



Desarrollo Y Optimización De Un Recubrimiento Activo Mediante Metodología De Superficie De Respuesta Para Extender La Vida Útil De La Guayaba (*Psidium Guajava*) En Almacenamiento Post-Cosecha

Development And Optimization Of An Active Coating Using Response Surface Methodology To Extend The Shelf Life Of Guava (*Psidium Guajava*) In Post-Harvest Storage

González Cuello, Rafael^{1*}, Ortega Toro, Rodrigo¹, Taron Dunoyer, Arnulfo²

^{1*}University of Cartagena. Faculty of Engineering. Food Packaging and Shelf Life research group (FP&SL). PhD. Programa de Ingeniería de Alimentos. Cartagena. Colombia

 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2674-2876> . ✉Correo electrónico: rgonzalezc1@unicartagena.edu.co

¹University of Cartagena. Faculty of Engineering. Food Packaging and Shelf Life research group (FP&SL). PhD. Programa de Ingeniería de Alimentos. Cartagena. Colombia

 Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0815-5317>. ✉Correo electrónico: rortegap1@unicartagena.edu.co

²University of Cartagena. Faculty of Engineering. Biotechnology, Food and Education Research Group (GIBAE). MSc. Food Engineering Program. Cartagena. Colombia.

 Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6942-4480>. ✉Correo electrónico: atarond@unicartagena.edu.co

Recibido: agosto 16 de 2024; Aceptado: diciembre 20 de 2024

RESUMEN

Los recubrimientos tienen como finalidad principal incrementar la vida útil de la matriz alimentaria que recubren. El siguiente trabajo se utilizó la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño Box-Behnken para evaluar el efecto de los materiales (goma gelana, quitosano y polisorbato 20) que integran el recubrimiento sobre los atributos de calidad de la guayaba almacenada a 25 °C y una humedad relativa de 70 %. Los parámetros de calidad seleccionados fueron: pérdida de peso (PP), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), tasa de respiración (TR) y cambio de color (ΔE) de los frutos de guayaba recubiertos. Los

resultados mostraron que la concentración de goma gelana, quitosano y de polisorbato 20 tienen una influencia significativa ($p < 0.05$) sobre las variables de respuesta estudiadas. Los resultados sugieren que al aumento en las concentraciones de goma gelana y quitosano extiende los atributos de calidad de frutos de guayaba durante la post-cosecha debido a que disminuye los valores de PP, SST, TR y ΔE durante almacenamiento de las frutas de guayaba. Asimismo, Los modelos polinómicos de segundo orden permiten describir adecuadamente el comportamiento de los atributos de calidad de la guayaba recubierta. En consecuencia, el recubrimiento con goma gelana y quitosano tiene el potencial de aumentar la vida útil pos-cosecha de las guayabas.

Palabras clave: análisis numérico, calidad, *Psidium guajava*, recubrimiento comestible,

Autor de **Correspondencia.** González Cuello,
Rafael. ✉ Correo
electrónico: rgonzalezc1@unicartagena.edu.co

ABSTRACT

Coatings primarily aim to extend the shelf life of the food matrix they cover. In the following study, the response surface methodology using a Box-Behnken design was employed to evaluate the effect of the materials (gellan gum, chitosan, and polysorbate 20) that make up the coating on the quality attributes of guava stored at 25°C and 70% relative humidity. The selected quality parameters were: weight loss (WL), total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), respiration rate (RR), and color change (ΔE) of the coated guava fruits. The results showed that the concentration of gellan gum, chitosan, and polysorbate 20 had a significant influence ($p < 0.05$) on the response variables studied. The results suggest that increasing the concentrations of gellan gum and chitosan

extends the quality attributes of guava fruits during post-harvest due to reduced values of WL, TSS, RR, and ΔE during storage of the guava fruits. Moreover, the second-order polynomial models adequately describe the behavior of the quality attributes of the coated guava. Consequently, coating with gellan gum and chitosan has the potential to increase the post-harvest shelf life of guavas.

Keywords: edible coating, quality, numerical análisis, *Psidium guajava*.

INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta climatérica muy popular en países subtropicales y tropicales, y es conocida a nivel mundial. En cuanto a sus nutrientes, la guayaba es rica en minerales como calcio, hierro y fósforo. Su pulpa contiene una alta cantidad de vitaminas A y B1, y su contenido de vitamina C es de dos a cinco veces mayor que el de los cítricos. Además, la guayaba roja es una importante fuente de licopeno (Gill, 2015).

Debido a su piel suave, la guayaba se daña fácilmente y es vulnerable a magulladuras, por lo tanto, requiere almacenamiento a baja temperatura y es propensa al deterioro microbiano, lo que limita su vida útil como fruta de mesa (Kumar *et al.*, 2022). De esta manera, al ser una fruta climatérica por su alta tasa de respiración y su corta vida útil

postcosecha, la guayaba es especialmente perecedera, experimentando una rápida pérdida de firmeza, color verde y brillo. Completa su proceso de maduración en pocos días después de la cosecha cuando se almacena a temperatura ambiente (Gonçalves *et al.*, 2016; Hong *et al.*, 2012). Al ser cosechada en su estado maduro-verde, su vida útil puede alcanzar hasta 6 días a temperatura ambiente. Para prolongar su disponibilidad comercial, los productores suelen cosecharla en una etapa inmadura (verde), lo que extiende su vida útil a entre 8 y 10 días.

Por lo anterior, se han utilizado diferentes métodos de conservación, entre ellos la refrigeración. Sin embargo, algunas frutas semitropicales y tropicales son sensibles a bajas temperaturas y pueden desarrollar

desórdenes fisiológicos que comprometen completamente su calidad a temperaturas inferiores a 8 °C (Zhao, 2018).

En este contexto, los recubrimientos comestibles surgen como una solución viable, ya que son amigables con el medio ambiente, económicos y fáciles de aplicar (Zhao, 2018). Constituyen una buena alternativa a los conservantes de síntesis química (Nair *et al.*, 2018; De La Espriella-Angarita *et al.*, 2023; Arango-González y Casas-Forero, (2024). Los recubrimientos y películas comestibles están basados en biopolímeros, como polisacáridos, proteínas, lípidos o mezclas multicomponentes, que se extraen de fuentes naturales (Santos & Melo,

2020). Para optimizar estos recubrimientos y maximizar su efectividad, se puede emplear la metodología de superficie de respuesta (RSM), un enfoque de modelado que permite optimizar variables específicas, como la obtención de un extracto con altos niveles de compuestos antioxidantes, al estimar simultáneamente diversas variables independientes (Shahidi, 2022). Por lo tanto, el objetivo general es diseñar y producir un recubrimiento activo mediante metodología de superficie de respuesta (RSM), aplicado en la guayaba (*Psidium guajava*) con el propósito de extender su vida útil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

La goma gelana fue comprada directamente a modernish pantry (EE. UU.). Las frutas de guayaba fueron cosechadas en las afueras de la ciudad de Turbaco – Bolívar asegurándose que tuvieran el mismo color, tamaño y sin ningún tipo de daño físico. La superficie de cada guayaba fue limpiada con abundante agua y esterilizada mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% v/v. Después fueron lavadas

varias veces con agua estéril para evitar residuos de hipoclorito.

Diseño experimental para la preparación de los recubrimientos activos

La metodología de superficie de respuesta (MSR) utilizando un diseño Box Benhken con tres variables independientes (Goma gelana, quitosano y polisorbato 20) fue utilizado para evaluar la influencia de los componentes del recubrimiento comestible activo sobre los parámetros de calidad de la guayaba. La

matriz de diseño consistió en 15 unidades experimentales, incluidas tres réplicas del punto central (Tabla 1). El proceso de optimización y la correlación matemática se realizaron utilizando el programa de cómputo Minitab 17.0. Se utilizó un modelo polinómico de segundo orden (ec 1) para determinar las relaciones entre las variables independientes y las variables de respuesta. El coeficiente de determinación (R^2), R^2 ajustado y el R^2 predictivo fueron utilizados para la evaluación estadística y cuantificar la precisión y confirmar la confiabilidad de la ecuación del modelo polinómico. Para la elaboración del recubrimiento comestible, la goma gelana (X_1) fue disuelta en agua desionizada a 90°C durante 10 minutos bajo agitación constante (300 rpm). Luego, la dispersión fue enfriada hasta temperatura ambiente con el fin de incorporar quitosano

(X_2) como agente antimicrobiano previa disolución en agua al 0.5 % (p/v) de ácido acético. Después de incorporó el polisorbato 20 (X_3) como emulsionante. Finalmente, las frutas de guayaba fueron sumergidas durante 30 segundos y secados en bandejas de poliestireno a temperatura ambiente durante 24 horas. Las muestras control no fueron recubiertas. $Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3$ (1)

Donde Y es la variable de respuesta, β_0 es la constante del modelo, X_1 , X_2 y X_3 son las variables independientes. Los términos β_1 , β_2 y β_3 representan los coeficientes de regresión lineal; β^2 , β^2 y β^2 son los coeficientes en términos cuadráticos y β_{12} , β_{13} y β_{23} son los coeficientes de las interacciones.

Tabla 1. Diseño experimental Box Behnken utilizado para evaluar los parámetros de calidad de las guayabas recubiertas.

Variables independientes			Variables de respuesta				
X_1 (%p/v)	X_2 (%p/v)	X_3 (%v/v)	PP (%)	SST °Brix	AT (%)	TR mmol CO ₂ /kg/h.	ΔE (-)
0.20	0.2	1.3	7.18±0.2	10.11±0.0	2.52±0.0	57.72±0.7	18.67±0.9
0.70	0.2	1.3	4.39±0.2	7.59±0.2	3.25±0.1	53.16±0.5	17.55±1.1
0.20	1.0	1.3	5.13±0.3	8.45±0.1	2.63±0.0	57.61±0.9	17.81±1.2
0.70	1.0	1.3	2.87±0.1	5.02±0.3	3.62±0.4	47.59±1.4	16.41±0.5
0.20	0.6	0.1	5.39±0.2	8.61±0.0	2.54±0.2	57.01±0.7	18.23±1.0
0.70	0.6	0.1	3.86±0.0	6.64±0.1	3.34±0.3	51.08±0.2	17.12±1.0
0.20	0.6	2.5	6.87±0.3	9.84±0.2	2.58±0.3	57.11±0.9	17.9±0.9
0.70	0.6	2.5	3.17±0.1	5.62±0.0	3.41±0.2	48.84±0.8	16.67±1.0

0.45	0.2	0.1	5.08±0.0	8.09±0.0	2.85±0.1	53.59±1.2	17.92±0.5
0.45	1.0	0.1	3.62±0.1	6.72±0.2	3.05±0.2	52.43±1.7	17.25±1.2
0.45	0.2	2.5	6.03±0.2	8.91±0.1	2.94±0.2	54.58±0.5	17.95±0.8
0.45	1.0	2.5	3.51±0.3	5.83±0.0	3.12±0.3	50.05±1.3	16.72±0.8
0.45	0.6	1.3	5.52±0.2	9.04±0.2	3.15±0.0	54.22±1.4	17.59±1.3
0.45	0.6	1.3	5.52±0.1	9.04±0.1	3.15±0.1	54.22±1.5	17.59±0.8
0.45	0.6	1.3	5.52±0.2	9.04±0.2	3.15±0.2	54.22±0.8	17.59±0.9

Análisis de las frutas de guayaba recubiertas para la optimización de la formulación del recubrimiento

La producción del recubrimiento fue optimizada considerando como varían las proporciones de los componentes en los recubrimientos (X_1 , X_2 y X_3) afectando las diferentes métricas de respuesta. Los siguientes parámetros de calidad fueron determinados después de 10 días de almacenamiento (25° C/ 70 % HR) de las guayabas recubiertas: Pérdida de peso (PP), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), tasa de respiración (TR) y cambio de color (ΔE). Signos visibles de deterioro en las muestras almacenadas son considerados el punto final para la aprobación del almacenamiento.

Pérdida de peso (PP)

Las muestras de guayaba fueron pesadas en una balanza analítica el primer día de almacenamiento y al finalizar el periodo de

almacenamiento. La pérdida de peso fue calculada como la diferencia entre el peso inicial y el peso final de cada fruto dividido por el peso inicial como se muestra en la Ec 2.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{P_0 - P_t}{P_0} \times 100 \quad (2)$$

Donde P_0 es el peso inicial en gramos de la fruta y P_t representa el peso en gramos en cada tiempo de muestro final.

Sólidos solubles totales (SST)

Una muestra de guayaba fue macerada en un mortero. Para determinar los sólidos solubles se depositaron 4 gotas del macerado en el prisma de un refractómetro (Fischer, Exttech Model 2132, USA). Los resultados son expresados como °Brix.

Acidez Titulable (AT)

100 mL de fruta macerada y filtrada fue titulado con NaOH 0.1N utilizando fenolftaleína como indicador (pH 8.2)

Tasa de respiración (TR)

Las guayabas recubiertas y las de control se almacenaron en un frasco de plástico hermético durante una hora, después de lo cual se utilizó un analizador de gases (F-950, Felix Instruments, EE. UU). La tasa de respiración se expresa en mmol de CO₂/kg/h.

Medición del color en frutos de guayaba

Los cambios de color en las guayabas recubiertas y de control se midieron en puntos equidistantes de sus superficies utilizando un colorímetro (CR-20 Konica Minolta, Japón). Los parámetros de color utilizados para estimar el cambio de color fueron los siguientes: L* para la luminosidad, a* para las coordenadas rojo/verde (+a

indica rojo, -a indica verde), y b* para las coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul). El cambio de color (ΔE) se calculó utilizando la siguiente ecuación (Ec. 3).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Análisis estadístico

Todas mediciones fueron realizadas por triplicado reportando el promedio aritmético y la desviación estándar. El programa de cómputo Minitab 17 fue utilizado para realizar el modelamiento y el análisis estadístico. Se llevó a cabo un análisis normal de varianza (ANOVA) para establecer las significancias del modelo obtenido. Los p valores menores a 0.05 fueron considerados estadísticamente significativos. La determinación del coeficiente de determinación (R²) fue empleada para estimar la habilidad predictiva del modelo polinómico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de las variables independientes X₁, X₂ y X₃ sobre la PP (%)

La PP durante el almacenamiento de frutas representa un factor crítico en la calidad, ya que afecta la apariencia de la fruta dificultando su comercialización. La tabla 2 presenta los coeficientes de regresión para

el análisis de superficie de respuesta usando como variable de respuesta la PP. Los p-valores menores a 0.05 obtenidos al realizar el ANOVA muestran que concentraciones estudiadas de goma gelana (X₁), quitosano (X₂), polisorbato 20 (X₃), así como sus interacciones (X₁*X₂, X₁*X₃ y X₂*X₃) tienen

una influencia significativa sobre la PP de la guayaba.

La figura 1 muestra los gráficos de superficie de respuesta para los atributos de calidad evaluados en la guayaba recubierta. La figura 1a muestra la interacción de X_1 y X_2 , mientras la otra variable fue fijada a cero en el nivel codificado. La menor reducción de peso (2.87 %) se consigue a una mayor concentración de X_1 (0.7 % p/v) y X_2 (1.0 % p/v). Por tanto, se deduce que un incremento en las concentraciones de X_1 y X_2 durante la elaboración del recubrimiento comestible puede reforzar las propiedades de barrera, conllevando a una disminución de la pérdida de humedad de la matriz alimentaria recubierta.

Estos resultados son similares a los reportados por Singh *et al.*, (2024) quienes encontraron que la PP de la guayaba es inversamente proporcional a la concentración de tween 80 y quitosano. Los recubrimientos a base de quitosano han mostrado ser un método efectivo para controlar la PP en frutas y vegetales como pepinos, pimientos, bananos y fresas (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008; Suseno *et al.*, 2014).

El proceso de pérdida de agua ocurre por tres razones: la difusión de agua en la fruta,

el proceso respiratorio (producción de agua) y el gradiente de presión de vapor de agua entre la atmósfera circundante y la superficie de la fruta (Bovi *et al.*, 2016; Khaliq *et al.*, 2015). La aplicación de recubrimientos sobre las matrices alimentarias disminuye el movimiento de agua desde la matriz hacia el medio ambiente causando una disminución en la PP durante el almacenamiento.

Con respecto a las figuras 1b y c se ilustran las interacciones entre X_1 y X_3 , y entre X_2 y X_3 observando un mayor efecto de X_1 y X_2 en comparación a X_3 . Posteriormente, se obtuvo una ecuación polinómica de segundo orden para expresar el comportamiento de la PP de la guayaba recubierta como una función de las variables independientes (Ec. 4)

$$PP = 5.5200 - 1.2850X_1 - 0.9438X_2 + 0.2038X_3 - 0.1825X_1^2 - 0.4450X_2^2 - 0.5150X_3^2 + 0.1325X_1 * X_2 - 0.5425X_1 * X_3 - 0.2650X_2 * X_3 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde, PP es la pérdida de peso, X_1 es la concentración de goma gelana, X_2 es la concentración de quitosano y X_3 es la concentración de polisorbato 20.

Durante el almacenamiento la PP es un atributo de calidad que afecta en gran medida la calidad de la matriz alimentaria, ya

que grandes pérdidas de agua ocasionan un encogimiento y disminución del peso de la matriz alimentaria. El recubrimiento aplicado a la superficie de la fruta forma una barrera semipermeable al vapor de agua, reduciendo la tasa de transpiración (García-Betanzos *et al.*, 2017). Por ende, lo deseable para incrementar la vida útil postcosecha de una fruta sería disminuir al máximo la PP. En el presente estudio se observa que las mayores concentraciones de X_1 y X_2 ocasionan una disminución en la PP de la guayaba.

Efectos de las variables independientes X_1 , X_2 y X_3 sobre los SST

El incremento en el contenido de SST es un fenómeno natural asociado con la maduración y está asociado con la hidrólisis de polisacáridos durante el almacenamiento (Sharma & Saini, 2021), donde el almidón se descompone en azúcares solubles, lo que produce un cambio en el sabor, especialmente en cuanto a dulzura (Jongsri *et al.*, 2016). El menor valor para SST (5.02°Brix) se encontró en las guayabas recubiertas con altas concentraciones de X_1 y X_2 .

La aplicación de recubrimientos comestibles retrasa el aumento de SST en las frutas climatéricas demorando el proceso de maduración. Según Foo *et al.*, (2019), la

aplicación de recubrimientos limita el intercambio gaseoso, reduciendo así los niveles de oxígeno y etileno mientras eleva el dióxido de carbono. Esto suprime la respiración y la maduración, eventualmente ralentizando la hidrólisis de carbohidratos a azúcar (Ali *et al.*, 2011). Al aplicar el ANOVA, como se observa en la tabla 2, la concentración de X_1 y X_2 , así como sus interacciones ($X_1 * X_2$) tienen influencia significativa sobre el comportamiento de los SST, ya que se obtienen valores de p menores a 0,05.

Por el contrario, X_3 tuvo un valor $p > 0,05$ indicando que no tienen influencia sobre SST. Es importante aclarar que la variable X_3 no fue eliminada del modelo polinómico debido a que su interacción con las otras variables si presenta una influencia significativa sobre los SST; esto puede significar una posible formación de enlaces entre X_3 , X_2 y X_1 formando una estructura más compacta en el recubrimiento. Teniendo en cuenta los valores de R^2 (99.93%), R^2 ajustado (99.82%) y R^2 predictivo (98.95%) para el modelo obtenido del análisis de regresión para los SST se puede deducir que hay un adecuado ajuste de los datos experimentales al modelo polinómico de segundo orden.

En las figuras 1d-f se presentan las interacciones entre las variables X_1 , X_2 y X_3 , ilustrando claramente una disminución en el contenido de SST al aumentar las concentraciones de X_1 y X_2 principalmente. Este proceso de disminución de SST puede estar asociado a una disminución en la conversión de almidones en azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa. Arroyo *et al.*, (2020) explicaron que el menor SST de la guayaba recubierta con quitosano se debe a la reducción de la tasa de respiración de la fruta, disminuyendo la utilización y formación de metabolitos, lo que resulta en menores concentraciones de sólidos solubles y una desaceleración de la maduración de la fruta. Silva *et al.*, (2018) también encontraron que la guayaba tiene el contenido de SST más bajo con la mayor concentración de quitosano. Una ecuación polinómica de segundo orden (Ec. 5) fue obtenida para expresar el contenido de SST en función de las variables X_1 , X_2 y X_3 .

$$\begin{aligned}
 SST = & 9.0400 - 1.5175X_1 - 1.0850X_2 + \\
 & 0.0175X_3 - 0.4787X_1^2 - 0.7687X_2^2 - \\
 & 0.8837X_3^2 - 0.2275X_1 * X_2 - 0.5625X_1 * X_3 - \\
 & 0.4275X_2 * X_3 \quad (5)
 \end{aligned}$$

Donde, SST son los sólidos solubles totales, X_1 es la concentración de goma gelana, X_2

es la concentración de quitosano y X_3 es la concentración de polisorbato 20.

Efectos de las variables independientes X_1 , X_2 y X_3 sobre la AT

El cambio en la composición en términos de la AT es crucial para entender los procesos metabólicos como la maduración y la senescencia, los cuales pueden afectar la calidad de la fruta (Nur Hanani *et al.*, 2023). El nivel de acidez está determinado por el contenido de ácidos orgánicos presentes en una fruta, los cuales tienden a disminuir durante la maduración debido a la utilización de estos ácidos como sustratos durante la respiración (Khalifa *et al.*, 2016).

En la tabla 2 se evidencia que las variables X_1 , X_2 y X_3 , sus efectos cuadráticos (X_1^2 , X_2^2 y X_3^2) y sus interacciones ($X_1 * X_2$, $X_1 * X_3$ y $X_2 * X_3$) tienen un efecto significativo sobre la acidez titulable, ya que presentan valores p menores a 0,05. En las figuras 1g-i se observa una relación inversamente proporcional de la AT con las concentraciones de X_1 y X_2 principalmente.

El mayor contenido de AT (3.62 %) obtenido en las frutas recubiertas con elevadas concentraciones de X_1 y X_2 , indican un mayor contenido de ácidos orgánicos en la guayaba, sugiriendo una disminución en su

utilización como sustratos en los procesos biológicos (Nandane *et al.*, (2017), lo cual ocasiona una reducción o retraso de la tasa de respiración. Estos resultados concuerdan con los publicados por Han *et al.*, (2004) quienes observaron una reducción en la pérdida de acidez durante el almacenamiento en fresas, duraznos y tomates.

Una ecuación polinómica de segundo orden fue analizada con regresión múltiple para obtener un buen ajuste probando su significancia estadística mediante un ANOVA; los resultados del ANOVA para el modelo de segundo orden reducido (Ec 6) de la AT se muestran en la tabla 2.

Estos resultados sugieren que el modelo fue altamente significativo (0.05); además, fueron obtenidos valores de R² de 99.82 % indicando un buen ajuste del modelo con los datos experimentales. El R² predicho fue de 98.42% mostrando una concordancia razonable con el R² ajustado (99.64%), ya que su diferencia es 0.87%.

$$AT = 3.1500 + 0.41875X_1 + 0.10750X_2 + 0.03375X_3 - 0.0837X_1^2 - 0.0612X_2^2 - 0.0987X_3^2 + 0.0650X_1 * X_2 \quad (6)$$

Donde, AT es la acidez titulable, X₁ es la concentración de goma gelana, X₂ es la concentración de quitosano y X₃ es la concentración de polisorbato 20.

Tabla 2. análisis normal de varianza (ANOVA) y coeficientes de regresión de los modelos polinómicos de segundo orden predicho para la PP, SST y AT de las muestras de guayaba recubiertas.

Términos	PP		SST		AT	
	Coef	p-valor	Coef	p-valor	Coef	p-valor
constante	5.5200	0.000	9.0400	0.000	3.1500	0.000
X ₁	-1.2850	0.000	-1.5175	0.000	0.41875	0.000
X ₂	-0.9438	0.000	-1.0850	0.000	0.10750	0.000
X ₃	0.2038	0.000	0.0175	0.499	0.03375	0.002
X ₁ ²	-0.1825	0.004	-0.4787	0.000	-0.0837	0.000
X ₂ ²	-0.4450	0.000	-0.7687	0.000	-0.0612	0.001
X ₃ ²	-0.5150	0.000	-0.8837	0.000	-0.0987	0.000
X ₁ *X ₂	0.1325	0.014	-0.2275	0.001	0.0650	0.000
X ₁ *X ₃	-0.5425	0.000	-0.5625	0.000	--	--
X ₂ *X ₃	-0.2650	0.001	-0.4275	0.000	--	--
R ²	99.89%		99.93%		99.82%	
R ² ajustado	99.70%		99.82%		99.64%	
R ² -Predictivo	98.30%		98.95%		98.42%	

Efectos de las variables independientes X_1 , X_2 y X_3 sobre la TR

La tasa de respiración aumentó durante el almacenamiento de las guayabas recubiertas, lo cual es característico de los frutos climatéricos (Formiga *et al.*, 2022). Las figuras 1j-l muestran los gráficos de superficie de respuesta para la TR en la guayaba recubierta. La figura 1j muestra la interacción de X_1 y X_2 , mientras la otra variable fue fijada a cero en el nivel codificado.

Las frutas de guayaba recubiertas con mayores concentraciones de X_1 (0.7 % p/v) y X_2 (1.0 % p/v) presentaron los menores valores de TR (47.79 mmol de $\text{CO}_2/\text{kg/h}$), lo cual puede atribuirse a la mayor formación de enlaces de hidrógeno entre las hélices de los hidrocoloides utilizados, resultando en una estructura más compacta del recubrimiento.

Por el contrario, las mayores TR (57.72 mmol de $\text{CO}_2/\text{kg/h}$) se encontraron al recubrir la fruta con menores concentraciones de X_1 (0.2 % p/v) y X_2 (0.2 % p/v). La aplicación del recubrimiento permite la formación de una película que rellena parcialmente los lenticelos y estomas de la epidermis de la fruta, creando una barrera semipermeable que limita el movimiento de gases (CO_2 y O_2)

entre el medio ambiente circundante y la fruta creando una atmósfera modificada generada por el recubrimiento (Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2018). Por tanto, es conocido que la reducción de oxígeno ocasiona una disminución en los valores de TR, firmeza y coloración de las frutas (Formiga *et al.*, 2019).

Un modelo de ecuación de segundo orden fue analizado mediante regresión múltiple para obtener un buen ajuste y su significancia estadística probada con análisis de varianza (ANOVA); los resultados de este análisis para el modelo de la TR se presentan en la tabla 3, lo que sugiere que el modelo fue altamente significativo al tener valores p menores a 0.05 para las variables X_1 , X_2 y X_3 , sus términos cuadráticos (X_1^2 , X_2^2 y X_3^2) y sus interacciones (X_1*X_2 , X_1*X_3 y X_2*X_3).

El coeficiente R^2 del modelo fue 99,94% indicando un buen ajuste al modelo y los datos experimentales. El coeficiente de correlación predicho (R^2 predicho) (98.98%) del modelo muestra una concordancia razonable con el coeficiente de correlación ajustado (99.82%), ya que su diferencia es de 0.84 %.

El modelo polinómico de segundo orden obtenido para expresar la TR de frutas de

guayaba recubiertas con distintas concentraciones de X_1 , X_2 y X_3 es el siguiente:

$$TR = 54.2200 - 3.5975X_1 - 1.4212X_2 - 0.4413X_3 + 0.3238X_1^2 - 0.5237X_2^2 - 1.0337X_3^2 - 1.3650X_1 * X_2 - 0.5850X_1 * X_3 - 0.8425X_2 * X_3$$

(Ec 7)

Donde, TR es la tasa de respiración, X_1 es la concentración de goma gelana, X_2 es la concentración de quitosano y X_3 es la concentración de polisorbato 20.

Efectos de las variables independientes X_1 , X_2 y X_3 sobre el cambio de color ΔE

Los cambios de color pueden utilizarse para indicar el nivel de madurez, ya que la maduración resulta en la degradación de las clorofilas, dejando solo carotenoides que causan el tono amarillento (Forato et al., 2015). Igualmente, el color visual de las frutas también establece el momento oportuno de cosechar (Nair et al., 2018).

Los ΔE en las frutas pueden considerarse como un resumen de los resultados obtenidos para las coordenadas a^* , b^* y L^* utilizadas en la ecuación 3. Las frutas recubiertas con las mayores concentraciones de X_1 (0.7 % p/v) y X_2 (1.0 % p/v) exhibieron los valores de ΔE más bajos (16,41), mientras que las frutas recubiertas

con las menores concentraciones mostraron los cambios mayores (18,67).

Estos resultados apoyan la hipótesis que las mayores concentraciones de X_1 y X_2 son efectivos para retrasar el proceso de maduración de las guayabas. Según Hong et al., (2012), la aplicación de recubrimientos preserva el contenido de clorofila en las guayabas modificando la atmósfera interna para suprimir la producción de etileno (Jongsri et al., 2016). A medida que se retrasa la maduración y la senescencia, los cambios de color también se retardarán.

El efecto de las variables X_1 , X_2 y X_3 sobre el ΔE fue analizado mediante ANOVA como se observa en la Tabla 3. Las variables X_1 , X_2 , X_3 y sus interacciones ($X_1 * X_2$, $X_1 * X_3$ y $X_2 * X_3$) muestran una influencia significativa ($p < 0,05$) sobre el ΔE . Un polinomio reducido de segundo (Ec 7) fue obtenido para expresar el ΔE de la guayaba recubierta como una función de las variables independientes X_1 , X_2 y X_3 .

$$\Delta E = 17.600 - 0.6075X_1 - 0.4875X_2 - 0.1600X_3 + 0.0200X_1^2 - 0.1314X_3^2 - 0.0700X_1 * X_2 - 0.1400X_2 * X_3$$

Ec 8)

Donde, ΔE es el cambio de color, X_1 es la concentración de goma gelana, X_2 es la concentración de quitosano y X_3 es la concentración de polisorbato 20.

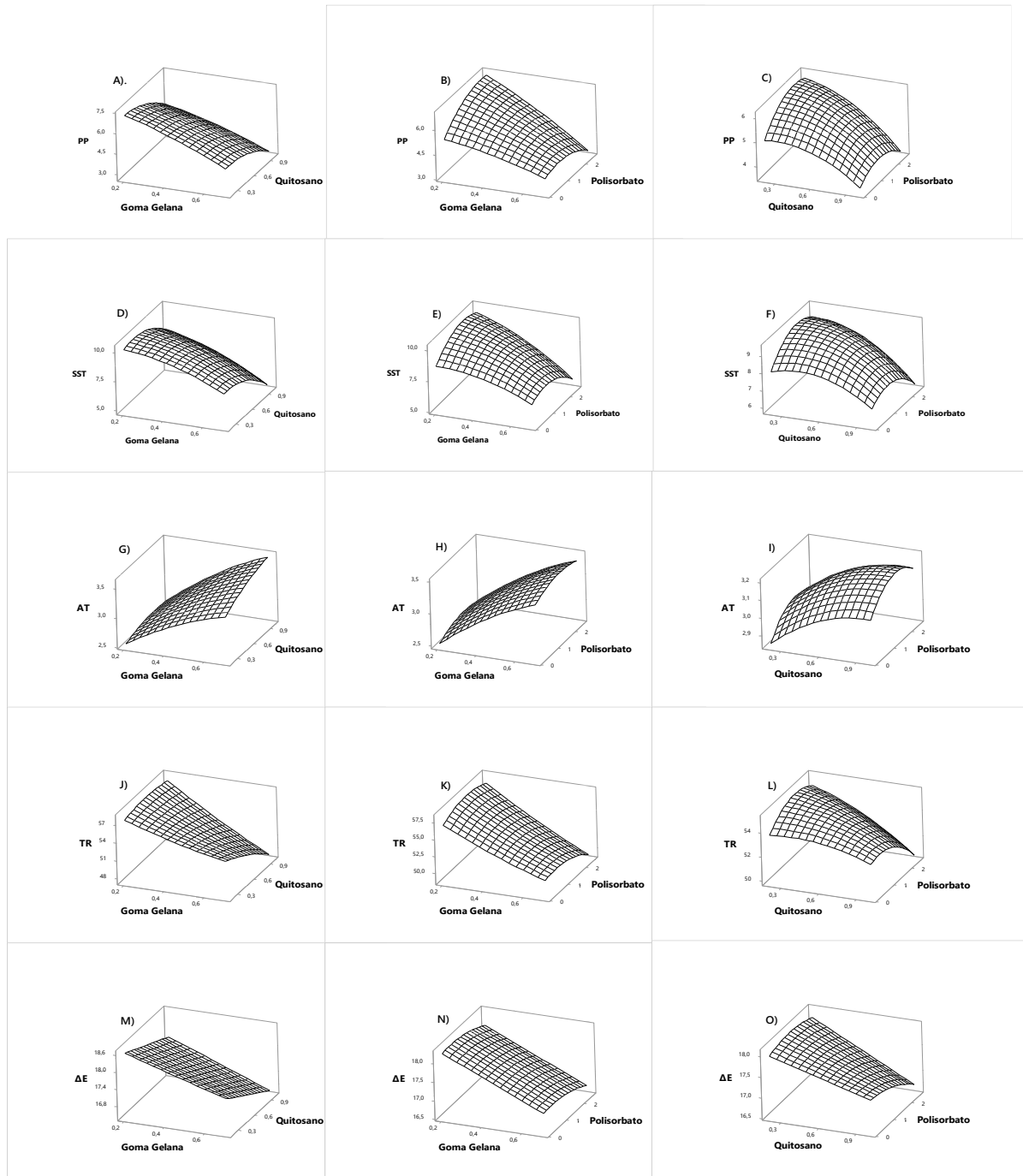


Figura 1. Gráficas 3D de curvas que muestran el efecto de interacción de las variables independientes en los valores de PP, SST, AT, TR y ΔE para los frutos de guayaba recubiertos.

Las figuras 1m-o se muestran las gráficas de superficie de respuesta para el ΔE de los frutos de guayaba recubiertos. La figura 1m muestra la interacción de X_1 y X_2 , mientras X_3 se mantiene fija en el nivel cero codificado. Se observa que las variables X_1 y X_2 son inversamente proporcionales a ΔE ; es decir al aumentar las concentraciones de X_1 y X_2 disminuyen los cambios en la coloración de la guayaba recubierta.

En las figuras 1n-o se ilustra una leve disminución de ΔE al aumentar la concentración de X_3 . El R^2 del modelo para el ΔE de las guayabas recubiertas fue 99.61% lo que indica un adecuado ajuste del modelo a los datos experimentales.

El R^2 predicho (98.21%) muestra una concordancia razonable con el R^2 ajustado (99.33%), ya que su diferencia es $<1.12\%$. El R^2 ajustado incorpora el efecto del número de factores presentes y, por lo tanto, es útil para evaluar el impacto de aumentar o disminuir el número de términos en el modelo, y el R^2 predicho proporciona una indicación de la capacidad predictiva del modelo de regresión. Estos hallazgos sugieren que el modelo predictivo obtenido tiene un alto nivel de precisión y fiabilidad de los valores predictivos, ya que coinciden estrechamente con los valores experimentales. Esto implica que el modelo puede pronosticar eficazmente el cambio de color de los frutos de guayaba recubiertos.

Tabla 3. Análisis normal de varianza (ANOVA) y coeficientes de regresión de los modelos polinómicos de segundo orden predicho para la tasa de respiración y cambio de color (ΔE) de las muestras de guayaba recubiertas.

Términos	Tasa de respiración		Cambio de color	
	Coef	p-valor	Coef	p-valor
constante	54.2200	0.000	17.6000	0.000
X_1	-3.5975	0.000	-0.6075	0.000
X_2	-1.4212	0.000	-0.4875	0.000
X_3	-0.4413	0.000	-0.1600	0.000
X_1^2	0.3238	0.005	0.0200	0.000
X_2^2	-0.5237	0.001	--	--
X_3^2	-1.0337	0.000	-0.1314	0.001
$X_1 * X_2$	-1.3650	0.000	-0.0700	0.024
$X_1 * X_3$	-0.5850	0.000	--	--
$X_2 * X_3$	-0.8425	0.000	-0.1400	0.001
R^2	99.94%		99.61%	
R^2 ajustado	99.82%		99.33%	
R^2 -Predicho	98.98%		98.21%	

CONCLUSIÓN

La superficie de respuesta utilizando un diseño Box-Behnken se demuestra como una metodología estadística valiosa para optimizar la producción de recubrimientos a base de goma gelana, quitosano y polisorbato 20, destinados a la conservación de la guayaba. La concentración de estos componentes es un factor crítico durante la elaboración del recubrimiento comestible, ya que influye significativamente en los

parámetros de calidad de la guayaba. Los modelos polinómicos de segundo orden permiten describir adecuadamente el comportamiento de la pérdida de peso, los sólidos solubles, la acidez titulable, la tasa de respiración y el cambio de color en los frutos de guayaba recubiertos. En consecuencia, el recubrimiento con goma gelana y quitosano tiene el potencial de aumentar la vida útil postcosecha de las guayabas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ali A., Muhammad M.T.M., Sijam K., Siddiqui Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry*, 124(2), 620–626.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.085>.

Arango-González, Diana Carolina; Casas-Forero, Nidia. (2024). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de goma guar para mejorar la tolerancia al frío de tomate chonto (*Solanum Lycopersicum*) durante el almacenamiento. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 22

Nº 1. Pp: 192 - 210.
<https://doi.org/10.24054/limentech.v22i1.3151>

Arroyo B.J., Bezerra A.C., Oliveira L.L., Arroyo S.J., de Melo E.A., Santos A.M.P. (2020). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 309, 125–566.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566>

Bovi G.G., Caleb O.J., Linke M., Rauh C., Mahajan P.V. (2016). Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A
151

review. *Biosystems Engineering*, 150, 24–39.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013>

De La Espriella-Angarita Stephanie, Granados-Conde Clemente, León-Méndez Glicerio, Torrenegra-Alarcon Miladys, Osorio-Fortich María. (2023). Evaluación del impacto de un recubrimiento comestible en la conservación de la guayaba (*Psidium guajava*). *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN Impreso 1692-7125 ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 21 N° 2. Pp: 100 - 113. <https://doi.org/10.24054/limentech.v21i2.2643>

Forato L.A., de Britto D., de Rizzo J.S., Gastaldi T.A., Assis O.B.G. (2015). Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.06.001>

Formiga A.S., Pereira E.M., Pinzetta J.S., Costa F.B., Mattiuz B.H. (2022). Effects of edible coatings on the quality and storage of early harvested guava. *Food Chemistry Advances*, 1, 100124.

<https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100124>

Formiga A.S., Pinzetta J.S., Pereira E.M., Cordeiro I., Mattiuz B. (2019). Use of edible coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and beeswax in the conservation of red guava ‘Pedro Sato’. *Food Chemistry*, 290, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.142>

Foo S.Y., Nur Hanani Z.A., Rozzamri A., Ibadullah W.Z.W., Ismail-Fitry M.R. (2019). Effect of chitosan–beeswax edible coatings on the shelf-life of sapodilla (*Achras zapota*) fruit. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3, 27–34. <http://dx.doi.org/10.1007/s41783-018-0047-0>

García-Betanzos C.I., Hernández-Sánchez H., Bernal-Couoh T.F., Quintanar-Guerrero D., Zambrano-Zaragoza M. de la L. (2017). Physicochemical, total phenols and pectin methylesterase changes on quality maintenance on guava fruit (*Psidium guajava* L.) coated with candeuba wax solid lipid nanoparticles-xanthan gum. *Food Research International*, 101, 218–227.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.065>

Gill K.S. (2015). Guavas. Encyclopedia of Food and Health, 270–277.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00363-9>

Gonçalves B.J., Márcio T., Giarola D.O., Resende J.V. de (2016). Using infrared thermography to evaluate the injuries of cold-stored guava. Journal of Food Science and Technology, 53(2), 1063–1070. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2141-4>

Han C., Zhao Y., Leonard S.W., Traber M.G. (2004). Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria ananassa*) and raspberries (*Rubus idaeus*). Postharvest Biology and Technology, 33, 67–78.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.01.008>

Hanani Z.A.N., Soo K.L., Ibadullah W.Z.W., Radhiah S. (2023). Prolonging the shelf life of fresh-cut guava (*Psidium guajava* L.) by coating with chitosan and cinnamon essential oil. Heliyon, 9(12), e22419.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22419>

Hernandez-Muñoz P., Almenar E., Del Valle V., Velez D., Gavara R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. Food Chemistry, 110, 428–435.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>

Hong K., Xie J., Zhang L., Sun D., Gong D. (2012). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. Scientia Horticulturae, 144, 172–178.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.002>

Jongsri P., Wangsomboondee T., Rojsitthisak P., Seraypheap K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. LWT—Food Science and Technology, 73, 28–36.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038>

Khaliq G., Mohamed M.T.M., Ali A., Ding P., Ghazali H.M. (2015). Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative

- properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 190, 187–194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.020>
- Khalifa I., Barakat H., El-Mansy H.A., Soliman S.A. (2016). Enhancing the keeping quality of fresh strawberry using chitosan-incorporated olive processing wastes. *Food Bioscience*, 13, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.008>
- Kumar M., Kapoor S., Dhumal S., Tkaczewska J., Changan S., Saurabh V., Bhuyan D.J. (2022). Guava seed (*Psidium guajava* L.): A low-volume, high-value by-product for human health and the food industry. *Food Chemistry*, 386, 132694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132694>
- Nair M.S., Saxena A., Kaur C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 240, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>
- Nandane A.S., Dave R.K., Rao T.V. (2017). Optimization of edible coating formulations for improving postharvest quality and shelf life of pear fruit using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2359-9>
- Navarro-Tarazaga M.L., Massa A., Pérez-Gago M.B. (2011). Effect of beeswax content on hydroxypropyl methylcellulose-based edible film properties and postharvest quality of coated plums (Cv. Angeleno). *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2328–2334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.011>
- Peñaloza Ricardo y Hernández O. Mariela. (2018). Conservación de la uchuva (*physalis peruviana* L) mediante la aplicación de recubrimiento comestible a base de gel de aloe *barbadensis miller*. *Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*. ISSN 1692-7125. Volumen 16 N° 2. Pp: 50 - 67. <https://doi.org/10.24054/limentech.v16i2.340>
- Santos A.M.P., de Melo E.A. (2020). Application of edible biopolymer coatings to extend the storage life of fresh fruits and vegetables. *Biopolymer Membranes and Films*. Elsevier Inc.

- <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818134-8.00020-1>
- Santos T.M., de Souza F.M., Silva D.O., da Silveira M.R., de Miranda M.R., Lopes M.A., Azeredo M.C. (2018). Enhancing storage stability of guava with tannic acid-crosslinked zein coatings. *Food Chemistry*, 257, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.021>
- Shahidi S.A. (2022). Effect of solvent type on ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from *Ficaria vuccheri*: Optimization using response surface methodology. *Food and Chemical Toxicology*, 163, 112981. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112981>
- Sharma M., Saini C.S. (2021). Postharvest shelf-life extension of fresh-cut guavas (*Psidium guajava*) using flaxseed protein-based composite coatings. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100015>
- Silva W.B., Silva G.M.C., Santana D.B., Salvador A.R., Medeiros D.B., Belghith I., Misobutsi G.P. (2018). Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Food Chemistry*, 242, 232–238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.052>
- Singh M., Saroj R., Kaur D. (2024). Optimized chitosan edible coating for guava and its characterization. *Measurement: Food*, 14, 100145. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.10.0145>
- Suseno N., Savitri E., Sapei L., Padmawijaya K.S. (2014). Improving shelf-life of Cavendish banana using chitosan edible coating. *Procedia Chemistry*, 9, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.05.014>
- Zhao Y. (2018). Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. In *Reference module in food science* (pp. 1–5). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22262-2>