

# Recubrimiento a base de quitosano para optimizar la calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)

## Chitosan-based coating to optimize the quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.)

Angie Cecilia Vaca Portillo <sup>1,2</sup>, Oswaldo Osorio Mora <sup>1,3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. <sup>2</sup>  [angievacap@udenar.edu.co](mailto:angievacap@udenar.edu.co) <sup>3</sup>  [osorio\\_oswaldo@udenar.edu.co](mailto:osorio_oswaldo@udenar.edu.co)



<https://doi.org/10.15446/acag.v72n2.106047>

2023 | 72-2 p 132-138 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2022-11-27 Acep.: 2023-10-09

### Resumen

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es reconocida en los mercados nacional e internacional como una fruta exótica y con un alto valor nutricional. Sin embargo, su corta vida útil y las pérdidas postcosecha afectan su comercialización. El objetivo de esta investigación fue desarrollar la formulación de un recubrimiento comestible, a partir de un diseño de superficie de respuesta Box-Behnken, variando la concentración de quitosano (1, 1,5 y 2 %) (p/p), cera de abeja y glicerol (1, 2 y 3 %) (p/p), para extender la vida útil de los frutos. La pérdida de peso, la firmeza, el índice de color y la tasa de respiración fueron las variables de respuesta. Los modelos polinómicos cuadráticos generados fueron adecuados para explicar los efectos de las concentraciones de quitosano, cera de abeja y glicerol. La validación experimental confirmó la idoneidad de la formulación del recubrimiento para uchuva mediante la metodología de superficie de respuesta con quitosano al 1,33 %, cera de abeja al 2,14 % y glicerol al 1,29 %. El recubrimiento mantuvo las propiedades fisiológicas y físicas de la uchuva hasta 15 días en temperatura ambiente.

**Palabras clave:** biopolímero, cera de abeja, glicerol, permeabilidad a gases, vida útil.

### Abstract

The cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) is recognized in national and international markets as an exotic fruit with high nutritional value. However, its short shelf life and post-harvest losses affect its marketing. The objective of this research was to develop the formulation of an edible coating to extend the useful life of the fruits, based on a Box-Behnken response surface design, using different concentrations of chitosan (1, 1.5 and 2 %) (w/w), beeswax, and glycerol (1, 2 and 3 %) (w/w). Weight loss, firmness, color index, and respiration rate were the response variables. The generated quadratic polynomial models were suitable to explain the effects of chitosan, beeswax, and glycerol concentrations. Experimental validation confirmed the suitability of the cape gooseberry coating formulation using response surface methodology with 1.33 % chitosan, 2.14 % beeswax, and 1.29 % glycerol. The coating maintained the physiological and physical properties of cape gooseberry for up to 15 days at room temperature.

**Keywords:** beeswax, biopolymer, gas permeability, glycerol, shelf life.

## Introducción

La uchuva, uvilla o aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) pertenece a la familia de las Solanaceas y es una fruta tropical nativa de la región andina (Carvalho *et al.*, 2015).

Las uchuvas se deterioran aceleradamente por afección de plagas, infecciones y enfermedades; son perecederas por su alto contenido de agua, tasa respiratoria y producción de etileno. Debido a la carencia de logística, tecnología e infraestructura, las pérdidas de uchuva en postcosecha son altas (Balaguera López *et al.*, 2015).

Para prolongar la vida útil de esta fruta se han desarrollado recubrimientos comestibles. Estos se describen como una capa semipermeable, transparente, continua, delgada y comestible para inhibir o reducir el intercambio de humedad, de gases como oxígeno y dióxido de carbono, y de aromas, y además sirven de empaque (Kaviani *et al.*, 2015; Peñaloza y Ordoñez, 2020).

Entre los compuestos que se utilizan para obtener los recubrimientos comestibles se encuentra el quitosano. Este compuesto es obtenido por desacetilación química de la quitina; es un biopolímero catiónico, biodegradable, no tóxico y biocompatible con la naturaleza, y cuenta con propiedades antimicrobianas. Actualmente es incorporado a recubrimientos comestibles y aplicado en las superficies de las frutas con fines de conservación (González-Locarno *et al.*, 2020).

El objetivo de este estudio fue desarrollar un recubrimiento comestible a base de quitosano, glicerol y cera de abeja para mantener la calidad postcosecha de la uchuva, incluido el color, la firmeza, la tasa de respiración y la pérdida de peso durante 15 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

## Materiales y métodos

### Materia prima

Los frutos para el estudio fueron de uchuva ecotipo Colombia, sin cáliz, en estado de madurez 3 según la Norma Técnica Colombiana NTC 4580 (Icontec, 1999), procedente del corregimiento José María Hernández, del municipio de Pupiales, departamento de Nariño. Los frutos de uchuva, sin daños mecánicos y sin presencia visible de hongos, se lavaron, se desinfectaron externamente con agua clorada a 100 ppm y se mantuvieron a 20 °C y 47 % HR para eliminar el exceso de humedad en la superficie.

## Preparación y aplicación de recubrimientos

Los recubrimientos se prepararon de acuerdo con lo descrito por González-Locarno *et al.* (2020) y Martínez *et al.* (2018b), con algunas modificaciones. El quitosano se preparó al 1, 1,5 y 2 % (p/v) en solución de agua destilada y ácido acético al 1 %, con agitación a 750 rpm y 90 °C por 2 h. A cada una de esas mezclas se incorporó glicerol al 1, 2 y 3 % (p/v), más Tween 80 (1,5 p/v) en la solución, y se agitó con 750 rpm y 60 °C. De manera alterna, la cera de abeja se fundió en proporción de 1, 2 y 3 % en ácido esteárico 1:5 en relación con la cera a 60 °C. A estas últimas soluciones se les incorporaron las soluciones de quitosano y se continuó agitando a 750 rpm a 60 °C. Las mezclas finales se homogeneizaron en Dlab D500- Ultra Turrax a 12 000 rpm durante 2 min y se incorporaron a los frutos por método de inmersión.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño Box-Behnken de tres factores cada uno, con tres niveles y tres réplicas en puntos centrales, para un total de 15 repeticiones. Se utilizaron formulaciones con tres variables independientes, incluidos quitosano ( $\beta_1$ ): 1,0-2,0 %, glicerol ( $\beta_2$ ): 1,0-3,0 %, y cera de abeja ( $\beta_3$ ): 1,0-3,0 %, para obtener combinaciones óptimas (Tabla 1). Los niveles de estas variables independientes se seleccionaron de pruebas preliminares. El diseño experimental, el modelo de regresión y el análisis estadístico se realizaron con el software Design-Expert 11. Los datos experimentales se ajustaron con la siguiente ecuación polinomial de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + e_i$$

Dónde: Y: variable respuesta o dependiente;  $X_i$ : variables independientes;  $\beta_0$ : intercepto;  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$ ,  $\beta_{ii}$ : coeficientes de regresión para términos lineales, cuadráticos e interacciones; k: número de variables.

Las ecuaciones polinómicas de los ajustes con la mejor tendencia de las variables se seleccionaron mediante el coeficiente de regresión ( $R^2$ ) y la prueba de falta de ajuste. La importancia del modelo y los términos se evaluó mediante análisis de superficie de respuesta del diseño experimental. La optimización se realizó bajo el análisis múltiple de las variables respuesta (Rangel-Marrón *et al.*, 2019).

**Tabla 1.** Matriz del diseño experimental Box-Behnken para la optimización del recubrimiento comestible

Repetición	Factores (%)		
	β1: Quitosano	β2: Glicerol	β3: Cera de abeja
1	1,5	2	2
2	1,5	2	2
3	1,5	2	2
4	1	1	2
5	2	1	2
6	1	3	2
7	2	3	2
8	1	2	1
9	2	2	1
10	1	2	3
11	2	2	3
12	1,5	1	1
13	1,5	3	1
14	1,5	1	3
15	1,5	3	3

## Propiedades físicas y fisiológicas evaluadas

**Pérdida de peso:** se determinó mediante el pesaje directo de los frutos antes del almacenamiento y después de 3, 6, 9, 12 y 15 días, en una balanza analítica (Pioneer PA 214, OHAUS), usando la siguiente ecuación (Tran *et al.*, 2021):

$$P (\%) = \frac{(P_0 - P_f)}{P_0} * 100$$

Dónde: P: pérdida de peso; P<sub>0</sub>: peso antes del almacenamiento (g); P<sub>f</sub>: peso en cada intervalo de tiempo (g).

**Tasa de respiración (TR):** se determinó mediante la medición de CO<sub>2</sub> al inicio y después de 1 h de acumulación en el espacio de cabeza, dentro de un recipiente de vidrio hermético que contenía 10 frutos; la tapa estaba previamente acondicionada con un catéter para el ingreso de una aguja del analizador de gases (F-950, Felix Instruments). Para el cálculo de la tasa de respiración se utilizó la siguiente ecuación (Cuaspud *et al.*, 2019):

$$TR = \frac{P * V * PM_{CO_2} * \Delta CO_2}{r * T * t * m}$$

Dónde: P: presión atmosférica (atm), V: volumen del espacio libre (V = V<sub>recipiente</sub> - V<sub>fruto</sub>); PM<sub>CO<sub>2</sub></sub>: peso molecular del CO<sub>2</sub>; Δ: diferencia entre el porcentaje

de CO<sub>2</sub> 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.

**Firmeza:** se determinó con un texturómetro (LLOYD LS1SH) con aguja cilíndrica de 5 mm sobre una placa de compresión, 1 N de precarga y 0,5 mm/s de velocidad. La toma de datos se hizo directamente sobre la zona ecuatorial del fruto.

**Color:** el color de la epidermis se evaluó con el sistema de color L\*a\*b\* mediante un colorímetro (CM-5, Konica Minolta) de observador 10°, iluminante D65 y área de medición de 3 mm en 10 frutas para cada tratamiento. El índice de color se determinó por la siguiente ecuación (Balaguera-López *et al.*, 2021).

$$IC = \frac{a * 1000}{L * b}$$

## Análisis estadístico

El diseño experimental incluyó un modelo de superficie de respuesta tipo Box-Behnken, con tres puntos centrales. Se obtuvieron 15 tratamientos, cada uno con 3 réplicas. Se aplicó ANDEVA, con nivel de confianza del 95 % (α=0,05), para evaluar la significancia de los factores. Se utilizó el software Design-Expert 11 para estos análisis estadísticos.

## Resultados

Los datos experimentales (Tabla 2) permitieron determinar coeficientes de determinación R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> ajustado y el valor P (Tabla 3). Los valores R<sup>2</sup> y R<sup>2</sup> ajustado fueron altos, entre 0,905 y 0,941; esto mostró la relación entre el modelo y los datos experimentales. Los valores de falta de ajuste no fueron significativos excepto para la variable respuesta de tasa de respiración (p < 0,05) confirmando que el modelo describe adecuadamente la superficie cuadrática sugerida y explica los datos experimentales. Además, los p-valores inferiores a 0,05 confirman que el modelo fue significativo y permite predecir las variables estudiadas.

## Propiedades físicas y fisiológicas evaluadas

**Pérdida de peso:** la pérdida de peso varió de 16,82 a 31,02 % (Tabla 2). Así, la pérdida de peso de las uchuvas recubiertas disminuyó con las menores concentraciones de quitosano y glicerol (Figura 1a). El análisis estadístico indicó que el término lineal de quitosano, las interacciones quitosano-glicerol, quitosano-cera de abeja, glicerol-cera de abeja y el efecto cuadrático de la cera de abeja fueron significativos (Tabla 4).

**Tabla 2.** Propiedades fisiológicas y físicas de frutos de uchuva recubiertos y almacenados a 20 °C por 15 días

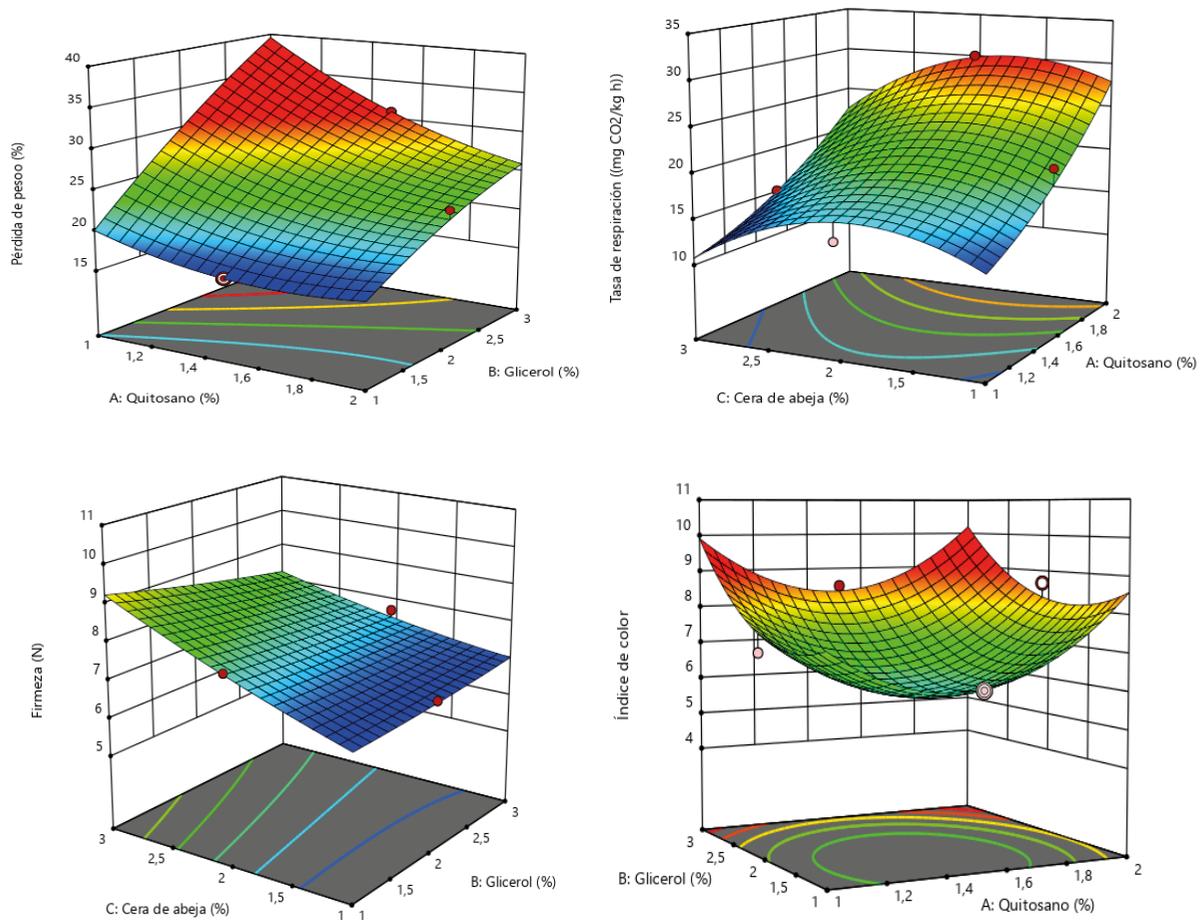
Experimento	Propiedades fisiológicas y físicas			
	Pérdida de peso (%)	Tasa de respiración (mg CO <sub>2</sub> /kg h)	Firmeza (N)	Índice de color
1	22,42	16,96	8,61	4,63
2	22,52	16,85	8,32	4,98
3	21,65	16,23	7,89	4,65
4	22,66	14,35	8,36	6,76
5	22,33	30,08	7,91	7,06
6	28,93	26,81	7,13	8,56
7	18,12	22,27	7,71	7,95
8	29,59	12,28	8,17	7,43
9	23,61	14,99	6,91	9,05
10	24,48	13,99	7,93	7,03
11	28,60	13,54	8,41	8,67
12	16,82	20,63	7,99	6,96
13	31,02	17,06	7,60	8,14
14	29,92	15,18	9,93	6,25
15	17,69	15,86	8,27	8,50

**Tabla 3.** Análisis de varianza de propiedades fisiológicas y físicas de frutos de uchuva recubiertos para la determinación del ajuste del modelo

Variable	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Falta de ajuste	Relación F del modelo	P valor > F
Pérdida de peso	0,963	0,896	0,0595 <sub>ns</sub>	14,38	0,0045*
Tasa de respiración	0,935	0,817	0,0198	7,96	0,0171*
Firmeza	0,905	0,734	0,5459 <sub>ns</sub>	5,28	0,0407*
Índice de color	0,941	0,834	0,066 <sub>ns</sub>	8,77	0,0139*

\*Significativamente diferente (p < 0,05). <sup>ns</sup> No significativamente diferente (p > 0,05)

Tasa de respiración: las tasas de respiración de las uchuvas recubiertas fueron de 12,28 a 30,08 mg CO<sub>2</sub>/kg h. La superficie de respuesta indicó que, con concentración menor de quitosano, la tasa de respiración baja; y los valores de las concentraciones cercanas al punto medio de cera de abeja presentan las tasas de respiración más altas (Figura 1b). Aunque los efectos lineales no fueron significativos, los efectos cuadráticos de glicerol y cera de abeja, más la interacción entre quitosano y glicerol, sí fueron significativos (Tabla 4).



**Figura 1.** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de las interacciones entre las variables del proceso sobre la calidad fisiología y física de la uchuva con el recubrimiento comestible almacenadas a 20 °C durante 15 días: (a) pérdida de peso, (b) tasa de respiración, (c) firmeza e (d) índice de color.

**Tabla 4.** Coeficientes de regresión y P-valor de datos experimentales de las propiedades fisiológicas y físicas de frutos de uchuva recubiertos

Coeficientes	Propiedades fisiológicas y físicas							
	Pérdida de peso (%)		Tasa de respiración (mg CO <sup>2</sup> /kg h)		Firmeza (N)		Índice de color	
	Estimado	p- Valor	Estimado	p- Valor	Estimado	p- Valor	Estimado	p- Valor
$\beta_0$	22,2000	-	16,6840	-	8,2734	-	4,7539	-
Lineal								
$\beta_1$	-1,6200	0,0280*	1,6820	0,0790	-0,0799	0,546	0,3684	0,1404
$\beta_2$	0,5040	0,3855	0,2194	0,7856	-0,4350	0,0183*	0,7658	0,0149*
$\beta_3$	-0,0448	0,9359	-0,7966	0,3450	0,4832	0,0123*	-0,1417	0,5307
Cuadrática								
$\beta_{11}$	1,7572	0,0740	1,6069	0,2125	-0,5431	0,0329*	1,7070	0,0027*
$\beta_{22}$	-0,9470	0,2789	5,0882	0,0063*	0,0506	0,7963	1,1227	0,0152*
$\beta_{33}$	2,6145	0,0203*	-4,5901	0,0095*	0,1245	0,5327	1,5851	0,0037*
interacción								
$\beta_{12}$	-2,6206	0,0173*	-5,0681	0,0054*	0,2569	0,2097	-0,2293	0,4759
$\beta_{13}$	2,5233	0,0199*	-0,7916	0,4968	0,4339	0,0594*	0,0053	0,9865
$\beta_{23}$	-6,6048	0,0003*	1,0614	0,3711	-0,3162	0,1369	0,2693	0,4072

\*Diferencias significativas ( $p < 0,05$ );  $\beta_0$ : intercepto;  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$  coeficientes de regresión lineal para quitosano, glicerol y cera de abeja respectivamente;  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{12}$  y  $\beta_{13}$ , regresión de coeficientes de interacciones entre quitosano\*glicerol; quitosano\*cera de abeja y glicerol\*cera de abeja; coeficientes de regresión por quitosano<sup>2</sup>, glicerol<sup>2</sup> y cera de abeja<sup>2</sup>.

**Tabla 5.** Optimización y validación de las propiedades fisiológicas y físicas de frutos de uchuva recubiertos

Variables independientes (%)	Condiciones óptimas			
Quitosano	1,33			
Glicerol	1,29			
Cera de abeja	2,14			
Criterio	Propósito	Valor predicho	Valor experimental	Porcentaje de error (%)
Pérdida de peso (%)	Minimizar	22,09	22,01	0,39
Tasa de respiración	Minimizar	17,17	18,60	8,40
Firmeza (N)	Maximizar	8,71	8,51	2,36
Índice de color	Minimizar	4,77	4,94	3,59

Firmeza: las uchuvas con recubrimiento presentaron firmeza entre 6,91 y 9,96 N (Tabla 2). El efecto lineal de glicerol, cera de abeja, el efecto cuadrático de quitosano y la interacción de quitosano con cera de abeja fueron significativos. La cera de abeja fue el componente que más afectó la firmeza; la mayor concentración incrementó la firmeza (Figura 1c y Tabla 4).

Índice de color: el índice de color varió entre 4,63 hasta 9,05 (Tabla 2); disminuyó en los valores cercanos al nivel central con concentración de 1,5 % de quitosano, mientras en los niveles superiores e inferiores el índice de color fue superior. El mismo fenómeno ocurrió con la concentración de glicerol, donde los valores inferiores se encuentran

a concentraciones cercanas a 2 % (Figura 1c). El término lineal de glicerol, y los efectos cuadráticos de quitosano, glicerol y cera de abeja tuvieron efecto significativo (Tabla 4).

## Optimización y validación del modelo

El nivel óptimo para las diferentes variables se logró con 1,33, 1,29 y 2,14 % para quitosano, glicerol y cera de abeja, respectivamente, con una deseabilidad global de 0,716. En general, para cada respuesta predicha, el porcentaje de error fue inferior al 10 % (Tabla 5).

## Discusión

La pérdida de peso durante el almacenamiento afecta la apariencia y calidad de los frutos, es una consecuencia de la transpiración del fruto y un proceso físico durante todo el periodo de almacenamiento. En este proceso están involucrados tres eventos: el movimiento de agua como líquido y vapor desde los espacios intercelulares hacia el exterior, la disolución y difusión de las moléculas de agua en y a través de las membranas de la piel del fruto, y la desorción del agua en la superficie exterior (Liu *et al.*, 2020).

Resultados mostrados por González-Locarno *et al.* (2020) indicaron que a los 12 días de almacenamiento, las uchuvas recubiertas con quitosano tuvieron una menor pérdida que las uchuvas sin recubrimiento (13 %). Igualmente, un recubrimiento en fresa mostró la tendencia general opuesta en la concentración de

quitosano en el recubrimiento y la tasa de pérdida de peso, donde las fresas con recubrimiento redujeron significativamente la tasa de pérdida de peso, comparadas con las no tratadas (Liu *et al.*, 2020).

Los recubrimientos con componentes lipídicos se utilizan como barrera de vapor de agua en alimentos frescos para preservar su calidad. La condición hidrofóbica de la cera de abeja ayuda a evitar la pérdida de peso y también brinda brillo a la superficie de las frutas, aunque se asocia a valores más bajos de permeabilidad a los gases (Ferreira *et al.*, 2016; Yousuf *et al.*, 2018). Grande-Tovar *et al.* (2019) determinó que el componente lípido mostró una diferencia entre los tratamientos con y sin componente lipídico en guayabas; la barrera a la pérdida de agua estuvo influenciada por el efecto hidrofóbico. El agua libre migra a un medio ambiente generando la pérdida de peso, la presencia de cera de abeja en la formulación del recubrimiento permite una menor pérdida de agua libre del fruto (Martínez *et al.*, 2018a; Grande-Tovar *et al.*, 2019).

Los recubrimientos y películas de quitosano son selectivamente permeables a los gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ), pueden aumentar las propiedades mecánicas, mejorar el desempeño en términos de permeabilidad al vapor, menor solubilidad al vapor de agua y mejor intercambio de gases a favor de conservar la calidad de las frutas (Ferreira *et al.*, 2016; Luo y Wang, 2014). El quitosano es una macromolécula polar, lo que dificulta la difusión de los gases debido al estrecho enlace entre las moléculas. La adición de glicerol reduce gradualmente la permeabilidad al oxígeno, disminuyendo la tasa de respiración por su buena compatibilidad con el quitosano, y la interacción entre los componentes es más fuerte (Liu *et al.*, 2020).

La fitohormona necesaria para la maduración a través de vías metabólicas utiliza oxígeno, la reducción de la tasa de respiración por acción del recubrimiento producirá menos etileno por la falta de oxígeno necesario, prolongando la vida útil de la fruta (Ghidelli y Pérez-Gago, 2018; Grande-Tovar *et al.*, 2018).

Según Carvalho *et al.* (2015) la tasa de respiración de la uchuva sin recubrimiento a 20 °C alcanzó un valor de 85,6 mg kg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> en el día 0 hasta el día 14 de almacenamiento. La tasa de respiración de las uchuvas recubiertas de este estudio fue menor, debido a la incorporación de glicerol, ya que aumenta la resistencia de la piel a la difusión de gases al bloquear los poros en la superficie de la fruta, generando una atmósfera interna modificada y reduciendo la generación de  $CO_2$ .

La firmeza de la fruta es considerada como uno de los principales atributos de calidad y muchas veces limita la vida postcosecha, refleja los cambios en la estructura celular, la cohesión celular y algunos cambios bioquímicos. En recubrimientos de quitosano y alginato se ha encontrado valores

de firmeza entre 5,8 y 6 N a los 14 días (Carvalho *et al.*, 2015), valores aproximados a los de esta investigación. Algunos estudios realizados en cítricos muestran una relación entre la firmeza del fruto y la pérdida de peso del mismo, siendo la deshidratación la responsable de la pérdida de turgencia del fruto y, por tanto, de la pérdida de firmeza (Soto-Muñoz *et al.*, 2021) 1.0–2.0% w/w.

El color de la epidermis del fruto es un referente del índice de madurez, el cambio de color de la fruta permite que aumente su intensidad. En una investigación con recubrimiento comestible de quitosano en uchuva, la muestra con recubrimiento al día 12 mostró menores cambios de color que en las uchuvas sin recubrimiento (González-Locarno *et al.*, 2020). En la presente investigación se indica que el índice de color tuvo presencia de tonos amarillos y rojos, resultados similares se obtuvieron en otras investigaciones (Grande-Tovar *et al.*, 2019). Las uchuvas se ven afectadas por el recubrimiento en menor proporción por la degradación de la clorofila, afectando las coordenadas rojo/verde ( $a^*$ ) y las coordenadas amarillo/azul ( $b^*$ ) intensificando su valor y a la vez conservando los valores L. Estos resultados también dependen de las características postcosecha y del estado de madurez.

Se reportaron índices de color cercanos a 6 para uchuvas sin recubrimiento a 20 °C durante 14 días (Carvalho *et al.*, 2015), siendo un valor superior respecto al mejor tratamiento de 4,63 con recubrimiento obtenido en esta investigación, por lo tanto se puede afirmar que el recubrimiento fue eficaz para retrasar la evolución del color de las uchuvas.

Finalmente, las respuestas derivadas del modelo eran comparables con los valores experimentales, lo que indica la idoneidad de la metodología utilizada para la optimización de las variables y que los modelos propuestos podrían usarse para predecir de manera eficiente las características fisiológicas y físicas del recubrimiento comestible en uchuva.

## Conclusiones

El recubrimiento a base de quitosano, glicerol y cera de abeja permite mantener las propiedades fisiológicas y físicas de uchuvas a 20 °C por 15 días. La optimización simultánea de las respuestas de uchuva con recubrimiento comestible para reducir la pérdida de peso, índice de color y tasa de respiración, y aumentar la firmeza, mostró el nivel óptimo con 1,33, 1,29 y 2,14 % de quitosano, glicerol y cera de abeja, respectivamente. Las respuestas derivadas del modelo son comparables con los valores experimentales, lo que indica la idoneidad del método utilizado para la optimización de las variables, y que los modelos propuestos permiten predecir las propiedades físicas del recubrimiento.

## Referencias

- Balaguera-López, H. E.; Espinal-Ruiz, M.; Rodríguez-Nieto, J. M.; Herrera-Arévalo, A. y 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>
- Balaguera-López, H. E.; Martínez C., C. A. y Herrera-Arévalo, A. (2015). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 181.
- Carvalho, C. P.; Villaño, D.; Moreno, D.; Serrano, M. y Valero, D. (2015). Alginate edible coating and cold storage for improving the physicochemical quality of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Food Science & Nutrition*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.24966/fsn-1076/100002>
- Cuaspad, S.; Moreno, C.; Andrade-Cuvi, M.; Alcívar, C. y Guerrero, M. (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.
- Ferreira, A. R. V.; Alves, V. D. y Coelho, I. M. (2016). Polysaccharide-based membranes in food packaging applications. *Membranes*, 6(2), 1-17. <https://doi.org/10.3390/membranes6020022>
- Ghidelli, C. y Pérez-Gago, M. B. (2018). Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(4), 662-679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1211087>
- González-Locarno, M.; Pautt, Y. M.; Albis, A.; Flórez, E. y Grande Tovar, C. D. (2020). Assessment of chitosan-rue (*Ruta graveolens* L.) essential oil-based coatings on refrigerated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) quality. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/AP10082684>
- Grande-Tovar, C. D.; Chaves-López, C.; Serio, A.; Rossi, C. y Paparella, A. (2018). Chitosan coatings enriched with essential oils: Effects on fungi involve in fruit decay and mechanisms of action. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.019>
- Grande-Tovar, C. D.; Delgado-Ospina, J.; Navia-Porras, D. P.; Peralta-Ruiz, Y.; Pérez Cordero, A.; Castro, J. I.; Chaur Valencia, M. N.; Mina, J. H. y Chaves-López, C. (2019). Colletotrichum gloeosporioides inhibition in situ by Chitosan-Ruta graveolens essential oil coatings: Effect on microbiological, physicochemical, and organoleptic properties of Guava (*Psidium guajava* L.) during room temperature storage. *Biomolecules*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/biom9090399>
- Kaviani, M.; Shariati, M.; Joshevska, E.; Tomovska, J. y Vanaei, M. (2015). Effects of chitosan and aloe vera gel coating on quality characters of pistachio. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 2(1), 17-20. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2015.02.00042>
- Liu, Y.; Yuan, Y.; Duan, S.; Li, C.; Hu, B.; Liu, A.; Wu, D.; Cui, H.; Lin, L.; He, J. y Wu, W. (2020). Preparation and characterization of chitosan films with three kinds of molecular weight for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.217>
- Luo, Y. y Wang, Q. (2014). Recent development of chitosan-based polyelectrolyte complexes with natural polysaccharides for drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 353-367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.12.017>
- Martínez, K.; Ortiz, M.; Albis, A.; Gutiérrez, C. G.; Valencia, M. E. y Grande-Tovar, C. D. (2018a). The effect of edible chitosan coatings incorporated with thymus capitatus essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/biom8040155>
- Martínez, K.; Ortiz, M.; Albis, A.; Gutiérrez, C. G.; Valencia, M. E. y Grande-Tovar, C. D. (2018b). The effect of edible chitosan coatings incorporated with *Thymus capitatus* essential oil on the shelf-life of strawberry (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. *Biomolecules* 2018, 8, 8(4), 155. <https://doi.org/10.3390/Biom8040155>
- Mendoza, J. H.; Rodríguez, A. y Millán, P. (2012). Caracterización físico química de la uchuva (*Physalis peruviana*) en la región de Silvia Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 188-196.
- Peñaloza, R. y Ordoñez, M. (2020). Conservación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante la aplicación de recubrimiento comestible a base de gel de *Aloe barbadensis* Miller. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 16(2), 50-67.
- Rangel-Marrón, M.; Mani-López, E.; Palou, E. y López-Malo, A. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *Lwt - Food Science and Technology*, 101, 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.005>
- Soto-Muñoz, L.; Palou, L.; Argente-Sanchis, M.; Ramos-López, M. A. y Pérez-Gago, M. B. (2021). Optimization of antifungal edible pregelatinized potato starch-based coating formulations by response surface methodology to extend postharvest life of 'Orri' mandarins. *Scientia Horticulturae*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110394>
- Tran, V. T.; Kingwascharapong, P.; Tanaka, F. y Tanaka, F. (2021). Effect of edible coatings developed from chitosan incorporated with tea seed oil on Japanese pear. *Scientia Horticulturae*, 288, 110314. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110314>
- Yousuf, B.; Qadri, O. S. y Srivastava, A. K. (2018). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051>