

Calidad postcosecha de frutos de lulo [*Solanum quitoense* (Lamarck)]

Postharvest quality of lulo [*Solanum quitoense* (Lamarck)]

Ana Laura Olgún-Hernández¹ , Ma. de Lourdes Arévalo-Galarza^{1*} , Jorge Cadena-Iñiguez² ,
David Jaen-Contreras¹ , Cecilia Beatriz Peña-Valdivia¹ , Cecilia García-Osorio¹ 

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide Núm. 73, 78622, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.

* Autor para correspondencia: larevalo@colpos.mx

Fecha de recepción:

7 de junio de 2023

Fecha de aceptación:

9 de julio de 2024

Disponible en línea:

5 de marzo de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

El lulo [*Solanum quitoense* (Lamarck)] es originario de Sudamérica, con potencial para su aprovechamiento en México. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de lulo (verde, cambiante y anaranjado) producido en Huatusco, Veracruz, México; así como evaluar tratamientos para prolongar su vida de anaquel (Testigo y 1-MCP: 300 ppb; temperatura ambiente (20 °C y 60 % HR) y refrigeración 8.0 °C y 90 % HR). Los resultados mostraron que el 1-MCP redujo la pérdida de peso de los frutos. En los frutos verdes provocó ausencia en el cambio de color, mantuvieron la acidez y no aumentó los SST. Los frutos a temperatura ambiente mostraron más vitamina C, fenoles, capacidad antioxidante y vida de anaquel 7 d después de la cosecha, similar que los frutos almacenados por 2 semanas en refrigeración. Se recomienda cosechar los frutos de lulo en estado cambiante para que desarrollen sus características organolépticas óptimas, principalmente el color.

PALABRAS CLAVE

Índice de madurez, Solanaceae, actividad antioxidante, 1-MCP.

ABSTRACT

Lulo [*Solanum quitoense* (Lamarck)] is native to South America, with potential for use in Mexico. The objective of this research was to evaluate the lulo quality in three maturity stages (green, turning, and orange), produced in Huatusco, Veracruz, Mexico. The postharvest conditions were: control and 1-MCP: 300 ppb application; storage at 20 °C and 60 % HR and 8.0 °C and 90 % RH. The results showed that 1-MCP reduced weight loss, and delayed chlorophyll degradation in fruits, without affecting acidity or vitamin C content. Lulo fruits can be cold stored for up to 2 weeks, and at room temperature maintaining their commercial quality for seven days after harvest or cold storage. The maturity in which the fruits can be harvested to achieve the desirable quality characteristics is the turning stage to develop the color.

KEYWORDS

Maturity index, Solanaceae, antioxidant activity, 1-MCP.

INTRODUCCIÓN

El lulo [*Solanum quitoense* (Lamarck)] es originario de la región andina, en donde se ubican los principales países productores: Colombia, Ecuador y Perú, que registran rendimientos de 7 a 15 t ha⁻¹ (Díaz-Leguizamón et al., 2016; Duarte-Alvarado et al., 2021). La pulpa del fruto es ácida, contiene 3.8 % de carbohidratos, 1.4 % de fibra, 3.0 % de azúcares (sacarosa 1.6 %, glucosa 0.68 % y fructosa 0.7 %) con 18 kcal 100 g⁻¹. Además, contiene 12.0-43.7 mg de P, 0.34-0.64 mg de Fe y 31.2-83.7 mg de vitamina C, en 100 g de pulpa (Acosta et al., 2009; Forero et al., 2015). El fruto se consume en fresco o procesado en forma de jugos y conservas (Andrade-Cuvi et al., 2015).

El fruto de lulo tiene un crecimiento sigmoidal, dividida en tres fases: (1) proliferación celular, con lento crecimiento hasta 80 d después de la antesis (dda), (2) elongación celular, con una etapa de crecimiento rápido que ocurre hasta 120 dda y (3) maduración del fruto que finaliza a los 180 dda (Ramírez et al., 2018). Es una baya esférica de 4 a 8 cm de diámetro y peso de 40-100 g; el interior es similar al del tomate, pues tiene cuatro compartimentos separados por tabiques membranosos y llenos de pulpa color entre verde y amarillo pálido, translúcida y jugosa con gran número de semillas; su cáscara es gruesa, lisa, y desarrolla un color anaranjado brillante en estado maduro (Gómez-Merino et al., 2014).

El cultivo de lulo en México no aparece en las estadísticas oficiales, y siendo un cultivo de reciente introducción, los reportes encontrados solo se enfocan a los aspectos básicos del cultivo (Gómez-Merino et al., 2014; Olguín-Hernández et al., 2023), sin existir investigación con relación a la calidad postcosecha del fruto producido en el país. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar las características de calidad de frutos de lulo cultivados en Huatusco, Veracruz, México y cosechados en tres estados de madurez basado en el color: verde, cambiante y anaranjado, y analizar el efecto de bajas temperaturas y aplicación de 1-MCP para prolongar su vida de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de lulo var. septentrionale (verde, cambiante y anaranjado) con dimensiones de entre 4 y 8 cm de diá-

metro, se cosecharon en una huerta del municipio de Huatusco, Veracruz, México (19° 08' 5'' N 96° 57' 5'' O, 1,344 msnm). El clima es templado húmedo con lluvias en verano y temperatura máxima de 26.3 °C y mínima de 12.4 °C (Cadena et al., 2011). Los frutos se trasladaron al laboratorio en cajas plásticas de 20 kg y al día siguiente se limpiaron y clasificaron por color (Figura 1). Se separaron en dos lotes para su conservación a dos condiciones: 20 ± 1 °C y 60 % HR (ambiente) y 8 ± 0.05 °C y 90 % HR (refrigeración por dos semanas). Cada lote tuvo dos tratamientos: testigo y aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP 300 ppb). La aplicación de 1-MCP se realizó colocando los frutos en una caja de acrílico herméticamente cerrada y dejando un vial con la concentración determinada de 1-MCP (SmartFresh®; 14 %, Rohm and Haas Co, Washington, Estados Unidos). El tiempo de exposición fue de 12 h a 22 ± 1 °C.

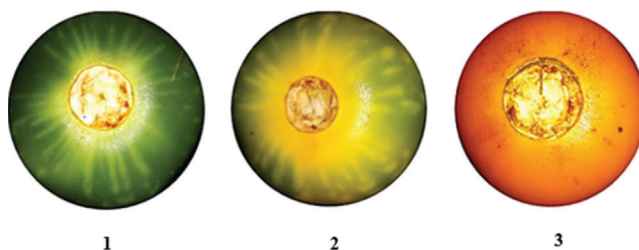


Figura 1. Niveles de madurez de frutos de lulo cosechados en Huatusco, Veracruz, México: 1 = 100 % verde, 2 = 50 % de color verde-amarillo (cambiante) y 3 = 100 % anaranjado.

Variables

Pérdida de peso acumulada: Se realizó por diferencia de peso con una balanza digital (Setra® modelo SI-2000S, Estados Unidos). Los valores se presentan en porcentajes respecto al peso inicial mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de peso acumulada (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Color: Los cambios de color de la epidermis se evaluaron con el sistema L*a*b*, con un colorímetro de precisión NR20XE de luz LED y filtros de color (apertura extendida de ϕ 20 mm) (3nh® TECHNOLOGY Co., modelo NR20XE, Guangzhou, China). Debido a que los cambios de color de lulo son similares a los cítricos, se tomaron los valores del espectro a* y b* para calcular el índice de color IC=[1000×a*/(L*×b*)] (Xie et al., 2019).

Clorofila y carotenoides totales: Se cuantificaron siguiendo el método descrito por Lichtenthaler (1987) tomando 1 g de exocarpio y 10 mL de acetona. Las muestras se mantuvieron en refrigeración bajo condiciones de oscuridad y dejaron reposar por 24 h a temperatura de refrigeración. Las absorbancias, se obtuvieron para cuantificar la clorofila *a* (663 nm), *b* (645 nm) y carotenoides (470 nm) en un espectrofotómetro (UV-VIS Genesys™ 10, THERMO, España). Los resultados se expresan en µg/g de materia fresca del exocarpio.

Sólidos solubles totales (SST): Se cuantificaron con un refractómetro digital portátil PAL1 (Atago 3810, Japón). La muestra se obtuvo extrayendo el jugo de la pulpa de lulo con un procesador de alimentos NutriBullet® (NBR-1201); posteriormente 4 gotas del jugo filtrado se colocaron en el sensor óptico del refractómetro. Los resultados se expresaron en porcentaje (%).

Acidez titulable: Se determinó por el método volumétrico, para lo cual se tomó 1 mL de jugo de fruto y 9 mL de agua destilada. La titulación ácido-base se realizó con NaOH (0.1N) y fenolftaleína como indicador. El resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico.

Azúcares: La concentración de fructosa, glucosa y sacarosa se determinó en jugo de fruto para cada estado de madurez, para ello el jugo se filtró con un cartucho (Cromabond® C18 45 µm, Macherey Nagel). Posteriormente se tomó 1 mL y se aforó a un volumen de 5 mL en matraz Erlenmeyer con agua grado HPLC. Un mL de la solución aforada se filtró con un acrodisco (Titan, 0.045 µm), se colectó en un vial de 2 mL con tapa y septa, después se colocaron los extractos filtrados en el automuestrador para su inyección en el HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) (Series 200, Perkin Elmer™, Estados Unidos) con detector Índice de Refracción (IR), y utilizando una columna Pinnacle II Amino 5 mm 150 x 4.6 mm (Restek™) y para la fase móvil se utilizó una solución de acetonitrilo/agua (80:20) (v/v) con un tiempo de corrida de 14 min. Se obtuvieron curvas de calibración de glucosa, fructosa y sacarosa. Las condiciones del cromatógrafo fueron: temperatura de la columna de 35 °C, flujo de 1 mL min⁻¹ y volumen de inyección de 10 µL (Ramírez-Rodas et al., 2023).

Ácido ascórbico: Se determinó mediante volumetría con 2,6-diclorofenol indofenol tomando una alícuota de 5 mL, de la mezcla de 5 mL de jugo homogeneizado con 50 mL de ácido oxálico y titulado con

la solución de Tillman hasta el cambio de color. Los cálculos de ácido ascórbico se hicieron a partir de una curva estándar y se expresó en mg /100 mL de jugo.

Fenoles totales: Se siguió el método descrito por Singleton et al. (1999). Para ello se tomó una alícuota de 40 µL de la mezcla de 0.5 mL de jugo homogeneizado con 2 mL de metanol (80 %) se mezcló con 1.56 mL de agua destilada y 100 µL de Folin (1N), después de 3 min se añadieron 300 µL de carbonato de sodio (20 %) y se dejó reposar durante 1 h. La concentración se calculó con la absorbancia medida en un espectrofotómetro Thermo (Mod. Genesys 10 UV, THERMO, España) a 765 nm y una curva de calibración de ácido gálico (50-1000 µg mL⁻¹). Los resultados se expresaron en µg EAG/mL de jugo.

Capacidad antioxidante: Se determinó la capacidad de captación de radicales con el método descrito por Brand-Williams et al. (1995) y Kim et al. (2002) en los extractos de los frutos y la mezcla de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (20 mg) diluido en metanol (500 mL). La absorbancia se midió después de 30 min a 517 nm en un espectrofotómetro (UV-VIS Genesys™ 10, THERMO, España).

Vida en anaquel: Se utilizaron diez frutos por tratamiento y estado de madurez. Los frutos mantenidos a temperatura ambiente se evaluaron durante 7 d, mientras que los almacenados durante dos semanas en cámara frigorífica se evaluaron después de la salida de refrigeración. Se evaluó la apariencia de los frutos y ante la presencia de algún defecto como oxidación, ablandamiento, pudrición o ataque de hongos, se consideró el final de su vida de anaquel.

Microscopía electrónica de barrido: La microscopía electrónica de las muestras de exocarpio y pedúnculo de los frutos se realizó colocando las muestras en glutaraldehído (Merck, KGaA Alemania) (2.5 %) en amortiguador de fosfatos Sorensen's por 24 h. Posteriormente las muestras fueron enjuagadas tres veces con el amortiguador de fosfatos. El proceso de deshidratación de las muestras se realizó con etanol por cambios de 45 min en concentraciones graduales (30 %-100 %). Las muestras se secaron en una secadora de punto crítico (Tousimis Research Corporation® modelo Samdri-780A, Estados Unidos), posteriormente se colocaron en un porta muestras metálico con cinta doble adhesiva de carbón recubriendo el material con oro por cuatro minutos para la ionización. Las

muestras fueron observadas y fotografiadas en microscopio electrónico de barrido (modelo JSM-6390, JEOL®, Japón) operado a 10 KeV.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial (2x2x3), que consideró dos tratamientos (testigo y 1-MCP 300 ppb), dos temperaturas de almacenamiento: ambiente (20 °C y 60 % HR) y refrigeración (8 °C y 90 % HR), tres estados de madurez (verde, cambiante y anaranjado). El análisis de pérdida de peso, índice de color y vida de anaquel se realizó en 10 frutos por cada lote, considerando un fruto como unidad experimental. Se realizaron evaluaciones diarias por 7 d después de cosecha (ddc). Por otro lado, el contenido de clorofilas y carotenoides, sólidos solubles totales, acidez titulable, ácido ascórbico, fenoles totales y capacidad antioxidante se realizó en los días 1, 3, 5 y 7 después de cosecha o del almacenamiento refrigerado, realizando tres repeticiones, tomando un fruto por unidad experimental. Los resultados fueron analizados por Análisis de Varianza, y cuando se detectaron diferencias entre tratamientos se procedió a realizar una comparación múltiple de medias por Tukey ($P < 0.05$) con el programa RStudio ver. 4.4.1 y fraccionado con el programa MiniTab versión 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdida de peso

La pérdida de peso diaria de los frutos fue de 1 %, la deshidratación fue evidente en la parte próxima al

pedúnculo (proximal) del fruto con más de 10 % de pérdida de peso, perdiendo la calidad comercial. A temperatura ambiente (20 ± 1 °C y 60 % HR) los frutos testigo verdes y cambiantes presentaron pérdidas de peso de 5.44 y 5.22 % respectivamente, los anaranjados perdieron 6.67 % al día 7 de almacenamiento. Los frutos tratados con 1-MCP independientemente del estado de madurez perdieron significativamente menos peso que los frutos testigo (Cuadro 1).

A la salida de refrigeración (8 ± 0.05 °C y 90 % HR) por dos semanas, los frutos verdes tuvieron pérdidas de 10.85 %, sin diferencias entre estado de madurez. De la misma forma los frutos tratados con 1-MCP perdieron menos peso (Cuadro 2). Casierra-Posada et al. (2004) evaluaron la pérdida de peso de frutos de lulo de dos variedades botánicas (*Solanum quitoense* Lam. var. quitoense y septentrionale), y cinco estados de madurez bajo dos condiciones (30 ± 2 °C y 13 ± 1 °C), los frutos estado verde tuvieron mayor pérdida de peso (15 %), comparado con los frutos maduros (7 %), siendo la var. quitoense la más susceptible a la pérdida de peso.

Forero et al. (2014) evaluaron frutos de lulo empacados en hoja de plátano, a 18 °C y 7.5 °C, observando que los frutos testigos a 18 °C registraron pérdidas de 7.3 % a los 15 d, pero los mantenidos a 7.5 °C tuvieron 5.8 %.

Casierra-Posada et al. (2004) indican que los factores que determinan la pérdida de peso en los frutos de lulo son: la relación área superficial/volumen, la naturaleza de la pared del fruto y el estado fisiológico del fruto. El exocarpio en frutos de lulo carece de estomas (Figura 2 A), sin embargo, la deshidratación hace al fruto susceptible al deterioro, además de los

Cuadro 1. Pérdida de peso (%) en frutos de lulo testigo y tratados con 1-MCP (300 ppb) almacenados a temperatura ambiente (20 ± 1 °C y 60 % HR).

Tratamiento	Días de evaluación (% PP)						
	1	2	3	4	5	6	7
Verde-testigo	100 ± 0a*	99.15 ± 0.17bc	98.12 ± 0.49cd	97.10 ± 0.44cd	96.30 ± 0.56bc	95.39 ± 0.77bc	94.56 ± 1.02bc
Cambiante-testigo	100 ± 0a	99.21 ± 0.22b	98.38 ± 0.47bc	97.53 ± 0.70abc	96.64 ± 0.96ab	95.68 ± 1.19ab	94.78 ± 1.39abc
Anaranjado-testigo	100 ± 0a	98.95 ± 0.33c	97.82 ± 0.53d	96.63 ± 0.67d	95.52 ± 0.89c	94.33 ± 1.15c	93.33 ± 1.37c
Verde-1-MCP	100 ± 0a	99.67 ± 0.07a	98.68 ± 0.35ab	97.49 ± 0.70bc	96.58 ± 0.96ab	95.57 ± 1.00b	94.88 ± 1.14ab
Cambiante-1-MCP	100 ± 0a	99.76 ± 0.04a	98.98 ± 0.19a	98.28 ± 0.27a	97.60 ± 0.40a	96.87 ± 0.53a	96.29 ± 0.61a
Anaranjado-1-MCP	100 ± 0a	99.72 ± 0.05a	98.88 ± 0.27ab	98.07 ± 0.36ab	97.34 ± 0.50a	96.68 ± 0.55ab	96.14 ± 0.61ab

*Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$) (n=10 ± DE).

Cuadro 2. Pérdida de peso (%) en frutos de lulo testigo y tratados con 1-MCP (300 ppb) almacenados a temperatura ambiente (8 ± 0.05 °C y 90 % HR).

Tratamiento	Días de evaluación						
	1	2	3	4	5	6	7
Verde-testigo	100 ± 0a	94.6 ± 1.84b	93.3 ± 2.17b	92.2 ± 2.55b	92.2 ± 1.72c	91.2 ± 2.00c	90.2 ± 2.28b
Cambiante-testigo	100 ± 0a	95.7 ± 0.62ab	94.6 ± 0.70ab	93.6 ± 0.79ab	92.6 ± 0.96bc	91.6 ± 1.09bc	90.6 ± 1.23b
Anaranjado-testigo	100 ± 0a	95.7 ± 0.52ab	94.5 ± 0.66ab	93.5 ± 0.78ab	92.5 ± 0.90c	91.6 ± 1.13c	90.6 ± 1.29b
Verde-1-MCP	100 ± 0a	96.9 ± 0.73a	95.9 ± 0.85a	95.0 ± 0.97a	94.1 ± 1.20ab	93.3 ± 1.30ab	92.6 ± 1.41a
Cambiante-1-MCP	100 ± 0a	96.7 ± 0.93a	95.9 ± 1.03a	95.1 ± 1.12a	94.6 ± 1.01a	94.0 ± 1.08a	93.3 ± 1.12a
Anaranjado-1-MCP	100 ± 0a	96.8 ± 0.92a	95.7 ± 0.81a	94.9 ± 0.78a	93.9 ± 1.02ac	92.9 ± 0.99abc	92.0 ± 1.07ab

*Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$) (n=10 ± DE).

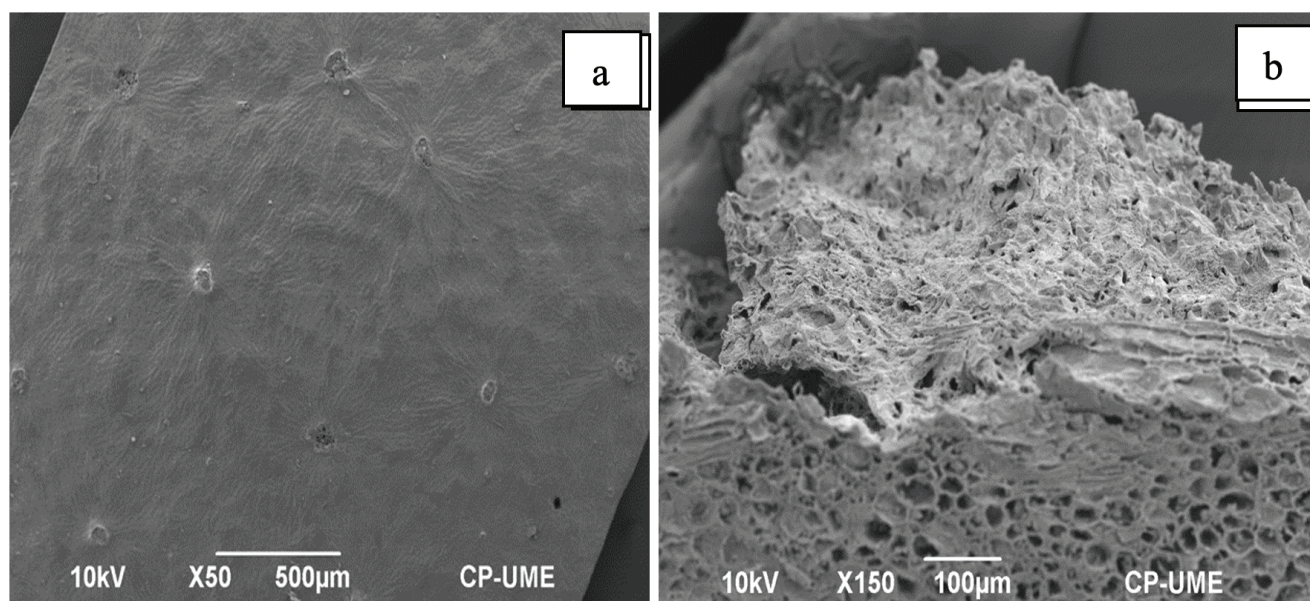


Figura 2. Microfotografías de microscopía electrónica de barrido A: Estructura del exocarpio del fruto de lulo libre de tricomas y estomas. B: Vista que muestra la estructura esponjosa de la zona proximal del fruto.

daños por impactos, cortes, abrasión y presión durante la manipulación postcosecha (Figura 3).

La aplicación de 1-MCP en frutos no climatéricos reduce la pérdida de agua y mantiene la calidad, por ejemplo, Massolo et al. (2011) evaluaron la aplicación de 1-MCP (1 µL/L, 12 h a 20 °C) en berenjena (*Solanum melongena* L.) almacenadas a 10 °C durante 21 d y posteriormente a 20 °C por 2 d, durante este período los frutos tratados con 1-MCP tuvieron significativamente menor pérdida de peso (6.2 %) con relación a los frutos testigo (8.6 %). El 1-MCP mantuvo la integridad del cáliz en la berenjena, que resultó en mayor resistencia del fruto a la pérdida de humedad. Un efecto similar ocurrió en los frutos de lulo, que, al carecer de estomas, la pérdida de agua se presenta en la zona esponjosa del cáliz donde se adhiere el pedúnculo (Figura 2B).

Color

El color es un parámetro de calidad, que puede cambiar durante la maduración, y es indicador de frescura. Después de 7 ddc a temperatura ambiente los frutos verdes presentaron IC de -5.6 a 0.0, los cambiantes de 1.3 a 3.3 y anaranjados de 5.9 a 6.8 (Figura 4A). Mientras que los frutos almacenados en refrigeración también presentaron cambios significativos en el IC entre la entrada y salida de refrigeración (Figura 4B), en frutos verdes fue de -4.0 a 0.0, los cambiantes de 1.9 a 3.4 y los anaranjados de 5.9 a 6.7.

Sdiri et al. (2012) señalaron que el IC menor a -7 en cítricos se relaciona con color verde y la intensidad aumenta al incrementar el valor negativo, de acuerdo con este índice el color entre verde-amarillo

va de -7 a 0, amarillo pálido o anaranjado verdoso (valores próximos a 0) y valores superiores a +7, color anaranjado.

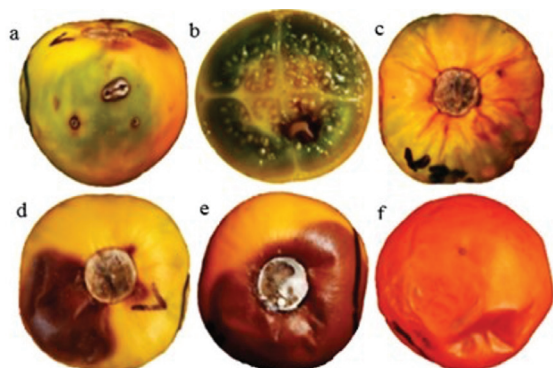


Figura 3. Daños más comunes en frutos de lulo: a y b) plagas, c) deshidratación, d) impacto, e) ataque de hongos y f) ablandamiento.

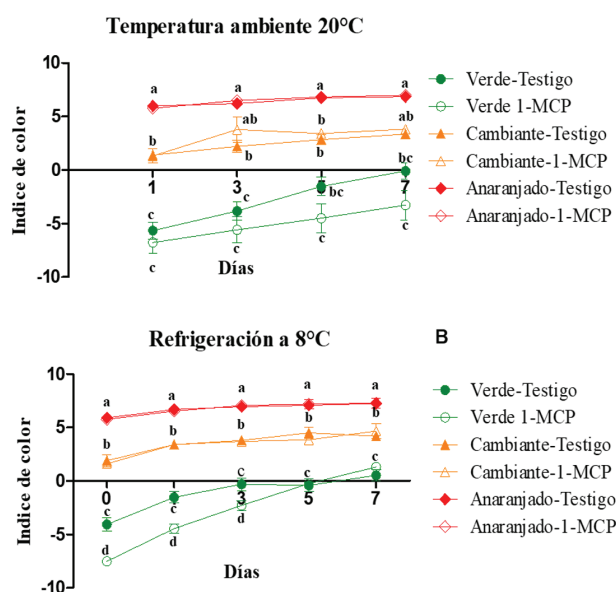


Figura 4. A) Índice de color de frutos de lulo en estado verde, cambiante y anaranjado, en ambiente (20 ± 1 °C y 60 % HR) y B) almacenados en refrigeración con (8 ± 0.05 °C y 90 % HR) durante dos semanas (n=10).

El 1-MCP solo tuvo un efecto en los frutos verdes ya que, en los cambiantes y anaranjados, no se observaron diferencias significativas en ambas temperaturas. Posiblemente el efecto del 1-MCP fue bloquear la acción del etileno, reduciendo la actividad de peroxidasa (POX) y clorofilasa (Du et al. 2021). En col rizada china (*Brassica alboglabra* Bailey) la aplicación de 1-MCP ($10 \mu\text{L L}^{-1}$) retrasó la pérdida de peso, firmeza, degradación de clorofila y cambios en color (Sun et al. 2012). En uchuva (*Physalis peruviana* L.) Balaguera-López et al. (2021) reportaron que la aplicación de 1-MCP ($1.0 \mu\text{L L}^{-1}$)

inhibió la síntesis de etileno, al reducir la actividad de la ACC oxidasa (ACO), enzima que cataliza la conversión de 1-aminociclopropano-1-carboxílico hacia etileno, con cambios en el índice de color de 4 unidades, con tonos verde-amarillo, mientras que los frutos testigo tuvieron cambios en el mismo índice de 7 unidades, mostrando una coloración anaranjada. Por lo anterior el 1-MCP no solo inhibe la acción de etileno sino también su biosíntesis al reprimir la expresión y actividad de ACO. Por otro lado Lv et al. (2020) al aplicar $0.5 \mu\text{L L}^{-1}$ de 1-MCP en manzanas (*Malus domestica* Borkh.) var. 'Golden Delicious' afectó la biosíntesis de feorfinitasa, feoforbidina *a* oxigenasa y la proteína catabolito reductasa, requeridas en la degradación de la clorofila de la epidermis de manzana durante la etapa temprana de maduración.

Clorofila y carotenoides totales

Después de que la clorofila se degrada, aparecen tonalidades anaranjadas en los frutos de lulo siendo los carotenoides los pigmentos principales (Dhar et al. 2015). En este sentido los frutos verdes tuvieron casi cinco veces más contenido de clorofilas que los anaranjados, sin que desarrollaran el color durante la etapa postcosecha (Cuadro 3).

En general el contenido de carotenoides de los frutos osciló entre $39.25\text{-}54.10 \mu\text{g/g}$ y la temperatura afectó significativamente su concentración, ya que los frutos almacenados en refrigeración tuvieron 16.11 % más carotenoides que los mantenidos a temperatura ambiente, quizás debido a un mayor período de almacenamiento de los frutos (Cuadro 3).

Sólidos solubles totales y acidez titulable

El contenido de SST en los frutos anaranjados fue significativamente mayor que los cambiantes y verdes, sin presentar cambios significativos en los días de evaluación postcosecha, independientemente de la temperatura de conservación (Cuadro 3). Con la aplicación de 1-MCP, los frutos presentaron menos SST que los frutos testigo. Andrade-Cuvi et al. (2015) analizaron los SST en frutos de lulo en tres estados de madurez, y reportaron valores de 8.0 % en frutos verdes, 8.9 % en cambiantes y 7.37 % en sobremaduros, valores más bajos que los reportados en este trabajo.

La acidez titulable (AT) en los frutos de lulo tuvo valores entre 3.15-3.40 %, que disminuye durante el almacenamiento y también por estado de madurez (Cuadro 3). Este fruto muestra una alta acidez independientemente del estado de madurez, Mejía et al. (2012) determinaron que la AT en frutos de lulo var. 'Castilla' en seis estados de madurez varió entre 2.6 y 3.0 %.

La relación SST/AT, mostró diferencias significativas entre los tratamientos, el estado de madurez y los días de almacenamiento, con valores significativamente mayores en los frutos anaranjados, debido principalmente al decremento en la acidez. Los frutos donde se aplicó el 1-MCP mostraron valores menores de SST/AT (Cuadro 3). Andrade-Cuvi et al. (2015) reportaron diferencias significativas en la relación SST/AT de lulo inmaduro con relación a los frutos sobremaduros, dado principalmente por la reducción en la acidez de 13.7 a 9.93 meqH⁺/kg.

Azúcares totales

Los azúcares presentes en el jugo de lulo son fructosa y glucosa en concentraciones similares y sacarosa en mayor cantidad (Igual et al., 2014), en frutos de lulo híbrido 'Puyo' ecuatorianos, se registraron concentraciones de 14.9, 10.3 y 13.3 % de glucosa, fructosa y sacarosa respectivamente, en tejido seco (Gancel et al., 2008). Sin embargo, en el presente estudio el contenido de estos azúcares tuvo proporciones similares (Figura 5A, B y C), siendo significativamente mayor en los frutos anaranjados. La aplicación de 1-MCP en frutos en estado verde y cambiantes afectó significativamente

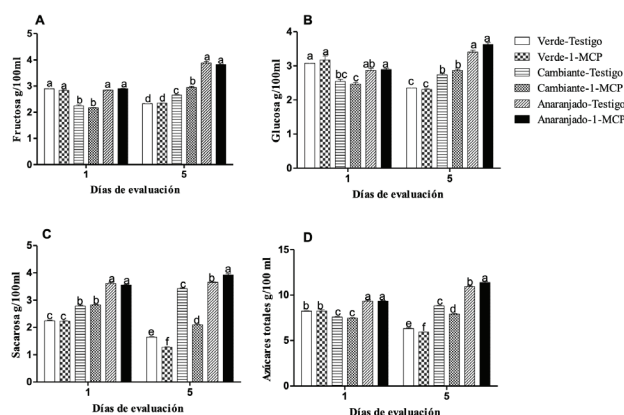


Figura 5. Contenido de azúcares en el jugo de lulo en los tres estados (verde, cambiante y anaranjado) A: concentración de fructosa, B: glucosa, C: sacarosa y D: fructosa + glucosa + sacarosa, a día 1 y 5 días después de la cosecha en frutos a temperatura ambiente (20 ± 1 °C y 60 % HR) (n=3).

el contenido de sacarosa (Figura 5C), observándose una disminución del día 1 al día 5 del 43.1 % y 25.9 % respectivamente. En contraste, los frutos anaranjados mantuvieron el contenido de sacarosa durante el mismo período. Independientemente del tratamiento, los frutos en estado verde mostraron una reducción en el contenido de azúcares atribuido a mayor actividad metabólica.

Por otro lado, el contenido de azúcares disminuyó con el almacenamiento refrigerado; siendo significativamente menor en los frutos verdes. En el día 1 de evaluación los frutos anaranjados con 1-MCP presentaron la concentración más alta de fructosa y glucosa, a los 5 días de evaluación los cambiantes testigo tuvieron un incremento significativo de estos azúcares (Figura 6A). La glucosa en los frutos cambiantes y anaranjados fue 25.35 % mayor que en los verdes (Figura 6B).

El contenido de sacarosa en los frutos anaranjados tuvo menor pérdida que el resto de los frutos (Figura 6C). A la salida de la refrigeración los frutos tratados con 1-MCP tuvieron significativamente mayor contenido de azúcares en todos los estados de madurez, pero disminuyó a los 5 d de almacenamiento (Figura 6D).

Ácido ascórbico

La vitamina C es hidrosoluble y termolábil, su concentración está relacionada con múltiples factores (Andrade-Cuvi et al., 2021). En los frutos verdes el contenido de ácido ascórbico fue significativamente menor que en los anaranjados (Cuadro 3), y conforme avanzaron los días de almacenamiento se incrementó

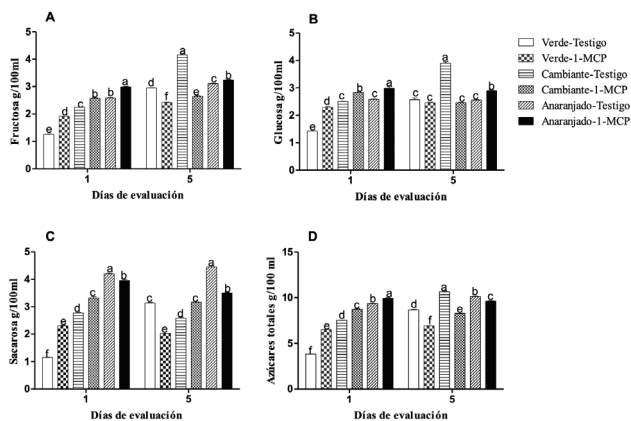


Figura 6. A: Concentración de fructosa, B: glucosa, C: sacarosa y D: suma de estos en los tres estados de madurez de lulo evaluados después de uno y 5 días de almacenamiento durante 2 semanas en refrigeración (8 ± 0.05 °C y 90 % HR) (n = 3).

tanto en los frutos mantenidos a temperatura ambiente como los evaluados a la salida del almacenamiento refrigerado, sin que la aplicación de 1-MCP afectara su contenido. González et al. (2014) reportaron valores de vitamina C entre los frutos verde y naranja de lulo var. quitoense de 4.16 hasta 11.95 mg 100 g⁻¹. Andrade-Cuvi et al. (2021) también observaron que a medida que cambia el color de los frutos de lulo, se presentan incrementos de hasta el 90 % en el contenido de vitamina C.

Fenoles totales y capacidad antioxidante

El mayor contenido de compuestos fenólicos se encuentra en la piel del lulo, donde se ha identificado ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido gálico y rutina, compuestos reconocidos por su actividad antioxidante, antimicrobiana o antitumoral (Andrade-Cuvi et al., 2021). En este estudio no se observaron diferencias significativas en el contenido de fenoles del jugo de lulo testigo ($722 \pm 105.8 \mu\text{g EAG mL}^{-1}$) y los tratados con 1-MCP ($762 \pm 129.6 \mu\text{g EAG mL}^{-1}$) así como tampoco por estado de madurez. Llerena et al. (2020) reportaron en lulo en estado cambiante un contenido de polifenoles de $775.31 \pm 18.26 \text{ mg EAG}100 \text{ g}^{-1}$, similares a los encontrados en este trabajo.

La capacidad antioxidante en lulo almacenados a 20 °C fue 6.93 % más alta que los almacenados en refrigeración, los frutos tratados con 1-MCP tuvieron significativamente menor capacidad antioxidante comparado con los frutos testigo, sin diferencias significativas por color de fruto (Cuadro 3). Hinestroza-Córdoba et al. (2021) reportaron valores entre 76.8-82.40 % de DPPH en frutos de lulo, similares a los valores reportados por Erge y Karadeniz (2011) en tomate con 72-94 % DDPH de inhibición.

Vida de anaquel

Después de 7 ddc todos los frutos con excepción de los anaranjados tratados con 1-MCP mantuvieron su calidad comercial; por otro lado, los frutos de lulo mantenidos en refrigeración a 8 °C lograron mantenerse en buenas condiciones durante dos semanas y 7 d a temperatura ambiente, con excepción de los frutos anaranjados tratados con 1-MCP y los verdes testigo que solo tuvieron en promedio 3 d de vida de anaquel. Acosta et al. (2009) mencionan que los frutos de

lulo son altamente perecederos, susceptibles al daño mecánico y al ataque de hongos, por lo que la vida útil después de la cosecha es de 6 a 8 d.

Reyes et al. (2024) evaluaron la tasa de respiración y producción de etileno en frutos de lulo en madurez cambiante a tres temperaturas de almacenamiento: 5, 8 y 18 °C, reportando valores de 100, 170 y 600 mg de CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, respectivamente. La producción de etileno fue mínima con valores de 0.008-0.01 mg kg⁻¹ d⁻¹, sin presentar un climaterio, ni cambios significativos en la composición del fruto. Por lo anterior, de acuerdo con nuestros resultados en donde no se mostraron cambios significativos en las características postcosecha del fruto, se podría asumir que el fruto de lulo tiene un comportamiento no climatérico.

El modo de acción exacto a través del cual el 1-MCP inhibe algunos procesos de deterioro en los frutos no climatéricos es poco conocido, sin embargo, sus efectos principales se basan en retrasar la senescencia, al mantener la integridad de la membrana, reteniendo la firmeza y retrasando la degradación de la clorofila (Li et al. 2016).

El almacenamiento refrigerado incrementó la vida postcosecha y mantuvo la calidad nutricional y la actividad antioxidante. La calidad de los frutos de lulo se vio afectada principalmente por la deshidratación, el crecimiento de hongos (*Colletotrichum* sp. y *Phomopsis* sp. en la parte proximal del fruto), y el ablandamiento del fruto.

CONCLUSIONES

Las principales causas del deterioro de lulo son la deshidratación y el ataque de hongos. El 1-MCP reduce la pérdida de peso y retiene el color, pero aquellos que se cosechan en estado verde no alcanzan el color anaranjado característico. El 1-MCP solo tiene efecto sobre los frutos verdes y ligeramente en los cambiantes, independientemente de la temperatura. Los frutos anaranjados contienen más SST, fructosa, glucosa y sacarosa y menor acidez que los cambiantes y verdes. La vida de anaquel de los frutos fue de 7 d a temperatura de 20 °C, aún después de salir de almacenamiento refrigerado por dos semanas. A fin de que los frutos puedan desarrollar sus características de calidad, se recomienda cosecharlos en estado cambiante.

Cuadro 3. Características de calidad de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck) con aplicación de 1-MCP (300 ppb), almacenamiento a 20 °C y refrigerado durante 2 semanas con 8 °C y tres estados de madurez (verde, cambiante y anaranjado).

			Variables evaluadas							
Factor			Clorofila (µg/g de materia fresca de exocarpio)	Carotenoides (µg/g de materia fresca de exocarpio)	SST (%)	AT (% de ácido cítrico)	Ratio (SST/AT)	Vit.C (mg/100 ml de jugo)	Fenoles (µg EAG/ml)	Capacidad Antioxidante (% de inhibición antioxidante)
Ambiente	TEMP	20 °C	7.77 a	46.43 b	9.44 b	3.31 a	2.86 b	2.66 a	749.7 a	84.04 a
	TRAT	Test	6.32 a	56.40 a	9.74 a	3.33 a	2.94 a	2.73 a	726.7 a	86.12 a
		1-MCP	9.22 a	37.57 b	9.13 b	3.29 a	2.78 a	2.60 a	768.1 a	81.95 b
	DDC	1	-----	-----	9.26 a	3.40 a	2.72bc	1.94 b	681.0 b	88.15 a
		3	6.73 a	48.16 ab	9.26 a	3.47 a	2.66 c	2.68ab	750.5 ab	87.84 a
		5	11.47 a	57.70 a	9.36 a	3.15 b	2.99ab	2.75ab	790.4ab	81.63 b
		7	5.55 a	37.73 b	9.87 a	3.23 b	3.06 a	3.05 a	795.9 a	78.52 b
	MAD	V	17.21 a	39.25 b	8.79 c	3.38 a	2.59 c	2.36 b	848.8 a	85.43 a
		C	6.23 b	44.75 ab	9.30 b	3.34ab	2.79 b	2.23 b	684.7 b	84.35 a
		A	3.01 b	54.10 a	10.23 a	3.21 b	3.19 a	3.21 a	740.7 b	85.43 a
	TEMPxTRAT		*	*	*	*	*	*	n/s	*
	TEMPxMAD		n/s	*	*	*	*	*	*	*
	TEMPxDIA		*	*	*	*	*	*	n/s	*
	TRATxMAD		n/s	*	*	*	n/s	*	n/s	*
	TRATxDIA		*	*	*	*	*	*	n/s	*
MADxDIA		*	*	*	*	*	*	*	*	
Refrigeración	TEMP	8 °C	7.78 a	55.34 a	9.59 a	3.28 b	2.94 a	2.62 b	739.7 a	78.21 b
	TRAT	Test	8.24 a	61.49 a	9.72 a	3.19 b	3.07 a	2.59 a	719.0 a	83.28 a
		1-MCP	7.35 a	48.79 b	9.46 a	3.37 a	2.80 b	2.64 a	757.3 a	73.29 b
	DDC	0	-----	-----	9.25 b	3.40 a	2.72 b	1.94 c	681.0 b	88.15 a
	DDA	1	6.91 a	58.63 a	9.25 b	3.24ab	2.86ab	2.13bc	704.0ab	71.17 b
		3	10.19 a	40.31 b	9.62 ab	3.17 b	3.07 a	2.23bc	748.4ab	74.14 b
		5	8.12 a	56.52 a	10.09 a	3.32ab	3.05ab	3.41 a	835.4 a	77.65 b
		7	5.35 a	67.93 a	9.73 ab	3.28ab	2.98ab	2.84ab	771.8ab	75.51 b
	MAD	V	17.87 a	59.09 a	9.07 c	3.33 a	2.74 b	2.37 a	775.0 a	77.78 a
		C	6.31 b	52.05 a	9.53 b	3.36 a	2.83 b	2.66 a	718.6 a	78.01 a
		A	2.53 c	54.27 a	10.17 a	3.15 b	3.24 a	2.74 a	747.5 a	78.70 a

TEMP=Temperaturas de almacenamiento (8 y 20 °C); TRAT=Tratamientos (testigo/1-MCP); DDC (días después de cosecha); MAD (madurez [V] verde, [C] cambiante, [A] anaranjado); DDA (días después de almacenamiento); SST (sólidos solubles totales); AT (acidez titulable); ns * = no significativo o significativo, respectivamente, con $P \leq 0.05$.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca de Maestría otorgada a Ana Laura Olguín Hernández (Número 788985).

LITERATURA CITADA

- Acosta, Ó., Pérez, A., & Vaillant, F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(1), 88-94.
- Andrade-Cuvi, M. J., Guijarro-Fuertes, M., & Luzcando, J. (2021). Evaluación fisicoquímica y antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) durante la maduración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(2), 145-164.
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Guijarro-Fuertes, M., & Concellón, A. (2015). Caracterización de la naranjilla (*Solanum quitoense*) común en tres estados de madurez. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 215-221.
- Balaguera-López, H. E., Espinal-Ruiz, M., Rodríguez-Nieto, J. M., Herrera-Arévalo, A., & Zacarías, L. (2021). 1-Methylcyclopropene inhibits ethylene perception and biosynthesis: A theoretical and experimental study on cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 174, 111467. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111467>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cadena, J., Soto, M., Arévalo, M. L., Avendaño, C. H., Aguirre, J. F., & Ruiz, L. del M. (2011). Caracterización bioquímica de variedades domesticadas de chayote *Sechium edule* (Jacq.) Sw. comparadas con parientes silvestres. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(Ed. Esp. 2), 45-55.
- Casierra-Posada, F., García, E. J., & 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.
- Dhar, M. K., Sharma, R., Koul, A., & Kaul, S. (2015). Development of fruit color in Solanaceae: a story of two biosynthetic pathways. *Briefings in Functional Genomics*, 14(3), 199-212. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elu018>
- Díaz-Leguizamón, J. J., Chingaté-Cruz, O. F., Sánchez-Reinoso, A. D., & Restrepo-Díaz, H. (2016). The effect of foliar applications of a bio-stimulant derived from algae extract on the physiological behavior of lulo seedlings (*Solanum quitoense* cv. Septentrionale). *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(1), 25-37. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000100003>
- Du, Y., Jin, T., Zhao, H., Han, C., Sun, F., Chen, Q., Yue, F., Luo, Z., & Fu, M. (2021). Synergistic inhibitory effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide (ClO₂) treatment on chlorophyll degradation of green pepper fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 171, 111363. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111363>
- Duarte-Alvarado, D., Lagos-Burbano, T. C., Lagos-Santander, L. K., & Benavides-Cardona, C. A. (2021). General and specific combining abilities in a lulo diallel cross (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), e11976. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11976>
- Erge, H., & Karadeniz, F. (2011). Bioactive compounds and antioxidant activity of tomato cultivars. *International Journal of Food Properties*, 14(5), 968-977. <https://doi.org/10.1080/10942910903506210>
- Forero, D. P., Orrego, C. E., Peterson, D. G., & Osorio, C. (2015). Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.111>
- Forero, N., Gutiérrez, S., Sandoval, R., Camacho, J., & Meneses, M. (2014). Evaluación poscosecha de las características del lulo (*Solanum quitoense*) cubierto con hoja de plátano. *Temas Agrarios*, 19(1): 73-85. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.726>
- Gancel, A.-L., Alter, P., Dhuique-Mayer, C., Ruales, J., & Vaillant, F. (2008). Identifying carotenoids and phenolic compounds in naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. var. Puyo hybrid), an Andean fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24), 11890-11899. <https://doi.org/10.1021/jf801515p>
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, J. C., & Cadena-Íñiguez, J. (2014). Lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.]) as new landscape crop in the Mexican agro-ecosystem. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(9), 1741-1753. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1061>

- González, D. I., Ordóñez, L. E., Vanegas, P., & Vásquez, 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.
- Hinestroza-Córdoba, L. I., Barrera, C., Seguí, L., & Betoret, N. (2021). Potential use of vacuum impregnation and high-pressure homogenization to obtain functional products from lulo fruit (*Solanum quitoense* Lam.). *Foods*, 10(4), 817. <https://doi.org/10.3390/foods10040817>
- Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>
- Kim, D.-O., Lee, K. W., Lee, H. J., & Lee, C. Y. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13), 3713-3717. <https://doi.org/10.1021/jf020071c>
- Li, L., Lichter, A., Chalupowicz, D., Gamrasni, D., Goldberg, T., Nerya, O., Ben-Arie, R., & Porat, R. (2016). Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.031>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Llerena, W., Samaniego, I., Navarro, M., Ortíz, J., Angós, I., & Carrillo, W. (2020). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) in the antioxidant capacity of arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), and tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from Ecuador. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14757. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14757>
- Lv, J., Zhang, M., Bai, L., Han, X., Ge, Y., Wang, W., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125707>
- Massolo, J. F., Concellón, A., Chaves, A. R., & Vicente, A. R. (2011). 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.007>
- Mejía, C. M., Gaviria, D., Duque, A. L., Rengifo, L., Aguilar, E., & Alegría, A. H. (2012). Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety in six ripening stages. *Vitae*, 19(2), 157-165.
- Olgún-Hernández, A. L., Arévalo-Galarza, M. de L., Cadena-Iñiguez, J., Jaén-Contreras, D., Peña-Valdivia, C. B. (2023). Plant height and stem diameter of *Solanum quitoense* Lamarck improved with applications of AMF and biostimulants. *Agriculture*, 13(7), 1420. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071420>
- Ramírez, F., Kallarackal, J., & Davenport, T. L. (2018). Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: A review. *Scientia Horticulturae*, 238, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.046>
- Ramírez-Rodas, Y., Arévalo-Galarza, M. de L., Cadena-Iñiguez, J., Soto-Hernández, R. M., Peña-Valdivia, C. B., Guerrero-Analco, J. A. (2023). Chayote fruit (*Sechium edule* var. *virens levis*) development and the effect of growth regulators on seed germination. *Plants*, 12(1), 108. <https://doi.org/10.3390/plants12010108>
- Reyes, A. J., Balaguera-López, H. E., & Castellanos, D. A. (2024). Effect of temperature, 1-methylcyclopropene, and modified atmosphere packaging on the post-harvest behavior of lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Scientia Horticulturae*, 329, 113012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113012>
- Sdiri, S., Navarro, P., Monterde, A., Benabda, J., & Salvador, A. (2012). New degreening treatments to improve the quality of citrus fruit combining different periods with and without ethylene exposure. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.08.005>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sun, B., Yan, H., Liu, N., Wei, J., & Wang, Q. (2012). Effect of 1-MCP treatment on postharvest quality characters, antioxidants and glucosinolates of Chinese kale. *Food Chemistry*, 131(12), 519-526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.016>
- Xie, J., Yao, S., Ming, J., Deng, L., & Zeng, K. (2019). Variations in chlorophyll and carotenoid contents and expression of genes involved in pigment metabolism response to oleocellosis in citrus fruits. *Food Chemistry*, 272, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.020>