabor agridulce, aroma, color de la pulpa), alto contenido nutricional y de antioxidantes, fuente importante de vitamina C y minerales (Álvarez et al., 2016; Muñoz, 2016).

A nivel nacional es considerado el tercer frutal de mayor importancia socioeconómica (Dane, 2013), y para 2019 se reportó una producción de 76.896 Toneladas con rendimiento de 9,92 T/ha año, concentrando la mayor área cosechada en los departamentos de Huila, Valle del Cauca, Antioquia, Cauca, Nariño y Boyacá (Agronet, 2021).

En Nariño la producción de lulo es un renglón de gran importancia por su aporte en la generación de empleo, ingresos recibidos y mejoramiento del nivel de vida de los productores (Muñoz, 2011), destacándose en los últimos años como una de las especies frutícolas de mayor importancia en la región, tanto por área sembrada como por consumo y comercialización; además de contar con una región con aptitud geográfica y heterogeneidad climática que permite la explotación frutícola de calidad (Secretaría de agricultura y desarrollo rural Nariño, 2019).

La aplicación de tecnologías de conservación se convierte en un aliado fundamental para reducir las pérdidas postcosecha del sector y llevar productos de calidad al consumidor final;

pueden aplicarse solas o combinadas. Entre las aplicadas actualmente están: refrigeración, tratamientos térmicos y químicos (1-MCP, AM, AC y aplicación de ozono), radiaciones ionizantes y UV-C, control biológico, aplicación de películas y recubrimientos (García, 2015).

Los recubrimientos son estructuras capaces de transportar sustancias que beneficien no sólo al alimento, sino también mediante la encapsulación de compuestos bioactivos, desarrollar productos nuevos e innovadores con efecto nutracéutico o funcional (Quintero et al., 2010). Para la elección de recubrimientos compuestos se considera los principales factores de deterioro de las frutas y las propiedades que aporta cada uno de los componentes de los recubrimientos; puesto que las pérdidas de calidad se asocian a procesos metabólicos de respiración y transpiración, los recubrimientos deben cumplir la doble función de barrera a los gases y al vapor de agua (Navarro-Tarazaga, 2007). Así, se ha enfocado en la aplicación de recubrimientos compuestos con la finalidad de mejorar las propiedades y características del material resultante (León et al., 2018). Adicionalmente, pueden combinarse con compuestos activos y fortalecer la conservación de los frutos (González et al., 2016). El tratamiento con 1-MCP es una alternativa para extender la vida útil y mantener la calidad postcosecha, ya que inhibe la acción del etileno ocupando los sitios receptores de este compuesto (Rivero y Quiroga, 2010), bloquea y/o retrasa la señalización de maduración, afecta la expresión de genes, la velocidad de los procesos bioquímicos durante la maduración, retrasando el desarrollo de color, ablandamiento, procesos metabólicos y fisiológicos (García, 2015). Por la amplitud del impacto que el 1-MCP tiene en diferentes especies, es considerado como la tercera revolución tecnológica en postcosecha, luego de la aplicación de frío, atmósferas controladas y modificadas.

A través de la presente investigación se pretende mantener y/o mejorar la calidad postcosecha a nivel fisicoquímico y fisiológico del lulo (*S. quitoense*), cuyo objetivo es brindar

un fruto de excelente calidad mediante la aplicación de un pretratamiento con 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como agente activo inhibidor de etileno y una matriz polimérica polisacárido/proteína para su posterior almacenamiento, comercialización y/o consumo. Y se planteó la siguiente pregunta:

¿Cuál es el efecto que tiene el 1-Metilciclopropeno como pretratamiento y la aplicación de una matriz biopolimérica polisacárido/proteína sobre la calidad postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*) durante su almacenamiento?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un recubrimiento y evaluar el efecto de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como pretratamiento inhibidor de etileno, sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*).

3.2 Objetivos específicos

- Comparar diferentes formulaciones de recubrimiento con porcentajes de mezcla polisacárido/proteína sobre las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*).
- Evaluar el efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*).
- Evaluar la calidad postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*) durante el almacenamiento con la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y un recubrimiento comestible a base de polisacárido/proteína.

4. Marco teórico y Estado del arte

4.1 Fundamento teórico

Mantener la calidad de los productos hortofrutícolas, se ha convertido en un reto de la industria a través de mecanismos de conservación emergentes. “ La calidad es una combinación de características, atributos o propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales de los alimentos para su aceptación por parte de los consumidores” (Parra, 1989).

Los frutos son órganos con alta actividad metabólica, debido a cambios físicos y químicos que sufren durante su desarrollo, maduración y almacenamiento, estos continúan respirando después de cultivados, es decir consumiendo oxígeno (O₂) y desprendiendo dióxido de carbono (CO₂), acompañado del incremento en la producción de etileno (Balaguera-López et al., 2014), lo que genera aceleración de los procesos de maduración, pérdida de turgencia, alta transpiración, cambios en la coloración, disminución de la firmeza y calidad del fruto (Agustí, 2010).

4.1.1 Lulo (*Solanum quitoense*)

El lulo (*Solanum quitoense*), es un fruto andino y exótico también denominado naranjilla o tomate chileno; sus principales países productores por volumen son Colombia y Ecuador, también es ampliamente cultivado en Perú, Panamá, Costa Rica y Honduras (Andrade-Cuvi et al., 2016; Silva et al., 2016). “ Es una planta de la familia de las solanáceas y comprende 14 especies de las cuales 8 están presentes en Colombia” (Gómez-Merino et al., 2014). Es un fruto promisorio gracias a sus propiedades características (sabor agridulce, aroma, color de la pulpa) y agroindustriales, alto contenido nutricional y de antioxidantes, siendo apetecible para el mercado nacional e internacional (Álvarez et al., 2016). Su clasificación taxonómica se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de lulo (Solanum quitoense).

Jerarquía	Descripción
Reino	Vegetal
Subreino	Espermatophyta
División	Angiosperma
Subdivisión	Dicotiledónea
Clase	Simpétala
Subclase	Penta cíclica
Orden	Tubiflorales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum quitoense</i>
Nombre científico	<i>Solanum quitoense</i> Lam.
Nombres comunes	Lulo en Colombia, naranjilla en Ecuador y Perú, naranjilla de castilla en España, Quito orange en EE.UU, berenjena de olor en Costa Rica.

Fuente: Revelo et al. (2010).

El fruto de lulo es una baya globosa redonda de 4 a 8 cm de diámetro y peso entre 80 y 100 g, cubierta de tricomas de color amarillo o rojo que se van perdiendo a medida que el fruto completa su madurez y son fáciles de desprender en el momento de la cosecha, su corteza es de color amarillo intenso o naranja, cuando alcanza su madurez, cuya pulpa es color verde oscuro lleno de semillas (Corporación colombiana de investigación agropecuaria [CORPOICA], 2002).

Se clasifica como un fruto ácido debido a que tiene un pH entre 3,1 a 3,3 y un contenido de ácido de 3,23 % expresado como ácido cítrico independiente de su estado de madurez (Cerón et al., 2010). La parte comestible representa del 70 al 90 % de la fruta (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

[ICONTEC], 2002), y se caracterizan por tener excelentes propiedades organolépticas y además son fuente importante de vitaminas y minerales (Gallo et al., 2018).

Las dos variedades botánicas de lulo más importantes en el país son la septentrional con presencia de espinas en el tallo y hojas y la quitoense que no presenta tricomas y tiene menor acidez (Morillo *et al.*, 2019). También se cultiva la variedad híbrido “la selva” obtenido del cruce de *S. hirtum* y *S. quitoense*; en la Tabla 2 se presenta la composición química de dos variedades de lulo.

Tabla 2

Composición química de 2 variedades de lulo: lulo la selva y lulo castilla.

Composición química	Lulo de selva	Lulo de castilla
Agua (%)	89,15	87,45
Proteína (%)	0,59	0,67
Grasa (%)	0,11	0,11
Cenizas (%)	0,16	0,17
Carbohidratos (%)	0,65	0,70
Fibra (%)	9,35	10,90
Calcio (mg/100mL)	15,72	16,54
Hierro (mg/100mL)	1,01	1,81
Fosforo (mg/100mL)	9,47	8,72
Vitamina c (mg)	37,5 – 95,5	

Fuente: Franco et al. (2002).

“ El lulo ha sido caracterizado como un fruto climatérico” (Ramírez et al., 2018), presenta altas tasas en la intensidad respiratoria y la producción de etileno, especialmente durante su etapa de madurez fisiológica donde se lleva a cabo su cosecha, generando una disminución de la calidad y vida útil del mismo, de igual manera este tipo de frutos alcanza más pronto la

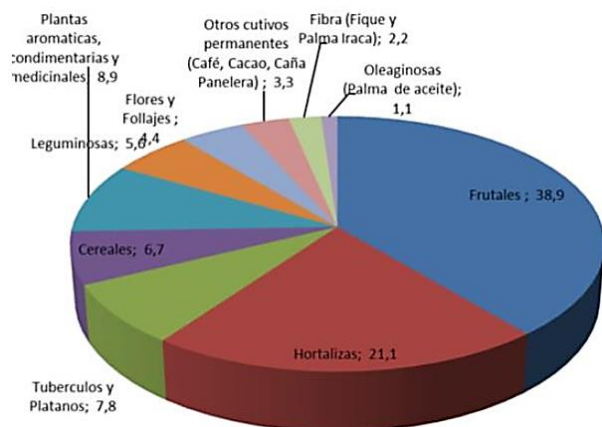
senescencia (Fernández-Trujillo et al., 2008) en vista de que la respiración está acompañada por un aumento similar en los niveles de etileno, que coordina y sincroniza el proceso de maduración (Ratemo et al., 2015). El etileno, hormona responsable de los cambios durante la maduración y senescencia en los productos hortofrutícolas, juega un papel importante ya que provoca que los frutos adquieran las características organolépticas de consumo, sin embargo también es responsable del proceso de senescencia ocasionando efectos desfavorables, y por ende mala calidad de los productos finales (Balaguera-López et al., 2014), ya que regula diferentes enzimas que ocasionan ablandamiento del fruto, contribuyen a una conversión masiva de almidón a azúcares en la pulpa, incremento de la actividad polifenol oxidasa (pardeamiento enzimático), favorecen la síntesis de compuestos aromáticos, degradación de clorofilas y desenmascaramiento de carotenoides (Castro et al., 2007; Kesari et al., 2007).

El comportamiento postcosecha del lulo se ve influenciado por el índice de maduración con el que se recolecta la fruta; en plantaciones pequeñas, este se determina visualmente por el color cambiante de la piel del fruto entre tonalidades verdes a amarillas. Generalmente su cosecha se lleva a cabo a los 8 meses y su recolección se realiza en horas de la mañana en estado pintón de maduración (40 %) ya que es un fruto climatérico debido a que la maduración provoca el incremento de factores como SST (sólidos solubles totales) y ATT (acidez total titulable) (Mejía et al., 2012).

El sector agrícola del departamento de Nariño desde el año 2012-2016 presenta una oferta de 90 productos, siendo los frutales el grupo más representativo con 38,95 %, seguido de las hortalizas con un 21,1 % como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Porcentaje de representación de los grupos del sector agrícola en Nariño.



Fuente: Secretaría de Agricultura b (2016).

El lulo junto con el tomate de árbol, mora, y banano se destacan como las especies frutícolas de mayor importancia en la región, tanto por área sembrada, como consumo y comercialización; inclusive presenta una región con aptitud geográfica y heterogeneidad climática que permite la explotación frutícola de calidad (Secretaría de agricultura y desarrollo rural Nariño, 2019). De igual manera para el año 2017 se reportó en Nariño alrededor de mil unidades productoras permanentes en todo el departamento y una producción anual alrededor de 3300 T de producto en fresco.

Este sector es de gran importancia en el departamento, no obstante, su sostenibilidad se ve amenazada por diversos factores de índole tecnológico, fitosanitario y de comercialización (Angulo, 2008). Cabe mencionar que el 90 % de los productores no le agregan valor a su producto, y lo venden tal como se produce en los mercados locales y en los mercados de otros departamentos para consumo directo o para su transformación (CONPES, 2014).

De aquí que, la maduración se presenta como un proceso irreversible en los frutos, cuyo manejo de niveles bajos de etileno, se convierte en una alternativa de conservación

hortofrutícola; de igual manera se intensifica la búsqueda de alternativas para mantener las características y propiedades del fruto durante un mayor periodo de tiempo, a través de la aplicación de inhibidores o retardantes de la producción de etileno. Dentro de este campo se encuentran algunos compuestos inhibidores de la biosíntesis del etileno como: AVG (aminoetoxivinilglicina), AOA (ácido amino-oxi acético) e inhibidores de la acción del etileno como 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y sales de plata (nitrato y tiosulfato de plata) (Balaguera-López et al., 2014).

4.1.2 Recubrimientos

Los recubrimientos son una tecnología basada en sistemas naturales de conservación que ayudan a reducir las pérdidas de atributos de calidad, cumpliendo con las exigencias de los consumidores actuales: productos saludables, mínimamente procesados, sin agregados de agentes químicos y de producción sustentable. Siendo por lo tanto una de las alternativas con más futuro en el campo del envasado y conservación de alimentos (López et al., 2012).

“ Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes de este” (Lin y Zhao, 2007), también se define como una cubierta de material comestible que se aplica sobre un alimento mejorando su apariencia, siendo una efectiva barrera a la transmisión de gases, vapores y solutos; solucionando problemas de migración de humedad, oxígeno y dióxido de carbono (Vishwasrao y Ananthanarayan, 2016). “ Se consideran un envase ideal desde el punto de vista medioambiental, puesto que son biodegradables y pueden ser consumidos con el producto” (Falconí, 2016).

El recubrimiento actúa de manera que al momento en que se cubre la fruta, se crea una atmósfera modificada en el interior que reduce la velocidad de respiración y por tanto retrasa el proceso de senescencia (envejecimiento celular), además crea una barrera a la transferencia al vapor de agua retrasando el deterioro de la fruta por deshidratación (Falconí, 2016), mejora las propiedades mecánicas, ayuda a mantener la integridad estructural del alimento y a retener compuestos volátiles (Vázquez, y Guerrero, 2013). “ Su selectividad en cuanto a la permeabilidad al oxígeno y dióxido de carbono condicionan la creación de atmósferas modificadas en el interior del alimento prolongando la vida útil ” (Aguilar, 2005).

También, son el resultado de la mezcla de diferentes biopolímeros, plastificantes, emulsificantes, lípidos, antimicrobianos, saborizantes, colorantes, probióticos, antioxidantes, etc., que permiten mejorar la calidad de la película en cuanto a permeabilidad, propiedades mecánicas, entre otras. Una de las funciones es lograr mantener la vida útil por la disminución de pérdida de peso, preservación de color, aroma, sabor y valor nutricional de los alimentos (Perdones et al., 2012). El propósito de películas y recubrimientos es proporcionar integridad al alimento, generando una barrera selectiva al oxígeno, dióxido de carbono, agua, aromas y otros compuestos; además de sus propiedades de barrera, los recubrimientos pueden mejorar la apariencia de los alimentos y actuar como portadores de principios activos.

4.1.2.1 Materiales para elaboración de recubrimientos.

Es vital, destacar la importancia de las características funcionales de los recubrimientos y películas con base a la materia prima utilizada para su elaboración. La combinación de distintos componentes permite aprovechar no solamente las propiedades, sino también sus ventajas permitiendo así la obtención de recubrimientos con buenas propiedades funcionales, mecánicas, de barrera y conservación. La matriz estructural se constituye a partir de hidrocoloides

(polisacáridos y proteínas), polímeros que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, estas les confiere buenas propiedades mecánicas y de barrera a gases (O_2 y CO_2), por lo cual retardan la respiración y envejecimiento de muchas frutas y hortalizas (Dickinson, 2009); también poseen una actividad estabilizante de las emulsiones, por lo que en algunos casos no es necesario la incorporación de otros agentes emulsificantes o tensoactivos (Navarro-Tarazaga, 2007).

-Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). La HPMC ha sido ampliamente estudiada como recubrimiento comestible por ser un material biodegradable y presentar buenas propiedades mecánicas y de barrera a los gases, sin embargo, presenta una alta permeabilidad al vapor de agua (PVA) (Rodríguez et al., 2011). Para mejorar las propiedades de barrera y funcionalidad de estos recubrimientos, se deben incluir compuestos hidrofóbicos, disminuir la cantidad de compuestos hidrofílicos como los plastificantes comúnmente usados (polioles, azúcares, alcoholes, oligosacáridos) (Solís, 2016), e inclusive se hace necesaria la incorporación de lípidos (ácidos grasos, ceras, resinas y/o tensoactivos) en la matriz del hidrocoloide para mejorar esta propiedad.

Los films de HPMC son flexibles y transparentes sin olor ni sabor, con una permeabilidad selectiva a los gases que permiten, al aplicarlos a frutas, el retraso de la madurez al reducir la concentración interna de O_2 , sin causar una acumulación excesiva de CO_2 (Pastor-Navarro, 2010), con ello se retarda su deterioro.

Este compuesto tiene posibilidades de distinto peso molecular, viscosidad, grado de sustitución y sustitución molar. Los grupos metilos constituyen zonas hidrofóbicas a lo largo de la cadena de celulosa, mientras que los grupos hidroxipropilos son más hidrofílicos. “ La

presencia de estos sustituyentes le confiere a la HPMC posibilidades de comportarse como surfactante y gracias a las interacciones hidrofóbicas la formación de los geles de HPMC durante el calentamiento “ (Solís, 2016).

-Pectina. La pectina es un heteropolisacárido de origen vegetal, compuesto principalmente por ácido D-galacturónico, unido mediante enlaces α - (1,4) glucosídicos, que componen la cadena principal. La esterificación que presenta indica el porcentaje de residuos del ácido galacturónico esterificado o metoxilado por el grupo metilo y se clasifican en pectinas de bajo (< 50 %) y alto metoxilo (> 50 %). La pectina es un polisacárido aniónico, y se considera un carbohidrato complejo que se encuentra en la composición de los frutos, y es uno de los principales componentes de las paredes celulares primaria y media de los tejidos vegetales (Arellanes et al., 2011). “ Es un biopolímero no tóxico, biocompatible y biodegradable “ (Sriamornsak et al., 2008) por lo que ha sido empleado como recubrimiento comestible.

“ Las pectinas forman geles en presencia de iones de calcio y de azúcar, en condiciones de bajo pH, característica importante para su utilización como aditivo en procesos de gelificación” (Chan y Choo, 2013; Chasquibol y Morales, 2010). Factores intrínsecos (peso molecular y grado de esterificación), extrínsecos (pH, presencia de sales y azúcares), estado de madurez y materia prima de la que se extraen, influyen en las propiedades funcionales de las pectinas (Muñoz-Ordoñez, 2011).

“ La viscosidad de sus dispersiones, al igual que la de otros polisacáridos, se incrementa a medida que aumenta el peso molecular; en el caso de las pectinas, la viscosidad es mayor cuanto más se incrementa el grado de esterificación” (Badui, 2006; Ferreira, 2007). Al igual que los alginatos, también presenta películas transparentes, inodoras y ligeramente saladas en el caso de haberles añadido sales de calcio. De igual manera, Sheron-Rodríguez, (2017) afirma que su

aplicación se limita a mejorar el aspecto y protección frente al enranciamiento debido a sus deficientes propiedades mecánicas y protectoras.

-Gelatina. Proteína coloidal soluble de origen animal, obtenida a partir de la hidrólisis ácida o alcalina del colágeno, mayor proteína estructural de muchos tejidos conectivos, como piel, tendón y hueso. Entre las características más importantes están su solubilidad en agua y la habilidad que tiene para formar geles termorreversibles (Sheron-Rodríguez, 2017). Su estructura está compuesta por cadenas poli peptídicas, y según Bourtoom (2009) con alto contenido de aminoácidos. Para obtener gelatina es necesario romper los enlaces de triple hélice del colágeno, de manera que pierde su estructura ordenada y las cadenas individuales se separan, características que permiten obtener recubrimientos y películas de gelatina con buenas propiedades de barrera ya que reducen la permeabilidad al oxígeno, la difusión del vapor de agua y la migración de las grasas (Sheron-Rodríguez, 2017). La gelatina representa una alternativa viable como material formador de películas debido a su abundancia, bajo costo y disponibilidad (Aguilar et al., 2012).

-Componente Lipídico. Aporta resistencia al vapor de agua; entre ellos se encuentran los lípidos y las resinas, que, a pesar de presentar buena barrera al vapor de agua, no presentan buenas propiedades mecánicas lo que conlleva a obtener recubrimientos quebradizos, debido a su falta de cohesividad e integridad estructural (Navarro-Tarazaga, 2007). “ Las resinas aportan brillo al recubrimiento, son más permeables al vapor de agua que los lípidos y ejercen una importante barrera a la difusión de gases, sin embargo pueden inducir la anaerobiosis del fruto recubierto” (Hagenmaier y Shaw, 1992). Los lípidos más utilizados en la formulación de recubrimientos comestibles son ceras naturales (cera de abeja, candelilla y carnauba), ácidos grasos, monoglicéridos acetilados y diversos aceites vegetales (cacahuete, maíz y soja).

La cera de abejas es una cera comercial que ha sido ampliamente utilizada como aditivo de calidad en la fabricación de cosméticos, en industria farmacéutica y alimentaria. “ Debido a su alta hidrofobicidad y excelente resistencia a la humedad, la cera de abejas es un candidato favorable para la preparación de películas y recubrimientos comestibles con la combinación de polisacáridos o proteínas” (Zhanga et al., 2014).

-Glicerina. La glicerina es un líquido incoloro y espeso que forma la base de la composición de los lípidos. “ El glicerol es ligeramente dulce y de baja toxicidad” (Miramont, 2012).

Compuesto alcohólico con tres grupos -OH (hidroxilos), e higroscópico, que indica que tiene la capacidad de ceder o absorber la humedad presente en el medio ambiente que lo rodea, así a mayor higroscopicidad se potencia la capacidad del plastificante para mejorar las propiedades mecánicas de las películas, pero reduce la barrera al vapor de agua y a los gases (CO₂ y O₂) (Sothornvit y Krochta, 2005). Es fácilmente soluble en agua, y se descompone en ebullición, en la cual entra a una temperatura de 290 °C. Actúa a nivel de los puentes de hidrógeno reduciendo las fuerzas intermoleculares a lo largo de las cadenas del polímero mejorando sus propiedades mecánicas como flexibilidad, fuerza y resistencia, y en la formulación hace que el producto final incremente su permeabilidad al vapor debido a la naturaleza hidrofílica del glicerol el cual fácilmente forma puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (Alves et al., 2007).

Según Yokesahachart y Yoksan, (2011) cuando se usan ácidos grasos como plastificantes, estos disminuyen la permeabilidad al agua de las películas debido a su naturaleza apolar y ayudan a retardar el envejecimiento del material. El tamaño molecular, la configuración

y el número total de grupos hidroxilo funcionales del plastificante, y su compatibilidad con el polímero, afectan el tipo y cantidad de interacciones entre el plastificante y las cadenas poliméricas.

-**Tween 80.** También conocido como Polisorbato 80; es un tensioactivo no iónico, derivado del sorbitán polietoxilado y ácido oleico, se utiliza a menudo en aplicaciones de alimentos y productos farmacéuticos (Moreno, 2013). La acción emulsificante del Tween 80 actúa reduciendo la tensión superficial entre compuestos insolubles y la fuerza mecánica de la agitación juegan un papel vital en la emulsificación de las soluciones formadoras de recubrimientos (Andrade et al., 2014), permite aumentar la humectabilidad de la solución y mejora la compatibilidad del recubrimiento con la superficie de la fruta (Quintero et al., 2010).

4.1.2.2 Formación de recubrimientos y películas.

Generalmente la preparación de los recubrimientos y películas comestibles se basa principalmente en tres etapas, aunque para cada caso es especial debido a que tipo de material (biopolímero) se utilice y que otras sustancias se adicionen con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera.

La primera etapa consta de la disolución del material correctamente en algún disolvente que puede ser agua, alcohol, soluciones de ácidos diluidos o mezcla de disolventes; el material debe quedar completamente disperso. En algunos casos es necesario calentar o ajustar el pH de la suspensión que contiene el biopolímero con el fin de disolver la macromolécula (Vazquez y Guerrero, 2013).

En la segunda etapa consiste en agregar sustancias que ayuden a mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera como es el caso de plastificantes principalmente se usa el glicerol debido a su mayor estabilidad y compatibilidad

con las cadenas biopoliméricas hidrófilas en comparación con otros. Este permite obtener películas de mayor flexibilidad y resistentes a la ruptura, reduciendo la fragilidad. Una vez dispersado los biopolímeros y adicionado el plastificante, es posible añadir otras sustancias como antimicrobianos, antioxidantes a la solución formadora de película con el fin de conferir alguna propiedad funcional deseada (Abdollahi et al., 2012).

La tercera etapa consiste en la eliminación del disolvente en exceso, por lo cual se debe realizar un proceso de secado controlado. La velocidad de secado y las condiciones ambientales determinaran el espesor final y las características estructurales del recubrimiento (Campos et al., 2011).

4.1.2.3 Aplicación de Recubrimientos.

En cuanto a aplicación de los recubrimientos sobre los frutos, se debe tener en cuenta el tipo de producto y sus características propias, y con ello establecer el modo de aplicación que se va a emplear. Es así como la aplicación directa de la solución formadora sobre el fruto favorece su distribución uniforme; esto se puede llevar a cabo a través de diferentes métodos: de inmersión, frotación o aspersión (Morales, 2011).

-Inmersión. Es una de las técnicas más empleadas en el recubrimiento de frutas y vegetales. Los frutos son sumergidos directamente en tanques o recipientes que contienen las formulaciones de recubrimiento, posteriormente se deja drenar el material sobrante y se procede a secar (Fernández et al., 2017), este método es muy aplicado en recubrimientos comestibles con cera en frutas enteras, garantizando un impregnado completo para formar una película membranosa delgada sobre la superficie de la fruta u hortaliza (Vásquez y Guerrero, 2013).

4.1.3 Biosíntesis de etileno

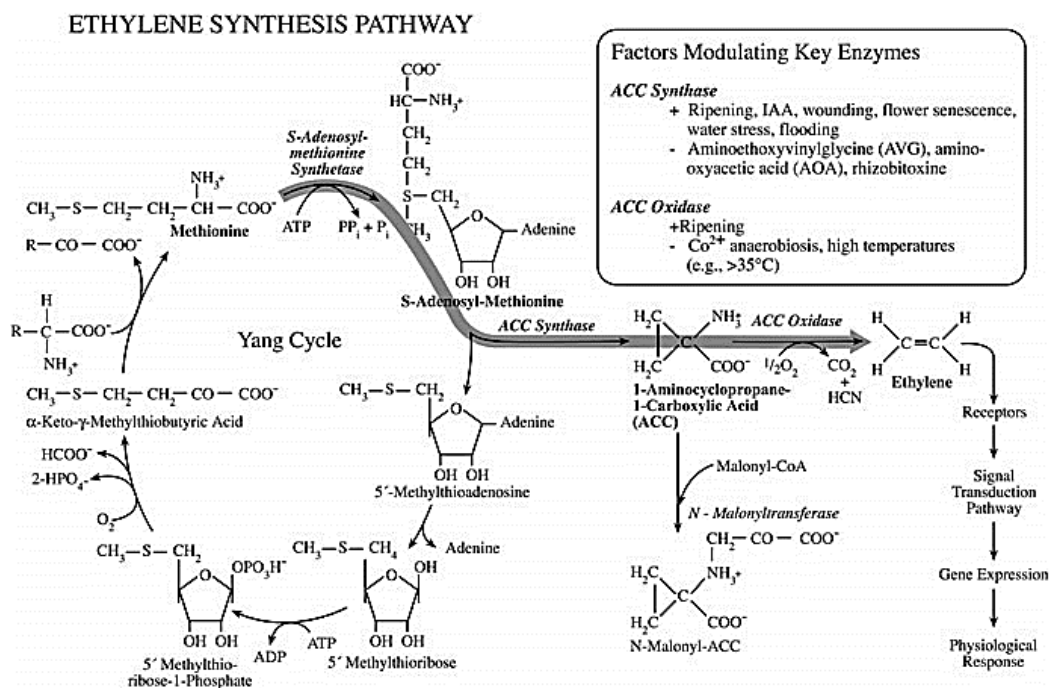
Las frutas por lo general tienden a deteriorarse a medida que transcurre la maduración, proceso relacionado con el etileno, hormona vegetal responsable de regular diferentes procesos durante la maduración, este además juega un papel importante en postcosecha, ya que provoca que los frutos adquieran las características óptimas para consumo, sin embargo, también genera efectos desfavorables de calidad conduciendo al fruto a la senescencia (Balaguera-López, 2014).

El etileno es la hormona encargada de llevar a cabo el proceso de maduración en productos frutihortícolas, la cual permite que adopten características organolépticas y sensoriales deseadas por el consumidor, pero también conduce a la senescencia. “ El etileno es biológicamente activo a concentraciones bajas ($< 0,1 \mu\text{L L}^{-1}$), sin embargo, la cantidad de etileno producida y la cantidad necesaria para inducir la maduración o senescencia varía entre frutos climatéricos” (Martínez-Romero et al., 2007); de igual manera conocer su mecanismo de acción ha permitido aplicar diferentes tecnologías y procedimientos para disminuir sus efectos negativos.

“ La biosíntesis de etileno se lleva a cabo mediante el ciclo de Yang y tiene lugar a través de dos reacciones enzimáticas Pattyn et al. (2021), inicia con la conversión de metionina a S-adenosil metionina (SAM) por acción de la enzima SAM sintetasa, luego SAM se convierte en ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y 5'-metiltioadenosina (MTA), reacción catalizada por la ACC sintasa (ACS) (Capitani et al., 1999), la MTA es reciclada a metionina, lo cual permite que los niveles de ésta permanezcan relativamente inalterados incluso durante altas tasas de producción de etileno (Abeles et al., 1992). Finalmente, el ACC es oxidado por la enzima ACC oxidasa (ACO) para formar etileno (Bradford, 2008), tal como se indica en la Figura 2.

Figura 2

Ruta de biosíntesis de etileno.



Fuente: Schaller y Kieber (2002).

4.1.4 Retardantes de maduración

Los productos retardantes permiten controlar el etileno de frutas y vegetales reduciendo la velocidad de maduración, dichos agentes químicos atrapan el etileno producido por frutas y hortalizas provocando una reacción irreversible con tan solo pequeñas cantidades. Otros sistemas, desarrollados en otros países, consisten en incluir pequeñas bolsas que contienen los absorbentes adecuados, cuyo material es altamente permeable al etileno y la difusión hacia la misma no presenta limitaciones serias.

El proceso de maduración y las pérdidas postcosecha en productos hortofrutícolas se han visto inhibidas tras la aplicación de diversas tecnologías, entre las cuales se mencionan: refrigeración, atmósferas modificadas (AM) y controladas (AC), absorbentes (KMnO₄) y

antagonistas del etileno (STS, DACP, 2-NBD y 1-MCP) (García, 2015). Es así, como el 1-Metilciclopropeno ha demostrado ser un inhibidor eficaz de la síntesis y acción del etileno en la mayoría de los frutos climatéricos, retrasando la maduración de estos.

4.1.4.1 Metilciclopropeno (C₄H₆).

Oleolefina cíclica de origen sintético con propiedad estructural similar al etileno, permitiéndole mayor afinidad con los receptores, bloqueando la acción de la hormona vegetal (Hernández-Palma, 2017).

El 1-MCP no es tóxico para el ser humano ni para el ambiente, además, fue registrado como un químico GRAS (generally recognized as safe) por la FDA (Food and Drug Administration) en el 2004 y como un compuesto seguro “safer” por la EPA (Environmental Protection Agency) en el 2002 (García, 2015).

La concentración de 1-MCP necesaria para bloquear la acción del etileno varía de acuerdo con la especie, cultivar, estado de maduración, capacidad de producción de nuevos receptores, tiempo y temperatura de exposición (Watkins, 2006), así también se reportan entre 0,1 a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$ a 20 y 25 °C por 6 a 24 h en concentración, temperatura y tiempo de exposición respectivamente. El papel del 1-MCP en la ciencia y la tecnología postcosecha es doble, debido a que por un lado proporciona una tecnología eficiente y simple para preservar la calidad de frutas y hortalizas, aumentando la vida útil y manteniendo la calidad de los productos agrícolas frescos (Nanthachai et al., 2007).

La aplicación comercial de 1-MCP a productos comestibles fue llevada a cabo por AgroFresh Inc., una compañía subsidiaria perteneciente a Rohm & Haas Company (Spring House, PA), bajo el nombre comercial SmartFresh®. En la actualidad los productos comerciales de 1-MCP son EthylBloc®, SamartFresh™, SmartTabs™ y EthylBloc™, los cuales contienen 0,

14 %, 3,3 %, 0,43 % y 0,014 % de 1-MCP respectivamente. Cuando estos productos son mezclados con agua u otras soluciones tampón, liberan el 1-MCP en forma de gas (Food and Agricultural Organization [FAO], 2010). El 1-MCP no es tóxico para los seres humanos y su residualidad es insignificante, debido a que actúa a concentraciones muy bajas, del orden de partes por billón (ppb) (Lurie y Paliyath, 2008). Además, no se considera un agente mutagénico, por lo cual se aprobó su aplicación en varios países como Austria, Bélgica, Francia y España, entre otros, (EPA, 2002) y está aprobado para su uso en frutas y hortalizas en Estados Unidos, Argentina, Nueva Zelanda, México, Colombia, Brasil, entre otros. Su aplicación favorece la disminución en la producción de etileno debido a que afecta su síntesis auto catalítica al disminuir la expresión de genes que codifican para las enzimas (Ma et al., 2009.; Zhang et al., 2012) y la pérdida de firmeza ya que actúa en la actividad enzimática que degrada la pared celular y la pérdida de vitamina C (Jiang et al., 2004).

4.1.4.2 Mecanismo de acción del 1-Metilciclopropeno.

El 1-MCP disminuye la producción de etileno, debido a la inhibición de la expresión de los genes que codifican para las enzimas ACS y ACO, las cuales son fundamentales para la biosíntesis de etileno; además, actúa como agente bloqueante uniéndose a los receptores celulares del etileno impidiendo el acceso a dicho sitio, lo cual retrasa la cascada de transducción de señales afectando la expresión de genes que da respuesta a los procesos bioquímicos y fisiológicos que ocurren durante la maduración, retrasando el desarrollo de color, el ablandamiento, el metabolismo de azúcares y ácidos, la respiración, entre otros (García, 2015). “La unión del 1-MCP al sitio activo de los receptores del etileno es prácticamente irreversible” (In et al., 2013), debido a que su afinidad es diez veces mayor a la del etileno (Balaguera-López et al., 2014), además, Sisler y Serek (1997), afirman que el 1-MCP es una molécula con un grupo

metilo unido a un doble enlace, con estructura de aleno, y es probable que esta sea la razón de la capacidad de unirse al Cu(I) presente en los receptores.

Por otro lado, el 1-MCP también ha permitido el estudio de los mecanismos moleculares relacionados con la respuesta de los frutos climatéricos al etileno durante el proceso de maduración (Huber, 2008; Lurie y Paliyath, 2008), debido a que “ dicha molécula bloquea una vía de señalización celular, con lo cual se afecta la expresión de genes que son etileno-dependientes” (Seymour et al, 2013; Hiwasa-Tanase y Ezura, 2014). Sin embargo, algunos autores han demostrado que la efectividad del 1-MCP se ve disminuida con el tiempo, ya que se sintetizan nuevos receptores.

Por la amplitud del impacto que el 1-MCP tiene en diferentes especies, es considerado por algunos autores como la tercera revolución tecnológica en postcosecha de frutos, luego de la aplicación de frío y de las atmósferas controladas y atmósferas modificadas. Por otra parte, en muchos productos se pueden combinar los efectos de las distintas tecnologías, como también la aplicación. “ La efectividad de la acción del 1-MCP depende de una interacción entre el tiempo de exposición y la concentración aplicada: cuanto mayor es el tiempo de exposición, menor es la concentración requerida para alcanzar el mismo efecto” (Sozzi y Beaudry, 2007).

Algunas investigaciones han reportado que la respuesta del 1-MCP sobre la calidad nutricional de los productos agrícolas es muy variable, y se ve afectada por diversos factores, siendo así, se ha encontrado que el 1-MCP puede disminuir la pérdida de vitamina C en frutos de jujube chino (Jiang et al., 2004), pero no en frutos de guayaba (Cerqueira et al., 2009). Además, el 1-MCP incrementa el contenido de antioxidantes solubles en agua, pero no altera los compuestos fenólicos en frutos de manzana (Defilippi et al., 2005). A su vez, disminuye la

concentración de antocianinas y compuestos fenólicos en col china (Sun et al., 2012) y brócoli (Yuan et al., 2010).

4.2 Estado del Arte

Algunos estudios de postcosecha realizados en lulo como alternativa de conservación reportan el comportamiento de este fruto bajo ciertas condiciones. En 2014, Forero et al., evaluó la hoja de plátano como empaque no convencional de lulo almacenado a temperatura ambiente y a 7,5 °C, donde evidenciaron la evolución de las propiedades evaluadas, el lulo con las hojas de plátano redujo la pérdida de peso de 11,8 % a 8,3 % y de 6,4 % a 4,6 % para temperatura ambiente y de refrigeración respectivamente. Además, provocó que el cambio de color del fruto de verde a naranja se ralentizara. De igual manera, Andrade-Cuvi et al. (2018) evaluó como tratamiento postcosecha ozono gaseoso a 1,5 ppm en frutos de lulo almacenados en refrigeración durante 21 días; cuyos resultados evidenciaron que los frutos tratados mantenían sus características hasta el día 14. Redujo la pérdida de color, producción de etileno y mantuvo la firmeza, pH, ATT, SST y la tasa de respiración, no obstante, el tratamiento aplicado provocó mayor pérdida de peso durante el periodo de evaluación con respecto al tratamiento control. Garnica et al. (2016) en su estudio evaluó el efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de almidón de yuca modificado al 3 y 4 % de concentración en lulo en condiciones ambientales. En los resultados no evidenciaron efectos significativos para la pérdida de peso, mientras que los lulos con recubrimiento al 3 % conservaron mejor las propiedades fisicoquímicas en cuanto a color y firmeza respecto al control, pero a su vez incremento la intensidad respiratoria y la degradación del epicarpio.

La aplicación de recubrimientos en el sector hortofrutícola ha tomado relevancia, los biopolímeros empleados han presentado buenos resultados; recubrimientos a base de gelatina

comercial, glicerol y cloruro de calcio en *Physalis peruviana*, generaron una reducción en la pérdida de peso con almacenamiento a 5 °C, pero no afectó la firmeza, índice de coloración y los sólidos solubles totales. Además, fueron eficientes en el control de deterioro por hongos independiente de la temperatura de almacenamiento (Licodiedoff et al., 2015), Formiga et al. (2019) evidenció la reducción en la pérdida de peso, conservación de color y firmeza e incremento de la vida útil de guayabas 'Pedro Sato' al aplicar recubrimientos comestibles de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y cera de abeja (BW) en concentraciones de 10 %, 20 % y 40 % (base seca). También se ha empleado la combinación de distintos biopolímeros en recubrimientos que permiten aprovechar las propiedades de sus componentes y otras tecnologías de conservación con la finalidad de disminuir las pérdidas postcosecha y costos; la mezcla de almidón, pectina y quitosano al 1 % aplicado en mango 'Ataulfo' ha demostrado buenos resultados ayudando a mantener las propiedades fisicoquímicas y calidad de la fruta e incrementar su periodo postcosecha a 21 días (Bello et al., 2016). Asimismo, en 2016, Falconí en su estudio evidenció el efecto estadístico de recubrimientos a base de gelatina, pectina y cera de abeja sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fresa (*Fragaria x ananassa*), siendo el recubrimiento de gelatina el que presenta las mejores características con una menor pérdida de peso, conservación de firmeza, sólidos solubles y acidez, ralentizando los procesos de senescencia e inhibió la proliferación de mesófilos aerobios, mohos y levaduras.

En el estudio realizado por Molano-Díaz et al. (2022) evaluaron el efecto de 1-MCP con concentraciones (0, 280 y 560 $\mu\text{g L}^{-1}$) y temperaturas de almacenamiento (2, 4 y 14 °C) sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas, obteniendo como resultado que el 1-MCP no afectó la pérdida de masa y firmeza, pero sí la TR, IC, SST, ATT e IM, por otra parte, la refrigeración tuvo efecto en todas las propiedades; recomiendan conservar los frutos de lulo a 4 °C con una dosis de 560 $\mu\text{g L}^{-1}$ de 1-MCP.

En estudios realizados se demuestra que el tratamiento combinado de 1-MCP y recubrimientos comestibles es un método factible y eficaz para retrasar la madurez y mejorar la calidad del almacenamiento postcosecha. Vargas-Torres et al. (2017) evaluaron el efecto del pretratamiento de 1-MCP y la aplicación de recubrimientos comestibles (xantano, alginato de sodio o gelán) sobre parámetros de calidad, demostrando que la combinación disminuye la pérdida de peso, tasa de respiración, mantiene la firmeza, color, sólidos solubles, acidez y pH, además retrasa el crecimiento microbiano. En 2019, Xu et al., corroboró que el efecto combinado de 1-MCP y recubrimiento (lisozima) en kiwi retardó la maduración y senescencia para conservar la calidad postcosecha y Cheng et al. (2020) evaluó la combinación del tratamiento de 1-MCP/quitosano y su efecto por si solos en la fruta azufaifo, obteniendo como resultado que puede inhibir significativamente en la pudrición de la fruta, retrasar la disminución de los sólidos solubles, mantener la firmeza de la fruta, inhibir la acumulación de Malonaldehído, aumenta las actividades de las enzimas de defensa antioxidante e inhibe las actividades de enzimas relacionadas con la senescencia y el pardeamiento en la fruta, siendo mejor el tratamiento combinado.

5. Metodología

5.1 Ubicación

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de los alimentos del grupo de Investigación GAIDA, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Torobajo, Pasto (N) Colombia a 2527 msnm y 14 °C.

5.2 Materia prima

Se trabajó con lulo (*Solanum quitoense*) variedad castilla adquirido en estado de comercialización y consumo, procedente del departamento de Nariño. Los lulos fueron clasificados en un tamaño uniforme, sin daños mecánicos, ni contaminaciones fúngicas, en estado de maduración 3 según la Norma Técnica Colombiana NTC 5093 (ICONTEC, 2002) (Figura 3), los frutos se sometieron a limpieza mediante retiro de tricomas (pelusa) con ayuda de material abrasivo, lavado y desinfección con agua clorada a 100 ppm y posterior secado.

Figura 3

Tabla de color para diferentes estados de madurez de lulo según NTC 5093.



Fuente: ICONTEC (2002).

5.3 Materiales

Para la elaboración del recubrimiento se utilizó Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) marca Sigma-Aldrich; pectina cítrica comercial, ácido esteárico y glicerol USP suministrados por Merquímicos (Pasto – Colombia), se usó gelatina comercial sin sabor en polvo; cera de abeja blanca suministrada por droguería San Jorge Ltda. (Bogotá – Colombia) y Tween 80 marca Merck; como compuesto activo 1-Metilciclopropeno con concentración del ingrediente activo de 3,3 % 1-MCP Powder USE de la empresa SHANDONG HONREL CO. LIMITED (China) y agua destilada.

5.4 Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas.

Las pruebas realizadas se mencionan a continuación:

5.4.1 Peso.

Se determinó por gravimetría mediante pesaje directo de los frutos en una balanza analítica (Pioneer, Ohaus). Los resultados se expresaron en gramos (g).

Figura 4

Medición gravimétrica en lulo (Balanza analítica).



Fuente: Ésta investigación.

5.4.2 Pérdida de Peso (%).

Se determinó por gravimetría mediante pesaje del fruto cada 3 días y la aplicación de la ecuación 1 (Salcedo, 2014). Los resultados se expresaron en %.

$$\% PP = \frac{P_0 - P_f}{P_0} * 100 \quad (1)$$

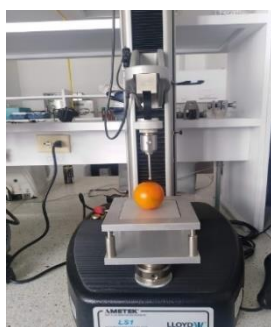
Dónde: P_0 : peso del fruto al día inicial, P_f : peso del fruto medido al día.

5.4.3 Firmeza.

Se determinó con un texturómetro (LS1SH, Lloyd) sobre el área ecuatorial del fruto con un punzón cilíndrico de punta esférica de 5 mm como aditamento, velocidad de precarga de 5 mm/s y extensión de 1,5 mm según la metodología descrita por Trujillo y Suarez (2010). Los resultados se expresaron en Newton (N).

Figura 5

Medición de firmeza en lulo (Texturómetro).



Fuente: Ésta investigación.

5.4.4 Color.

El color superficial del fruto se evaluó mediante un colorímetro (CM-5, Konica Minolta) con observador 10°, iluminante D65 y área de medición de 3 mm, obteniendo los parámetros del sistema CIELab donde: L^* (Luminosidad), a^* (cambio de color del rojo al verde) y b^* (cambio

de color de azul a amarillo), mediante la ecuación 2 se calculó el índice de color (IC) (Katiuska et al., 2013).

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b} \quad (2)$$

Figura 6

Prueba colorimétrica en lulo (Espectrofotómetro-colorímetro).

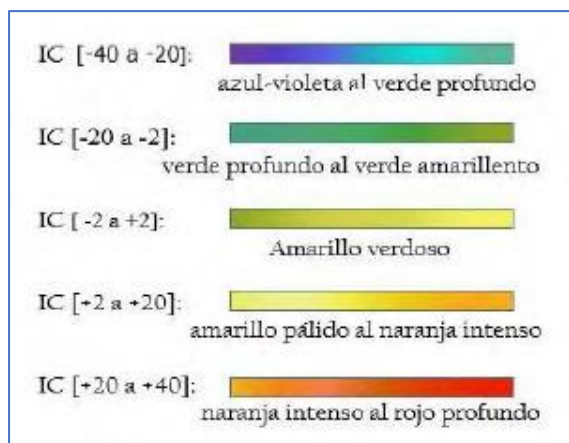


Fuente: Ésta investigación.

Para el análisis del índice de color, se tendrá en cuenta la codificación establecida por Cuatin y López (2015).

Figura 7

Codificación para Índice de color.



Fuente: Cuatin y López (2015).

5.4.5 pH.

Se determinó mediante potenciometría con un pH metro calibrado (3510, Jenway pH meter), empleando una muestra de 10 mL de jugo extraído, de acuerdo con las especificaciones descritas en la NTC 5093.

Figura 8

Medición de pH en muestra de jugo extraído de lulo (pH-metro Jenway).



Fuente: Ésta investigación.

5.4.6 Acidez total titulable (ATT).

Se determinó mediante titulación con NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador del cambio de color, empleando una muestra de 2 mL de jugo extraído. El cálculo del % de ácido predominante (ácido cítrico) se realizó aplicando la ecuación 3 siguiendo la metodología mencionada en la NTC 5093.

$$\% \text{ Acido} = \frac{V_1 * N}{V_2} * K * 100 \quad (3)$$

Donde: V_1 : volumen de NaOH consumido (mL), V_2 : volumen de muestra utilizada (mL), K : peso del ácido predominante en el fruto (ácido cítrico 0,064 g/meq), N : normalidad de NaOH.

Figura 9

Medición de ATT para lulo (Bureta acoplable a frascos-Titrette).



Fuente: Ésta investigación.

5.4.7 Sólidos solubles totales (SST).

Se determinó mediante el método refractométrico, tomando unas gotas de jugo extraído de la fruta y se realizó la lectura (° Bx) con un refractómetro (3030 Abbe refractometer, Brixco), siguiendo la metodología mencionada en la NTC 5093.

5.4.8 Índice de madurez.

Para la determinación del índice de madurez se relacionó los SST y la ATT mediante la ecuación 4 (Forero et al., 2014):

$$IM = \frac{\text{Sólidos solubles (°Bx)}}{\text{Acidez titulable (\% ácido cítrico)}} \quad (4)$$

5.4.9 Humedad.

Se determinó con una balanza de humedad (DBS-60-3, Kern), empleando una muestra de 1 g de fruta a una temperatura de 200 °C. Se expresa en %.

Figura 10

Medición de la humedad (Balanza de humedad Kern).



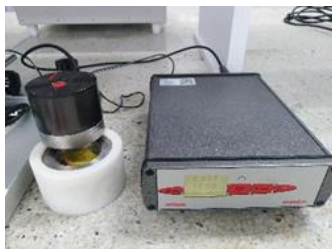
Fuente: Ésta investigación.

5.4.10 Actividad acuosa (A_w).

Se determinó colocando un trozo del fruto en un medidor de actividad acuosa (Higrolab Rotronic), durante 3 a 7 minutos dependiendo del material.

Figura 11

Medición de actividad de agua (Higrolab Rotronic).



Fuente: Ésta investigación.

5.4.11 Determinación del Diámetro.

Se determinó para cada fruto el diámetro axial y ecuatorial empleando un calibrador (Vernier, Discover). Los resultados se expresaron en milímetros (mm) conforme a la NTC 5093.

Para la evaluación de las propiedades fisiológicas (producción de etileno y tasa de respiración) se empleó la técnica de atmosfera confinada (Figura 12) (Bartz y Brecht, 2003) y el Analizador de tres gases (F-950, Felix Instruments). Se tomó muestras de $300 \pm 70,7$ g de fruto

entero de lulo, los cuales se introdujeron en frascos herméticos de vidrio con acople para efectuar la medición de la concentración de gases en el espacio de cabeza del recipiente.

Figura 12

Determinación de etileno y tasa de respiración de los frutos de lulo.



Fuente: Ésta investigación.

5.4.12 Producción de etileno.

Se registró la producción de etileno en el recipiente durante una hora, la cantidad de etileno producida se calculó mediante la ecuación 5 (Jara, 2018) su resultado se expresó en mg $C_2H_4 \text{ Kg}^{-1}h^{-1}$.

$$PE = \frac{PV}{RT} * \frac{\left(\frac{\Delta Etileno}{1000}\right) * PM_{C_2H_4}}{m * t} * 100 \quad (5)$$

Dónde: P: presión atmosférica (atm), V: volumen del espacio libre (L) ($V = V_{\text{recipiente}} - V_{\text{fruto}}$); $PM_{C_2H_4}$: peso molecular del C_2H_4 ; $\Delta Etileno$: diferencia entre las partes por millón (ppm) de C_2H_4 producido durante 1 hora; r: constante de los gases (0,082 atm. L/K); T: temperatura de almacenamiento; t: tiempo de medición (1 h); m: masa de la muestra (Kg).

5.4.13 Producción de CO₂ (Tasa de respiración TR).

Se observó la acumulación de CO₂ en el espacio de cabeza del recipiente durante una hora y se calculó mediante la ecuación 6 (Cuaspué-Cuaical et al., 2019) cuyos resultados se expresan en mg CO₂ Kg⁻¹h⁻¹.

$$TR = \frac{P.V.PM_{CO_2}.\Delta CO_2}{r.T.t.m} \quad (6)$$

Dónde: P: presión atmosférica (atm), V: volumen del espacio libre (L) (V= V_{recipiente}-V_{fruto}); PM_{CO₂}: peso molecular del CO₂; ΔCO₂: diferencia entre el porcentaje de CO₂ producido durante 1 hora; r: constante de los gases (0,082 atm. L/K); T: temperatura de almacenamiento; t: tiempo de medición (1 h); m: masa de la muestra.

5.5 Comparación de diferentes formulaciones de recubrimiento con proporciones de mezcla polisacárido/proteína sobre las propiedades fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*).

5.5.1 Pruebas preliminares para la elaboración del recubrimiento.

Se realizó una serie de pruebas preliminares con distintas formulaciones de pectina o HPMC como polisacáridos y su mezcla en diferentes porcentajes con gelatina como proteína, para establecer el marco experimental inherente a la elaboración del recubrimiento comestible: pectina, HPMC y gelatina y componentes secundarios, que ayudaron a adquirir las propiedades adecuadas. Se tomó como referencia las concentraciones de los componentes indicados en la Tabla 3.

Tabla 3

Rango de concentraciones para recubrimientos comestibles.

Componente	Producto	Cantidad	Referencia
Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)	Ciruelas ‘Angeleno’, naranjas ‘Valencia’ y mandarinas ‘Clemenules’ y ‘Ortanique’.	2,5 a 5 % (p/p)	Navarro-Tarazaga (2007).
	-	0,5 % a 2 %	Solís (2016).
	Guayabas rojas	5 % (p/p)	Formiga et al. (2019).
Pectina	Jobo (<i>Spondias mombin</i>) y el carambolo (<i>Averrhoa carambolo</i>).	1,5 % (p/v)	Muñiz et al. (2017).
	Lima (<i>Citrus aurantifolium</i>)	3 % (p/p)	Maftoonazad y Ramaswamy (2019).
	Fibras	4 % y 6 % (p/v)	López et al. (2019).
Gelatina	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L. var. Colombia)	4 % y 8 % (p/v)	Castro y Gonzáles (2010).
	Fresa	4 %	Aitboulahsen et al. (2018).
	Garambullo (<i>Myrtillocactus geometrizans</i>).	8 g /100 mL	López-Palestina et al. (2018).
Cera de abeja	Frutas cítricas	0,8 a 1,6 g	Álvarez (2012).
	Lima (<i>Citrus aurantifolium</i>)	40 % (peso seco de pectina).	Maftoonazad y Ramaswamy (2019).
	Mora de castilla (<i>Rubus glaucus</i> Benth).	20, 40, 60 g/100 g (base seca de HPMC)	Villegas y Albarracín (2016).
	Guayabas rojas	10, 20 y 30% (base seca de HPMC).	Formiga et al. (2019).
Glicerol	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)	10% en base acuosa	Osorio-Mora et al. (2016)
	-	50% bsp (base seca de HPMC)	Solís (2016).
Tween 80	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)	8% en base cera	Osorio-Mora et al. (2016)

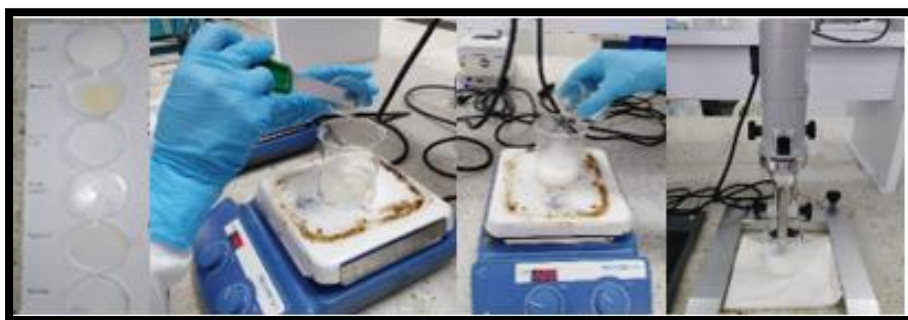
Fuente: Ésta investigación.

5.5.2 Elaboración y aplicación del recubrimiento comestible.

Los recubrimientos se prepararon según lo descrito por Fagundes et al., (2015) con algunas modificaciones. Se tomó como base 3 % p/v de polímeros totales. Se preparó una solución del polisacárido en agua destilada que se calentó hasta $87,5 \pm 3,54$ °C. A continuación, la solución se redujo hasta $39 \pm 1,41$ °C y se añadió la gelatina; por separado se fundió la cera de abeja (40 % en base al total de polímeros) y ácido esteárico, estos en relación 5:1 (cera/acido esteárico), sobre la cera fundida se incorporó la solución inicial preparada manteniendo agitación constante. Finalmente se adicionó tween 80 (1,5 % p/v) y glicerol (1 % p/v). Se homogenizó la mezcla durante 3 minutos a 12.000 rpm (D500, DLab) y se redujo hasta 25 °C en baño María por 25 minutos para asegurar la hidratación completa de los biopolímeros y se almacenó en condiciones ambientales durante 24 horas previo a la aplicación sobre el fruto. Se aplicó el recubrimiento mediante inmersión del fruto en la mezcla por 30 segundos para garantizar que se cubriera toda la superficie de este, posteriormente se dejó gotear el exceso y se secó a temperatura ambiente. Finalmente se almacenó bajo condiciones del lugar de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

Figura 13

Metodología de preparación de recubrimiento comestible.



Fuente: Ésta investigación.

5.5.3 Diseño experimental.

Se estableció un diseño completamente al azar, distribuido en 9 tratamientos (Tabla 4), tomando la metodología establecida por Pinotti et al. (2007) con las proporciones 75/25 (1), 50/50 (2), 25/75 (3) polisacárido/proteína, donde RPG1, RPG2 y RPG3 corresponden a las mezclas pectina-gelatina, y RHG1, RHG2 y RHG3 corresponden a las mezclas HPMC-gelatina respectivamente, mientras que RH, RP y RG corresponden a los polímeros (HPMC, pectina o gelatina) sin mezclarse y frutos sin recubrimiento (C). Se trabajó con una unidad experimental de 3 frutos con 4 repeticiones para cada tratamiento. Los frutos tratados se almacenaron durante 15 días con una medición cada 3 días y se evaluó el efecto sobre las variables de respuesta: pérdida de peso (%), firmeza (N) e índice de color descritas en el numeral 5.4 (5.4.2, 5.4.3 y 5.4.4). Los resultados fueron analizados mediante la metodología de varianza ANOVA y por comparación de medias mediante la prueba de LSD de Fisher al 95% de confiabilidad empleando el programa Statgraphics Centurion XV. II.

Tabla 4

Matriz experimental de la formulación del recubrimiento.

Tratamiento	Polisacárido		Proteína
	HPMC	Pectina	Gelatina
RPG1	-	75	25
RPG2	-	50	50
RPG3	-	25	75
RHG1	75	-	25
RHG2	50	-	50
RHG3	25	-	75
RH	100	-	-
RP	-	100	-
RG	-	-	100

Fuente: Ésta investigación.

5.5.4 Caracterización fisicoquímica del recubrimiento comestible seleccionado.

Las propiedades evaluadas (Figura 14) al recubrimiento seleccionado se realizaron de acuerdo con la metodología establecida por Cuatin y López (2015).

Figura 14

Pruebas de caracterización realizadas al recubrimiento seleccionado 50/50 pectina-gelatina.



Fuente: Ésta investigación.

Densidad. Se aplicó el método del picnómetro y se calculó mediante la ecuación 7.

$$\rho = \frac{W_f - W_p}{V_p} \quad (7)$$

Dónde: ρ (densidad), W_f (peso del picnómetro con el fluido), W_p (peso del picnómetro vacío), V_p (volumen del picnómetro). Los datos se expresan en g/mL.

Viscosidad. Se determinó mediante el uso del viscosímetro (DV3T, Brookfield), y como variables: aguja RV-04 y velocidad 30 rpm. Los datos se expresan en cP.

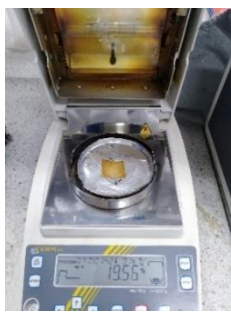
Turbidez. Se utilizó el turbidímetro (T-100, Oakton) previamente calibrado. Los datos se expresan en NTU.

pH. Se determinó mediante medición directa de la solución filmogénica con el pH-metro (Hanna Edge).

Humedad. Se determinó con una balanza de humedad (DBS-60-3, Kern), utilizando una muestra de $0,060 \pm 0,008$ g de material preformado a una temperatura de 200 °C. Los datos se expresaron en %.

Figura 15

Medición de humedad material preformado.



Fuente: Ésta investigación.

Actividad acuosa (Aw). Se determinó colocando una muestra de material preformado en un medidor de actividad acuosa (Higrolab Rotronic).

Grosor (mm). Se determinó con un micrómetro, empleando una muestra de material preformado.

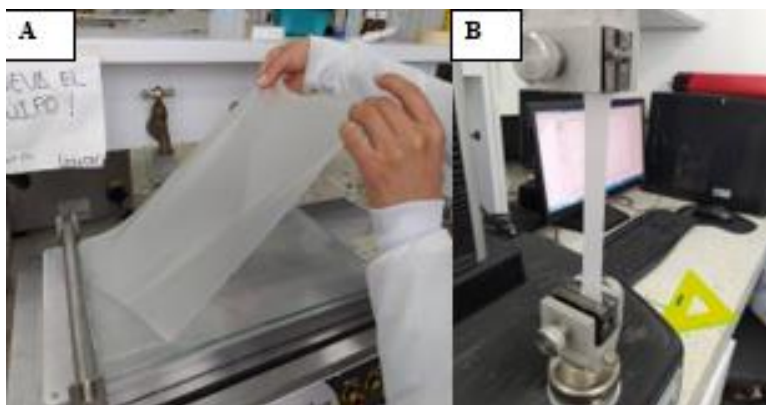
5.5.5 Evaluación de propiedades mecánicas de la película comestible.

Para la elaboración de las películas se empleó la técnica de vaciado en placa “Casting”, para ello se tomó la matriz polimérica seleccionada como la mejor en el objetivo anterior (RPG2); luego, se dispuso de 80 ml de solución formadora en el equipo formador de películas (PD-40X Laminator, CEI ROBOTS) y se dejó secar a 40 °C durante 20 horas. Finalmente, se retiró las películas del equipo y se almacenaron en empaques con cierre hermético bajo condiciones ambientales del sitio de estudio, para su posterior evaluación.

Las propiedades mecánicas evaluadas se mencionan a continuación (ASTM D882-3; López et al. (2019):

Figura 16

A). Elaboración de películas, y B). Medición de la Elongación (%) y resistencia a la tracción (MPa) (Texturómetro).



Fuente: Ésta investigación.

5.5.5.1 Porcentaje de Elongación (%) y Resistencia a la Tracción (MPa).

Se realizó las mediciones empleando un Texturómetro (LS1SH, Lloyd) provisto con mordazas para la evaluación de películas y una celda de carga de 1 KN. La geometría de las muestras fue rectangular (25 x 100 mm), con separación inicial de mordazas de 100 mm y velocidad de operación de 50 mm/min (Figura 16). Estas propiedades usualmente son evaluadas, ya que la resistencia a la tensión es la fuerza requerida para romper la película por estiramiento; y la elongación que implica el grado al cual la película puede estirarse antes de romperse (García et al., 2018).

5.6 Evaluar el efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*)

5.6.1 Preparación y aplicación del inhibidor de etileno (1-MCP)

Se tomó como base la metodología aplicada por Agehara et al. (2018) se preparó 3 soluciones (1 mg L^{-1} , $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ y 10 mg L^{-1}) del compuesto activo inhibidor 1-

Methylcyclopropene/1-MCP powder 3,5 % presentación en polvo en agua destilada de acuerdo con las indicaciones del proveedor. Para cada concentración de la solución se dejó los frutos en inmersión en recipientes de vidrio con sellado hermético durante 10 y 30 minutos, transcurrido el tiempo se retiró los frutos de la solución y posteriormente se dejó secar al aire libre, y se almacenó se almacenó bajo condiciones del lugar de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

Figura 17

Preparación y aplicación de las soluciones de 1-MCP sobre el fruto.



Fuente: Ésta investigación

5.6.2 Diseño experimental.

Se estableció un diseño factorial multinivel con 2 factores (concentración de 1-MCP y tiempo de inmersión (minutos)), distribuido en 6 tratamientos (Tabla 5), para determinar la incidencia de los factores sobre las variables de respuesta: pérdida de peso (%), firmeza (N), índice de color, producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) y tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) descritas en el numeral 5.4. Se empleó una unidad experimental de 3 frutos con 3 repeticiones para cada tratamiento y se analizó los resultados mediante la metodología de análisis ANOVA,

Gráfico de Pareto estandarizado y el método de la función de deseabilidad empleando el programa Statgraphics Centurion XV. II

Tabla 5

Matriz experimental para la evaluación del efecto de 1-MCP.

Tratamiento	Concentración de 1-MCP (mg L ⁻¹)	Tiempo de inmersión (min)
T1	1	10
T2	5,5	10
T3	10	10
T4	1	30
T5	5,5	30
T6	10	30

Fuente: Ésta investigación.

5.7 Evaluación de la calidad postcosecha de lulo (*Solanum quitoense*) durante el almacenamiento con la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y un recubrimiento comestible a base de polisacárido/proteína.

La aplicación por separado de 1-MCP y recubrimiento comestible presentó un efecto sobre la calidad postcosecha del lulo. Por lo tanto, se desea estudiar la interacción entre estos dos tratamientos, para conocer su sinergia o antagonismo.

5.7.1 Diseño experimental.

Se estableció un diseño de comparación completamente al azar, distribuido en 4 tratamientos (Tabla 6), se tomó como factores la presencia de recubrimiento comestible y de 1-MCP en función de los cambios generados sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas del fruto: pérdida de peso (%), firmeza (N), índice de color, producción de etileno (mg C₂H₄ Kg⁻¹ h⁻¹), tasa de respiración (mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹), pH, ATT (% de ácido cítrico), SST (°Bx) e índice de

madurez descritas en el numeral 5.4. Se empleó una unidad experimental de 4 frutos con 4 repeticiones para cada tratamiento. Los frutos tratados se almacenaron durante 15 días. Los resultados fueron analizados mediante la metodología de varianza ANOVA y por comparación de medias mediante la prueba de LSD de Fisher al 95 % de confiabilidad empleando el programa Statgraphics Centurion XV. II.

Tabla 6

Matriz experimental para análisis fisicoquímico y fisiológico de lulo con aplicación de 1-MCP y recubrimiento comestible.

Tratamiento	Característica
LC	Fruto sin 1-MCP y sin recubrimiento
LRM	Fruto con 1-MCP y recubrimiento
LM	Fruto con 1-MCP en solución
LR	Fruto con recubrimiento

Fuente: Ésta investigación.

6. Resultados y discusión

6.1 Identificación de propiedades fisicoquímicas de lulo (*S. quitoense*)

Las propiedades físicas y fisicoquímicas del lulo (*S. quitoense*) en estado 3 de maduración empleados para el desarrollo de la investigación se presentan en la Tabla 7. Algunas propiedades permiten identificar el comportamiento del material biológico tras la aplicación de los diferentes tratamientos de conservación (1-MCP y recubrimiento comestible).

Tabla 7

*Promedio y desviación estándar de las propiedades fisicoquímicas de lulo (*S. quitoense*) en estado de madurez 3, evaluadas previo a la aplicación de recubrimiento.*

Propiedades	Resultados
Diámetro ecuatorial (mm)	69,1 ± 0,13
Diámetro axial (mm)	68,2 ± 0,17
Peso (g)	166,52 ± 12,33
Índice de color (IC)	8,97 ± 0,61
Sólidos solubles totales - SST (°Bx)	8,64 ± 0,25
pH	3,20 ± 0,04
Acidez total titulable - ATT (% ácido cítrico)	3,27 ± 0,11
Firmeza (N)	105,48 ± 11,02
Humedad (%)	88,01 ± 0,49
Actividad de agua - Aw	0,94 ± 0,01

Fuente: Ésta investigación.

De acuerdo con los resultados, el valor promedio obtenido para el diámetro ecuatorial, peso, pH (3,20 ± 0,04), sólidos solubles (8,64 ± 0,25 °Bx) y acidez total titulable (3,27 ± 0,11 %,) se encuentran dentro de los rangos conforme a la Norma Técnica Colombiana NTC 5093. En cuanto al índice de color se obtuvo un valor promedio de 8,97 ± 0,61 que indica un tono de color

cercano al cambio entre verde y naranja; los valores de las propiedades fisicoquímicas determinan las características organolépticas, sabores dulces y ácidos propios del fruto. Es importante indicar que el contenido de sólidos solubles en los frutos de lulo mantiene una relación inversa con la acidez titulable, pues conforme incrementa la concentración de azúcares también existe un comportamiento de disminución de ácidos orgánicos, debido a los procesos de maduración (Alvarado et al., 2011). Los frutos presentaron firmeza de $105,48 \pm 11,02$ N y humedad de $88,01 \pm 0,49$ %, esta última inferior a la reportada por Arango et al. (1998) de 92 % correspondiente a la parte comestible del fruto, que difiere para este caso ya que se tomó parte de la pulpa y la cáscara; y finalmente una actividad acuosa de $0,94 \pm 0,01$ siendo susceptible al crecimiento de diferentes tipos de microorganismos y por consiguiente a su deterioro rápido (Tapia, 2020).

6.2 Formulación del recubrimiento con base en diferentes porcentajes de mezcla polisacárido-proteína

En base a las pruebas preliminares se determinó la cantidad de biopolímeros totales 3 % p/v y demás componentes. Los recubrimientos presentaron olor característico a pectina o HPMC según corresponda con el tratamiento, y color blanco, este debido a la mezcla de componentes especialmente cera de abeja que da lugar a recubrimientos de aspecto blanquecino (Castro y Gonzales, 2010). Los tratamientos con altos porcentajes de gelatina tienden a no favorecer la formación y aplicación del recubrimiento sobre los frutos. Los polisacáridos y la proteína empleados como componentes principales en la formulación de recubrimientos emulsionados, también poseen una actividad estabilizante, por lo que en algunos casos no es necesario la incorporación de otros agentes emulsificantes o tensoactivos (Navarro-Tarazaga, 2007), sin embargo, se ha encontrado que sistemas proteína-polisacárido son caracterizados por una

compatibilidad limitada entre sus componentes, lo que ocasionalmente resulta en la separación de fases (Carreño et al., 2011). El manejo adecuado de los porcentajes de los componentes permitió obtener un recubrimiento compuesto, aprovechando las propiedades de los polisacáridos: pectina y HPMC; y gelatina como proteína; y su sinergia frente a las propiedades evaluadas sobre el fruto disminuyendo su deterioro y manteniendo su apariencia.

6.3 Evaluación del efecto de los recubrimientos sobre las propiedades fisicoquímicas de lulo

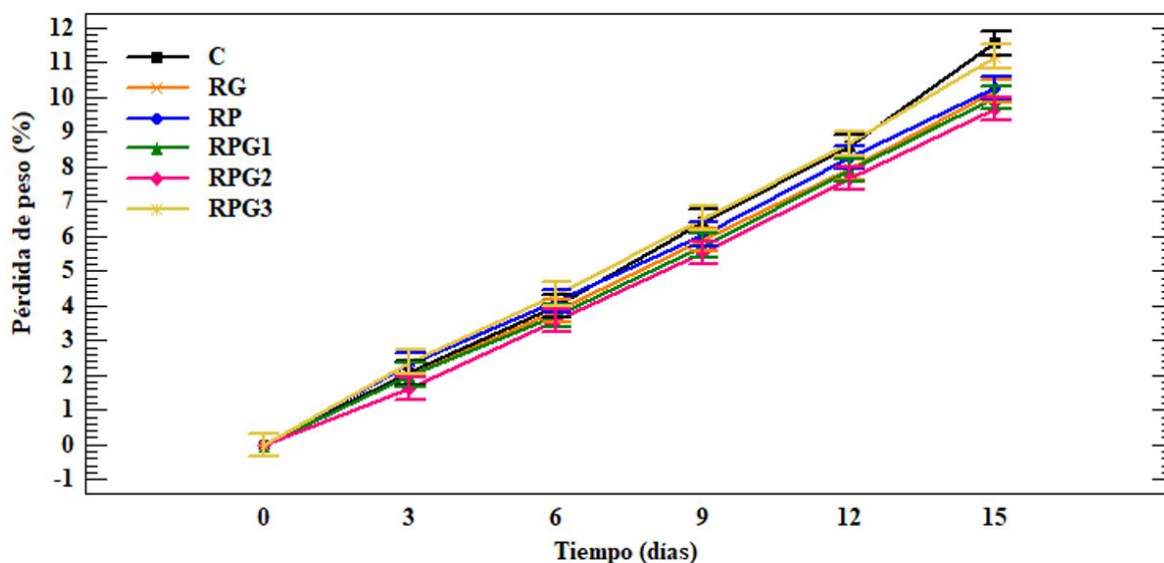
El análisis y seguimiento se realizó de manera independiente para cada mezcla polisacárido/proteína sobre las variables de respuesta.

6.3.1 Mezclas pectina-gelatina (PG)

Se evaluó el comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas en lulo (*S. quitoense*): pérdida de peso (%) (Figura 18), firmeza (N) (Figura 20) e índice de color (Tabla 8) con la aplicación de diferentes formulaciones de recubrimiento con mezclas pectina/gelatina (PG) durante un periodo de almacenamiento de 15 días (Anexo A y B) bajo condiciones ambientales del sitio de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

Figura 18

Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla pectina-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.



Nota. C (Fruto sin recubrimiento), RG (Recubrimiento gelatina), RP (Recubrimiento pectina), RPG1 (Recubrimiento 75 % pectina-25 % gelatina), RPG2 (Recubrimiento 50 % pectina-50 % gelatina), RPG3 (Recubrimiento 25 % pectina-75 % gelatina). Fuente: Ésta investigación.

El comportamiento de la pérdida de peso aumentó para todos los tratamientos evaluados (Figura 18); la mayoría de las frutas contienen entre 80-95 % de agua y después de cosechadas siguen transpirando y respirando, por lo cual pierde parte del contenido de agua de los tejidos vivos, resultando en pérdidas de peso, marchitamiento y baja calidad de las frutas (Forero et al., 2014), dichas variaciones están relacionadas con el proceso de transpiración, caracterizado por la pérdida de agua de los tejidos de los frutos, la relación entre el área superficial y volumen, su estado de madurez, temperatura o la humedad relativa que le rodea (Angós y Guevara, 2017). El tratamiento RPG3 generó un incremento de la pérdida de peso de los frutos tratados, sobrepasando al fruto sin recubrimiento C. No obstante, el tratamiento RPG2 a partir del día 3

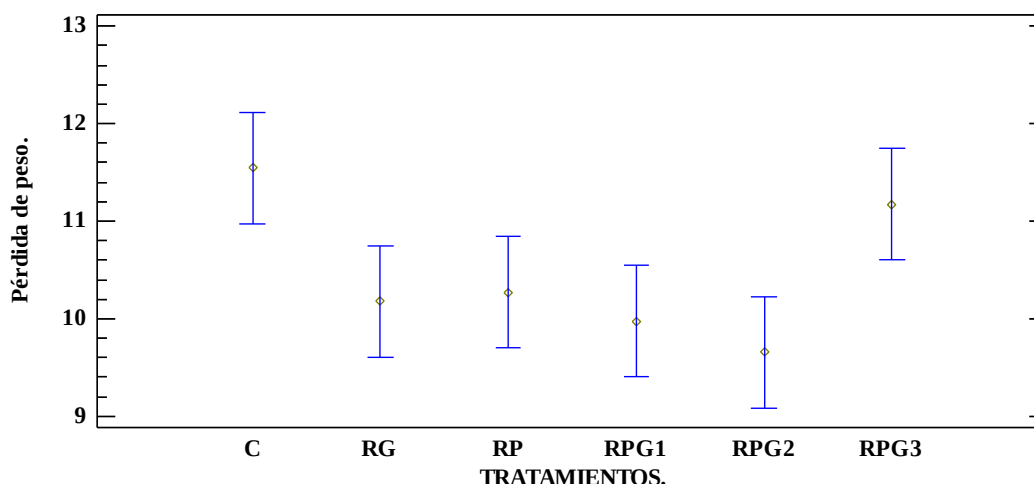
presentó una menor pérdida de peso con respecto a C y los demás tratamientos, similar a los resultados obtenidos por Muñiz et al. (2017), quienes evaluaron jobo (*Spondias mombin*) con la aplicación de recubrimiento comestible a base de pectina donde observaron diferencias en cuanto a la pérdida de peso entre tratamientos con y sin recubrimiento.

La pérdida de peso se considera como parámetro de calidad en las frutas, por tal motivo pérdidas de peso superiores al intervalo 6 a 8 % generarían alteraciones irreversibles de la calidad sensorial y comercial (Magaña et al., 2013), además, Del Ángel (2019) indica que la deshidratación provoca que los frutos luzcan arrugados y marchitos generando un aspecto poco agradable al consumidor.

Para este caso se observó que los tratamientos RPG3, C y RP presentaron pérdidas de peso superiores al 8 % a partir de día 12, mientras que RPG1, RPG2 y RG se mantuvieron con valores inferiores, por ende, se continuó la evaluación hasta el día 15, donde todos los tratamientos superaron el punto crítico. De acuerdo con lo anterior se podría inferir que a partir de este momento y bajo estas condiciones el lulo comienza su deterioro.

Figura 19

Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de la pérdida de peso en diferentes concentraciones de mezcla pectina-gelatina para el día 15.



Fuente: Ésta investigación.

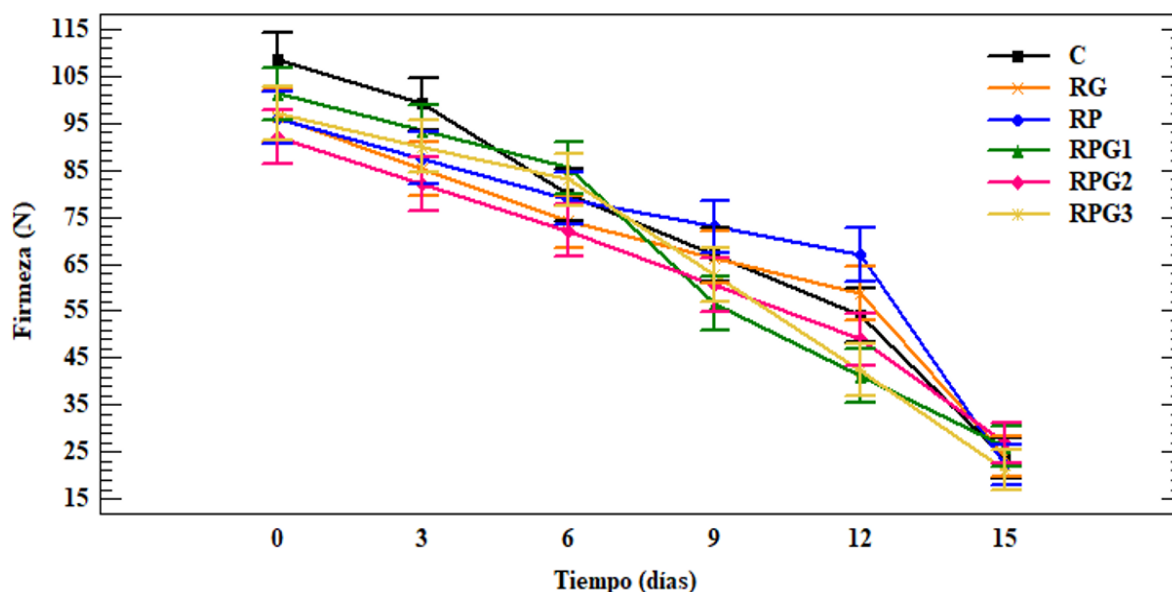
Tras un análisis de resultados para el último día de evaluación se evidenció diferencias estadísticamente significativas ($P\text{-valor} < 0,05$) (Figura 19) entre la media de pérdida de peso de los tratamientos con respecto a C, sin embargo, esto no se reflejó durante los primeros días. A pesar de no presentarse diferencias entre RPG1 y RPG2, este último se redujo en un 16,40 % respecto a C, y se identificó que RPG1 y RPG2 provocan una disminución lenta en la pérdida de peso en los frutos tratados con respecto a C actuando de mejor manera que solamente con pectina o gelatina, indicando además que el recubrimiento puede funcionar como una alternativa para evitar la pérdida de agua en lulo, tal como lo reporta Garnica et al. (2016) tras aplicar un recubrimiento comestible a partir de almidón de yuca en lulo con dos concentraciones (3 y 4 %), el cual presentó un porcentaje de pérdida de peso de 4,83 %, a pesar de no presentar diferencias significativas entre ellos.

De igual manera, Barrazueta et al. (2018) estudiaron el efecto de recubrimientos comestibles a partir de pectina y gelatina de manera separada al 3 % en fresa bajo dos temperaturas de almacenamiento (ambiente y refrigeración), indicando en sus resultados que el recubrimiento a partir de gelatina presentó un porcentaje de pérdida de peso más bajo en refrigeración, esto debido a que la gelatina es una sustancia hidrocoloide, que le confiere al recubrimiento propiedades espesantes que no permiten que la fruta pierda el agua que tiene en su composición, ya que, genera una barrera a la transferencia de gases y vapor de agua.

Asi tambien, Bello-Lara et al. (2016) ha argumentado en su estudio que la menor pérdida de peso (3,51 %) se presentó tras la aplicación de un recubrimiento almidón-quitosano al 1 % en mango ‘Ataulfo’ con respecto a los demás tratamientos, aunque no se presentaron diferencias estadisticamente significativas, la mezcla de los polisacaridos si disminuyó la pérdida de peso, debido al aprovechamiento de las propiedades de cada compuesto tal como se evidenció en los resultados obtenidos.

Figura 20

Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla pectina-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.



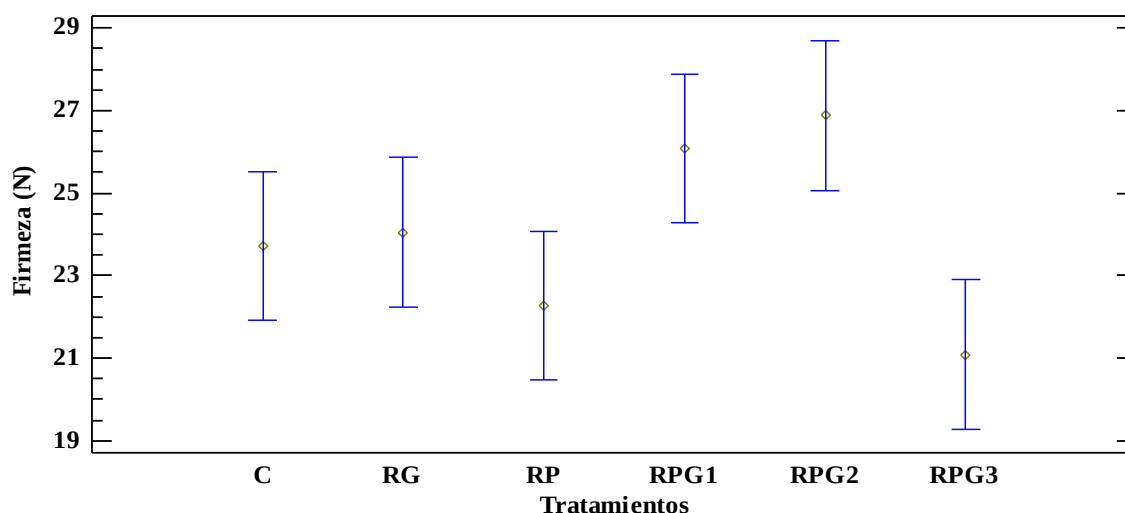
Nota. C (Fruto sin recubrimiento), RG (Recubrimiento gelatina), RP (Recubrimiento pectina), RPG1 (Recubrimiento 75 % pectina-25 % gelatina), RPG2 (Recubrimiento 50 % pectina-50 % gelatina), RPG3 (Recubrimiento 25 % pectina-75 % gelatina). Fuente: Ésta investigación.

Para la firmeza, el comportamiento de los frutos evaluados presenta una tendencia a disminuir a través del tiempo. (Figura 20), fenómeno presentado para todos los tratamientos. Dado que el lulo es una fruta climatérica, cuyo proceso de maduración continua después de la recolección, se genera una disminución de la firmeza, como consecuencia, quizás, de una mayor actividad de desdoblamiento de almidones en azúcares, que conlleva a la degradación de las paredes celulares, debido a la solubilización de sustancias pécticas afectando la elasticidad de la fruta (Torres et al., 2015), y a la intervención de las enzimas poligalacturonasa y celulasa en los procesos y cambios bioquímicos (Casierra-Posada et al., 2004). Por tal razón, se observa que el

tratamiento sin recubrimiento C a partir del día 3 disminuye considerablemente la firmeza frente a los demás tratamientos, mientras los frutos tratados lo presentan a partir del día 9. Sin embargo, cabe mencionar que RP y RPG2 conservan mejor la firmeza hasta el final y se evidenció diferencias significativas entre tratamientos para el día 12 y 15 (Figura 21).

Figura 21

Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de firmeza en diferentes concentraciones de mezcla Pectina-gelatina para el día 15.



Fuente: Ésta investigación.

A pesar de que RPG2 presentó la media mas alta al día 15 (26,879 N), no se evidenció diferencias estadísticas con RPG1, ambos tratamientos conservaron la firmeza del fruto cercana a la reportada por Ospina et al. (2007) quien obtuvo al día nueve de evaluación que la fuerza de firmeza para frutos en estado pinton fue de 15,7 N, pero para frutos completamente maduros fue de 14,4 N. La influencia de la concentración de la gelatina en la retención de la firmeza se atribuye a lo descrito por Bósquez et al. (2003) quienes consideran que un polímero de cadena lineal poco compacto forma un recubrimiento de baja funcionalidad, mientras que un polímero

con elevado número de ramificaciones incrementa el nivel de cohesividad de los recubrimientos a medida que aumenta su concentración en la dispersión. Este efecto repercute en la funcionalidad de los recubrimientos al inducir la formación de estructuras resistentes que favorecen la conservación de la firmeza; de acuerdo con los resultados obtenidos se evidenció como la combinación de pectina y gelatina permitió mantener la firmeza durante los días de evaluación con bajos porcentajes de pérdidas, en comparación con los tratamientos solo de pectina o gelatina y el control, dando lugar al efecto sinérgico PG. Maftoonazad y Ramaswamy (2019) observaron en frutos de lima que la aplicación de recubrimientos a base de pectina contribuye en la disminución de las actividades de pectina-esterasa y poligalacturonasa, debido al bajo régimen de concentración de oxígeno y dióxido de carbono; por lo tanto, la degradación de las protopectinas insolubles, el ácido péptico y la pectina más soluble puede retrasarse, permitiendo la retención de la firmeza. De igual manera, se observó para el último día que RPG3 tratamiento con menor porcentaje de pectina presentó la menor firmeza debido a una mayor pérdida de agua por transpiración acelerando su ablandamiento con respecto a los demás tratamientos evaluados.

Con respecto al color, el cambio de color que acompaña a la maduración en muchos frutos es uno de los criterios de calidad más importantes utilizados por los productores y consumidores para juzgar el momento de la cosecha y la calidad comercial (Fagundes et al., 2015).

Tabla 8

Índice de color determinado sobre lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla pectina-gelatina durante 15 días de evaluación.

Tratamientos	Días*					
	0	3	6	9	12	15
C	8,165 ^a	9,022 ^a	9,486 ^a	9,838 ^b	10,187 ^b	10,647 ^b
RPG1	7,896 ^a	8,486 ^a	8,493 ^a	8,787 ^a	9,233 ^a	10,156 ^{ab}
RPG2	8,668 ^a	8,991 ^a	9,125 ^a	9,457 ^{ab}	9,694 ^{ab}	9,909 ^a
RPG3	8,234 ^a	8,907 ^a	8,942 ^a	9,680 ^{ab}	10,458 ^b	11,224 ^c
RP	7,654 ^a	8,772 ^a	9,049 ^a	9,471 ^{ab}	9,876 ^{ab}	10,372 ^{ab}
RG	7,807 ^a	8,487 ^a	8,916 ^a	9,068 ^{ab}	9,996 ^{ab}	10,279 ^{ab}

Nota: * Valores en la misma columna seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Fuente: Ésta investigación.

El color superficial en los frutos es un atributo de calidad como consecuencia de la presencia de pigmentos en los tejidos, el cual además permite generar e inducir una expectativa de sabor, gusto y palatabilidad al consumidor (Zaccari et al., 2017).

El índice de color presentó una notable variación desde el día inicial al final para todos los tratamientos (Tabla 8), el menor cambio en el índice de color se presentó para el tratamiento RPG2; no se evidenció diferencias estadísticas significativas hasta el día 12 de evaluación, pero si para el último día (P -valor $< 0,05$) (Tabla 8) entre las medias de IC de los tratamientos frente a C. RPG1, RPG2 y RG al presentar las medias más bajas, preservan el color inicial del fruto, Castro y Gonzales (2010) reportan que frutos de uchuva con aplicación de recubrimientos comestibles a partir de gelatina permitieron conservar el color durante el tiempo de evaluación, esto debido a que los recubrimientos crearon una micro atmósfera alrededor del fruto, actuando como barrera al intercambio gaseoso evitando la oxidación de los carotenoides (compuestos

estables al calor, pero susceptibles a la oxidación), de acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que RPG2, RPG1 y RG mantuvieron un IC bajo. Sin embargo, cuando se aplicó el tratamiento RPG3 presentó un efecto contrario incrementando el IC, además presentó tonalidades marrones en la superficie del fruto, generando un aspecto poco agradable al consumidor, situación que pudo deberse a la interacción del recubrimiento con el fruto y las condiciones de almacenamiento provocando desórdenes fisiológicos como presencia de áreas pardas endógenas, decoloración interna y superficial (Corpoica, 2002; García y García, 2001) y/o acelerando el desarrollo de enfermedades como podredumbre bacteriana y antracnosis que se asocian con las características evidenciadas durante la evaluación.

Cabe mencionar que durante la evaluación todos los tratamientos se mantuvieron en el rango +2 a +20 (Figura 7) para el fruto con una coloración amarillo pálido al naranja intenso (Cuatin y López, 2015). García-Taín et al. (2011) reconocen que el aspecto de color se constituye como una de las principales características que determinan la calidad de un fruto u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto, ya que se relaciona con la intensidad del sabor y la dulzura, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto. Teniendo en cuenta las propiedades evaluadas, y su efecto sobre los frutos durante el periodo de evaluación, se evidenció que la mezcla con mayor porcentaje de gelatina provocó una mayor pérdida de peso, no mantiene la firmeza ni su color, mientras las mezclas con mayor porcentaje de pectina favorecieron la conservación de estas, ya que la pectina crea un recubrimiento más estable gracias a sus propiedades.

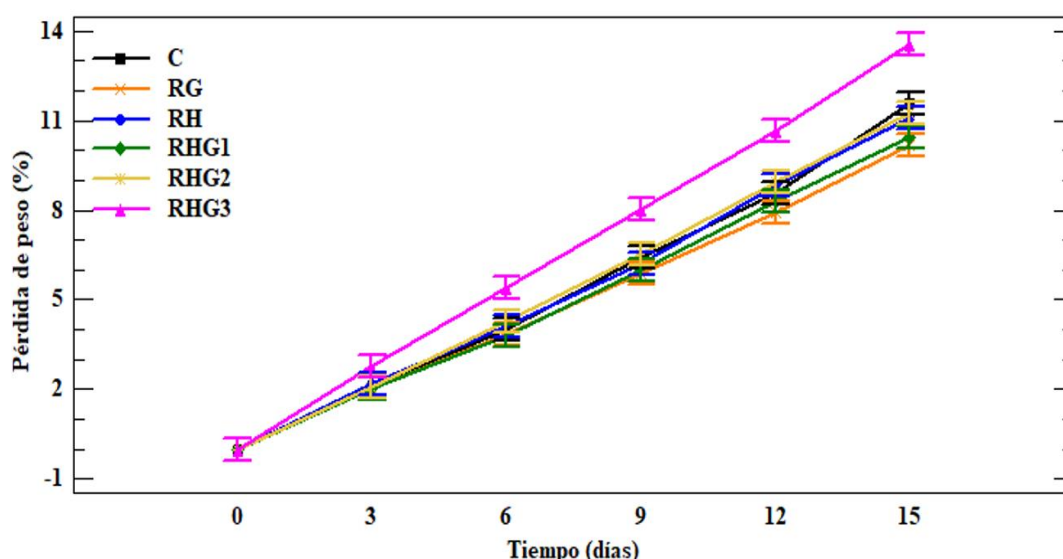
6.3.2 Mezclas HPMC-gelatina (HG)

Se evaluó el comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas en lulo (*S. quitoense*): pérdida de peso (%) (Figura 22), firmeza (N) (Figura 24) e índice de color (Tabla 9)

con la aplicación de diferentes formulaciones de recubrimiento con mezclas HPMC/gelatina (HG) durante 15 días de almacenamiento (Anexo B) bajo condiciones ambientales del sitio de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

Figura 22

Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.



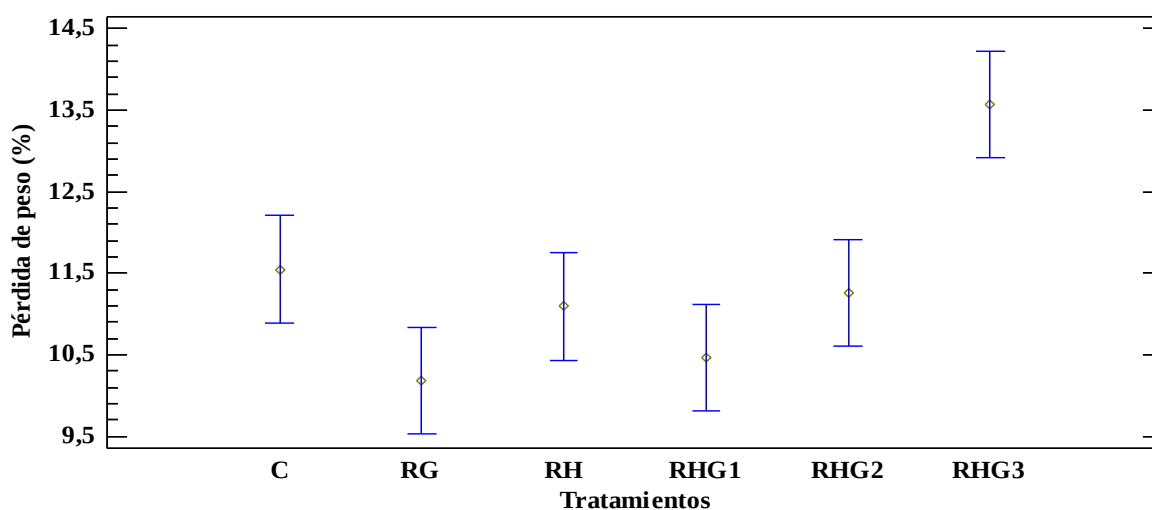
Nota. C (Fruto sin recubrimiento), RG (Recubrimiento gelatina), RH (Recubrimiento HPMC), RHG1 (Recubrimiento 75 % HPMC-25 % gelatina), RHG2 (Recubrimiento 50 % HPMC-50 % gelatina), RHG3 (Recubrimiento 25 % HPMC-75 % gelatina). Fuente: Ésta investigación.

La pérdida progresiva de masa durante el almacenamiento es causada principalmente por la pérdida de agua a través de la transpiración del fruto debido a la diferencia en la presión de vapor de agua entre la atmósfera y la superficie del fruto (Murmu y Mishra, 2017). Se presenta comportamiento creciente de pérdida de peso en función del tiempo para las 3 formulaciones de mezcla HG evaluadas (Figura 22), pese a ello, RHG3 mantuvo porcentajes superiores al

tratamiento sin recubrimiento C durante todo el periodo de evaluación. Asimismo, se evidenció diferencias estadísticamente significativas ($P\text{-valor} < 0,05$) entre la media de RHG3 con los demás tratamientos entre los días 6, 9, 12 y 15 (Figura 23). Se destaca que RG y RHG1 presentaron la menor pérdida de peso, siendo RG quien presentó el mejor comportamiento frente a la pérdida de peso con respecto a los demás tratamientos a partir del día 9. Sin embargo, no se identificó diferencias significativas para el día 15 con los tratamientos a excepción de RHG3.

Figura 23

Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de la pérdida de peso en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.



Fuente: Ésta investigación.

Fagundes et al. (2014) afirman que la aplicación de un recubrimiento comestible puede tener efectos significativos o no sobre la pérdida de peso de frutos dependiendo, de las características intrínsecas tanto del recubrimiento y la fruta. Además, la transferencia de masa influye sobre la calidad de la piel de la fruta y depende de las propiedades físicas del recubrimiento (Formiga et al., 2019).

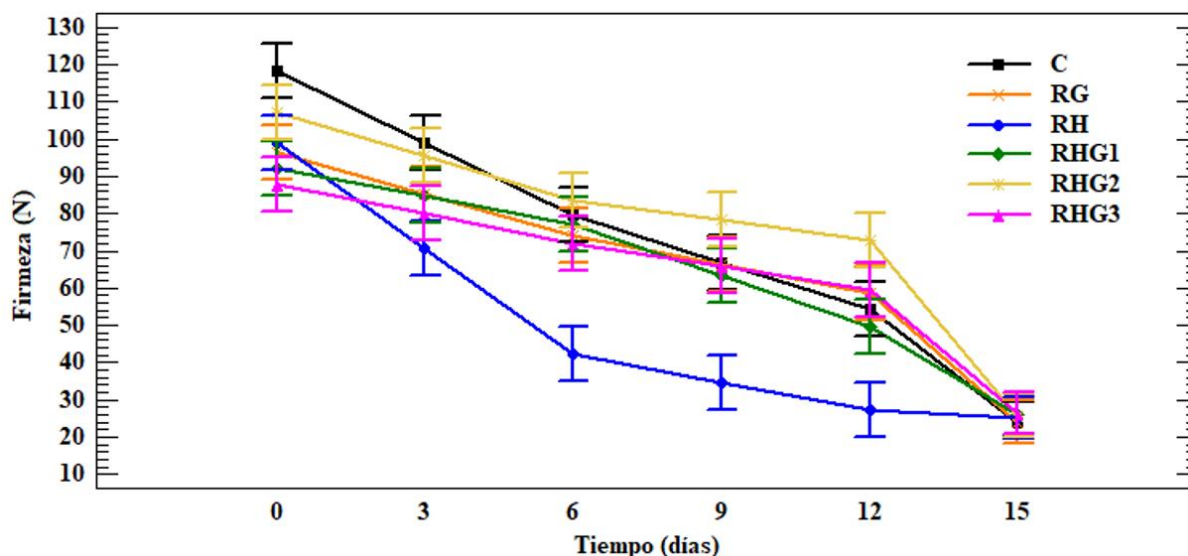
Además, los recubrimientos basados en HPMC dependen claramente del producto y el cultivo (Fagundes et al., 2015). En 2009, Valencia-Chamorro et al., evaluó recubrimientos a partir de HPMC en naranja “Valencia” evidenciando incremento en la pérdida de peso. Sin embargo, en 2010 su estudio realizado en mandarina “Ortanique” presentó una reducción significativa la pérdida de peso.

También, la HPMC produce películas que poseen buenas propiedades de barrera a gases. Sin embargo, su naturaleza hidrofílica hace que las películas formen barreras ineficientes a la humedad (Villegas y Albarracín, 2016), lo que ocasionaría deshidratación de los frutos.

Los resultados obtenidos en cuanto al comportamiento de la firmeza de los frutos tratados durante 15 días con las mezclas HG presentan una tendencia decreciente con respecto al tiempo (Figura 24).

Figura 24

Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante un periodo de almacenamiento 15 días.



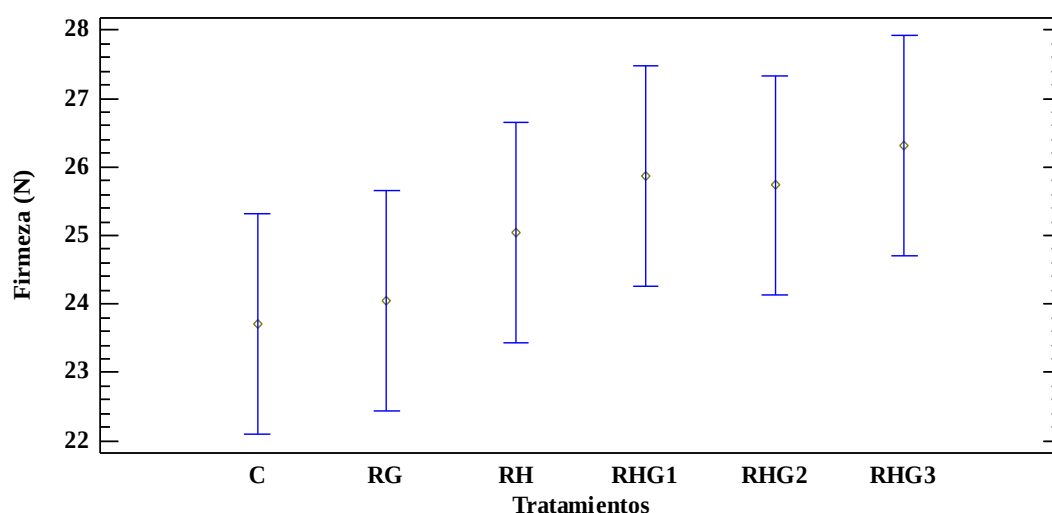
Nota. C (Fruto sin recubrimiento), RG (Recubrimiento gelatina), RH (Recubrimiento HPMC), RHG1 (Recubrimiento 75 % HPMC-25 % gelatina), RHG2 (Recubrimiento 50 % HPMC-50 % gelatina), RHG3 (Recubrimiento 25 % HPMC-75 % gelatina). Fuente: Ésta investigación.

En cuanto al comportamiento presentado, se observó que RH presenta una notable disminución de la firmeza, con valores inferiores a los demás tratamientos entre los días 3 al 12 de evaluación. De igual manera, se observó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos entre los días 0 al 12 de evaluación, sin embargo, no se evidencian diferencias estadísticas significativas ($P\text{-valor} < 0,05$) entre la media de los tratamientos para el día 15 (Figura 25); aun así, se pudo observar que los tratamientos aplicados presentan mayor media de firmeza respecto al fruto sin recubrimiento. El efecto de los recubrimientos sobre el mantenimiento de la firmeza de la fruta esta generalmente relacionado con su control de la

pérdida de peso y la modificación de la atmósfera interna de la fruta como por ejemplo un cambio en la tasa de respiración (Fagundes et al., 2015).

Figura 25

Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación de firmeza en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.



Fuente: Ésta investigación.

La firmeza es un atributo primario de calidad relacionado con la vida postcosecha y, en consecuencia, a la aceptación del producto por parte del consumidor. El mantenimiento de la firmeza en la fruta recubierta puede estar relacionado con la baja concentración de O_2 disponible, que inhibiría la actividad de las enzimas involucradas en la pared celular, procesos de degradación y solubilización de pectinas (Formiga et al., 2019). La firmeza varía a medida que avanza el proceso de maduración en las frutas (Osorio-Mora et al., 2016).

Tabla 9

Índice de color determinado sobre lulo (S. quitoense) bajo la aplicación de recubrimientos con diferentes porcentajes de mezcla HPMC-gelatina durante 15 días de evaluación.

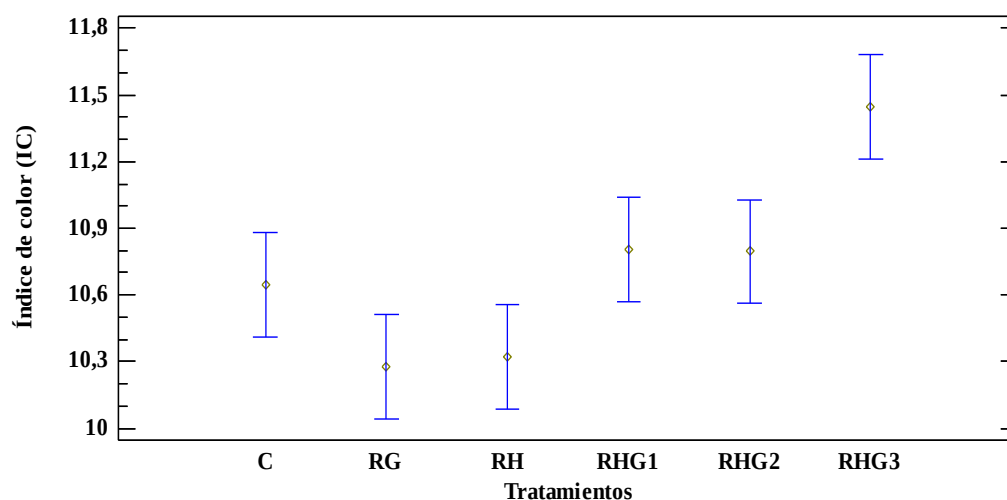
Tratamiento	Días*					
	0	3	6	9	12	15
C	8,165 ^a	9,022 ^a	9,486 ^{ab}	9,838 ^{ab}	10,187 ^a	10,647 ^{ab}
RHG1	8,043 ^a	8,567 ^a	9,067 ^{ab}	9,734 ^{ab}	10,223 ^a	10,807 ^b
RHG2	8,560 ^a	9,252 ^a	9,579 ^{ab}	10,052 ^b	10,615 ^a	10,796 ^b
RHG3	8,469 ^a	9,273 ^a	9,918 ^b	10,402 ^b	10,659 ^a	11,444 ^c
RH	8,200 ^a	9,036 ^a	9,433 ^{ab}	9,749 ^{ab}	10,164 ^a	10,322 ^a
RG	7,807 ^a	8,487 ^a	8,916 ^a	9,068 ^a	9,996 ^a	10,279 ^a

Nota: *Valores en la misma columna seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Fuente: Ésta investigación.

Para los tratamientos HG, se evidenció una variación en el IC de los lulos evaluados (Tabla 9) durante 15 días para todos los tratamientos, el menor cambio se reflejó en RHG2 a partir del día 3 con respecto a fruto sin recubrimiento C, tratamiento que permitió preservar mejor el color de los frutos tratados entre un amarillo pálido al naranja intenso, no obstante, los cambios generados en el color fueron superiores a los presentados para la mezcla PG con iguales proporciones. Los tratamientos HG tampoco presentaron diferencias estadísticas significativas entre los días 0 al 12, pero si para el día 15 ($P\text{-valor} < 0,05$) (Figura 26). RG presentó la media más baja, manteniendo el color superficial de la fruta y RHG3 el mayor cambio de color durante el periodo de evaluación, presentando tonalidades marrones.

Figura 26

Gráfico de medias y LSD de Fischer al 95% de confiabilidad para la comparación del Índice de color en diferentes concentraciones de mezcla HPMC-gelatina para el día 15.



Fuente: Ésta investigación.

Las buenas propiedades de barrera del HPMC a los gases especialmente a oxígeno, generan ambientes con baja concentración, presentando inhibición de la expresión de genes relacionados con la senescencia, por lo tanto, se minimiza la oxidación y en consecuencia la degradación de clorofilas y carotenoides (Formiga et al., 2019).

6.3.3 Análisis comparativo de los polímeros

El hecho de mezclar diferentes polímeros se da con el fin de mejorar las propiedades de los recubrimientos y de esta manera disminuir los costos de producción, ya que algunos polímeros son más costosos y difíciles de adquirir. También es importante resaltar que esta fruta andina no ha sido tan estudiada en el ámbito poscosecha, la mayoría de los trabajos se enfocan en cosecha, precosecha, propiedades morfológicas, fisicoquímicas, y comportamiento agronómico de todo tipo de especies e injertos, por tal razón la información encontrada de esta fruta es escasa

para la parte de poscosecha y la mayoría de comparaciones con los resultados que se han obtenido se han hecho con otro tipo de frutas climatéricas.

A continuación se presenta el análisis comparativo (Tabla 10) entre todos los tratamientos sobre las variables de respuesta.

Tabla 10

Variables de respuesta pérdida de peso (%), índice de color y firmeza (N) evaluadas sobre lulo (S. quitoense) bajo diferentes tratamientos para el día 15 de evaluación.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)*	Índice de color (IC)	Firmeza (N)
C	11,549 ± 1,2 ^d	10,647 ± 0,7 ^{bc}	23,709 ± 1,5 ^{abc}
RPG1	9,975 ± 0,9 ^{ab}	10,156 ± 0,2 ^a	26,089 ± 1,4 ^c
RPG2	9,654 ± 0,9^a	9,909 ± 0,3^a	26,879 ± 4,0^c
RPG3	11,175 ± 0,6 ^{cd}	11,225 ± 0,4 ^{de}	21,084 ± 4,8 ^a
RHG1	10,463 ± 1,2 ^{abcd}	10,807 ± 0,3 ^{cd}	25,868 ± 3,1 ^c
RHG2	11,260 ± 1,1 ^{cd}	10,796 ± 0,3 ^{cd}	25,732 ± 3,0 ^{bc}
RHG3	13,573 ± 0,8 ^e	11,444 ± 0,3 ^e	26,320 ± 2,9 ^c
RH	11,094 ± 0,8 ^{bcd}	10,322 ± 0,3 ^{ab}	25,049 ± 2,1 ^{bc}
RP	10,267 ± 0,8 ^{abc}	10,372 ± 0,5 ^{abc}	22,279 ± 0,6 ^{ab}
RG	10,180 ± 0,9 ^{abc}	10,279 ± 0,1 ^{ab}	24,049 ± 1,6 ^{abc}

Nota: *Valores en la misma columna seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Fuente: Ésta investigación.

Se obtuvo que el tratamiento RHG3 presentó la mayor pérdida de peso con $13,573 \pm 0,8$ %, probablemente debido, al aumento de la permeabilidad al vapor de agua, Al-hassan y Norziah,(2012) y León et al. (2018) afirman que incrementa con la adición de altas concentraciones de gelatina en mezclas con otros polímeros, cuyo carácter higroscópico conduce a una alta afinidad por las moléculas de agua, resultando en una mayor difusión, así mismo las mezclas 25/75 % (RPG3 y RHG3) provocaron la aparición de tonalidades marrones , debido a la

alta permeabilidad al O₂ cuando el contenido de gelatina aumenta tal como reporta Acosta et al. (2015), lo que genera una mayor actividad enzimática de la Polifenol oxidasa (PPO) en la degradación oxidativa de compuestos fenólicos a la formación de melaninas pigmento oscuro, negro o café (Morante-Carriel et al., 2014). RPG2 presentó la menor pérdida de peso ($9,654 \pm 0,9 \%$), además se afirma que polisacáridos como la pectina forman geles con alta humedad, lo que les confiere actuar como sacrificantes de agua inhibiendo la deshidratación de los productos recubiertos (Sharma et al., 2019), también presentó el menor cambio en el IC, cambio de color más lento en las muestras recubiertas que podría atribuirse a la lenta tasa de respiración, que a su vez retrasó la maduración y la senescencia (Kathiresan y Lasekan, 2019) y el mayor valor de firmeza al día 15 con respecto a los demás tratamientos. Los polisacáridos como la pectina son capaces de constituir una matriz estructural, permitiendo obtener recubrimientos comestibles con propiedades mecánicas moderadas (Eum et al., 2009).

Además, los tratamientos RPG1 y RPG2 influyen en la disminución de la pérdida de peso al trabajarse en combinación que al emplearse los biopolímeros por sí solos, Perdonés et al. (2012) indica que una de las funciones de la pectina es lograr mantener la vida útil por la disminución de pérdida de peso, preservación de color, aroma, sabor y valor nutricional de los alimentos. Osorio et al. (2016) indican que la aplicación de recubrimientos no solamente se limita a la pérdida cuantitativa de agua, sino también se relaciona con la apariencia del fruto (arrugamiento), textura y calidad nutricional; los resultados de la investigación se soportan en la anterior información, ya que los recubrimientos pectina-gelatina presentaron leve arrugamiento de la epidermis durante los días de evaluación, con respecto a los recubrimientos de HPMC-gelatina en los cuales a partir del tercer día de evaluación se evidenció arrugamiento del fruto debido a una rápida deshidratación de los mismos (Del Ángel, 2019).

Teniendo en cuenta las propiedades evaluadas, y su influencia sobre los frutos durante el periodo de evaluación se seleccionó como mejor recubrimiento RPG2 correspondiente al porcentaje de mezcla 50/50 pectina y gelatina.

6.3.4 Caracterización del recubrimiento seleccionado

La combinación de diversos polisacáridos, proteínas y lípidos permite aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre los componentes implementados, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la matriz polimérica y su compatibilidad (Quintero et al., 2010).

6.3.4.1 Caracterización fisicoquímica del recubrimiento seleccionado.

En la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas al recubrimiento seleccionado RPG2 con el porcentaje de mezcla 50/50 pectina y gelatina. No existen estudios reportados sobre recubrimientos combinando estos biopolímeros, por ende, no se cuenta con un patrón de comparación.

Tabla 11

Pruebas de caracterización fisicoquímica y mecánica del recubrimiento seleccionado con la porcentaje de mezcla 50/50 % pectina-gelatina.

Propiedades	Resultado
Densidad	1,005 ± 0,002 g/mL
Viscosidad	458,97 ± 31,74 cP
pH	4,81 ± 0,08
Turbidez	300 ± 1,53 NTU
Grosor de película	0,136 ± 0,01 mm
Actividad de agua (Aw)	0,496 ± 0,01
Humedad (H)	29,05 ± 1,88 %
Porcentaje de elongación	22,955 ± 1,98 %
Resistencia a la tracción	5,758 ± 0,64 MPa

Fuente: Ésta investigación.

La viscosidad permite determinar la capacidad de impregnado de los recubrimientos al momento de aplicarlos en los frutos, y su capacidad para taponar poros y formar una capa continua. Se midió la viscosidad de la mezcla seleccionada a 20 °C, 30 RPM y aguja RV-04. Se obtuvo $458,97 \pm 31,74$ cP, similar al reportado por Del Ángel (2019) en la interacción de pectina-quitosano, indicando además que a menor velocidad (RPM) trabajada, la viscosidad aumenta, lo cual permitió una aplicación fácil y homogénea sobre el fruto, se destaca la adición de gelatina, ya que provocó la disminución de la viscosidad con respecto a recubrimientos compuestos únicamente de pectina. La densidad fue de $1,005 \pm 0,002$ g/mL, similar a la densidad del agua, Cuatin y López (2015) indica que un recubrimiento al ser más denso puede funcionar como barrera impermeabilizante contra el agua, ya que existe un compuesto hidrofóbico (cera de abeja) en la formulación; se reporta una turbidez de $300 \pm 1,53$ NTU, esta es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión (Villanueva y Ávila, 2019). Debido a las interacciones polímero-polímero entre los grupos hidrofóbicos generan un incremento en la viscosidad y turbidez ocasionando opacidad de la solución, lo cual indicaría que a mayor turbidez mayor presencia de sólidos en suspensión, y un pH de $4,81 \pm 0,08$ indicando un recubrimiento ácido favorable para la conservación de los frutos.

6.3.5 Evaluación de propiedades de la película comestible

Se obtuvieron películas a partir de la mezcla seleccionada, con un espesor de $0,136 \pm 0,01$ mm, humedad de $29,05 \pm 1,88$ % y $0,496 \pm 0,01$ % de actividad de agua (Tabla 11). López et al. (2019); Sánchez et al. (2015) reportaron datos de $0,14 \pm 0,03$ mm (130 ± 10 μm) de espesor en las películas a partir de pectina similares a los datos obtenidos de $0,136 \pm 0,005$ mm, el aumento en esta propiedad se debe a factores como: método de preparación, mayor concentración de pectina y un incremento de lípidos en la película (Lozano et al., 2016). En

estudio realizado por López et al. (2019) obtuvo una humedad del $6,79 \pm 0,96$ %, y actividad de agua de $0,32 \pm 0,02$ resultados inferiores a los obtenidos de $0,496 \pm 0,01$ y $29,05 \pm 1,88$ % respectivamente, esto debido a la presencia de la proteína en la película, ya que esta es susceptible a la humedad; así también se ha obtenido películas de pectina con húmedas muy bajas de $11,18 \pm 0,70$ %, recomendando que esta propiedad de como resultado entre 5 a 10 %, ya que a mayor humedad aumenta la permeabilidad al vapor de agua (Sánchez et al., 2015). La permeabilidad está ligada al contenido de humedad y actividad de agua del material, así mismo estas propiedades juegan un papel importante en la degradación, estabilidad y propiedades mecánicas del material (López et al., 2019) propiedades relacionadas con la estructura química del recubrimiento o película.

La resistencia a la tracción (MPa) es la máxima resistencia que presenta la película al estiramiento, mientras la elongación (%) mide la capacidad de estiramiento o flexibilidad que tiene la película, en ambas, se miden hasta que la película se rompe (Solano et al., 2018). La evaluación mecánica del material elaborado con la mejor formulación indicó una elongación del $22,955 \pm 1,98$ % y resistencia a la tracción de $5,758 \pm 0,64$ MPa, estudios realizados por López et al. (2019) obtuvo resultados para elongación y fuerza de tracción en los rangos $4,315 \pm 0,86$ a $38,077 \pm 4,18$ % y $3,08 \pm 0,38$ a $15,79 \pm 2,36$ MPa, respectivamente. Se evidenció que los resultados obtenidos están dentro de los rangos mencionados; sin embargo cabe mencionar que la variabilidad puede estar asociada con las diferentes concentraciones evaluadas de pectina y su mezcla con una proteína (gelatina), de igual manera León et al. (2018) afirma que la resistencia a la ruptura de las películas a partir de almidón y gelatina aumentó a medida que se incrementó el porcentaje de proteína generando un mayor número de interacciones entre los grupos hidroxilo del almidón y las cadenas proteicas, ya que altas concentraciones de proteína favorecen y

mejoran las interacciones entre los componentes de una matriz polimérica, obteniendo películas resistentes, producto de la cercanía de sus cadenas.

6.4 Evaluar el efecto de la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-mcp) sobre las propiedades fisiológicas y fisicoquímicas del lulo (*Solanum quitoense*)

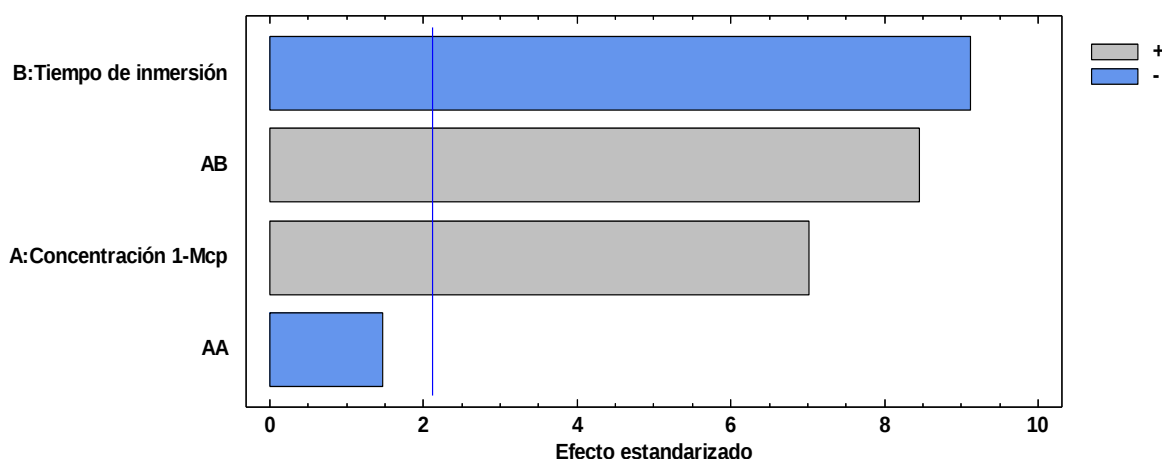
6.4.1 Evaluación sobre las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas en lulo

El efecto significativo presentado a través de diagramas de Pareto (Figuras 27, 28, 29, 30 y 31 y Anexo C y E) que tienen los factores evaluados sobre las variables de respuesta, permiten identificar de manera más clara las condiciones de conservación postcosecha requeridas para el fruto evaluado y con ello lograr incrementar el periodo de conservación.

6.4.2 Evaluación de la Pérdida de peso (%)

Figura 27

Diagrama de Pareto estandarizado de la pérdida de peso (%) para el día 15 de evaluación.



Fuente: Esta investigación.

Los resultados del diseño multifactorial por análisis de varianza para determinar la incidencia de los factores sobre las variables de respuesta mostraron que para la pérdida de peso 3 efectos presentan diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,05$): A:concentración

1-MCP (p-valor=0,0000), B:tiempo de inmersión (p-valor=0,0000) e interacción de los dos factores AB (p-valor=0,0000) como se presenta en la Tabla 16 (ANEXO D). Lo anterior se verifica con el diagrama de Pareto estandarizado (Figura 27), indicando que el color azul de la barra B:tiempo de inmersión tiene un efecto estadísticamente significativo y es negativo, es decir, que a mayor tiempo de inmersión se reduce el porcentaje de pérdida de peso, en cambio, para la A:concentración de 1-MCP el color de la barra es gris siendo estadísticamente significativo y positivo, a medida que la concentración aumenta, también lo hace la pérdida de peso como se presenta en la Figura 37 (ANEXO D). Además, la interacción AB presenta un efecto estadísticamente significativo positivo indicando que algunas de las combinaciones de los niveles permiten que la pérdida de peso aumente, es decir el efecto de la concentración 1-MCP depende del tiempo de inmersión, evidenciándose que al aplicar un tiempo de inmersión de 10 minutos la pérdida de peso es similar entre los niveles inferior y superior de la concentración 1-MCP, mientras, con 30 minutos al aumentar la concentración también lo hace la pérdida de peso como se observa en la Figura 38 (ANEXO D), presentándose un efecto antagónico.

El 1-MCP puede llegar o no a tener un efecto sobre la pérdida de peso ya que esto depende de muchos factores entre ellos el genotipo (especie y variedad), condiciones ambientales, estado fisiológico del fruto, duración del tratamiento entre otros. Se conoce que las principales causas de pérdida de peso en productos hortofrutícolas se deben principalmente a procesos metabólicos como la respiración y transpiración, en este último generando pérdida de agua de los frutos frescos, disminuyendo su calidad, acelerando la maduración y senescencia de estos.

Estudios realizados en arándanos (Chiabrando y Giacalone, 2011) y uchuva (Balaguera-López et al., 2016), observaron que a medida que se aumentaba el tiempo de exposición de las

frutas con 1-MCP se redujo en mayor proporción la pérdida de peso sin generar cambios en los atributos de calidad, esto debido a que la tasa de absorción de 1-MCP en forma de gas en frutos es lenta aproximadamente del 20 % después de 6 horas (Huber et al., 2010).

Osuna-García et al. (2017), observaron que el efecto del 1-MCP no fue tan claro sobre la pérdida de masa ya que los frutos aplicados con las diferentes dosis de 1-MCP no presentaron diferencias estadísticas en comparación con los frutos testigo desde el inicio hasta 4 días de simulación de mercadeo y sólo en madurez de consumo los frutos aplicados con 400 y 800 $\mu\text{g L}^{-1}$ presentaron una menor pérdida de masa con respecto al testigo y a la dosis de 1200 $\mu\text{g L}^{-1}$.

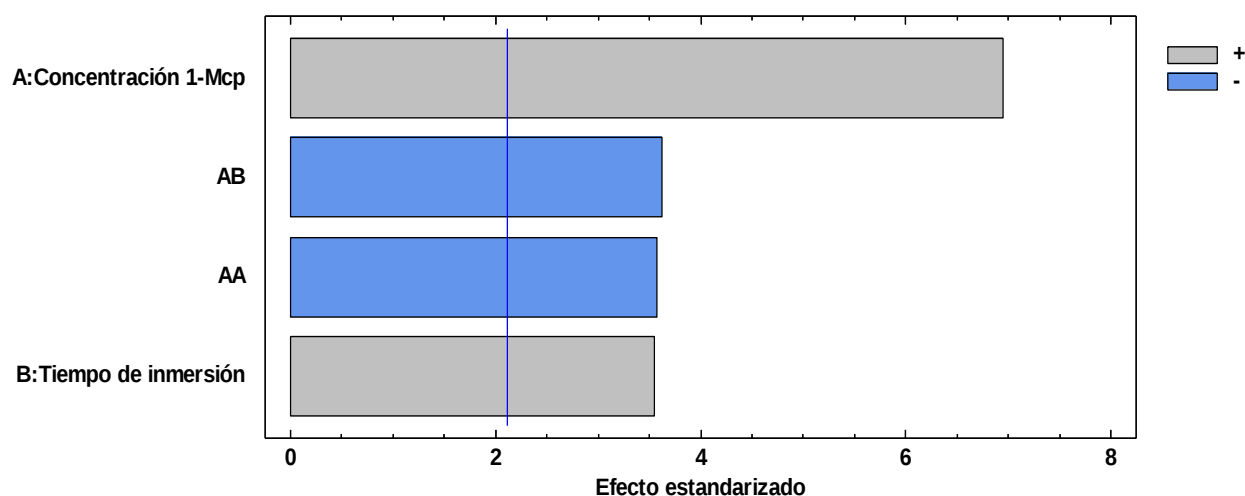
Cuaspué-Cuaical et al. (2019), afirman que el tratamiento con 1-MCP aplicado en uchuva disminuyó la pérdida de peso respecto a los frutos control. Además, que la utilización de concentraciones elevadas de 1-MCP durante tiempos de exposición largos produce mayor pérdida de peso respecto a frutos control y demás tratamientos. Efecto que puede atribuirse a la formación de enlaces de 1-MCP con receptores de etileno, que inducen la disminución de la tasa respiratoria, y al mismo tiempo afectan la pérdida de agua (Guillén et al., 2006).

Se evidenció, además, que los factores concentración de 1-MCP y tiempo de inmersión influyen de manera directa sobre la pérdida de peso del fruto, haciendo que este aumente o disminuya significativamente.

6.4.3 Evaluación de la Firmeza (N)

Figura 28

Diagrama de Pareto estandarizado para la firmeza (N) para el día 15 de evaluación.



Fuente: Esta investigación.

Para la firmeza, mediante el análisis de varianza se evidenció diferencias estadísticas significativas ($p\text{-valor} < 0,05$) para los efectos: A:concentración 1-MCP ($p\text{-valor} = 0,0000$), B:tiempo de inmersión ($p\text{-valor} = 0,0011$), efecto cuadrático de la concentración 1-MCP (AA) ($p\text{-valor} = 0,0010$) e interacción de los factores (AB) ($p\text{-valor} = 0,0009$) como se presenta en la Tabla 17 (ANEXO D). Lo anterior se confirma con el diagrama de Pareto estandarizado (Figura 28), la barra de color gris para la A:concentración 1-MCP y B:tiempo de inmersión indica un efecto estadísticamente significativo positivo, donde a mayor concentración y tiempo de inmersión se mantiene la firmeza; el tiempo presenta un efecto lineal creciente y la concentración un efecto cuadrático como se evidencia en la Figura 39 (ANEXO D), mientras que la interacción AB y el efecto cuadrático AA presentan barras de color azul siendo estadísticamente significativos y negativos, es decir el efecto de la concentración de 1-MCP depende del tiempo de inmersión, evidenciándose que, con un tiempo de inmersión de 10 minutos la firmeza se mantiene al

aumentar la concentración de 1-MCP de un nivel inferior a un superior, mientras que con 30 minutos también se mantiene hasta cierto punto y después disminuye presentándose una curvatura y siendo su efecto antagónico como se indica en la Figura 40 (ANEXO D).

Balaguera-López et al. (2016), encontraron que en frutos de uchuva al trabajar con la mayor concentración y tiempo de tratamiento con 1-MCP se presentó la menor pérdida de firmeza durante 15 días de evaluación, esto debido a que las enzimas involucradas en la degradación de polisacáridos de la pared celular están relacionadas con la presencia de etileno, además dosis y tiempos cortos de exposición al 1-MCP resultan ineficientes para evitar la pérdida de firmeza, comportamiento similar observado en frutos de guayaba, y a los obtenidos en esta investigación (Tabla 12).

En el estudio realizado por Agehara et al. (2018), observaron que la firmeza se vio afectada por la interacción de la concentración de 1-MCP y el tiempo de inmersión, trabajaron en términos de concentración de 1-MCP con 10 mg L^{-1} la cual presentó una mayor retención de firmeza en comparación con $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ y todos los tiempos de inmersión evaluados y 1 mg L^{-1} solo con tiempos de inmersión de 0,5 y 1 min. Para los tiempos entre 2 a 5 min de inmersión, la retención de firmeza con 1 y 10 mg L^{-1} de 1-MCP fueron equivalentes, debido al efecto positivo del tiempo de inmersión que se produce solo a 1 mg L^{-1} de 1-MCP. De igual manera, el 1-MCP reduce la pérdida de firmeza ya que disminuye la actividad de enzimas que degradan la pared celular, como pectin-metilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG), endo- β -1,4-glucanasa (EGasa) y pectato liasa (PL). A su vez, la disminución de la actividad de dichas enzimas está relacionada con la disminución de la expresión de genes (Balaguera-López, 2014).

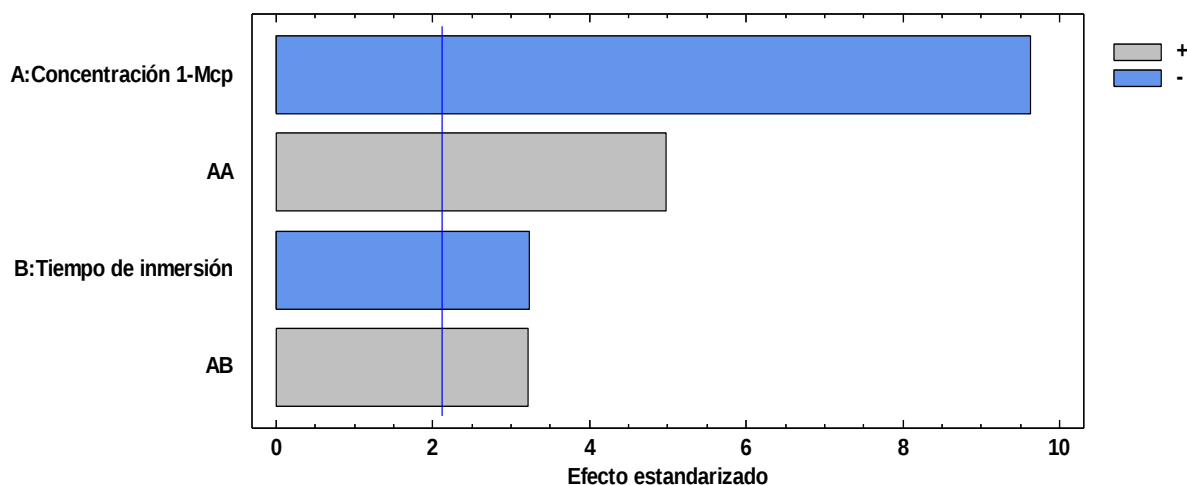
En 2008, Choi y Huber afirmaron, que tanto la firmeza como el tono de la superficie en la fruta de tomate “Florida 47” fueron influenciados por el tiempo de inmersión en 1-MCP acuoso

a $50 \mu\text{gL}^{-1}$ y que los efectos sobre ambos parámetros fueron evidentes después de la inmersión por tan solo 30 segundos y aumenta con tiempos de inmersión de hasta 12 minutos, indicando que estos parámetros son dependientes de la duración de la inmersión. En muchos otros estudios se ha observado que el aumento de la firmeza de la fruta con aplicación de 1-MCP gaseoso y acuoso, se hizo más pronunciada con mayor duración del tiempo.

6.4.4 Evaluación del Índice de color

Figura 29

Diagrama de Pareto estandarizado para el índice de color para el día 15 de evaluación.



Fuente: Esta investigación.

Para el caso del índice de color, el análisis de varianza indica que 4 efectos presentan diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,05$): A:concentración 1-MCP ($p\text{-valor} = 0,0000$), B:tiempo de inmersión ($p\text{-valor} = 0,0031$), efecto cuadrático de la concentración 1-MCP (AA) ($p\text{-valor} = 0,0000$) e interacción de los factores (AB) ($p\text{-valor} = 0,0031$) (Tabla 18, ANEXO D). Lo anterior se demuestra mediante diagrama de Pareto estandarizado (Figura 29), donde se observa que la barra azul de A:concentración 1-MCP y B:tiempo de inmersión tiene un efecto estadísticamente significativo negativo, indicando que a mayor concentración y tiempo de

inmersión disminuye el índice de color, además, el tiempo presenta un efecto lineal decreciente y la concentración un efecto cuadrático como se presenta en la Figura 41 (ANEXO D), en cambio, el efecto cuadrático AA y la interacción AB son estadísticamente significativos con efecto positivo, es decir la combinación de algunos niveles puede incrementar el índice de color, por lo tanto, el efecto de la concentración depende del tiempo de inmersión; así, con un tiempo de inmersión de 10 minutos el índice de color disminuye a medida que aumenta la concentración 1-MCP de un nivel inferior a un superior, hasta cierto punto y luego aumenta presentándose una curvatura y siendo su efecto antagónico (Figura 42, ANEXO D).

El efecto del 1-MCP sobre el retraso o reducción de cambios de color o el metabolismo de pigmentos como clorofila, carotenoides y antocianinas, se hace más evidente cuando este es aplicado en frutos que aún no han alcanzado su madurez comercial (Cuaspué-Cuaical et al., 2019). Es así como Agehara et al. (2018) informan que el 1-MCP puede retrasar el desarrollo del color de la piel, y que la inmersión en 1-MCP es eficaz para mejorar tanto el exterior como el interior en la calidad de la fruta de melón bajo la condición de vida útil simulada. La inmersión en 1-MCP tuvo un pequeño efecto del color inicial, en la transición de verde a amarillo claro, pero retrasó el siguiente desarrollo a naranja, extendiendo la vida útil de la fruta con el color deseable de madurez. Esto se puede explicar debido a que el 1-MCP disminuye la actividad de enzimas clorofilasas, las cuales son responsables de la degradación de la clorofila, ya que puede atribuirse a la inhibición de la expresión de los genes PAO (feoforbida oxigenasa), NYC (“nonyellow colorriiing”), NOL (“NYC1-like”) y SGR1 (“stay green 1”), los cuales están estrechamente relacionados con la vía catabólica de las clorofilas (Balaguera-López et al., 2014).

Estudios realizados en peras “Bartlett” indican que la concentración de 1-MCP puede afectar el cambio de color, trabajaron con una concentración de 300 nL L^{-1} de 1-MCP que no

impide un cambio de color mientras que con 600 nL L⁻¹ de 1-MCP se mantienen verdes después 60, 90 o 120 días de almacenamiento en frío y 7 días a 20 °C, además, se evidencia una disociación entre el cambio de color de la piel y el ablandamiento de la pulpa después de largos períodos de conservación (Calvo y Sozzi, 2009).

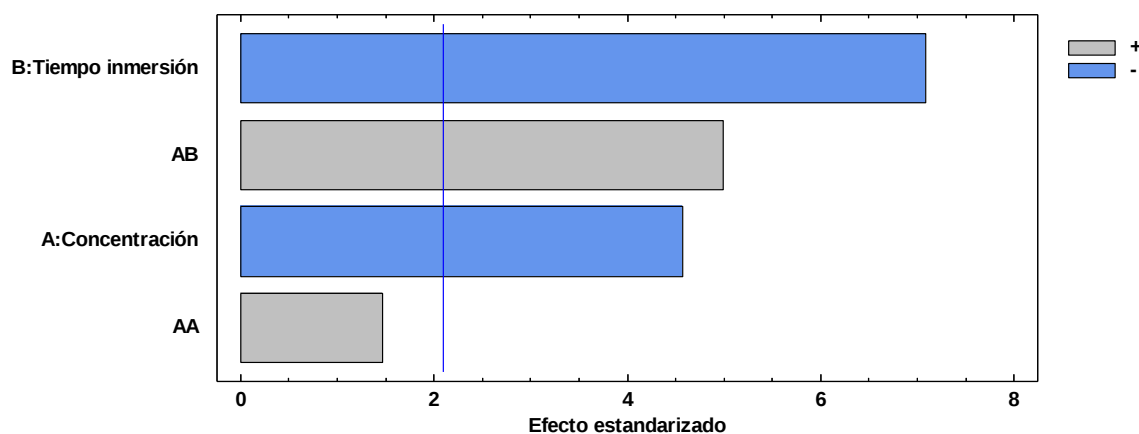
De igual manera se llevó a cabo el análisis de las propiedades fisiológicas que se mencionan a continuación:

6.4.5 Evaluación de la Producción de etileno (mg C₂H₄ Kg⁻¹.h⁻¹)

La producción de etileno, al igual que la respiración, es un proceso que requiere O₂. Por lo general, las concentraciones bajas de O₂ (por debajo del 8 %) y altas de CO₂ (por encima del 5 %) ralentizan la respiración y retrasan la producción de etileno y, por tanto, la maduración (Kader, 1986), lo que prolonga la vida útil.

Figura 30

Diagrama de Pareto estandarizado para la producción de etileno para el día 15 de evaluación.



Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza muestran que 3 efectos son estadísticamente significativos (p-valor<0,05): A:concentración 1-MCP (p-valor=0,0002),

B: tiempo de inmersión (p -valor=0,0000) e interacción de los factores AB (p -valor=0,0001) (Tabla 19, ANEXO D). Lo anterior se evidencia en el diagrama de Pareto estandarizado (Figura 30), el color azul de las barras indica que B: tiempo de inmersión y A: concentración de 1-MCP tienen un efecto estadísticamente significativo negativo, es decir, a mayor tiempo de inmersión y concentración se reduce la producción de etileno, como se muestra en la Figura 43 (ANEXO D), por otra parte, la barra de color gris de la interacción AB indica un efecto estadísticamente significativo positivo, es decir que algunas de las combinaciones de los niveles permiten que la producción de etileno aumente, por lo tanto, el efecto de la concentración depende del tiempo de inmersión; cuando se aplica un tiempo de inmersión de 10 minutos, la producción de etileno disminuye de un nivel inferior a uno superior de la concentración 1-MCP, mientras que con 30 minutos la producción de etileno es similar para los niveles inferior y superior evaluados, presentándose un efecto antagónico (Figura 44, ANEXO D).

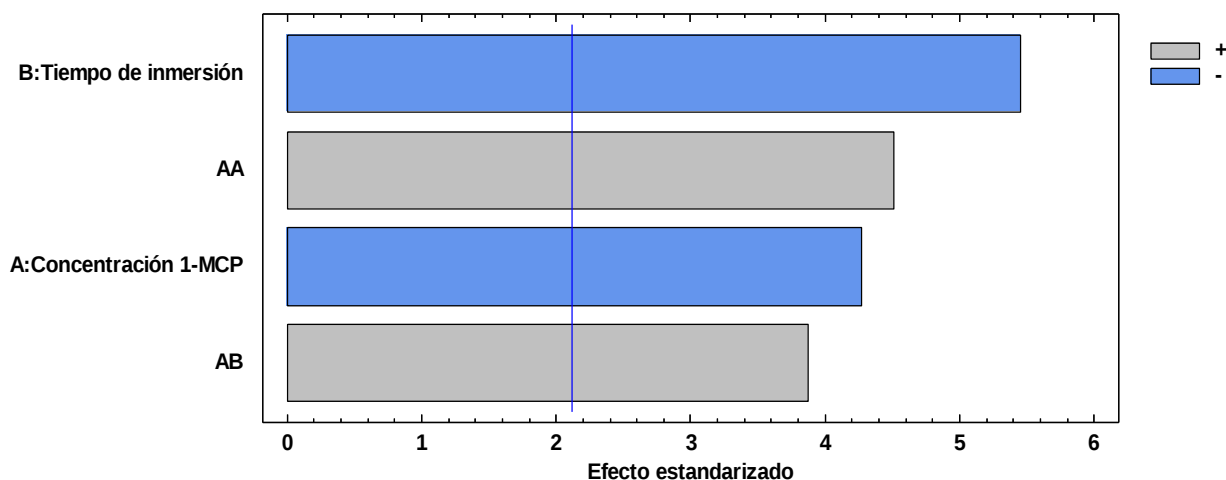
La concentración de 1-MCP necesaria para bloquear la acción del etileno varía con la especie, cultivar, estado de madurez, tiempo y temperatura de exposición ya que, ocupa los receptores del etileno de manera irreversible, bloqueando la cascada de transducción de señales que conllevan a la expresión de genes relacionados con la respuesta al etileno y su afinidad por los receptores es diez veces mayor a la del etileno y actúa a más bajas concentraciones, regula también la biosíntesis de etileno a través de la inhibición del proceso auto catalítico (Balaguera-López et al., 2014); aunque se desconoce el sitio exacto en la ruta de biosíntesis de etileno en donde el 1-MCP interviene, es probable que genere una inhibición parcial del aumento en los niveles de dos enzimas claves en esta ruta, la ACC sintasa (ACS) y la ACC oxidasa (ACO) (Chiriboga et al., 2014).

La fruta tratada con 1-MCP tanto gaseoso como liquido retrasó de manera similar la producción de etileno a 20 °C en comparación con la fruta control para todos los tiempos de inmersión, lo cual se apoya en el estudio realizado por Escribano et al. (2017), quienes aplicaron 1-MCP en pera mediante inmersión, con diferentes concentraciones y tiempos cuyos resultados afirman que fruta sumergida a 15 segundos se diferenció de los otros tratamientos a 30, 45 y 60 segundos, debido a que produjo una mayor tasa de producción de etileno ($0,16 \mu\text{L.Kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$).

6.4.6 Evaluación de la Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$)

Figura 31

Diagrama de Pareto estandarizado para la tasa de respiración para el día 15 de evaluación.



Fuente: Esta investigación.

El análisis de varianza para la tasa de respiración indica que 4 efectos presentan diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), los cuales son A:concentración 1-MCP ($p\text{-valor} = 0,0002$), B:tiempo de inmersión ($p\text{-valor} = 0,0000$), efecto cuadrático de la concentración AA ($p\text{-valor} = 0,0001$) e interacción de los factores AB ($p\text{-valor} = 0,0005$) tal como se evidencia en la Tabla 20 (ANEXO D). Lo anterior se corrobora a través del diagrama de Pareto estandarizado (Figura 31), donde se observa que la barra azul para B:tiempo de inmersión

y A:concentración 1-MCP tienen un efecto estadísticamente significativo negativo, indicando que a mayor concentración y tiempo de inmersión disminuye la tasa de respiración, el tiempo presenta un efecto lineal decreciente y la concentración un efecto cuadrático (Figura 45, ANEXO D), por el contrario la interacción AB y el efecto cuadrático AA son estadísticamente significativos con efecto positivo, es decir algunas de las combinaciones de los niveles puede incrementar la tasa de respiración, por lo tanto, el efecto de la concentración 1-MCP depende del tiempo de inmersión; así, con tiempo de 10 minutos la tasa de respiración disminuye al aumentar la concentración de un nivel inferior a un superior, mientras, que con 30 minutos la tasa de respiración es similar en los niveles inferior y superior, presentándose un efecto cuadrático y antagónico (Figura 46, ANEXO D).

En 2008, Choi y Huber afirman que todas las concentraciones evaluadas de 1-MCP líquido redujeron la tasa de respiración de la fruta en relación con la fruta control, sin embargo, la tasa de respiración fue menor, siendo afectada por la concentración y tiempo de inmersión del tratamiento. Así también, en el estudio realizado por Escribano et al. (2017), afirman que los tiempos de inmersión de 1-MCP redujeron la tasa de respiración de las frutas respecto al control, y que concentraciones más altas de 1-MCP pueden disminuir la producción de etileno y tasa de respiración más significativamente que las concentraciones más bajas. Según lo demuestran diversos estudios, el 1-MCP puede reducir, aumentar o no afectar la tasa de respiración de productos frutihortícolas y dependerá de la especie, además se recomienda que esta propiedad sea evaluada en cada producto como una respuesta al tratamiento (Cuaspud-Cuaical et al., 2019). De igual manera, otros estudios han indicado que el 1-MCP puede disminuir la tasa de respiración, y su efecto puede variar dependiendo de la dosis de 1-MCP y tiempo de tratamiento, inhibiendo o estimulando la producción de CO_2 . Así, dosis altas hasta de 100 nL L^{-1} y tiempo de

tratamiento inferior a 1 hora no afectan la TR; en contraste, dosis bajas con exposición cercana a 2 horas, la TR disminuye, dependiendo también de la especie a tratar (Gómez et al., 2015).

6.4.6.1 Selección del mejor tratamiento.

Para la selección del mejor tratamiento, se realizó una comparación y un análisis de optimización de múltiples variables de respuestas, ya que se evaluó el efecto sobre 5 variables y difieren en los resultados. Los datos obtenidos correspondientes al último día de evaluación se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12

Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas sobre lulo (S. quitoense) con aplicación de diferentes tratamientos con 1-MCP para el día 15 de evaluación.

Tratamie ntos*	Pérdida de peso %)	Índice de color	Firmeza (N)	Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ h ⁻¹)	Tasa de respiración (mg CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹)
T1	7,278 ± 0,4 ^a	11,317 ± 0,5 ^a	27,907 ± 0,9 ^a	9,510 ± 0,74 ^a	42,106 ± 4,40 ^a
T2	7,477 ± 0,5 ^a	9,888 ± 0,2 ^b	95,299 ± 2,5 ^b	8,165 ± 0,59 ^b	30,127 ± 3,04 ^b
T3	7,066 ± 0,3 ^a	9,296 ± 0,3 ^{ce}	88,398 ± 3,5 ^c	4,905 ± 0,49 ^c	23,706 ± 1,1 ^c
T4	4,992 ± 0,2^b	10,569 ± 0,2 ^d	78,180 ± 1,9 ^d	5,368 ± 0,52 ^c	27,330 ± 2,22 ^{b^c}
T5	6,217 ± 0,2 ^c	9,127 ± 0,1^e	85,927 ± 1,4 ^c	3,287 ± 0,17^d	12,011 ± 0,61^d
T6	7,291 ± 0,2 ^a	9,561 ± 0,3 ^{cb}	97,215 ± 1,5^b	5,569 ± 0,24 ^c	26,425 ± 3,11 ^{bc}

Nota: * Valores en la misma columna seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05). Fuente: Ésta investigación.

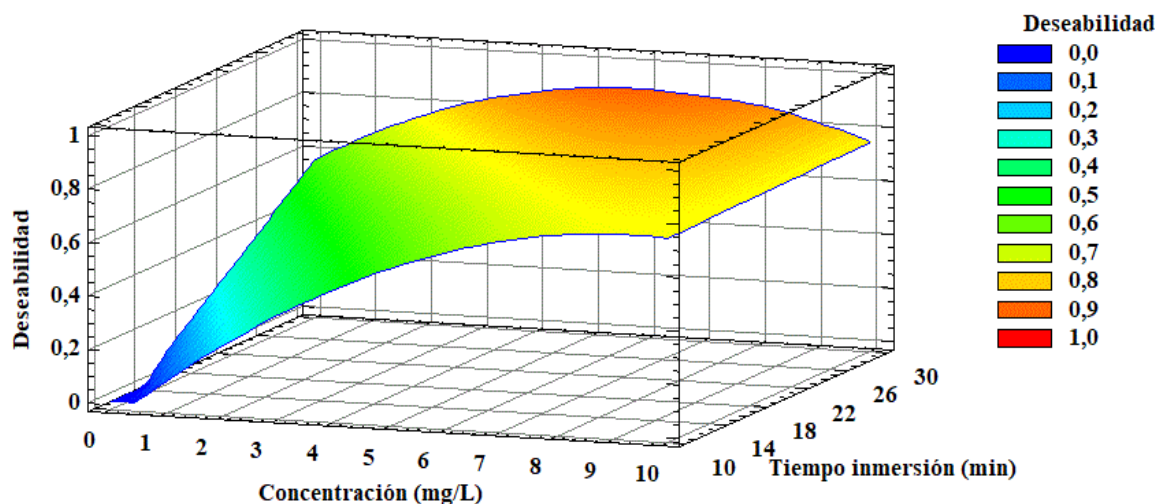
Se evidenció que el menor porcentaje de pérdida de peso lo presenta T4 (**4,992 ± 0,197%**), la menor variación en el cambio de color IC T5 (**9,127 ± 0,077**), el valor más alto de firmeza T6 (**97,215 ± 1,533 N**), la menor producción de etileno (**3,287 ± 0,17C₂H₄ Kg⁻¹h⁻¹**) y

tasa de respiración ($12,011 \pm 0,606 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) T5, destacándose como factor común el tiempo de inmersión de 30 minutos.

El análisis de optimización de múltiples respuestas (Figura 32) para la producción de etileno, tasa de respiración y firmeza permitió corroborar la selección del mejor tratamiento.

Figura 32

Superficie de respuesta estimada para producción de etileno, tasa de respiración y firmeza al día 15 de evaluación.



Fuente: Ésta investigación

Tras analizar la superficie de respuesta para cada variable y su punto óptimo dependiendo de la condición (maximizar o minimizar), en común se obtuvo para todas las propiedades evaluadas un tiempo de inmersión de 30 minutos, por el contrario la concentración difiere. La optimización de múltiples variables ayuda a determinar la combinación de los niveles evaluados para cada factor experimental maximizando la función de deseabilidad. El análisis estadístico indica un valor óptimo para producción de etileno, TR y firmeza de $4,333 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, $16,042 \text{ mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ y $98,873 \text{ N}$ respectivamente, bajo condiciones óptimas de concentración de $5,49 \text{ mg L}^{-1}$ de 1-MCP con 30 minutos de tiempo de inmersión con una deseabilidad de 0,900.

Los resultados obtenidos en la comparación de los tratamientos indican que T5 ayuda a conservar la mayoría de las propiedades evaluadas, y mediante la optimización se reafirmó la selección del tratamiento.

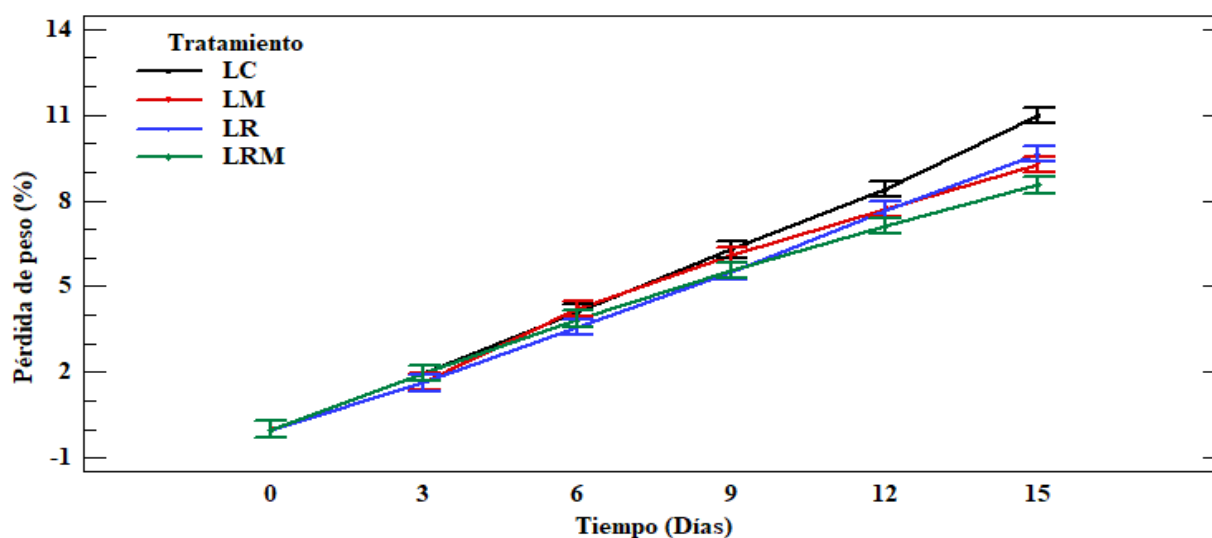
6.5 Evaluación de la calidad postcosecha de lulo (*solanum quitoense*) durante el almacenamiento con la aplicación de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) y un recubrimiento comestible a base de polisacárido/proteína.

Las pérdidas postcosecha de los frutos se ven provocadas por cambios de tipo físico, químico y fisiológico, lo cual genera pérdida de la calidad y por consiguiente disminución de su tiempo de vida útil. Se evaluó el comportamiento de algunas propiedades fisicoquímicas (pérdida de peso (%), firmeza (N), índice de color,), pH, ATT (% de ácido cítrico), SST (°Bx) e índice de madurez) y fisiológicas (producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) y tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$)) (Anexo F) en lulo con aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante 15 días de almacenamiento en condiciones ambientales del lugar de estudio ($18,84 \pm 1,07$ °C y $51,33 \pm 4,55$ % HR).

6.5.1 Evaluación de la Pérdida de peso (%).

Figura 33

*Comportamiento de la pérdida de peso (%) de lulo (*S. quitoense*) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días.*



Nota. LC (Fruto sin 1-MCP y sin recubrimiento), LM (Fruto con 1-MCP), LR (Fruto con recubrimiento), LRM (Fruto con 1-MCP y recubrimiento). Fuente: Ésta investigación.

La pérdida de peso de lulo evaluado se incrementó para todos los tratamientos (Figura 33) en relación con los días de evaluación. Cabe resaltar que dicha propiedad se ve afectada con el proceso de maduración y las propiedades fisiológicas (respiración y transpiración) que ocurren en los frutos. Se evidencia durante los primeros días que los tratamientos no presentan diferencias estadísticas, sin embargo, a partir del día 9, el tratamiento control (LC) presenta mayor pérdida de peso hasta el día final, siendo una de las principales causas la transpiración de los frutos durante su almacenamiento (Torres-Pintado, 2020), cuya propiedad está influenciada por varios factores ya sean del fruto (características morfológicas) o ambientales (temperatura,

humedad relativa y presión atmosférica), siendo los factores ambientales los de mayor relevancia (García, 2015); por otra parte, el tratamiento LRM a partir del día 9 presenta la menor pérdida de peso de los frutos tratados.

A partir de estos resultados se puede afirmar que la combinación del recubrimiento comestible y 1-MCP (LRM) fue efectiva en la disminución de la pérdida de peso respecto a los demás tratamientos, resultados similares a los obtenidos por Xu et al. (2019), quienes en su estudio realizado en kiwi aplicaron varios tratamientos que consistían en un recubrimiento de lisozima, 1-MCP y la combinación de los dos, siendo este último tratamiento el mejor ya que, para el día 20 presentó una pérdida de peso de únicamente 0,65 %, evidenciándose una reducción aproximada del 50 % respecto a los otros tratamientos, indicando además diferencias estadísticamente significativa a partir del día 5. Así también, Qiuping y Wenshui (2007), obtuvieron resultados similares en la fruta azufaifa india, con una pérdida de peso para el tratamiento testigo de 18,6 %, mientras que la fruta tratada con 1-MCP, la fruta recubierta con CTS (quitosano) y frutos tratados con 1-MCP+CTS alcanzaron valores de 9,7 %, 5,7 % y 4,7 % respectivamente, siendo la combinación de recubrimiento y 1-MCP el tratamiento más efectivo para retrasar la pérdida de peso.

Tras un análisis de resultados para el último día de evaluación se evidenció diferencias estadísticamente significativas (P -valor $< 0,05$) (Tabla 15) entre la media de pérdida de peso de los tratamientos con respecto al control LC; LRM se redujo en un 22,13 % respecto al control. La aplicación de barreras físicas como recubrimientos en la superficie de frutos permite regular la permeabilidad al O_2 , CO_2 y vapor de agua, retardando el proceso natural de maduración (Aguilar et al., 2012), viéndose favorecida la sinergia 1-MCP y recubrimiento. En 2020, Torres-Pintado afirma en su investigación que la aplicación de recubrimientos favorece la conservación

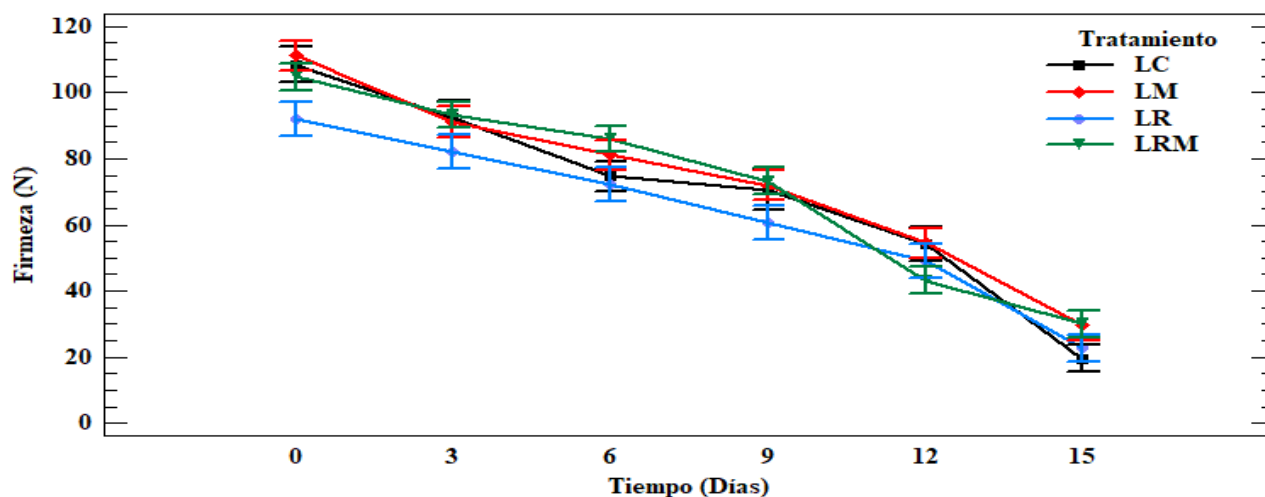
de los frutos, ya que estos disminuyen el intercambio gaseoso, retrasando la deshidratación y por ende la pérdida de peso. Asimismo, Andrade-Cuvi (2018) afirma que la calidad de los frutos como la naranjilla presentan pérdida de turgencia del tejido y ablandamiento como consecuencia de la pérdida de agua y por ende de peso.

6.5.2 Evaluación de la Firmeza (N).

La firmeza es considerada un importante parámetro de calidad en frutas. Se observó un comportamiento con tendencia decreciente de la firmeza en función del tiempo para todos los frutos evaluados (Figura 34). Sin embargo, se observa que hasta el día 12 de evaluación no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero si para el día 15 (Tabla 15). Se resalta que los tratamientos LM y LRM conservan mejor la firmeza durante el periodo de evaluación; pero a partir del día 6 disminuyen notoriamente hasta el día final.

Figura 34

Comportamiento de la firmeza (N) de lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días.



Nota. LC (Fruto sin 1-MCP y sin recubrimiento), LM (Fruto con 1-MCP), LR (Fruto con recubrimiento), LRM (Fruto con 1-MCP y recubrimiento). Fuente: Ésta investigación.

La firmeza de las frutas depende de diferentes factores como el contenido interno de agua, rigidez de las paredes celulares, y las reacciones químicas de los componentes de la pared celular: la celulosa, hemicelulosa y pectinas que hacen que el producto pierda firmeza (Andrade-Cuvi et al., 2018), por tal razón esta propiedad está estrechamente relacionada con la pérdida de peso, a mayor pérdida de peso menor firmeza posee una fruta; de igual manera Caicedo (1999) citado por Torres-Pintado (2020), explica que los cambios bioquímicos como la hidrólisis de las paredes celulares que reducen la firmeza de los frutos son procesos en los cuales intervienen las enzimas, como la poligalacturonasa y la celulasa, cuya acción depende de la temperatura y son el punto de partida para la maduración de los frutos climatéricos.

Xu et al. (2019) afirman que la combinación de recubrimiento de lisozima y 1-MCP ejerció un efecto significativo ($p < 0,05$) en la inhibición de la disminución de la firmeza en kiwi que mejoró a 7,5 veces en el día 20, siendo el más adecuado con respecto a los demás tratamientos. Al comparar con los resultados obtenidos se evidencia cierta diferencia, ya que LM y LRM no presentan diferencias estadísticas significativas, y ambos tratamientos conserva la firmeza del lulo de manera similar para el último día. De igual manera, estudios realizados por Cheng et al. (2020), afirman que la combinación de 1-MCP y recubrimiento comestible a partir de quitosano permite conservar la firmeza (9,32 N) de la fruta de azufaifo siendo de 2 a 3 veces superior al control (3,98 N), al igual que los tratamientos con recubrimiento y 1-MCP por si solos, retardando el ablandamiento de la fruta asociado por la degradación de la pared celular.

6.5.3 Evaluación del Índice de color

Tabla 13

*Índice de color determinado sobre lulo (*S. quitoense*) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante 15 días de evaluación.*

Tratamientos	Días*					
	0	3	6	9	12	15
LC	8,039 ^a	8,893 ^b	9,529 ^b	9,674 ^b	10,111 ^b	9,693 ^b
LRM	7,012 ^a	7,147 ^a	7,895 ^a	8,143 ^a	8,694 ^a	8,418 ^a
LM	7,357 ^a	7,460 ^a	8,251 ^a	8,562 ^a	9,048 ^a	8,671 ^a
LR	7,037 ^a	7,660 ^a	8,515 ^a	8,627 ^a	9,071 ^a	8,602 ^a

Nota: * Valores en la misma columna seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Fuente: Ésta investigación.

El color de los productos hortofrutícolas se ha considerado como uno de los parámetros de calidad de gran importancia para los consumidores, quienes lo asocian con la frescura. Durante la evaluación y seguimiento se evidenció que el índice de color se mantuvo en el rango +2 a +20 (Figura 7) presentando coloración amarillo pálido al naranja intenso (Cuatin y López, 2015). La naranjilla al ser una fruta climatérica, durante la maduración produce un cambio de color verde a amarillo, producido por la degradación de clorofila y síntesis de carotenoides (Andrade-Cuvi et al., 2018), siendo los β -carotenos los compuestos predominantes (Acosta et al., 2009).

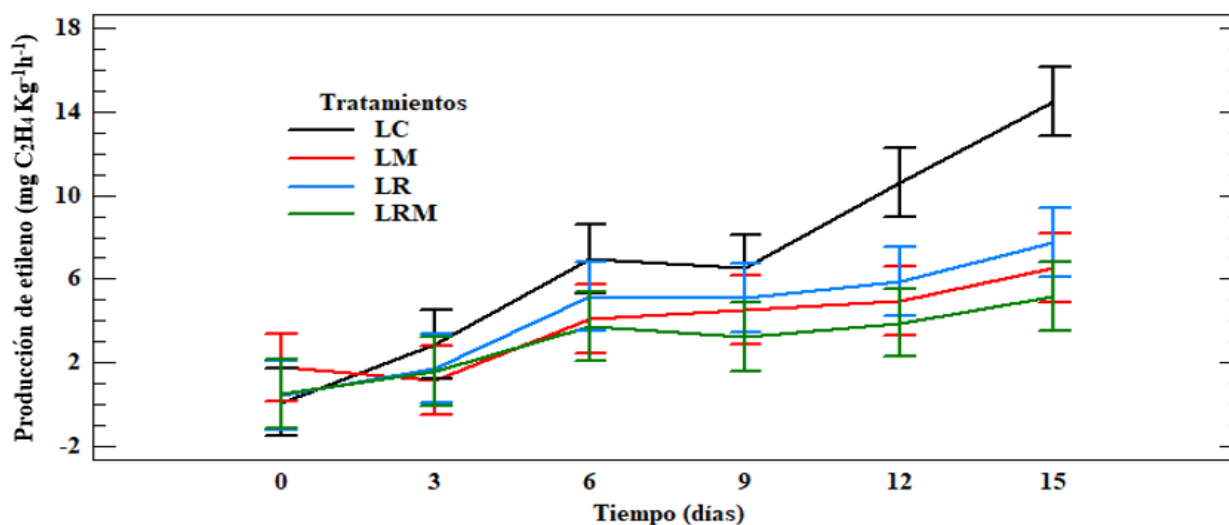
En los frutos evaluados se observó dicho cambio, expresado como índice de color (Tabla 13), donde se evidenció a partir del día 3 diferencias significativas entre tratamientos (P -valor $< 0,05$); la menor variabilidad para el día 15 la presentó LM (15,15 %) respecto al control LC (17,06 %), cuyo cambio de color tal como lo afirma Andrade-Cuvi (2018) en su estudio, es inhibido por la acción del 1-MCP sobre el etileno, provocando un retraso en el proceso de

metabolización y desarrollo de pigmentos coloreados característicos de la maduración, incluso las variaciones también se deben a cambios en el pH por la salida de ácidos orgánicos al exterior de las vacuolas, acción de clorofilasas y a procesos de síntesis de carotenoides o antocianinas; sin embargo, este no presenta diferencias con LRM y LR. Así también, Lv et al. (2020) afirma en su estudio que el 1-MCP retarda la degradación de la clorofila, debido a que se obtuvieron contenidos reducidos de PPH (feofitinas), PAO (oxigenasa) y RCCR (catabolito reductasa) con este tratamiento, lo que indica que el 1-MCP podría regular las cantidades de estas proteínas (enzimas) requeridas para llevar a cabo este proceso, por lo cual disminuye la pérdida de color verde en frutas durante el almacenamiento.

6.5.4 Evaluación de la Producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$.)

Figura 35

*Comportamiento de la producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) de lulo (*S. quitoense*) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante un periodo de almacenamiento 15 días.*



Nota. LC (Fruto sin 1-MCP y sin recubrimiento), LM (Fruto con 1-MCP), LR (Fruto con recubrimiento), LRM (Fruto con 1-MCP y recubrimiento). Fuente: Ésta investigación.

Durante la postcosecha la producción de etileno en frutas aumenta con el proceso de maduración, generando cambios en la calidad organoléptica como son el color, sabor, aroma y textura, volviendo más apetecible el producto, pero también ejerce un efecto en la senescencia de las frutas. Para la producción de etileno, se observó un comportamiento creciente con respecto a los días evaluados (Figura 35). Es así, como se evidencia que en los frutos control LC la producción de etileno tuvo un aumento considerable a partir del día 3 respecto a los otros tratamientos y se observó que la aplicación de los tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP tienden a reducir la producción de etileno, manteniéndose valores por debajo del control durante el periodo de almacenamiento.

Los datos obtenidos para la producción de etileno del tratamiento LC $14,47 \pm 2,36 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ son similares a los obtenidos por Andrade-Cuvi et al. (2018) en el rango de 1,6 a $11,8 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ medido durante 21 días, la variación en los resultados es debido a la temperatura de almacenamiento (4°C), especie y el estado de madurez entre 4 y 5.

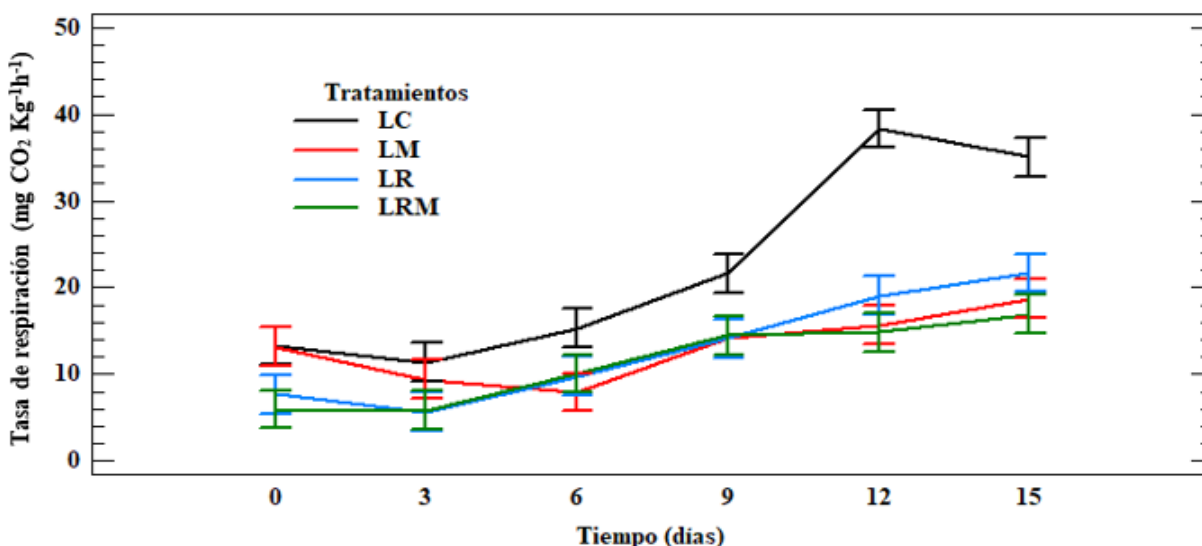
Aunque los tratamientos LM, LR y LRM no presentan diferencias estadísticamente significativas, se puede observar que el tratamiento LRM presentó la menor producción de etileno a partir del día 6, cuyos resultados se soportan con los estudios realizados por Xu et al. (2019), indicando que los tratamientos de lisozima o el tratamiento con 1-MCP inhibieron la producción de etileno, sin embargo el efecto del 1-MCP fue mejor que el recubrimiento, porque tiene un impacto directo e inmediato al unirse competitivamente al receptor de etileno, pero su efecto combinado es más significativo en la reducción de etileno evaluado en kiwi, asimismo los resultados obtenidos en ésta investigación son similares para la tasa de respiración obtenidos en esta investigación.

Por otra parte, se evidencia diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la producción de etileno al día final de evaluación (Tabla 15); los frutos con los tratamientos de conservación aplicados LRM, LM y LR presentan la media más baja en relación con el control, y una reducción de 64,27 %, 54,80 % y 46,51 % para la producción de etileno respectivamente, indicado así que la aplicación combinada del recubrimiento seleccionado 50/50 % pectina-gelatina y 1-MCP reduce la producción de etileno en los frutos y por ende favorece su conservación.

6.5.5 Evaluación de la Producción de CO_2 -Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

Figura 36

*Comportamiento de la Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de lulo (*S. quitoense*) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCp durante un periodo de almacenamiento 15 días.*



Nota. LC (Fruto sin 1-MCP y sin recubrimiento), LM (Fruto con 1-MCP), LR (Fruto con recubrimiento), LRM (Fruto con 1-MCP y recubrimiento). Fuente: Ésta investigación.

La tasa de respiración presentó tendencia creciente (Figura 36) durante los días de evaluación; se evidencia que LC presenta los valores más altos y LM, LRM y LR se mantiene

con valores inferiores; lo cual permite afirmar que la aplicación de los tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP disminuyen la producción de CO₂, beneficiando la conservación de los frutos.

El lulo es un fruto climatérico y de acuerdo con los datos obtenidos este alcanzó su punto máximo al día 12 con **38,34 ± 3,94 mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹** correspondiente al tratamiento control LC, similar a lo reportado en 2014 por Forero et al., quienes obtuvieron resultados para la intensidad respiratoria en el rango entre 5 y 40 mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para todos los tratamientos evaluados, cuyo sistema de conservación se centró en la aplicación de hoja de plátano como empaque para lulo almacenado a temperatura ambiente y refrigeración; con respecto a los demás tratamientos se pudo observar que durante el tiempo de evaluación no se presentó su punto climatérico, esto debido a la aplicación de tratamientos de conservación como los recubrimientos comestibles, que gracias a sus propiedades de barrera pueden disminuir la permeabilidad al O₂ y CO₂ en las frutas, y para el caso del 1-MCP se retardan los procesos biológicos relacionados con la maduración, de este modo se retrasa su punto climatérico.

De igual forma, Vargas-Torres et al. (2017) afirman que los bulbos de yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) mínimamente procesados, mediante la aplicación de tratamientos con cubierta comestible (xantano, alginato y gelán) y que previamente fueron sumergidos en 1-MCP mostraron una disminución en la tasa de respiración respecto al tratamiento control y al tratamiento de 1-MCP y recubrimiento por si solos, esto debido a que los recubrimientos aplicados a los bulbos de yaca, pueden reducir el intercambio de gases entre estos y el medio ambiente, probablemente causando una mayor retención de 1-MCP, baja disponibilidad de oxígeno para la respiración y la inhibición de las enzimas respiratorias. Así también, en frutos de kiwi se indica que la combinación de recubrimiento comestible de lisozima y 1-MCP fue más

significativo ($p < 0,05$) que estos tratamientos por separado, donde la tasa inhibitoria de la producción de etileno y frecuencia respiratoria fueron de 40 % y 29 % en comparación con kiwi no tratado respectivamente (Xu et al., 2019). De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de día 0 se evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, no obstante, los tratamientos LRM, LM y LR no presentan diferencias significativas entre si a partir del día 6 y disminuyeron la TR en 51,66 %, 46,66 % y 38,10 % respectivamente para el ultimo día en comparación con LC. De este modo el mejor tratamiento fue LRM, porque presentó la menor tasa de respiración **16,94 $\pm 0,97$ mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹** para el último día (Tabla 15).

6.5.6 Evaluación de propiedades fisicoquímicas: pH, SST, ATT e IM

Con respecto a las propiedades fisicoquímicas: pH, sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT) e índice de madurez (IM), se presentan los resultados obtenidos (Tabla 14) para todos los tratamientos durante los 15 días de evaluación con una medición cada 3 días.

Tabla 14

pH, sólidos solubles totales, acidez total titulable e índice de madurez determinados sobre lulo (S. quitoense) con la aplicación de tratamientos de conservación con recubrimiento y 1-MCP durante 15 días de evaluación.

Propiedad	Días	Tratamientos*			
		LC	LRM	LM	LR
pH	0	3,27±0,07 ^a	3,25±0,06 ^{ab}	3,11±0,08 ^c	3,14±0,03 ^{bc}
	3	3,15±0,04 ^{ab}	3,11±0,06 ^{ab}	3,18±0,06 ^a	3,07±0,01 ^b
	6	3,13±0,06 ^a	3,08±0,05 ^a	3,12±0,08 ^a	3,16±0,08 ^a
	9	3,12±0,03 ^a	3,17±0,05 ^{ab}	3,17±0,12 ^{ab}	3,27±0,06 ^b
	12	3,16±0,06 ^a	3,18±0,07 ^a	3,04±0,04 ^a	3,15±0,11 ^a
	15	3,26±0,02 ^a	3,10±0,03 ^b	3,08±0,06 ^b	3,24±0,03 ^a
SST (°Bx)	0	8,50±0,50 ^a	8,67±0,29 ^a	8,33±0,58 ^a	8,17±0,29 ^a
	3	8,33±0,29 ^a	8,00±0,50 ^a	8,50±0,50 ^a	8,17±0,29 ^a
	6	8,83±0,29 ^a	8,67±0,58 ^a	8,17±0,29 ^a	8,50±0,50 ^a
	9	8,50±0,50 ^a	8,33±0,59 ^a	8,33±0,58 ^a	8,50±0,50 ^a
	12	9,00±0,50 ^a	8,50±0,50 ^a	8,67±0,29 ^a	8,00±0,50 ^a
	15	9,17±0,29 ^a	8,83±0,58 ^a	8,67±0,29 ^a	8,50±0,50 ^a
AAT (% Ácido cítrico)	0	3,17±0,11 ^a	3,25±0,05 ^{ab}	3,52±0,26 ^c	3,41±0,20 ^{bc}
	3	3,37±0,16 ^a	3,54±0,27 ^a	3,27±0,57 ^a	3,44±0,18 ^a
	6	3,47±0,81 ^a	3,83±0,39 ^a	3,47±0,35 ^a	3,34±0,62 ^a
	9	3,56±1,21 ^a	3,44±0,21 ^{ab}	3,60±0,14 ^{ab}	3,24±0,36 ^c
	12	3,32±0,36 ^a	3,31±0,60 ^a	3,89±0,31 ^a	3,31±0,43 ^a
	15	2,91±0,01 ^a	3,55±0,04 ^b	3,56±0,47 ^b	2,95±0,43 ^{ab}
IM (SST/ATT)	0	2,68±0,11 ^a	2,67±0,11 ^a	2,38±0,34 ^a	2,41±0,22 ^a
	3	2,48±0,04 ^a	2,27±0,28 ^a	2,68±0,67 ^a	2,38±0,11 ^a
	6	2,62±0,52 ^a	2,28±0,37 ^a	2,38±0,34 ^a	2,62±0,65 ^a
	9	2,64±1,12 ^a	2,43±0,17 ^a	2,32±0,24 ^a	2,66±0,46 ^a
	12	2,68±0,33 ^a	2,65±0,69 ^a	2,24±0,23 ^a	2,44±0,39 ^a
	15	3,15±0,10 ^a	2,49±0,17 ^b	2,47±0,33 ^b	2,91±0,36 ^{ab}

Nota: * Valores en la misma fila seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

(p<0,05). Fuente: Ésta investigación.

Tanto el pH como ATT presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos durante los días de evaluación, por el contrario, los SST e IM no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Los datos obtenidos para estas propiedades son similares a los reportados por Andrade-Cuvi et al. (2018) con pH (3,2 a 3,6), ATT (1,8 a 4,2 %), SST de (5,5 a 8,3 °Bx) y ratio o IM (1,3 - 4,8); sin embargo, se presentan algunas variaciones debido a las condiciones de evaluación (refrigeración) mencionadas en el estudio.

En cuanto al comportamiento del pH durante el tiempo de evaluación, no presenta una tendencia clara que indique un crecimiento o decrecimiento de esta propiedad lo cual puede darse por una variación de las muestras. Con respecto a los resultados obtenidos los tratamientos LRM y LM mantuvieron valores de pH más bajos durante el tiempo de evaluación.

Generalmente el pH es un parámetro que varía durante el proceso de maduración en frutas climatéricas, aunque algunos estudios indican que en lulo no es relevante este proceso (Forero et al., 2014). Un valor más alto de pH indica una mayor rapidez de maduración de los frutos, esto debido a que causan un aumento en la liberación de iones de Ca^{+} de los polímeros de pectina, mientras que concentraciones más altas de iones de calcio libres disminuyen la dureza de la fruta reduciendo así su vida útil, los tratamientos combinados de recubrimiento comestible y 1-MCP generan un aumento lento en los valores de pH debido a que retrasan el proceso de maduración (Vargas-Torres et al., 2017).

Los SST al igual que el pH, no presentan claramente una tendencia, pero se puede afirmar que LC presentó una variación notoria en el aumento de SST durante los días de evaluación. Vargas-Torres et al. (2017) y Xu et al. (2019) afirman que la cantidad de SST en frutas tratadas con las combinación de recubrimiento y 1-MCP es menor que en las no tratadas o control; siendo así, los resultados obtenidos son similares, a pesar de no presentarse diferencias

significativas entre los tratamientos. El aumento de SST en frutas climatéricas es debido al proceso de maduración como resultado de la actividad enzimática de la sacarosa fosfato sintasa (SPA), que actúa en la hidrólisis del almidón y polisacáridos de las paredes celulares produciendo azúcares solubles (Almanza-Merchán et al., 2016).

Con respecto al comportamiento de la ATT esta tampoco presentó una tendencia clara; no se observó diferencias estadísticas entre los tratamientos para los días 3, 6 y 12, pero si en los demás días. El contenido de ácido cítrico tiende a disminuir con el almacenamiento, así se evidenció para los tratamientos LC y LR, aunque este último mantuvo el contenido de ácido cítrico no presentó diferencias estadísticamente significativas con el control; con respecto a los demás tratamientos estos conservaron el % de ácido cítrico del fruto respecto a LC presentado diferencias significativas para el último día, resultados similares a los obtenidos por Xu et al. (2019), quienes demostraron que la combinación de recubrimiento y 1-MCP logró mantener el contenido de ácido titulable con respecto al control y al tratamiento de recubrimiento por sí solo, presentándose diferencias significativas, consideraron además que el 1-MCP jugó un papel más importante frente al recubrimiento de lisozima en el contenido de ácido titulable. Los ácidos orgánicos disminuyen con la maduración y la senescencia, ya que se utilizan como sustratos para el metabolismo respiratorio, el 1-MCP tiene un papel en la regulación de la expresión de genes relacionados con el metabolismo de la maduración, mediante la reducción del contenido de ácidos orgánicos (Vargas-Torres et al., 2017).

Para el índice de madurez tampoco se observó una tendencia con respecto a su comportamiento ya que esta ligado a los SST y la ATT; se evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos únicamente para el día 15, aunque se podría inferir que para los tratamientos LC y LR el índice de madurez aumento con respecto al tiempo, debido a la

reducción de la acidez y el aumento de los sólidos durante la maduración del fruto de lulo (González-Loaiza et al., 2014). Forero et al. (2014) también presenta este mismo comportamiento en el IM en lulo y afirman que este parámetro no es adecuado para diferenciar el comportamiento entre tratamientos ya que con una misma relación pueden variar los componentes químicos necesarios para calcular este parámetro.

El pH, SST y ATT son parametros importantes para la estimación del sabor y calidad óptima de consumo, por tal razón el aplicar tratamientos que no alteren estas propiedades, garantiza una aceptabilidad por parte del consumidor.

A continuación se presenta el analisis comparativo (Tabla 15) entre todos los tratamientos sobre las variables de respuesta.

Tabla 15

Propiedades fisicoquímicas y fisiológicas evaluadas sobre lulo (S. quitoense) bajo diferentes tratamientos para el día 15 de evaluación.

Propiedad	Tratamientos*			
	LC	LRM	LM	LR
Pérdida de peso (%)	10,98 ± 0,54 ^c	8,55 ± 0,27^a	9,27 ± 0,7 ^{ab}	9,65 ± 0,85 ^b
Firmeza (N)	19,49 ± 2,45 ^a	29,99 ± 3,0^c	29,71 ± 1,74 ^c	22,75 ± 1,01 ^b
Índice de color	9,69 ± 0,46 ^b	8,42 ± 0,1^a	8,67 ± 0,34 ^a	8,60 ± 0,31 ^a
Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ .h ⁻¹)	14,47 ± 2,36 ^a	5,17 ± 0,61^b	6,54 ± 0,40 ^b	7,74 ± 1,28 ^b
Producción de CO ₂ - TR (mg CO ₂ Kg ⁻¹ .h ⁻¹)	35,04 ± 3,33 ^a	16,94 ± 0,97^b	18,69 ± 2,75 ^b	21,69 ± 3,16 ^b
pH	3,26 ± 0,02 ^a	3,10 ± 0,03 ^b	3,08 ± 0,06^b	3,24 ± 0,03 ^a
Sólidos solubles totales-SST (°Bx)	9,2 ± 0,29 ^a	8,8 ± 0,58 ^a	8,7 ± 0,29^a	8,5 ± 0,50 ^a
Acidez total titulable- ATT (% ácido cítrico)	2,91±0,01 ^a	3,55 ± 0,04 ^b	3,56 ± 0,47^b	2,95 ± 0,43 ^{ab}
Índice de madurez-IM (SST/ATT)	3,15±0,10 ^a	2,49±0,17 ^b	2,47±0,33^b	2,91±0,36 ^{ab}

Nota: * Valores en la misma fila seguidos por letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas

(p<0,05). Fuente: Ésta investigación.

Tras un análisis de resultados para el último día de evaluación se evidenció diferencias estadísticamente significativas (P-valor < 0,05) para la mayoría de las variables de respuesta del tratamiento control con respecto a los demás tratamientos; en cuanto a la pérdida de peso, a pesar de no presentarse diferencias entre LM, LR Y LRM estos se redujeron en un 15,57 %, 12,11 % y 22,13 % respectivamente, con el control; indicando así que la combinación de recubrimiento y 1-

MCP (LRM) favorece la disminución de la pérdida de peso en frutos tratados, debido a que el recubrimiento comestible actúa como barrera evitando la pérdida de agua por transpiración y el 1-MCP reduce la tasa de respiración y otros procesos metabólicos relacionados con la maduración de la fruta haciendo efectiva su combinación, lo cual se evidenció mediante la evaluación de la producción de etileno y la TR con las medias más bajas $5,17 \pm 0,61 \text{ mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ y $16,94 \pm 0,97 \text{ mg CO}_2 \text{ mg Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ respectivamente, resultados que concuerdan con lo reportado por Vargas-Torres et al (2017), la adición de 1-MCP en combinación con recubrimientos comestibles causa una sinergia, efecto que disminuye la tasa de respiración y también provoca una disminución en la pérdida de peso, parámetros que influyen en el ablandamiento de los frutos. La firmeza refleja cambios en la calidad sensorial de las frutas durante el almacenamiento, donde LRM, LM y LR disminuyeron la pérdida de firmeza respecto al control en un 35,01%, 34,40% y 14,33% respectivamente.

En cuanto al índice de color LRM se mantuvo con un valor más bajo respecto al control presentando diferencias significativas. En el estudio realizado por Molano-Díaz et al. (2022), afirman que el 1-MCP favorece la calidad del color en los frutos de lulo, manteniéndose estable a medida que transcurre el tiempo. A su vez se presentan cambios bioquímicos en la tasa respiratoria, producción de etileno, actividad de la poligalacturonasa, azúcares solubles y los ácidos orgánicos (Almanza-Merchán et al., 2016); en cuanto a las propiedades químicas pH, SST, ATT e IM, LRM y LM ayudan a conservarlas disminuyendo los procesos biológicos que intervienen en la madurez postcosecha.

Conclusiones

Algunos de los recubrimientos de pectina y HPMC elaborados favorecieron la conservación del peso, firmeza e índice de color; siendo las formulaciones de pectina más estables con respecto a HPMC, presentando una mejor sinergia con la proteína (gelatina), y manifestando un mejor efecto en la fruta como tratamiento postcosecha.

La adición de gelatina en la elaboración de recubrimientos de pectina con diferentes porcentajes de mezcla permitió obtener soluciones con buenas propiedades funcionales. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que el recubrimiento compuesto por la mezcla 50/50 % pectina y gelatina (RPG2) reduce la pérdida de peso (16,40 %) y firmeza (11,79 %) respecto al fruto sin recubrimiento, además mantuvo constante el índice de color durante el almacenamiento, siendo ésta formulación apropiada para conservar las propiedades y retardar el proceso de senescencia del fruto.

El tratamiento T5 (5,5 mg L⁻¹ con 30 minutos de inmersión) retardó la maduración del fruto e influyó en los procesos metabólicos, evidenciándose una disminución en la producción de etileno y tasa de respiración para el último día de evaluación con respecto a los otros tratamientos; además, preservó el color superficial y ralentizó el ablandamiento de los frutos tratados manteniendo los estándares de calidad e inocuidad. Sin embargo, su efecto fue antagónico para la pérdida de peso.

La combinación de 1-MCP y recubrimiento comestible (LRM) resultó ser efectiva, al retrasar el proceso de maduración durante el almacenamiento en comparación con el tratamiento control, indicando una inhibición de la producción de etileno y tasa de respiración, disminución de la pérdida de peso, ablandamiento y cambio del color, además, conservó los sólidos solubles, el contenido de ácido cítrico e índice de madurez.

La evaluación fisicoquímica y fisiológica demostró que la combinación 1-MCP y recubrimiento es capaz de mantener la calidad postcosecha y se podría estimar un incremento de vida útil entre 1 a 3 días bajo condiciones ambientales de almacenamiento. Convirtiéndose en una alternativa adecuada para prolongar la vida útil y mejorar la calidad comercial de los lulos contribuyendo en la disminución de las pérdidas postcosecha.

Recomendaciones

Se recomienda prolongar el tiempo de almacenamiento y evaluación para identificar el comportamiento postcosecha de lulo bajo los tratamientos evaluados, además incluir otras condiciones de almacenamiento como temperatura de refrigeración.

Realizar el estudio de las propiedades de barrera a gases y vapor de agua de los recubrimientos comestibles evaluados.

Evaluar otros tiempos de inmersión y concentración de 1-MCP sobre las propiedades fisicoquímicas, fisiológicas y compuestos bioactivos en lulo.

Realizar un estudio de vida útil y calidad sensorial en lulo, con los tratamientos aplicados en esta investigación.

Referencias

- Abdollahi, M., Rezaei, M. y Farzi, G. (2012). A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 343-350. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.02.01
- Abeles, F., Morgan, P. y Saltveit, M. (1992). *Ethylene in plant biology*. Academic Press: New York. 414 pp. ISBN: 9780080916286
- Acosta, O., Pérez, A. y Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 59(1), 88-94.
- Acosta, S., Jiménez, A., Cháfer, M., González, C. y Chiralt, A. (2015). Physical properties and stability of starch-gelatin based films as affected by the addition of esters of fatty acids. *Food Hydrocolloids*, 49, 135–143. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.03.015.
- Agehara, S., Crosby, K., Holcroft, D. y Leskovar, D. (2018). Optimizing 1-methylcyclopropene concentration and immersion time to extend shelf life of muskmelon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) fruit. *Scientia Horticulturae*, 230, 117-125. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.09.021
- Agronet (2021). *Área cosechada, producción y rendimiento de lulo año 2017*. https://www.agronet.gov.co/Documents/22-LULO_2017.pdf
- Aguilar, M. (2005). *Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate*. [Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional]. Mexico, DF.

Aguilar, M., San Martín, E., Espinoza, N., Sánchez, M., Cruz, A. y Ramírez, M. (2012).

Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales A.C.* 25 (1), 1-7.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94224536001>

Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. Segunda edición. MundiPrensa. Madrid. 507 pp.

Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, A., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M.. y Hassani

Zerrouk, M. (2018). Gelatin-Based Edible Coating Combined with *Mentha pulegium* Essential Oil as Bioactive Packaging for Strawberries. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–7. DOI: 10.1155/2018/8408915

Al-Hassan, A. y Norziah, M. (2012). Películas comestibles de almidón y gelatina: Permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas afectadas por plastificantes. *Hidrocoloides alimentarios* 26(1), 108-117. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.04.015

Almanza-Merchán, P.J., Velandia, J.D. y Tovar, Y.P. (2016). Propiedades fisicoquímicas durante el crecimiento y desarrollo en dos variedades de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias hortícolas*, 10(2), 222-231. DOI: 10.17584/rcch.2016v10i2.5065

Alvarado, D., Márquez, L., Pretell, C. y Minchon, C. (2011). Influencia del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de granadilla. *UCV - Scientia*, 101-109.

Álvarez, D. E., Casanova, L. D., Córdoba, K. E. y Osorio, O. (2016). Evaluation of post-harvest and quality physicochemical genotypes from lulo (*Solanum quitoense* Lam.) tolerant *Meloidogyne* sp. *Vitae*, 23, 785–789.

Álvarez, R. (2012). *Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabolómica y evaluación de la calidad postcosecha*. [Tesis Doctoral, Universidad de Antioquia]. Medellín, Colombia.

Alves, V. D., Mali, S., Beléia, A. y Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 941–946. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.00

Andrade, J., Acosta, D., Bucheli, M. y Osorio, O. (2014). Desarrollo de un Recubrimiento Comestible Compuesto para la Conservación del Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Información Tecnológica* 25 (6), 57-66. DOI: 10.4067/S0718-07642014000600008.

Andrade, M., Moreno, C., Guijarro, M. y Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres Estados de Madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 215-221.

Andrade-Cuvi, M.J., Moreno-Guerrero, C., Bravo-Vásquez, J., Guijarro-Fuertes, M., Monar-Bósquez, V., Cevallos-Navarrete, C. y Concellón, A. (2016). Efecto del estado de madurez sobre la calidad de tres variedades de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 217-230.
<https://www.redalyc.org/journal/813/81349041008/html/>

- Andrade-Cuvi, M.J. (2018). *Calidad poscosecha de naranjilla (Solanum quitoense Lam) y alternativas tecnológicas para retrasar el deterioro. Elaboración de un producto panificado enriquecido con naranjilla*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/71305>
- Andrade-Cuvi, M.J., Guijarro-Fuertes, M., Jara-Gómez, S., Narváez-López, P., Moreno-Guerrero, C. y Concellón, 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), 167-182.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81357541004>
- Angós, I. y Guevara, J. (2017). *Mejora de la conservación postcosecha de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.) mediante atmósferas modificadas*. [Tesis de pregrado, Universidad técnica de Ambato]. Ecuador.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26604>
- Angulo, R. (2008). *El cultivo de lulo*. Colciencias, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
- Arango, H., Vélez, C. y Vaillant, F. (1998). Estudio sobre el comportamiento postcosecha del lulo (*Solanum quitoense* Lam.). [Ponencia]. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA*. Colombia.
- Arellanes, A., Jaraba, M., Mármol, Z., Páez, G., Aiello Mazzarri, C. y Rincón, M. (2011). Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (*Musa AAB*). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 28, 523-539.
- Badui, D. (2006). *Química de los Alimentos*. Universidad Iberoamericana, Ciudad de México.

Balaguera- López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., Garcia, J. C. y Herrera-Arévalo, A. (2014).

Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista colombiana en ciencias hortícolas*, 8(2), 302-313.

Balaguera-López, H. E., Martínez-Cárdenas, C. A. y Herrera Arévalo, A. (2016).

Comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.): Efecto de diferentes dosis y tiempos de exposición al 1-metilciclopropeno. *Bioagro*, 28(1), 21-28.

Baldwin, E. (2003). Recubrimientos y Otros Tratamientos Complementarios para Mantener la

Calidad Vegetal. *Fisiología y Patología Poscosecha de Hortalizas*. DOI:

10.1201/9780203910092.ch17

Barrazueta, S.G., Falconí, J.F., Navarro, M.N., Oleas, J.M. y Mendoza, G. (2018).

Physicochemical properties and application of edible coatings in strawberry *Fragaria x Ananassa*) preservation. *Revista Facultad nacional de agronomía Medellín*, 71(3), 8631-8641. DOI: 10.15446/rfnam.v71n3.73548

Bartz, J.A. y Brecht, J.K. (2003). *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. Florida, Estados Unidos.

Bello-Lara, J.E., Balois-Morales, R., Juárez-López, P, Alia-Tejacal, I., Peña-Valdivia, C.B.,

Jiménez-Zurita, J.O., Sumaya-Martínez, M.T. y Jiménez-Ruíz, E.I. (2016). Coatings based on starch and pectin from ‘Pear’ banana (*Musa ABB*), and chitosan applied to postharvest ‘Ataulfo’ mango fruit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 209-218. DOI: 10.5154/r.rchsh.2015.09.037

- Bósquez, M.E., Guerrero, L.I., y Verdun, E.J. (2003). Moisture barrier properties and morphology of mezquite gum-candelilla wax based coating. *Food Research International*, 36, 885–893.
- Bourtoom, T. (2009). Edible protein films: Properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16, 1-9.
- Bradford K.J. (2008). Shang Fa Yang: Pioneer in plant ethylene biochemistry. *Plant Science*, 175(1-2), 2-7. DOI: 10.1016/j.plantsci.2008.01.005.
- Calvo, G. y Sozzi, G.O. (2009). Effectiveness of 1-MCP treatments on ‘Bartlett’ pears as influenced by the cooling method and the bin material. *Postharvest Biology and Technology* 51 (1), 49-55. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2008.06.011
- Campos, C.A., Gerschenson, L.N. y Flores, S.K. (2010). Development of Edible Films and Coatings with Antimicrobial Activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849–875. DOI:10.1007/s11947-010-0434-1
- Capitani, G., Hohenester, E., Feng, L., Storici, P., Kirsch, J. y Jansonius, J. (1999). Structure of 1-aminocyclopropane1-carboxylate synthase, a key enzyme in the biosynthesis of the plant hormone ethylene. *Journal of Molecular Biology*, 294(3), 745-756.
- Casierra-Posada, F., García, E. y Lüdders, P. (2004). Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 32-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823005>
- Castro, B., Jerz, G., Winterhalter, P. y Restrepo, R. (2007, del 19 al 21 de septiembre). Degradación de la clorofila en la corteza del baby banano (*Musa acuminata*) durante

diferentes estados de maduración.[Conferencia]. *VIII Congreso Nacional del Color*. Madrid.

Castro, H. y González, B. (2010). Recubrimiento comestible en la conservación de uchuva (*Physalis peruviana* L. var. Colombia). *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 91(19), 16–34.

Cerón, I., Juan C. Higueta, J. y Cardona, C. (2010). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. Revisión. *Vector* 5 (2010), 17-26.

Cerqueira, T., Jacomino, A., Sasaki, F. y Amorim, L. (2009). Controle do amadurecimento de goiabas 'kumagai' tratados con 1-metilciclopropeno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(3), 687-692. DOI: 10.1590/s0100-29452009000300010

Chan, S.Y. y Choo, W.S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, 141(4), 3752–3758. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.09

Chasquibol, N. y Morales, J.C. (2010). Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. *Ingeniería Industrial*, 1(28),157-176.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428494010>

Cheng, S., Yu, Y., Gou, J., Chen, G. y Guo, M. (2020). Effect of 1-methylcyclopropene and chitosan treatment on the storage quality of jujube fruit and its related enzyme activities. *Scientia Horticulturae*, 265, 109281. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109281

- Chiabrando, V. y Giacalone, G. (2011). Shelf-life extension of highbush blueberry using 1-methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere. *Food Chemistry*, 126, 1812-1816. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.032.
- Chiriboga, M., Schotsmans, W., Larrigaudière, C. y Recasens, I. (2014). Últimos avances en la aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras. *ITEA*, 110(1), 34-48.
- Choi, S. y Huber, D. (2008). Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 147-154. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2008.01.003
- CONPES. (2014). Consejo Nacional de Política económica y Social-3811. Bogotá.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) (2002). *El Cultivo del Lulo*. Manual Técnico (1ª ed.). Manizales, Colombia. 83-91.
- Cuaspué-Cuaical, S., Moreno-Guerrero, C., Andrade-Cuvi, M., Alcívar-León, C. y Guerrero, M. J. (2019). Efecto de la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la calidad poscosecha de uvilla orgánica (*Physalis peruviana*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1), 65-79.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81359562007>
- Cuatin, L. y López, D. (2015). *Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de suero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica y organoléptica de uchuva (Physalis peruviana L.)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Pasto, Nariño.
- DANE . (2013). El cultivo del lulo (*Solanum quitoense*), una fruta agradable.

- Defilippi, B. G.; Dandekar, A. M. y Kader, A. A. (2005). Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and flesh tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 3133–3141. DOI: 10.1021/jf047892x
- Del Ángel, F. (2019). *Películas para recubrimiento de alimentos base pectina, alginato y quitosano*. [Tesis de maestría, Instituto tecnológico de Ciudad Madero-División de estudios de posgrado e investigación]. Tamaulipas.
<http://200.188.131.162:8080/jspui/handle/123456789/395>
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids* 23(6), 1473-1482. DOI: 10.1016 / j.foodhyd.2008.08.005
- EPA. (2002). *1-Methylcyclopropene*. (PC Code 224459). Office of Pesticide Programs Biopesticides and Pollution Prevention Division. Estados Unidos.
- Escribano, S., Sugimoto, N., Macnish, A., Biasi, W. y Mitcham, J. (2017). Efficacy of liquid 1-methylcyclopropene to delay ripening of ‘Bartlett’ pears. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 57-66. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.11.007
- Eum, H., Hwang, D., Linke, M. y Lee, S. (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. ‘Sapphire’). *European Food Research and Technology*, 427-434.
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. y Pérez, M. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 1-8.

- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A.R. y Pérez, M. (2015). Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 193, 249–257. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.07.027
- Falconí, J.F. (2016). *Empleo de recubrimientos comestibles en la conservación de Fragaria xananassa (Fresa)*. [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Ecuador.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6109>
- Fernández, M., Echeverría, D., Mosquera, A. y Paz, S. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 134. DOI: 10.18684/bsaa(15)134-141
- Fernández-Trujillo, J.P., Obando-Ulloa, J.M., Martínez, J.A., Moreno, E., García-Mas, J. y Monforte, A.J. (2008). Climateric or non-climateric behavior in melon fruit 2. Linking climateric pattern and main postharvest disorders and decay in a set of near-isogenic lines. *Postharvest Biology and Technology* 50, 125–134. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2008.04.007
- Ferreira, A. (2007). *Pectinas: Aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá, Colombia.
- Fischer, G.; Balaguera-López, H. E. y Magnitskiy, S. (2021). Revisión de la ecofisiología de frutos andinos importantes: Solanaceae. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), 1-12. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1701>

- Food and Agricultural Organization [FAO]. (2010). *1-Methylcyclopropene*. FAO specifications and evaluations for agricultural pesticides.
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J. y Meneses, M. (2014). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios* 19 (1), 73-85.
- Formiga, A. S., Pinsetta, J. S., Pereira, E. M., Cordeiro, I. N. y Mattiuz, B. H. (2019). Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato’. *Food Chemistry*, 290, 144–151.
- Franco, G., Bernal, J., Giraldo, M., Tamayo, P.J., Castaño, O., Tamayo, A., Gallego, J.L., Botero, M., Rodríguez, J.E., Guevara, N.J., Morales, J.E., Londoño, M., Ríos, G., Rodríguez, J.L., Cardona, J.H., Zuleta, J., Castaño, J. y Ramírez, M.C. (2002). *El cultivo del lulo. Manual técnico*. CORPOICA, Regionales cuatro y nueve Fondo Nacional Hortifrutícola - Asohofructol. Manizales. Colombia.
- Gallo, Y.; Toro, L. F.; Jaramillo, H.; Gutiérrez, P. A. y Marín, M. (2018). Identification and molecular characterization of the complete genome of three viruses infecting lulo (*Solanum quitoense*) crops in Antioquia (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 281–292. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7692>
- García, J.C. (2015). *Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en el comportamiento poscosecha de banano bocadillo (Musa acuminata* AA, Simmonds). [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Colombia.

- García, M. y García, H. (2001). *Manejo Cosecha y Postcosecha de Mora, Lulo y Tomate de Árbol*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Bogotá-Colombia:
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/12834>
- García, M., Delgado, F., Escamilla, M., García, B. y Regalado, C. (2018). Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. *BioTecnología*, 22(1), 37–54.
- García-Taín, Y., García-Pereira, A., Hernández-Gomez, A. y Pérez-Padrón, J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad *Cayena Lisa* a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20 (4). DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.14
- Garnica, K., Patarroyo, K., Ramírez, D., Pérez, H. y Perez, C. (2016). Efecto del uso de almidón de yuca en diferentes concentraciones como recubrimiento para almacenamiento de lulo (*Solanum quitoense*). [Ponencia]. *XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola*. Bogota, Colombia. 570-575.
www.researchgate.net/publication/326169669
- Gómez, C.A., Herrera, A.O. y Flórez, V.J. (2015). Efecto de 1-metilciclopropeno y temperatura de almacenamiento en la poscosecha de mandarina (*Citrus reticulata* L.) var. Arrayana. *Revista de la facultad de ciencias agrarias*, 47(2), 27-41.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382842590003>
- Gómez-Merino, F., Trejo-Téllez, L., García-Albarado, J. y Cadeña-Íñiguez, J. (2014). Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico

- mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(9), 1741-1753.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263137781017>
- González, R., Cervantes, Y. y Caraballo, L. (2016). Conservación de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en postcosecha mediante un recubrimiento comestible binario. *Temas Agrarios*, 21(1), 54-64. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.891>
- González-Loaiza, D.I., Ordóñez-Santos, L.E., Vanegas-Mahecha, P. y Vásquez-Amariles, H.D. (2014). Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. *Acta agronómica*, 63(1), 11-17.
doi.org/10.15446/acag.v63n1.31717
- Guillén, F. (2009). 1-MCP como estrategia de conservación. *Horticultura internacional* 69, 18-24.
- Guillén, F., Bailén, G., Castillo, S., Valero, D., Martínez, D., Valverde, J. y Serrano, M. (2006). 1-MCP y conservación de la postrecolección de frutos. *Tecnología de poscosecha*. 44-49.
- Hagenmaier, R. y Shaw, P. (1992). Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(1), 105-109.
- Hassanien, M. y Fawzy, R. (2008). *Goldenberry: Golden Fruit of Golden Future*. VDM Publishing.
- Hernández-Palma, M. (2017). *Evaluación del efecto de 1-metilciclopropeno (1-MCP) bajo diferentes concentraciones, en el comportamiento post cosecha de kiwis variedad Jintao*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Chile.
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/153105>

- Hiwasa-Tanase, K. y Ezura, H. (2014). Climacteric and Non-climacteric Ripening. *Fruit Ripening Physiology, Signalling and Genomics*. 1-14.
- Huber, D. J., Hurr, B. M., Lee, J. S. y Lee, J. H. (2010). 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: evidence from enzymatic 1-MCP metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 56(2), 123-130. DOI: 10.1016 / j.postharvbio.2010.01.006
- Huber, D.J. (2008). Suppression of Ethylene Responses Through Application of 1-Methylcyclopropene: A Powerful Tool for Elucidating Ripening and Senescence Mechanisms in Climacteric and Nonclimacteric Fruits and Vegetables. *HortScience* 43(1), 106–111. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.106>
- In, B.C., Strable, J., Binder, B.M., Falbel, T.G. y Patterson, S.E. (2013). Morphological and molecular characterization of ethylene binding inhibition in carnations. *Postharvest Biology and Technology* 86, 272–279. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.07.007
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2002). NTC 5093, *Frutas frescas. Lulo de castilla. Especificaciones*. Bogotá, Colombia.
- Jara, S.Y. (2018). *Aplicación de atmósfera de ozono como tratamiento postcosecha en naranjilla (Solanum quitoense)*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial UTE]. Ecuador.
- Jiang, W., Sheng, Q., Jiang, Y. y Zhou, X. (2004). Effects of 1-methylcyclopropene and gibberellic acid on ripening of chinese jujube (*Zizyphus jujuba* M) in relation to quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(1), 31-35. DOI: 10.1002/jsfa.1594

- Kader, A. A. (1986). Biochemical and Physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology* 40(5), 102-104.
- Kathiresan, S. y Lasekan, O. (2019) Effects of glycerol and stearic acid on the performance of chickpea starch-based coatings applied to fresh-cut papaya. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), 365-374, DOI: 10.1080/19476337.2019.1585959
- Katiusca, J., Cerquera, N. y 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 imagenes. *Revista EIA, Escuela de Ingenieria de Antioquia*, 10(19), 79–89.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372013000100007&lng=en&tlng=es.
- Kesari, R., Trivedi, P. y Nath, P. (2007). Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharvest Biology and Technology* 46(2), 136-143. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.04.010
- Legiscomex. (2013). Inteligencia de mercados-Exportación de frutas exóticas colombianas.
<http://www.legiscomex.com/BancoMedios/>.
- León, A. P., Camacho, I. L., Zazueta, J. J., Calderón, A., Fitch, P. R., Jacobo, N., . Sanchez, M. y Aguilar, E. (2018). Desarrollo y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir de almidón acetilado por extrusión y gelatina. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 714-720.

- Licodiedoff, S., Koslowski, L., Scartazzini, L., Monteiro, A., Ninow, J. y Borges, C. (2015). Conservation of physalis by edible coating of gelatin and calcium chloride. *International Food Research Journal* 23(4), 1629-1634 .
- Lin, D. y Zhao, Y. (2007). Innovaciones en el Desarrollo y Aplicación de Recubrimientos Comestibles para Frutas y Verduras Frescas y Mínimamente Procesadas. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60–75. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2007.00018.x
- López, D. F., Osorio, O. y Checa, O. E. (2019). Propiedades Mecánicas de un material de pectina para revestimiento de fibras naturales utilizadas en aplicaciones agrícolas. *Información Tecnológica*, 30(3), 189–198. DOI: 10.4067/s0718-07642019000300189
- López, M., Ruiz, S., Navarro, C., Ornelas, J., Estrada, M., Gassos, L. y Rodrigo, J. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de calidad de fresas. *Revisat de Ciències Biològiques y de salut*, 32-43.
- López-Palestina, C., Aguirre-Mancilla, C., Raya-Pérez, J., Ramírez-Pimentel, J., Gutiérrez-Tlahque, J. y Hernández-Fuentes, A. (2018). The Effect of an Edible Coating with Tomato Oily Extract on the Physicochemical and Antioxidant Properties of Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) Fruits. *Agronomy*, 8(11), 248. DOI: 10.3390/agronomy8110248
- Lozano, M., Valle, S., Aguirre, E., Lobato, C. y Huelitl, F. (2016). Películas basadas en emulsiones de pectina de frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) y cera de candelilla: caracterización y aplicación en *Pleurotus ostreatus*. *Agrociencia*, 50(7), 849-866.

- Lurie, S. y Paliyath, G. (2008). Enhancing postharvest shelf life and quality in horticultural commodities using 1-mcp technology. *Postharvest Biology and Technology of fruits, vegetables, and flowers*. 139-162.
- Lv, J., Zhang, M., Bai, L., Han, X., Ge, Y., Wang, W. y Li, J. (2020). Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on the expression of genes involved in the chlorophyll degradation pathway of apple fruit during storage. *Food Chemistry*, 308, 125707. DOI: doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125707
- Ma, G., Wang, R., Wang, C.-R., Kato, M., Yamawaki, K., Qin, F. y Xu, H.L. (2008). Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. *Plant Growth Regulation*, 57(3), 223–232. DOI: 10.1007/s10725-008-9339-7
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S. y Marcotte, M. (2008). Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 951–957. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01444.x
- Magaña, W., Sauri, E., Corrales, J. y Saucedo, C. (2013). Variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(1), 21-30.
- MARO. (2020). *Mapa regional de Oportunidades*. Consulta General. <https://www.maro.com.co/consulta-general/bienes/1>
- Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P., Castillo, S. y Valero, D. (2007). Tools to Maintain Postharvest Fruit and Vegetable Quality

- through the Inhibition of Ethylene Action: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(6), 543–560. DOI:10.1080/10408390600846390
- Mejía, C., Gaviria, D., Duque, A., Rengifo, L. y Aguilar, E. A. (2012). Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety in six ripening stages. *Vitae* 19(2), 157-165.
- Ministerio de Agricultura. (2018). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*.
<https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge>
- Miramont, S. (2012). *Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: carvacrol y sorbatos*. [Tesis de maestría, UTN-BA Escuela de Posgrado]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Molano-Díaz, J.M., Reyes-Medina, A.J. y Álvarez-Herrera, J.G. (2022). El 1-Metilciclopropeno y la temperatura de almacenamiento en la poscosecha de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2).
- Monteiro-Matarazzo, P., De Siqueira, D., Chamhum-Salomao, L., Pereira-Da Silva, D. y Cecon, P. (2013). Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) em Viçosa-MG. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(1), 131-142.
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100016>
- Morales, MA. (2011). *Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola*. [Monografía, Universidad autónoma Agraria Antonio Narro], México. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/474>

- Morante-Carriel, J., Agnieszka-Obrebska, A., Nieto-Rodríguez, J.E., Carranza-Patiño, M.S., Pico-Saltos, R. y Bru-Martínez, R. (2014). Distribución, localización e inhibidores del polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia Y Tecnología*, 7(1), 23–31. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i1.135>
- Moreno, M.B. (2013). *Desarrollo de nanoemulsiones de aceites Esenciales cítricos estabilizadas con gomas de origen natural*. [Tesis de maestría, Centro de investigación en materiales avanzados]. México.
- Morillo, A.C., Rodríguez, A. y Morillo, Y. (2019). Caracterización morfológica de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 291–298. DOI: 10.15446/abc.v24n2.75832
- Muñiz, D.B., Wong, J.E., Aguilar, P. y Rojas, R. (2017). Aplicación de recubrimientos comestibles a base de pectina, glicerol y cera de candelilla en frutos cultivados en la Huasteca Potosina. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(10), 20–28.
- Muñoz, C. (2016). *Diseño de un producto bifuncional a base de lulo (Solanum quitoense Lam.) con aplicación en alimentos*. [Tesis de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá, Colombia. 96 p.
- Muñoz, J.A. (2011). *Análisis de la competitividad del sistema de producción de lulo (Solanum quitoense Lam.) en tres Municipios de Nariño*. [Tesis de magister, Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá, Colombia.
- Muñoz-Ordóñez, F. (2011). *Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (Solanum sessiliflorum), en diferentes grados de*

- madurez; a nivel de planta piloto.* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7607>
- Murmu, S.B. y Mishra, H.N. (2017). Engineering evaluation of thickness and type of packaging materials based on the modified atmosphere packaging requirements of guava (Cv. Baruipur). *LWT - Food Science and Technology*, 78, 273–280. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.12.043
- Nanthachai, N., Ratanachinakorn, B., Kositrakun, M. y Beaudry, R. M. (2007). Absorption of 1-MCP by fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3), 291–297. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2006.10
- Navarro-Tarazaga, M. (2007). *Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas.* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia , departamento de Tecnología de alimentos]. España. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/1923>
- Osorio-Mora, O., López-Enríquez, D.F., Cuatin-Ruano, L.Y. y Andrade, J.C. (2016). Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de lactosuero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Agronómica*, 65(4), 326–333. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50191>
- Ospina, D.M., Ciro, H.J. y Aristizábal, I.D. (2007). Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4163-4178.
- Osuna-García, J.A., Nolasco-González, Y., Pérez-Barraza, M.H., Gómez-Jaimes, R. y Urías-López, M.A. (2017). 1-Metilciclopropeno (1-mcp) acuoso para retrasar maduración en

- frutos de mango keitt con tratamiento hidrotérmico cuarentenario. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 40(2), 199-209.
- Parra, A. (1989). Comercialización de frutas y hortalizas. *Ingeniería e Investigación* 19, 14-19. , ISSN 0120-5609, ISSN-e 2248-8723
- Pastor-Navarro, C. (2010). *Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de València].
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/8534>
- Pattyn, J., Vaughan-Hirsch, J. y Van de Poel, B. (2021). The regulation of ethylene biosynthesis: a complex multilevel controlcircuitry. *New Phytologist* 229(2), 770–782 DOI: 10.1111/nph.16873.
- Perdones, A., Sánchez, L., Chiralt, A. y Vargas, M. (2012). Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 32-41. DOI: 10.1016 / j.postharvbio.2012.04.002
- Pérez, N.L. (2020). *Diseño de una propuesta estratégica para la internacionalización de lulo del municipio de Labranzagrande (Boyacá) a la Unión Europea*. [Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás]. Colombia. <http://hdl.handle.net/11634/29970>
- Pinotti, A., García, M.A., Martino, M.N. y Zaritzky, N.E. (2007). Study on microstructure and physical properties of composite films based on chitosan and methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 21(1), 66–72. doi:10.1016/j.foodhyd.2006.02.001

- Qiuping, Z. y Wenshui, X. (2007). Effect of 1-methylcyclopropene and/or chitosan coating treatments on storage life and quality maintenance of Indian jujube fruit. *LWT - Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 40(3), 404–411. DOI:10.1016/j.lwt.2006.01.003
- Quintero, C., Falguera, V. y Muñoz, H. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 5, 93-118.
- Ramírez, F. (2020). Notas sobre el lulo (*Solanum quitoense* Lam.): una importante planta sudamericana subutilizada. *Genet Resour Crop Evol* 68, 93–100. DOI: :10.1007/s10722-020-01059-3
- Ramírez, F. y Davenport, T.L. (2019). The Development of Lulo Plants (*Solanum quitoense* Lam. var. septentrionale) Characterized by BBCH and Landmark Phenological Scales. *International Journal of Fruit Science*, 1-24. DOI: 10.1080/15538362.2019.1613470
- Ramírez, F., Kallarackal, J. y Davenport, T. (2018) Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae* 238, 163–176
- Ratemo, B., Weiren, W., Xiaofang, X. y Gandeka, M. (2015). Ripening Genetics of the Tomato Fruit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 8(4), 567. 572.
- Restrepo, A., Tabares, A., Betancourt, M. y González, C. (2017). *El cultivo de lulo "La Selva" en el departamento de Risaralda. Santa Rosa de Cabal, Colombia.*
- Revelo, J., Vásquez, W., Valverde, F., León, J. y Gallegos, P. (2010). *Cultivo ecológico de la naranjilla. Manual Técnico N°. 77. INIAP. Quito – Ecuador. 120 pp.*
- Rivero, ML., y Quiroga, MI. (2010). ¿Es el 1-MCP (1-metilciclopropeno) una alternativa al uso del dióxido de azufre en conservación de uva de mesa? *Revista Iberoamericana de*

Tecnología Postcosecha, 11 (1),8-17.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093003>

Rodríguez-Hernández, M., Sánchez-González, L., González-Martínez, C., Cháfer, M. y Vargas, M. (2011). *Caracterización de recubrimientos comestibles a base de hpmc con aceite esencial de bergamota*. [Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia]. España.

Salcedo, A.M. (2014). *Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (Solanum lycopersicum L.)*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias]. Bogotá, Colombia.

Sánchez, D., Contreras, J., Nevárez, G. y Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CYTA - Journal of Food*, 13(1), 17–25. DOI: i:10.1080/19476337.2014.904929

Schaller, G. y Kieber, J. (2002). *Ethylene*. In The Arabidopsis Book In Somerville CR and Meyerowitz EM .eds. The Arabidopsis Book. American Society of Plant Biologists, Rockville, MD, pp. 17. <https://doi.org/10.1199/tab.0071>.

Secretaría de Agricultura b, G. d. (2016). *Consolidado Agropecuario 2016*. San Juan de Pasto

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). *Plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de Nariño PDEA-Nariño. Documento técnico de formulación*. San Juan de Pasto

- Seymour, G.B., Poole, M., Giovannoni, J.J. y Tucker, G.A. (2013). *The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening*. India.
- Sharma, H., Shami, V., Samsher, C., Vipul, S. y Er., K. (2019). Importance of edible coating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8(3): 4104-4110.
- Sheron-Rodríguez, F. (2017). *Efecto de los recubrimientos a base de quitosano en la calidad del melón (Cucumis melo L.) mínimamente procesado*. [Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga].
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3401>
- Silva, W.; Gómez, P.; W.; Sotomayor, A.; Viteri, P. y Ron, L. (2016). Selección de líneas promisorias de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) para calidad de fruta. *Ecuador es calidad - Revista Científica Ecuatoriana*, 3(1), 1-8.
<https://doi.org/10.36331/revista.v3i1.21>
- Solano, L.G., Alamilla, L. y Jiménez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados artículo de revisión. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2): 30-42. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153
- Solis, S. (2016). *Elaboracion y caracterizacion de peliculas comestibles elaboradas con Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Mexico. Facultad de Quimica]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/65172>
- Sozzi, G. y Beaudry, R. (2007). Current perspectives on the use of 1-methylcyclopropene in tree fruit crops: an international survey. *Stewart Postharvest Review* 3(2), 1-16.

- Sriamornsak, P., Wattanakorn, N., Nunthanid, J. y Puttipipatkachorn, S.(2008). Mucoadhesion of pectin as evidence by wettability and chain interpenetration. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 458–467. DOI: 10.1016/j.carbpol.2008.03.022
- Sun, B., Yan, H., Liu, N., Wei, J. y Wang, Q. (2012). Effect of 1-MCP treatment on postharvest quality characters, antioxidants and glucosinolates of Chinese kale. *Food Chemistry*, 131(2), 519–526. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.016
- Tapia, M. (2020). Contribución al concepto de actividad del agua (aw) y su aplicación en la ciencia y tecnología de alimentos en Latinoamérica y Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales* 2, 18-40.
- Torres, R., Andrade, R., Tirado, D. y Acevedo, D. (2015). Influencia del grado de madurez en la firmeza del plátano hartón (Musa AAB Simmonds). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 18 (2): 563 – 567. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.187>
- Torres-Pintado, P. (2020). *Evaluación del comportamiento poscosecha de dos híbridos de naranjilla (Solanum quitoense L.) conservados a diferentes condiciones de almacenamiento*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Ecuador.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21570>
- Trujillo, Y. y Suarez, J. (2010). Evaluación del proceso de maduración del lulo (*Solanum quitoense* Lam) variedad Castilla. *Revista @limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria* 8(1): 58-66.
http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/471
- Valencia-Chamorro, S.A., Pérez-Gago, M.B., Del Río, M.A. y Palou, L. (2009). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on

- postharvest decay development and quality attributes of cold-stored 'Valencia' oranges. *Postharvest Biology and Technology* 54 (2), 72–79.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.06.001>
- Valencia-Chamorro, S.A., Pérez-Gago, M.B., Del Río, M.A. y Palou, L. (2010). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose (HPMC)-lipid edible composite coatings on postharvest decay development and postharvest quality of cold-stored 'Ortanique' mandarins. *Journal of Food Science* 75(8), S418–S426.
- Valero, D. y Serrano, M. (2010). *Biología poscosecha y tecnología para preservar la calidad de la fruta (1ª ed.)*. Prensa CRC. <https://doi.org/10.1201/9781439802670>
- Vargas-Torres, A., Becerra-Loza, A., Sayago-Ayerdi, S., Palma-Rodríguez, H., García-Magaña, M. y Montalvo-González, E. (2017). Combined effect of the application of 1-MCP and different edible coatings on the fruit quality of jackfruit bulbs (*Artocarpus heterophyllus* Lam) during cold storage. *Scientia Horticulturae* 214, 221–227. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.11.045
- Vázquez, M. y Guerrero, J. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* 7(2), 5-14.
- Velásquez, X.A. (2017). *Desarrollo de la microflora nativa en uvilla (Physalis peruviana), mora (Rubus glaucus) y naranjilla (Solanum quitoense) tratados con 1-metilciclopropeno (1-mcp)*. [Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador]. Ecuador.
<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/16672>

- Villanueva, M. y Ávila, J. (2019). *Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Colombia.
- Villegas, C. y Albarracín, W. (2016). Aplicación y efecto de un recubrimiento comestible sobre la vida útil de la mora castilla (*Rubus glaucus* benth). *Vitae, Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 23(4), 202–209.
<http://dx.doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a06>.
- Vishwasrao, C. y Ananthanarayan, L. (2016). Postharvest shelf-life extension of pink guavas (*Psidium guajava* L.) using HPMC-based edible surface coatings. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1966-1974. DOI: 10.1007/s13197-015-2164-x
- Watkins, C.B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances* 24(4), 389–409. DOI:10.1016/j.biotechadv.2006.01.
- Xu, F., Liu, S., Liu, Y., Xu, J., Liu, T. y Dong, S. (2019). Effectiveness of lysozyme coatings and 1-MCP treatments on storage and preservation of kiwifruit. *Food Chemistry* 288, 201–207. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.024
- Yokesahachart, C. y Yoksan, R. (2011). Effect of amphiphilic molecules on characteristics and tensile properties of thermoplastic starch and its blends with poly(lactic) acid. *Carbohydrate Polymers*, 83(1), 22-31. DOI: 10.1016/j.carbpol.2010.07.020
- Yuan, G., Sun, B., Yuan, J. y Wang, Q. (2010). Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets. *Food Chemistry* 118(3), 774–781. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.05.06.

- Zaccari, F., Del Puerto, M., Vignale, B. y Pritsch, C. (2017). Parámetros colorimétricos y contenido de pigmentos en cinco colores de cáscaras de fruto de guayabo (*Acca sellowiana* Berg Burret). *Revista Agrociencia Uruguay* 21(2), 23-30.
- Zhang, L., Jiang, L., Shi, Y., Luo, H., Kang, R. y Yu, Z. (2012). Post-harvest 1-methylcyclopropene and ethephon treatments differently modify protein profiles of peach fruit during ripening. *Food Research International* 48(2), 609–619. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.05.022
- Zhanga, W., Xiaoa, H. y Qianba, L. (2014). Beeswax–chitosan emulsion coated paper with enhanced water vapor barrier efficiency. *Applied Surface Science* 300, 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.02.005>

Anexos

Anexo A. Registro fotográfico de aplicación y seguimiento de los tratamientos RPG1, RPG2 y fruto sin recubrimiento durante 15 días de evaluación bajo condiciones ambientales.

		
Lulo estado de madurez 3	Aplicación recubrimiento	Secado RC en lulo
		
Día 0 evaluación	Día 3 evaluación	Día 6 evaluación
		
Día 9 evaluación	Día 12 evaluación	Día 15 evaluación

Anexo B. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para las mezclas PG y HG, recubrimiento de polímeros sin mezcla (RP, RH, RG) y fruto sin recubrimiento bajo condiciones ambientales de estudio.

Propiedades	Días	Tratamientos									
		C	RPG1	RPG2	RPG3	RHG1	RHG2	RHG3	RH	RP	RG
Pérdida de peso (%)	3	1,734	1,818	1,685	2,115	1,867	2,024	2,527	1,933	2,191	1,734
		2,438	1,966	1,754	2,227	2,026	3,016	3,271	1,939	1,638	2,095
		1,918	2,452	1,491	2,228	2,275	2,212	3,054	1,961	2,344	2,365
		2,193	1,767	1,529	3,385	1,815	1,577	2,375	2,780	2,942	1,364
		2,033	2,016	1,650	1,920	2,058	1,637	2,532	2,193	2,495	2,490
	Promedio	2,063	2,004	1,622	2,375	2,008	2,093	2,752	2,161	2,322	2,010
	DE	0,268	0,271	0,110	0,578	0,181	0,580	0,388	0,363	0,474	0,463
	6	3,872	3,587	3,960	4,294	3,720	4,313	5,178	4,171	4,271	3,869
		4,627	3,959	3,551	4,495	4,035	4,443	5,882	4,194	3,406	4,407
		3,859	3,611	3,313	4,009	3,363	4,819	4,724	3,914	4,620	3,652
		4,232	3,495	3,336	4,558	3,624	3,892	5,310	4,111	4,694	2,727
		3,421	3,838	3,756	4,294	4,178	3,937	5,828	4,156	3,688	4,564
	Promedio	4,002	3,698	3,583	4,330	3,784	4,281	5,384	4,109	4,136	3,844
	DE	0,452	0,193	0,277	0,215	0,326	0,383	0,482	0,113	0,570	0,728
	9	5,920	5,254	5,660	6,686	5,533	6,457	7,937	6,253	6,013	6,247
		7,224	5,655	5,189	6,753	5,859	7,109	8,665	6,243	5,094	6,869
		6,233	5,916	5,332	6,127	5,525	7,275	7,713	5,804	6,396	6,068
		6,573	5,721	5,290	6,420	5,984	6,070	7,537	6,585	6,769	4,545
		6,187	6,095	6,151	6,612	6,997	5,711	8,350	6,063	5,989	5,809

Tratamientos											
Propiedades	Días	C	RPG1	RPG2	RPG3	RHG1	RHG2	RHG3	RH	RP	RG
	Promedio	6,427	5,728	5,524	6,520	5,980	6,524	8,040	6,190	6,052	5,908
	DE	0,502	0,316	0,392	0,252	0,603	0,667	0,463	0,286	0,624	0,856
	12	8,722	7,290	8,203	8,644	8,025	9,462	10,095	9,424	8,521	8,018
		9,021	8,182	7,322	8,708	8,147	9,482	11,129	9,257	7,383	8,832
		8,013	8,117	7,283	7,820	7,369	9,822	10,479	8,184	9,011	8,110
		8,525	7,750	7,127	9,398	8,218	8,096	10,319	8,856	8,502	6,818
		8,585	8,151	8,418	8,761	9,652	7,925	11,390	8,425	7,970	7,884
	Promedio	8,573	7,898	7,671	8,666	8,282	8,957	10,682	8,829	8,277	7,932
	DE	0,367	0,382	0,594	0,562	0,836	0,878	0,552	0,529	0,621	0,723
	15	10,616	8,611	10,010	11,137	9,835	11,485	12,485	11,645	10,117	10,277
		11,588	10,068	8,742	11,027	9,660	12,316	14,155	11,293	8,987	11,217
		10,564	10,936	9,463	10,365	9,719	12,265	14,075	9,857	10,717	10,630
		13,436	9,974	9,124	12,099	10,657	10,152	12,845	11,817	10,958	8,815
		11,542	10,285	10,932	11,245	12,444	10,083	14,303	10,857	10,556	9,959
	Promedio	11,549	9,975	9,654	11,175	10,463	11,260	13,572	11,094	10,267	10,180
	DE	1,162	0,850	0,853	0,620	1,178	1,094	0,842	0,783	0,779	0,894
Fimeza (N)	0	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490	101,490
		107,380	101,530	82,942	93,763	86,069	120,140	81,520	114,190	95,394	107,050
		146,510	100,410	91,642	95,768	88,605	100,230	80,833	80,833	91,216	80,833
	Promedio	118,460	101,143	92,025	97,007	92,055	107,287	87,948	98,838	96,033	96,458
	DE	24,470	0,635	9,280	4,010	8,269	11,149	11,733	16,836	5,167	13,814
	3	83,278	91,162	83,278	90,379	93,519	90,792	88,827	65,857	91,162	90,181
		94,107	95,471	76,694	87,298	75,568	100,487	77,899	72,799	88,672	86,058
		119,872	93,271	86,238	92,324	84,719	94,862	72,950	72,950	82,564	79,521

Tratamientos											
Propiedades	Días	C	RPG1	RPG2	RPG3	RHG1	RHG2	RHG3	RH	RP	RG
	Promedio	99,086	93,301	82,070	90,000	84,602	95,380	79,892	70,535	87,466	85,253
	DE	18,798	2,155	4,885	2,534	8,976	4,868	8,124	4,052	4,424	5,376
		65,066	80,833	65,066	79,268	85,547	80,093	76,164	30,224	80,833	78,872
	6	80,833	89,412	70,446	80,833	65,066	80,833	74,278	31,408	81,950	65,066
		93,234	86,132	80,833	88,879	80,833	89,493	65,066	65,066	73,912	78,208
	Promedio	79,711	85,459	72,115	82,993	77,149	83,473	71,836	42,233	78,898	74,049
	DE	14,117	4,329	8,015	5,157	10,726	5,227	5,938	19,783	4,354	7,786
		59,416	54,700	50,665	53,941	69,492	72,580	70,246	29,089	75,281	69,820
	9	67,414	58,703	61,327	60,271	51,455	78,635	66,779	29,785	73,508	59,785
		73,979	56,507	69,660	73,920	69,208	83,275	60,112	45,117	70,050	69,574
	Promedio	66,936	56,637	60,551	62,710	63,385	78,163	65,712	34,664	72,946	66,393
	DE	7,293	2,005	9,521	10,210	10,333	5,363	5,151	9,060	2,661	5,724
		53,766	28,567	36,264	28,614	53,436	65,066	64,327	27,953	69,729	60,768
	12	53,994	27,994	52,208	39,708	37,843	76,437	59,279	28,162	65,066	54,503
		54,723	26,882	58,487	58,960	57,583	77,056	55,157	25,168	66,187	60,940
	Promedio	54,161	27,814	48,986	42,427	49,621	72,853	59,588	27,094	66,994	58,737
	DE	0,500	0,857	11,456	15,355	10,408	6,751	4,593	1,672	2,434	3,668
		21,407	24,748	33,853	18,003	23,493	26,989	26,865	27,953	21,934	24,613
		23,909	26,454	23,863	14,916	27,567	26,728	30,861	23,782	21,487	22,825
	15	24,537	24,613	25,145	27,371	21,547	28,844	23,657	23,233	23,085	21,987
		25,466	26,584	25,848	23,045	28,369	20,929	26,112	23,592	22,572	25,688
		23,225	28,044	25,685	22,087	28,362	25,168	24,106	26,684	22,316	25,130

Tratamientos											
Propiedades	Días	C	RPG1	RPG2	RPG3	RHG1	RHG2	RHG3	RH	RP	RG
Índice de color	Promedio	23,709	26,089	26,879	21,084	25,868	25,732	26,320	25,049	22,279	24,049
	DE	1,529	1,430	3,976	4,794	3,149	2,985	2,870	2,129	0,609	1,575
	0	8,600	8,404	8,138	10,005	9,770	9,424	9,367	8,586	8,314	8,035
		8,647	7,271	9,589	8,218	9,441	8,043	7,783	8,709	8,533	7,992
		7,687	6,894	8,108	7,816	7,224	9,104	9,050	7,628	6,373	7,760
		7,805	9,498	9,937	6,530	6,380	7,485	8,352	7,246	7,710	7,259
		8,087	7,414	7,568	8,599	7,400	8,746	7,795	8,830	7,338	7,990
	Promedio	8,165	7,896	8,668	8,234	8,043	8,560	8,469	8,200	7,654	7,807
	DE	0,443	1,055	1,032	1,260	1,482	0,791	0,722	0,715	0,859	0,325
	3	8,823	8,735	8,680	10,212	10,202	10,056	9,884	9,104	8,975	8,617
		8,752	8,019	9,268	8,683	10,069	8,545	8,603	9,405	9,689	8,585
		9,428	7,358	8,274	8,276	7,269	9,075	9,019	8,250	8,542	7,686
		8,812	9,824	10,615	8,408	6,796	9,651	9,746	9,040	8,209	8,542
		9,294	8,494	8,115	8,954	8,501	8,932	9,110	9,382	8,447	9,005
	Promedio	9,022	8,486	8,990	8,907	8,567	9,252	9,273	9,036	8,772	8,487
	DE	0,314	0,914	1,011	0,775	1,562	0,600	0,533	0,468	0,583	0,485
	6	8,725	9,212	9,256	10,311	10,483	10,009	10,190	9,269	9,774	8,730
		9,433	8,618	9,752	8,472	10,192	9,256	9,298	9,835	9,060	9,248
		9,695	6,606	8,174	8,533	7,138	9,648	9,849	8,932	8,616	7,881
		9,520	9,321	10,151	8,164	8,366	9,591	10,493	9,354	8,546	9,128
		10,055	8,706	8,294	9,228	9,157	9,393	9,762	9,776	9,248	9,592

Tratamientos											
Propiedades	Días	C	RPG1	RPG2	RPG3	RHG1	RHG2	RHG3	RH	RP	RG
	Promedio	9,486	8,493	9,125	8,942	9,067	9,579	9,918	9,433	9,049	8,916
	DE	0,487	1,098	0,874	0,859	1,369	0,287	0,452	0,375	0,502	0,656
	9	9,542	9,331	9,715	9,894	10,451	10,210	10,397	9,518	10,166	8,490
		9,547	8,661	9,851	9,436	10,557	9,385	10,725	9,675	9,581	9,074
		10,667	7,065	8,480	9,125	7,799	9,968	10,197	9,773	9,525	8,321
		9,547	9,967	10,071	9,311	10,370	10,301	10,807	9,871	8,563	9,386
		9,888	8,908	9,166	10,634	9,493	10,393	9,883	9,907	9,519	10,073
	Promedio	9,838	8,786	9,457	9,680	9,734	10,052	10,402	9,749	9,471	9,068
	DE	0,486	1,082	0,640	0,604	1,162	0,405	0,381	0,158	0,575	0,708
	12	9,641	10,030	9,912	10,617	10,973	11,116	10,916	10,241	10,891	9,303
		9,715	9,218	10,134	11,364	10,705	10,351	11,109	10,569	9,946	9,973
		10,893	8,012	8,948	10,589	9,069	10,255	10,383	9,419	9,761	10,791
		9,629	9,891	10,335	9,440	10,548	10,339	10,962	10,038	8,775	9,736
		11,057	9,013	9,142	10,281	9,819	11,012	9,923	10,554	10,007	10,179
	Promedio	10,187	9,233	9,694	10,458	10,223	10,615	10,659	10,164	9,876	9,996
	DE	0,722	0,807	0,615	0,695	0,774	0,414	0,494	0,473	0,754	0,551
	15	10,311	10,097	9,853	11,585	11,259	11,120	11,030	10,279	11,004	10,107
		10,237	10,370	10,175	11,323	10,757	10,404	11,535	10,686	10,298	10,323
		11,573	10,177	10,120	11,559	10,629	10,505	11,759	9,978	10,517	10,211
		10,004	10,283	9,461	10,921	10,726	10,904	11,315	10,419	9,515	10,461
		11,110	9,851	9,935	10,735	10,662	11,045	11,583	10,247	10,525	10,292
	Promedio	10,647	10,156	9,909	11,224	10,807	10,796	11,444	10,322	10,372	10,279
	DE	0,664	0,199	0,282	0,382	0,258	0,323	0,281	0,258	0,544	0,132

Anexo C. Registro fotográfico de los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 al día inicial y final de evaluación.



Lulo día cero



T1

T2

T3

T4

T5

T6

Lulo día 15

**Anexo D. Resultados del diseño experimental de los análisis realizados en el Programa
Statgraphics Centurion XV. II.**

Tabla ANOVA para Pérdida de peso (%).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	4,35453	1	4,35453	41,67	0,0000
B:Tiempo inmersión	7,35048	1	7,35048	70,35	0,0000
AA	0,192407	1	0,192407	1,84	0,1907
AB	6,30889	1	6,30889	60,38	0,0000
Error total	1,98527	19	0,104488		
Total (corr.)	20,1916	23			

Gráfico de efectos principales para la pérdida de peso (%).

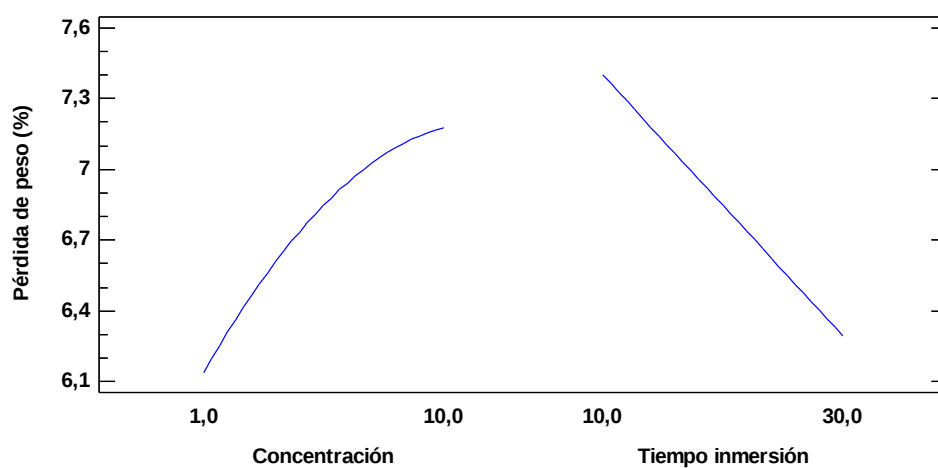


Gráfico de interacción para la pérdida de peso (%).

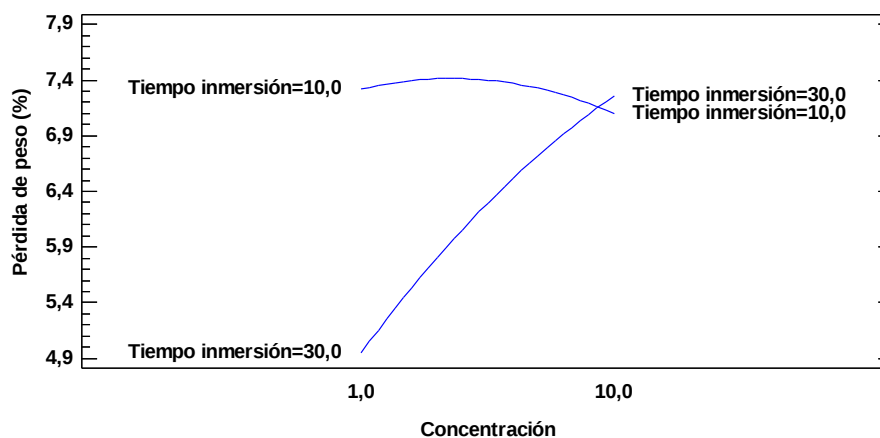


Tabla ANOVA para Firmeza (N).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	6324,31	1	6324,31	57,20	0,0000
B:Tiempo inmersión	1647,87	1	1647,87	14,90	0,0011
AA	1668,69	1	1668,69	15,09	0,0010
AB	1718,6	1	1718,6	15,54	0,0009
Error total	2100,88	19	110,573		
Total (corr.)	13460,3	23			

Gráfico de efectos principales para la firmeza (N).

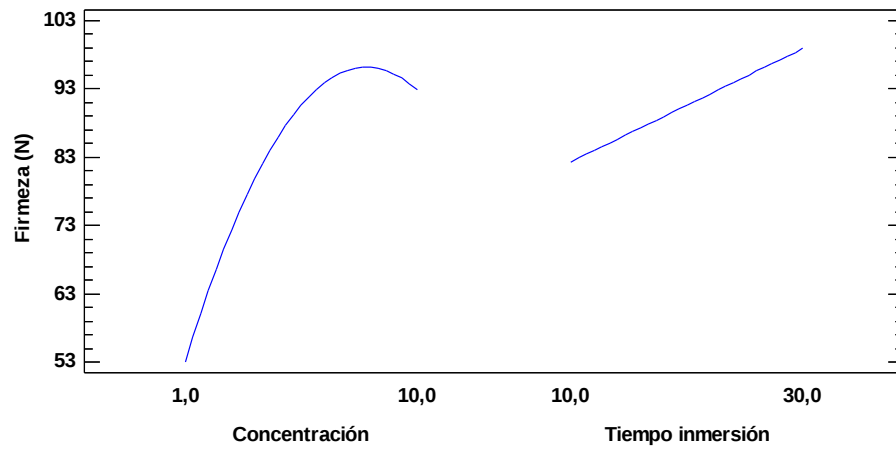


Gráfico de interacción para la firmeza (N).

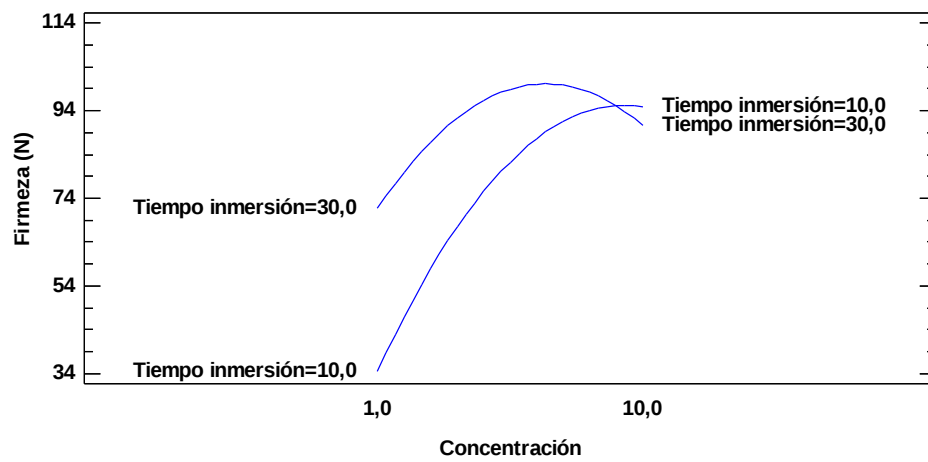


Tabla ANOVA para Índice de color (IC).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	9,17181	1	9,17181	102,24	0,0000
B:Tiempo inmersión	1,03211	1	1,03211	11,51	0,0031
AA	2,45346	1	2,45346	27,35	0,0000
AB	1,02617	1	1,02617	11,44	0,0031
Error total	1,70443	19	0,089707		
Total (corr.)	15,388	23			

Gráfico de efectos principales para el Índice de color.

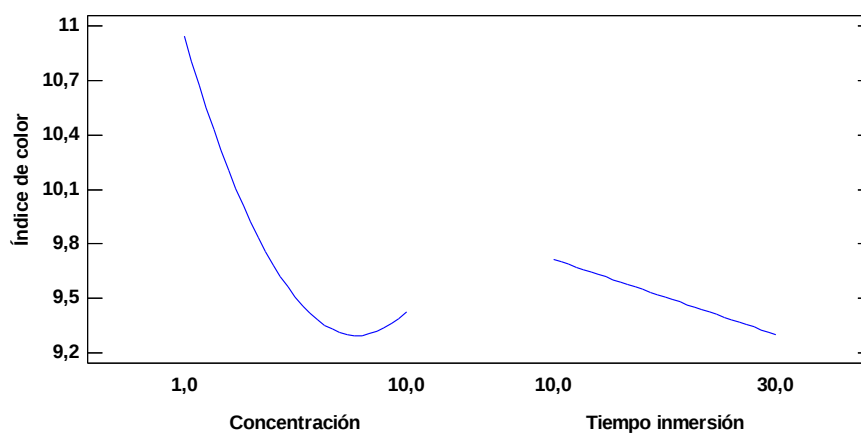
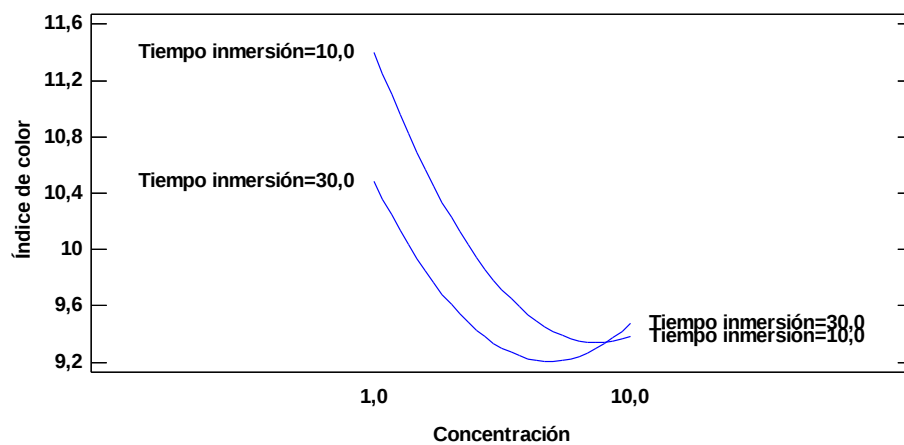


Gráfico de interacción para Índice de color.



Análisis de Varianza para Producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	19,404	1	19,404	20,95	0,0002
B:Tiempo inmersión	46,5346	1	46,5346	50,23	0,0000
AA	1,99757	1	1,99757	2,16	0,1584
AB	23,1072	1	23,1072	24,94	0,0001
Error total	17,6019	19	0,926415		
Total (corr.)	108,645	23			

Gráfico de efectos principales para la Producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

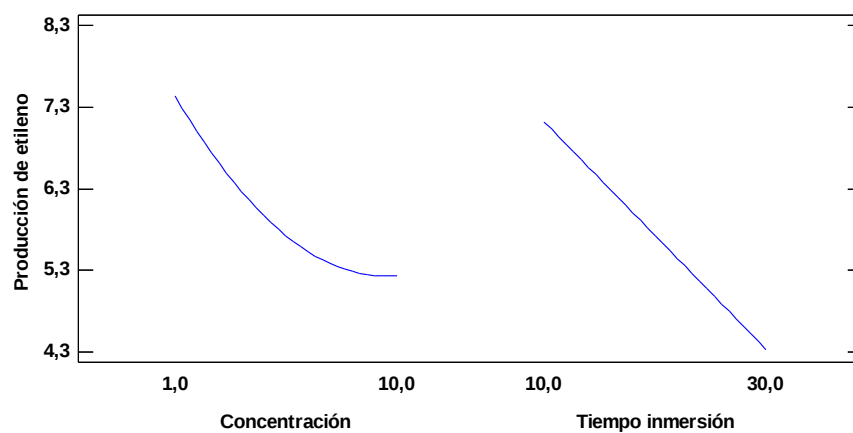


Gráfico de interacción para la Producción de etileno ($\text{mg C}_2\text{H}_4 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

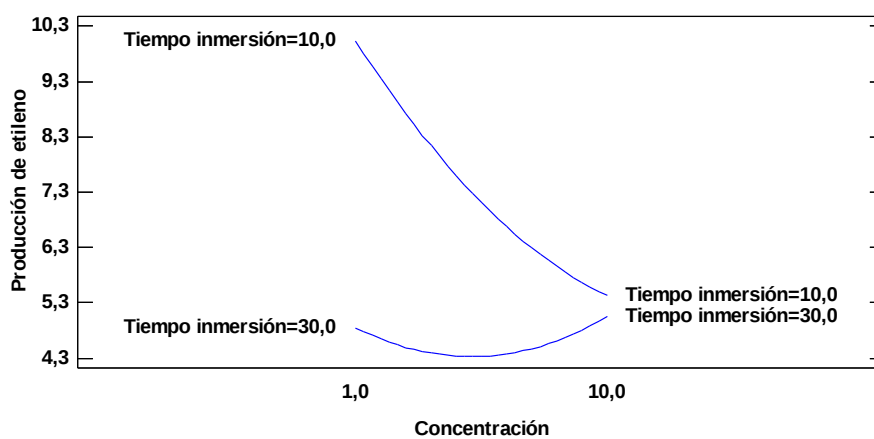


Tabla ANOVA para la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración	372,683	1	372,683	21,52	0,0002
B:Tiempo inmersión	606,93	1	606,93	35,04	0,0000
AA	415,128	1	415,128	23,97	0,0001
AB	306,128	1	306,128	17,67	0,0005
Error total	329,11	19	17,3216		
Total (corr.)	2029,98	23			

Gráfico de efectos principales para la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

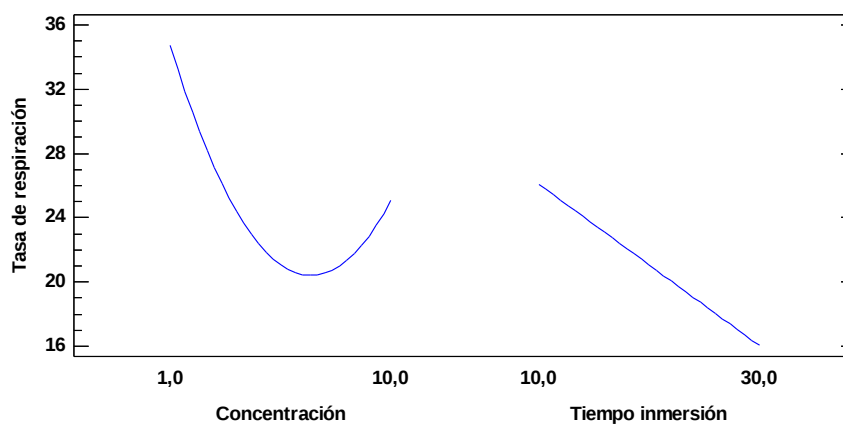
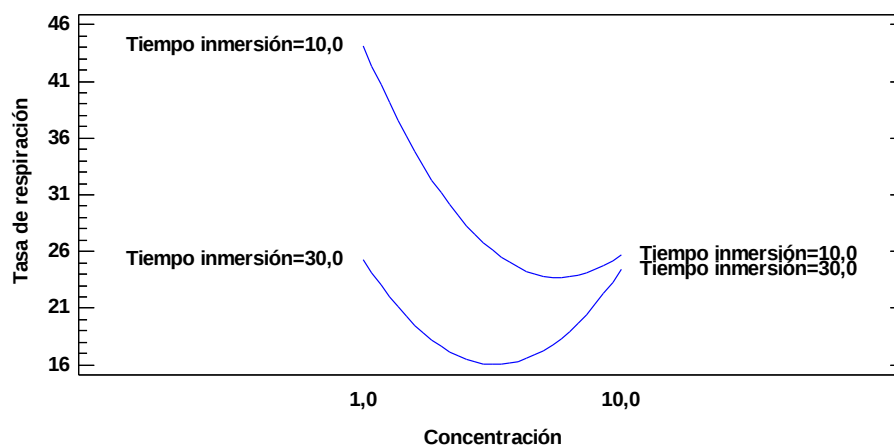


Gráfico de interacción para la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).



**Anexo E. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para los
tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 bajo condiciones ambientales de estudio.**

Propiedades	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ .h ⁻¹)	8,788	7,609	4,923	5,237	3,102	5,245
	9,614	8,448	4,302	6,070	3,362	5,538
	9,150	7,742	4,888	5,351	3,203	5,755
	10,490	8,860	5,505	4,815	3,483	5,739
Promedio	9,511	8,165	4,905	5,368	3,288	5,569
DE	0,735	0,592	0,491	0,522	0,169	0,238
Tasa de respiración (mg CO ₂ Kg ⁻¹ .h ⁻¹)	41,875	32,200	22,559	28,832	11,487	27,436
	48,010	25,865	23,419	24,344	12,496	28,027
	37,389	30,031	25,196	26,952	11,487	28,439
	41,151	32,412	23,648	29,190	12,575	21,799
Promedio	42,106	30,127	23,706	27,330	12,011	26,425
DE	4,400	3,038	1,099	2,219	0,606	3,112
Firmeza (N)	26,743	92,690	86,675	80,915	87,166	98,330
	27,663	94,216	86,214	77,839	87,141	96,910
	28,238	95,641	93,536	76,721	84,413	98,450
	28,984	98,650	87,166	77,244	84,988	95,168
Promedio	27,907	95,299	88,398	78,180	85,927	97,215
DE	0,946	2,538	3,447	1,880	1,436	1,533
Pérdida de peso (%)	7,251	7,697	6,886	5,186	6,153	7,040
	7,748	7,688	6,940	4,819	6,087	7,366
	6,840	6,693	6,897	5,137	6,077	7,285
	7,273	7,829	7,539	4,826	6,549	7,474
Promedio	7,278	7,477	7,066	4,992	6,217	7,291
DE	0,371	0,526	0,317	0,197	0,224	0,185
Índice de color	10,591	9,908	9,115	10,660	9,242	9,707
	11,565	9,690	9,705	10,368	9,098	9,300
	11,568	10,119	9,063	10,758	9,084	9,827
	11,544	9,836	9,302	10,490	9,084	9,411
Promedio	11,317	9,888	9,296	10,569	9,127	9,561
DE	0,484	0,179	0,291	0,174	0,077	0,247

**Anexo F. Resultados obtenidos durante los días 0, 3, 6, 9, 12 y 15 de evaluación para los
tratamientos LC, LRM, LM y LR bajo condiciones ambientales.**

Propiedad	Tratamiento	Días					
		0	3	6	9	12	15
Pérdida de peso (%)	LC	0,000	1,734	3,872	5,920	8,722	10,616
		0,000	2,438	4,627	7,224	9,021	11,588
		0,000	1,918	3,859	6,233	8,013	10,564
		0,000	1,744	2,938	5,501	7,746	10,563
		0,000	2,033	3,421	6,187	8,585	11,542
	Promedio	0,000	1,974	3,743	6,213	8,417	10,975
	DE	0,000	0,288	0,625	0,636	0,524	0,540
	LRM	0,000	2,144	4,114	5,805	7,319	8,559
		0,000	1,900	3,712	5,382	6,950	8,442
		0,000	1,934	3,879	5,664	7,375	9,008
		0,000	2,024	3,856	5,441	6,914	8,299
		0,000	1,885	3,740	5,467	7,045	8,446
	Promedio	0,000	1,977	3,860	5,552	7,121	8,551
	DE	0,000	0,107	0,159	0,177	0,213	0,272
	LM	0,000	1,778	4,000	5,778	6,792	8,110
		0,000	1,852	4,167	6,170	7,802	9,322
		0,000	1,642	4,379	6,357	8,154	9,874
		0,000	1,678	4,338	6,176	7,850	9,368
		0,000	1,382	4,147	6,047	7,890	9,688
	Promedio	0,000	1,666	4,206	6,106	7,698	9,272
	DE	0,000	0,179	0,154	0,214	0,525	0,689
	LR	0,000	1,685	3,960	5,660	8,203	10,010
		0,000	1,754	3,551	5,189	7,322	8,742
		0,000	1,491	3,313	5,332	7,283	9,463
		0,000	1,529	3,336	5,290	7,127	9,124
		0,000	1,650	3,756	6,151	8,418	10,932
	Promedio	0,000	1,622	3,583	5,524	7,671	9,654
	DE	0,000	0,109	0,277	0,392	0,593	0,853
Índice de color (IC)	LC	8,283	8,057	9,191	9,622	9,933	9,311
		8,304	9,151	9,941	10,174	9,462	9,930
		8,426	8,901	9,334	9,367	10,364	9,108
		8,915	9,811	10,213	9,943	10,653	9,929
		8,267	8,545	8,964	9,264	10,142	10,186

Propiedad	Tratamiento	Días					
		0	3	6	9	12	15
	Promedio	8,439	8,893	9,529	9,674	10,111	9,693
	DE	0,274	0,658	0,527	0,383	0,451	0,459
	LRM	6,771	7,398	7,893	8,076	8,121	8,496
		6,634	7,636	8,070	8,151	8,985	8,451
		6,213	7,044	7,813	8,091	8,480	8,405
		6,033	6,849	7,640	8,233	9,170	8,416
		5,910	6,810	8,057	8,162	8,713	8,321
	Promedio	6,312	7,147	7,895	8,143	8,694	8,418
	DE	0,375	0,359	0,179	0,063	0,414	0,065
	LM	7,919	8,224	8,983	9,165	9,467	8,928
		6,081	6,890	7,520	7,792	8,765	8,158
		6,418	7,002	7,903	8,255	8,558	8,390
		6,699	7,571	8,367	8,847	9,198	9,016
		6,668	7,616	8,480	8,752	9,252	8,862
	Promedio	6,757	7,460	8,251	8,562	9,048	8,671
	DE	0,695	0,537	0,561	0,540	0,374	0,375
	LR	6,514	7,096	7,824	7,991	8,330	8,140
		7,323	7,816	8,719	9,091	9,142	8,706
		7,229	7,959	8,800	8,864	9,627	8,490
		6,407	7,113	7,950	8,432	8,581	8,682
		7,714	8,315	9,283	8,758	9,672	8,991
	Promedio	7,037	7,660	8,515	8,627	9,071	8,602
	DE	0,558	0,538	0,614	0,427	0,605	0,314
Firmeza (N)	LC	101,490	83,278	65,066	59,416	53,766	19,671
		107,380	94,107	80,833	67,414	53,994	20,341
		116,510	99,872	93,234	73,979	54,723	21,207
							20,975
							15,239
	Promedio	108,460	92,419	79,711	66,936	54,161	19,486
	DE	7,568	8,425	14,117	7,293	0,500	2,449
	LRM	106,196	96,886	84,776	75,109	41,968	27,205
		109,730	90,906	86,583	70,833	42,932	33,449
		99,867	94,435	85,567	73,637	40,965	31,126
							26,508
							31,636

Propiedad	Tratamiento	Días					
		0	3	6	9	12	15
Tasa de respiración (mg CO ₂ Kg ⁻¹ h ⁻¹)	Promedio	105,264	94,076	85,642	73,193	41,955	29,985
	DE	4,997	3,006	0,906	2,172	0,983	2,993
	LM	113,630	94,244	74,545	70,901	50,372	29,843
		127,335	94,227	81,414	67,116	65,331	31,943
		103,533	88,986	82,790	76,595	52,974	27,712
							29,354
	Promedio	114,833	92,486	79,583	71,537	56,226	29,713
	DE	11,946	3,031	4,417	4,771	7,992	1,744
	LR	101,490	83,278	65,066	50,665	36,264	23,787
		82,942	76,694	70,446	61,327	52,208	23,421
		91,642	86,238	80,833	69,660	58,487	22,615
							22,772
							21,155
	Promedio	92,025	82,070	72,115	60,551	48,986	22,750
	DE	9,280	4,885	8,015	9,521	11,456	1,011
	LC	13,119	10,457	14,154	19,758	38,316	33,323
		13,738	13,277	19,372	21,757	34,416	38,877
		12,989	10,457	12,385	23,350	42,287	32,927
	Promedio	13,282	11,397	15,304	21,622	38,340	35,042
	DE	0,400	1,628	3,633	1,800	3,936	3,327
	LRM	5,887	6,039	10,831	14,983	15,040	16,854
		5,978	6,143	9,284	14,522	14,547	17,953
		5,939	5,283	10,034	13,935	14,850	16,013
	Promedio	5,935	5,822	10,050	14,480	14,812	16,940
	DE	0,045	0,469	0,774	0,525	0,249	0,973
	LM	12,763	9,288	8,024	13,489	17,658	21,484
		13,231	9,352	8,099	15,310	15,542	18,620
		13,410	9,606	7,663	13,614	13,809	15,981
	Promedio	13,134	9,415	7,929	14,138	15,670	18,695
	DE	0,334	0,168	0,233	1,017	1,928	2,752
	LR	7,397	5,753	8,922	18,381	17,050	19,478
		8,391	5,191	10,707	11,755	21,126	20,296
		7,350	5,960	9,721	12,292	18,945	25,322

Propiedad	Tratamiento	Días					
		0	3	6	9	12	15
Producción de etileno (mg C ₂ H ₄ Kg ⁻¹ h ⁻¹)	Promedio	7,713	5,635	9,783	14,143	19,040	21,699
	DE	0,588	0,398	0,894	3,681	2,040	3,164
	LC	0,371	2,817	7,317	8,84	9,031	12,146
		0	5,776	1,579	4,006	8,488	14,393
		0	0	11,953	6,669	14,285	16,864
	Promedio	0,124	2,864	6,950	6,505	10,601	14,468
	DE	0,214	2,888	5,197	2,421	3,202	2,360
	LRM	0,469	1,539	3,944	2,319	3,502	4,937
		1,073	3,268	1,477	3,826	4,42	4,718
		0	0	5,818	3,526	3,834	5,859
	Promedio	0,514	1,602	3,746	3,224	3,919	5,171
	DE	0,538	1,635	2,177	0,798	0,465	0,606
	LM	0,232	2,131	7,081	5,649	4,626	6,614
		3,548	1,322	4,328	3,966	4,903	6,111
		1,549	0	7,663	4,049	5,282	6,894
	Promedio	1,776	1,151	6,357	4,555	4,937	6,540
	DE	1,670	1,076	1,781	0,949	0,329	0,397
	LR	0,861	0,244	4,68	7,05	5,789	8,042
		0,483	0,882	3,867	2,694	4,708	6,331
		0	4,052	6,945	5,541	7,228	8,832
	Promedio	0,448	1,726	5,164	5,095	5,908	7,735
	DE	0,432	2,039	1,595	2,212	1,264	1,278