

Propiedades de conservación: recubrimiento a base de quitosano y *Aloe vera* aplicado en papa criolla (*Solanum phureja*)

Preservation Properties: Chitosan-based coatings and *Aloe vera* applied in creole potato (*Solanum phureja*)

Recibido: 21-04-2016 Aceptado: 31-05-2016

Marcelo Alexander Guancha Chalapud¹
Carolina Caicedo²
Eliana Marcela Ruiz³
Maria Fernanda Valencia⁴

¹ Colombiano, Ms.C., Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Centro Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN). Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Grupo de Investigación GIDEMP. Correo electrónico: marceloguancha@misena.edu.co

² Colombiana, Ph.D. Colciencias, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Centro de Asistencia Técnica a la Industria, Grupo de investigación GIDEMP. Correo electrónico: ccaicedo60@misena.edu.co

³ Colombiana, Tecnóloga Química, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Centro de Asistencia Técnica a la Industria. Correo electrónico: emruiz31@misena.edu.co

⁴ Colombiana, Tecnóloga Química del, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Centro de Asistencia Técnica a la Industria. Correo electrónico: mariafrnanda@misena.edu.co

Resumen

En este trabajo se desarrollaron películas a partir de diferentes mezclas de quitosano y *Aloe vera* (80:20, 70:30 y 60:40) con el fin de evaluar las propiedades relacionadas con la tensión superficial de la película y espesor. La proporción 80:20 presentó un aspecto homogéneo, por lo cual se utilizó en la papa criolla (*Solanum phureja*) como recubrimiento. Este fue aplicado por inmersión del tubérculo y posterior secado variando la temperatura entre 40 °C a 70 °C con humedad relativa constante (H.R. 80%) durante 48 h. Se determinaron los parámetros colorimétricos CIELab, pérdida de peso y de carotenoides totales para cada tratamiento. Se utilizó un diseño aleatorizado simple para un total de 24 h por tratamiento. Cabe mencionar, que la cinética para las variables de estudio encontradas fue de orden cero, es decir, que el cambio de las propiedades depende exclusivamente del tiempo. La aplicación de recubrimiento a base de quitosano y *Aloe vera* en papa criolla permitió conservar el contenido de carotenoides totales hasta en un 70% en comparación con las muestras sin recubrimiento.

Palabras clave: recubrimientos, gel *Aloe vera*, carotenoides, polisacáridos.

Abstract

In this work, some films were developed starting from different mixtures of chitosan and *Aloe vera* (80:20, 70:30 and 60:40) in order to evaluate the properties related to the superficial tension of the layer and thickness. The ratio 80:20 presented a homogeneous appearance for which the native potato was used (*Solanum phureja*) as a coating. This was applied by the dipping and subsequent drying of the tuber, varying the temperature from 40 °C to 70 °C

with constant relative humidity (80% R.H.) for 48 h. CIELab colorimetric parameters, weight loss and total carotenoids for each treatment were determined. Treatments were arranged in a simple randomized design for 24 h.

It is worth mentioning that for the kinetic study variables were found in the zero order, that is, the change of properties depends exclusively on the time. Coating application based on chitosan and *Aloe vera* in native potato allowed it to conserve the total carotenoid content by 70% compared to uncoated samples.

Keywords: coatings, *Aloe vera* gel, carotenoids, Polysaccharides.

Introducción

La papa es un alimento ancestral de la región Andina y de alto consumo en el mundo después del arroz, trigo y maíz (Mosquera et al., 2015; <http://faostat.fao.org>). Se estiman más de 5000 especies entre las que se encuentra la papa criolla *Solanum phureja* (Hawkes, 1990), este producto desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria en Colombia por el alto contenido de nutrientes y potencial de exportación como producto exótico (Mendoza & Herrera, 2012). Estudios previos muestran que el tiempo de vida útil de la papa criolla en poscosecha se encuentra entre los 5 y 8 días para lograr una óptima comercialización debido a su rápida germinación (Rodríguez & Ramírez, 2011). Actualmente, se aplican diferentes procedimientos de conservación para alimentos como por ejemplo, los tratamientos por temperatura, pérdida de agua (Nourian et al., 2003), radiaciones (Kiss & Farkas, 1972), y aplicación de agentes químicos (Luna-Guzmán & Barret, 2000). Estos tratamientos ocasionan alteración en la calidad sensorial y propiedades nutricionales. En la última década se han llevado a cabo diversos estudios sobre métodos alternativos tales como recubrimientos a partir de fuentes naturales renovables y/o subproductos agroindustriales entre los que se encuentran los carbohidratos, las proteínas y los lípidos (Cutter, 2006; Campos et al., 2011; Espitia et al., 2014; Alves et al., 2010).

El quitosano es un polisacárido natural, copolímero con unidades de β -(1-4)-2-acetamido-D-glucosa y β -(1-4)-2-amino-D-glucosa, es el producto de desacetilación de la quitina [poli - β -(1-4)-N-acetyl-2-D-glucosamina], un componente importante que se encuentra en la industria procesadora de mariscos. El quitosano es reconocido por su naturaleza catiónica, biodegradable, biocompatible, no

tóxico y con propiedades antibacterianas y hemostáticas (Karlsen 1991; Younesa et al., 2014). Ha sido foco de interés para múltiples aplicaciones entre las que se encuentra la conservación de alimentos mediante el revestido de frutas y hortalizas (Kurek et al., 2014; Shen-Li, 2010; García et al., 2004). Por otro lado, los recubrimientos a base de *Aloe vera* son muy utilizados debido a que son transparentes, inodoros e insípidos. Se caracterizan por la facilidad que presentan para formar películas y brindar protección microbiana (Marpudi, 2011; Sogvar, 2016). Estos componentes han mostrado mejorar la barrera de gases, retrasando la pérdida de humedad, el proceso de pardeamiento enzimático y rancidez oxidativa en vegetales y frutas debido a la disminución en la frecuencia respiratoria. Asimismo, han logrado favorecer la firmeza de la superficie y mejorar la percepción sensorial como apariencia, textura y color (García, 2008; Khoshgozaran-Abras et al., 2012; Sánchez-González et al., 2011; Kaviani et al., 2015; Moreira et al., 2011). En la búsqueda de prolongar el tiempo de vida útil de la papa criolla se presenta este trabajo que tuvo como objetivo evaluar la variación de color, el contenido de carotenoides y la pérdida de peso en papa criolla, utilizando un recubrimiento a base de *Aloe vera* y quitosano durante su almacenamiento a diferentes temperaturas.

Metodología

Materiales

Se utilizó quitosano comercial suministrado por la empresa Polímeros Naturales S.A.S., el gel mucilaginoso utilizado fue extraído de hojas de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) provenientes de cultivos de una finca del municipio de Dagua (Valle del Cauca, Colombia), la sábila (*Aloe vera*) fue utilizada con máximo 2 días de almacenamiento después de la poscosecha, la cual se seleccionó según atributos de sanidad. Posteriormente, se lavó y desinfectó con hipoclorito de sodio a 100 ppm, pelada, licuada y estabilizada, según protocolo realizado por Kaviani y colaboradores (2015). Se utilizó glicerol, ácido acético de Sigma-Aldrich. La papa criolla (*Solanum phureja*) empleada para la evaluación presentó un diámetro aproximado de 2.5 cm (con peso ~23 g) obtenida comercialmente en el municipio de Cali, Colombia, en estado adecuado para el procesamiento o consumo en fresco. Las muestras se lavaron con agua destilada, se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C.

Preparación del recubrimiento

Se prepararon soluciones de quitosano (Q) en ácido acético (1%, v/v) a 2.5% (Q1), 3% (Q2) y 3.5% (Q3) (p/v), las cuales se mezclaron con *Aloe Vera* (AV) en diferentes proporciones (Qn/AV, v/v) como se presenta en la Tabla 1. Se utilizó como plastificante glicerol al 1.0% con respecto al total de cada mezcla. Las condiciones de secado para la obtención de películas en la cámara climática se realizaron a una temperatura de 25 °C y Humedad Relativa (H.R.) 10% y 30%.

Tabla 1. Contenido de las muestras preparadas

Muestra	Concentración de quitosano	Proporción de quitosano	Proporción de Aloe vera
Q1AV-60:40	2,5%	60%	40%
Q1AV-70:30		70%	30%
Q1AV-80:20		80%	20%
Q2AV-60:40	3,0%	60%	40%
Q2AV-70:30		70%	30%
Q2AV-80:20		80%	20%
Q3AV-60:40	3,5%	60%	40%
Q3AV-70:30		70%	30%
Q3AV-80:20		80%	20%

Fuente: los autores.

Caracterización fisicoquímica

Espesor

Se utilizó un medidor de espesor análogo (Mitutoyo, ABSOLUTE), con el cual se registraron los valores promedios correspondientes al espesor en 5 puntos aleatorios de las películas.

Ángulo de Contacto

Se utilizó un proyector de perfiles ST Industries, el análisis se realizó adicionando sobre el sustrato una gota (~20 µL) de agua destilada, se capturó la imagen y con el software *image J* (Burger, 2009), se midió el ángulo en dos tiempos t_0 y t_r .

Índice de Absorción de Agua

Se pesaron ~3 g por muestra, posteriormente se adicionaron 50 mL de agua destilada y se agitó manualmente durante 5 min. Se dejó en reposo por 24 h a temperatura ambiente. El peso húmedo de las películas (gel) se registró después de secar el exceso de agua con papel filtro. Los sólidos fueron pesados y la capacidad de

hinchamiento (C.H.) se calculó utilizando la ecuación 1, (Anderson et al., 1969):

$$\% C.H. = \frac{\text{Masa húmeda} - \text{Masa seca}}{\text{Masa seca}} \times 100 \quad (1)$$

Calorimetría Diferencial de Barrido

Las propiedades térmicas se determinaron en un analizador termogravimétrico TGA/DSC 2 STAR System, *Mettler Toledo*. Las muestras (10±0.5 mg) se colocaron en crisoles de alúmina en un rango de temperatura entre 30 °C a 300 °C bajo atmósfera de nitrógeno (50 cm³/min), los análisis se realizaron según la norma ASTM D3418-12.

Adecuación y aplicación de la película

Para cada ensayo se seleccionaron lotes de 10 unidades. Posteriormente, se procedió a sumergirlas en la solución de quitosano y *Aloe vera* seleccionada teniendo en cuenta homogeneidad y tiempo de secado. El método de aplicación del recubrimiento utilizado fue el de inmersión, donde cada una de las muestras se introduce en un vaso de precipitado de 1 L que contenía 600 mL de la solución durante 10 min. Posteriormente, las muestras son llevadas a una cámara climática a 30 °C y 25% de H.R. durante 30 min para secado.

Determinación de pérdida de peso, carotenoides totales y medición del color

Para evaluar la variación de color, pérdida de peso y contenido de carotenoides totales se utilizó un diseño experimental unifactorial variando la temperatura (40, 50, 60 y 70 °C) y manteniendo la H.R. constante a 80%. Se uso una muestra control (sin recubrimiento) para cada tratamiento. Los ensayos se realizan durante 48 h, lo cual se fijó teniendo en cuenta ensayos preliminares bajo el criterio de que a las 48 h la superficie de la papa presentaba tonalidades marrones. Se tomaron muestras en intervalos de 0, 24 y 48 h para determinar cada una de las variables de respuesta. El porcentaje de pérdida de peso se determinó durante el almacenamiento por diferencia de peso para cada temperatura en el intervalo de tiempo establecido utilizando una balanza analítica. Para determinar el contenido de carotenoides totales las muestras de papa se cortan y homogenizan en un procesador de alimentos, y se pesa 0,5 g de muestra en un tubo de ensayo de vidrio de 15 mL, además se adicionan 7 mL de una mezcla 4:3 (hexano:etanol). Las muestras obtenidas se cubren con papel aluminio y se agitan durante una hora en baño

de hielo utilizando un agitador orbital. Finalmente, se adiciona 1 ml de agua destilada y se agita durante 20 min adicionales. Para las medidas de absorbancias se toma 3 ml de la fase orgánica y se mide la absorbancia utilizando como blanco hexano en un espectrofotómetro. La concentración se determinan de acuerdo a la ecuación 2 (Cuesta et al., 2013; Ordóñez-Santos et al., 2011; 2014).

$$C[\mu g/g] = \frac{A_{450nm} \text{Volumen final}(ml) 10^4}{2560 \text{peso muestra}(g)} \quad (2)$$

Donde, C es la concentración de carotenoides, A_{450nm} absorbancia a una longitud de onda de 450 nm, 2560 coeficiente de extinción molar de β -caroteno en hexano.

A las muestras con y sin recubrimiento se les determinó el color superficial utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (D65, 2°, Y=89,5; x=0,3176; y=0,3347). Los datos se recolectaron en el espacio de color CIELab y los valores de L (brillantez), a (oscilaron entre rojo y verde) y b (oscilaron entre amarillo y azul) se registraron durante cada ensayo por triplicado. Además, se estimó la intensidad de color $C=[(a^2+b^2)]^{0.5}$ y el ángulo de tonalidad $h^\circ = \tan^{-1}(b/a)$ (Ordóñez-Santos et al., 2014).

Modelamiento cinético

La variación del color, pérdida de peso y contenido de carotenoides en los alimentos con el tiempo responde a modelos cinéticos. Por lo tanto, las anteriores variables de respuesta se pueden modelar de acuerdo a la ecuación 3 (Román et al., 2013; Ghidouche et al., 2013):

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n \quad (3)$$

Donde, C es la variable de respuesta (Color CIELab, carotenoides totales y pérdida de peso), t es el tiempo, k es la constante de velocidad y n el orden de la reacción. El modelo se determina de acuerdo al valor del coeficiente de correlación (R^2) más alto para un orden de reacción determinado.

El efecto de la temperatura se evalúa de acuerdo a la ecuación de Arrhenius, la cual relaciona la variación del color con la temperatura.

$$k = Ae^{-Ea/RT} \quad (4)$$

Donde, A es la constante de Arrhenius, E_a es la energía de activación, R la constante universal de los gases ideales (1,981 cal/mol.K), y T la temperatura absoluta.

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n = Ae^{-Ea/RT} \quad (5)$$

Resultados y discusión

Medición del espesor de las películas, ángulo de contacto y capacidad de hinchamiento

El espesor de los recubrimientos es un parámetro que se encuentra estandarizado para mediciones de ensayos mecánicos, según ASTM D882 (≤ 0.25 mm). Las propiedades biológicas y la durabilidad de la vida útil del producto a recubrir se ven dramáticamente alteradas por este parámetro. Los valores encontrados en las mezclas previamente preparadas se observan en las Figura 1 y 2.

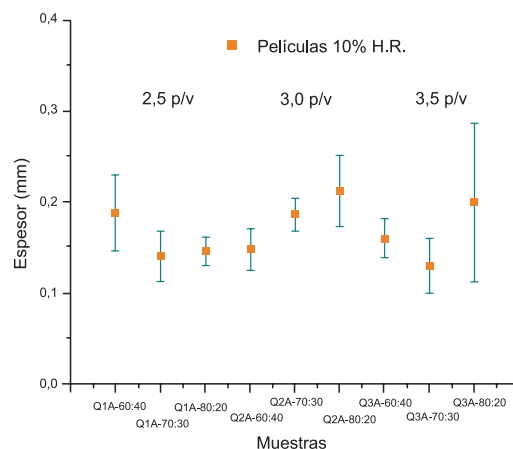


Figura 1. Espesor de películas con humedad relativa al 10%
Fuente: los autores.

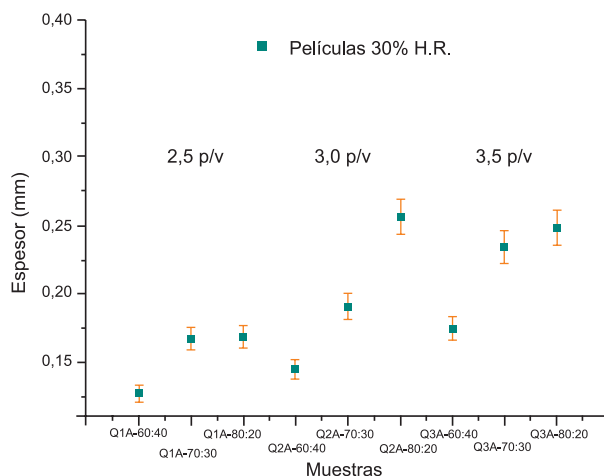


Figura 2. Espesor de películas con humedad relativa al 30%
Fuente: los autores.

Los resultados del espesor fueron obtenidos en condiciones extremas de humedad relativa (10% y 30%) con el fin de favorecer tiempos cortos de secado para el desarrollo de las películas. Los valores promedio del espesor de películas evaluadas al 10% de H.R. no presentaron una tendencia clara entre las diferentes proporciones, además de una desviación alta que generó dificultad en el análisis. Lo anterior, debido a una aceleración en el intercambio dinámico de humedad entre el ambiente y la muestra, mientras que las películas evaluadas a 30% de H.R. mostraron una relación entre el contenido de quitosano y espesor directamente proporcional.

Por otro lado, en la determinación de hidrofiliidad de las muestras se obtuvo el valor del ángulo de contacto (θ) asociado a la interacción de la gota sésil expuesta sobre la superficie de la película. En el registro de datos se consideró un tiempo inmediatamente tras la formación de la gota (inicial, t_0), y otro tiempo después de transcurrir 60 s (final, t_f) como se reporta en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación del ángulo de contacto medio entre las diferentes mezclas

Muestra	θ ($^\circ$, t_0)	σ	θ ($^\circ$, t_f)	σ
Q1AV-60:40	59,40	$\pm 1,18$	59,25	$\pm 1,76$
Q1AV-70:30	59,22	$\pm 1,21$	59,15	$\pm 1,21$
Q1AV-80:20	61,42	$\pm 1,12$	61,15	$\pm 1,39$
Q2AV-60:40	59,31	$\pm 1,52$	58,80	$\pm 1,32$
Q2AV-70:30	58,21	$\pm 1,23$	58,33	$\pm 1,30$
Q2AV-80:20	59,30	$\pm 1,18$	58,13	$\pm 1,32$
Q3AV-60:40	57,27	$\pm 1,42$	57,11	$\pm 1,11$
Q3AV-70:30	N.A	--	N.A	--
Q3AV-80:20	N.A	--	N.A	--

σ : Desviación estándar

Fuente: los autores.

Los resultados mostraron una variación poco significativa en los valores del ángulo de contacto para las diferentes mezclas con Q1, debido a la reorganización en la superficie de los grupos hidrofílicos e hidrofóbicos (Silva et al., 2013), esta interacción favoreció la mezcla entre los componentes: quitosano, *Aloe vera* y glicerol. Para el caso de las mezclas Q3, la muestra no permite calcular el ángulo de contacto debido a que el agua modifica los puntos de medición en la superficie de la película.

Asimismo, los valores obtenidos en la determinación de la capacidad de hinchamiento logran ampliar la información sobre la interacción entre *Aloe vera* y quitosano

de la mezcla que resulta en el aumento de hidrofiliidad dependiente de la concentración de quitosano (Ver Figura 3).

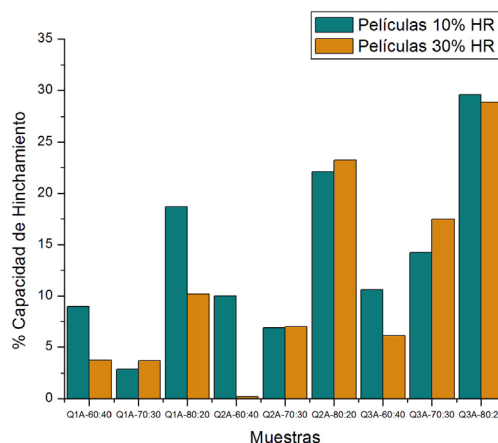


Figura 3. Capacidad de hinchamiento en porcentaje de las diferentes concentraciones de la película

Fuente: los autores.

Cabe mencionar, que los resultados asociados a espesor, ángulo de contacto y capacidad de hinchamiento como indicador para este proyecto de homogeneidad permitieron seleccionar la concentración ideal de quitosano en la solución. Las muestras con Q1 y Q3 presentan valores dispersos asociados a pérdidas prematuras de la humedad y formación de grumos, respectivamente.

Propiedades térmicas de las películas

El resultado térmico asociado al análisis de calorimetría diferencial de barrido para las películas Q2 con 2,5% p/v de quitosano presenta transiciones de fase relacionadas al punto de fusión, las cuales disminuyen en 4,5% con la incorporación del gel como se observa en la Figura 4.

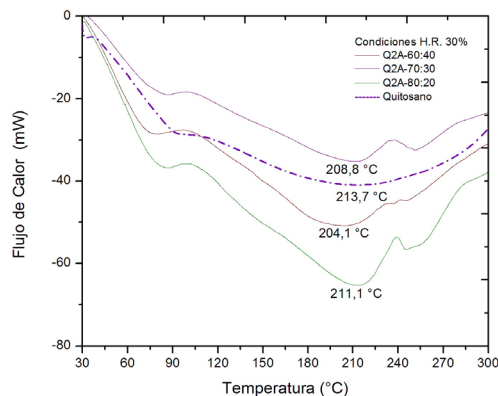


Figura 4. Termograma por calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las películas Q2A

Fuente: los autores.

Modelamiento cinético

Para determinar el modelo cinético de cada una de las variables de respuesta, se evaluaron modelos de cero, primero y segundo orden. Los resultados muestran que el modelo de orden cero es el que mejor se ajusta a los datos

debido a que se presenta los coeficientes de regresión más altos, los resultados se muestran en la Tabla 3. Los parámetros de la ecuación de Arrhenius de los parámetros colorimétricos, carotenoides totales y pérdida de peso se muestran en la Tabla 4.

Tabla 3. Parámetros cinéticos para modelo de orden cero en papa criolla

Variable de respuesta	Parámetros lineación	40 °C		50 °C		60 °C		70 °C	
		SR	CR	SR	CR	SR	CR	SR	CR
Carotenoides	K	0,020	0,014	0,025	0,010	0,018	0,011	0,013	0,005
	[μg/g.min]								
	R ²	0,859	0,987	0,836	0,979	0,984	0,865	0,974	0,855
Pérdida	K[min^{-1}]	0,417	0,381	0,819	0,545	1,482	1,133	1,142	0,857
Peso	R ²	0,987	0,990	0,916	0,964	0,985	0,989	0,923	0,910
L	K	0,505	0,217	0,563	0,285	0,607	0,408	0,542	0,425
	R ²	0,941	1,000	0,907	0,683	0,914	0,818	0,819	0,695
a*	K	0,074	0,056	0,056	0,046	0,030	0,010	0,038	0,027
	R ²	0,968	0,959	0,983	1,000	0,719	0,349	0,707	0,939
b*	K	0,384	0,247	0,601	0,322	0,564	0,529	NR	0,041
	R ²	0,998	0,885	0,895	0,874	0,911	0,836	NR	0,805
c*	K	0,285	0,219	0,552	0,294	0,455	0,478	0,458	0,443
	R ²	0,998	0,821	0,911	0,893	0,885	0,831	0,746	0,651
h°	K	0,729	0,729	1,016	0,317	1,172	0,592	NR	0,141
	R ²	0,984	0,999	0,994	0,969	0,999	0,904	NR	0,497

SR: Muestras sin recubrimiento, CR: Muestras con recubrimiento

Fuente: los autores.

Tabla 4. Parámetros para la ecuación de Arrhenius

Trat.	Carotenoides [μg/g]			Pérdida peso [%]			L			a			b		
	Ea			Ea			Ea			Ea			Ea		
	K	[kcal/mol]	R ²	K	[kcal/mol]	R ²	K	[kcal/mol]	R ²	K	[kcal/mol]	R ²	K	[kcal/mol]	R ²
SR	1738,76	3,45	0,54	3943,52	7,84	0,75	317,77	0,63	0,25	2809,70	5,58	0,73	2037,07	4,05	0,65
CR	3328,29	6,61	0,69	0,96	5,38	0,96	-2706,10	5,38	0,96	4094,93	8,14	0,41	5055,55	10,05	0,30

Fuente: los autores.

De acuerdo a los resultados de los parámetros cinéticos en papa criolla, el coeficiente de correlación (R^2) para la mayoría de tratamientos se encuentra por encima de 0,90, por lo tanto, el modelo de orden cero describe el comportamiento cinético para cada una de las variables estudiadas en este trabajo. Aunque en la literatura no se reportan datos del comportamiento cinético en papa criolla fresca, los resultados pueden ser comparables con los reportados por Nourian y colaboradores (2003) quienes

reportan parámetros cinéticos para papa variedad *Solanum commersonii*. Los valores de k para el parámetro L oscilan entre 0,0295 y 0,197 y para b^* entre 0,0227 y 0,0910 para temperaturas entre 4 y 20 °C, la energía de activación oscila entre 12 y 15 kcal/mol. Los mencionados autores hacen énfasis en los parámetros colorimétricos L y b^* dado que L está relacionado con la luminosidad; una pérdida de brillo indica una disminución del parámetro b^* , debido a actividad enzimática de la peroxidasa presente en la, papa

la cual incrementa la velocidad de degradación del color (Mendoza & Herrera, 2012). El efecto sobre la disminución de L y b* es mayor por el incremento de la temperatura, además valores altos de k indican mayor velocidad de degradación del color. Como se puede observar en la Tabla 4, los valores de k para las muestras de papa con recubrimiento siempre fueron menores a los valores de k de las muestras con recubrimiento. Se puede afirmar entonces,

que la adición de recubrimiento en papa criolla disminuye la velocidad de degradación del color, la pérdida de peso y la pérdida de carotenoides totales.

En la Figura 5 se muestra los gráficos de la cinética de pérdida de peso en función del tiempo (a) y el proceso de linealización para la ecuación de Arrhenius para el parámetro L (b).

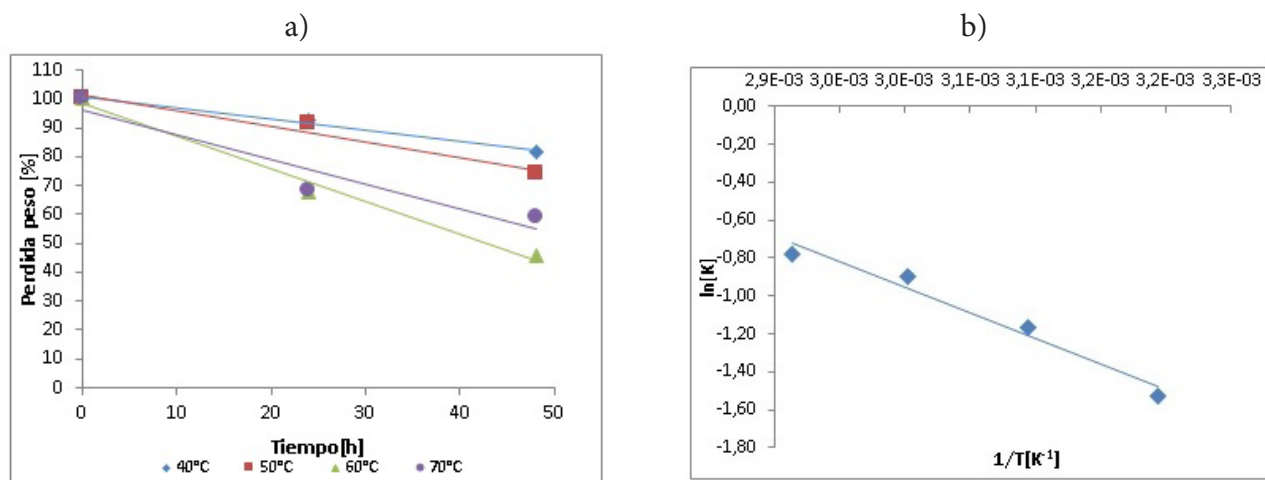


Figura 5. Resultados del modelamiento cinético para la variable pérdida de peso en papa criolla. (a) Cinética de pérdida de peso (b) Ecuación de Arrhenius para el parámetro L

Fuente: los autores.

En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados de medios de las variables de respuesta evaluadas (L, a, b, c, h°, pérdida de peso [%] y carotenoides totales) para ensayos realizados a la temperatura inferior (40 °C) y temperatura superior (70 °C), cada tratamiento se realizó por triplicado. Se efectuó análisis de ANOVA con un nivel de significancia del $p < 0,005$.

Los valores colorimétricos obtenidos para papa criolla antes de someterse a tratamiento en cámara climática (tiempo cero) son cercanos a los reportados por Urrutia & Wilmer (2010): L (60,99), a* (9,60) y b* (39,24). Asimismo, los valores de contenido de carotenoides son cercanos a los reportados por Bianeth-Peña & Restrepo (2013), cuyo rango se encuentra entre 0,97 y 2,92 µg/g de peso fresco que corresponde a variedades de papa criolla con bajas concentraciones de zeaxantina, luteína y violaxantina, y concentraciones relativamente altas de β-caroteno (0,27 µg/g peso fresco).

Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas se observa que los parámetros colorimétricos (L, a*, b*, c, h°) disminuyeron con el incremento del tiempo y con la temperatura de tratamiento. El efecto es

más marcado para el parámetro b*, ya que presentó mayor grado de disminución a temperaturas con respecto a los otros, debido a los tonalidades de pardeamiento que se desarrollaron en la superficie de la muestra durante los tratamientos. Esta tendencia es mayor para muestras sin recubrimiento donde el parámetro b* toma valores negativos a temperaturas de 60 y 70 °C. Los resultados colorimétricos contrastan con los resultados del contenido de carotenoides totales cuyos valores son más altos para tiempos de 24 y 48 h para cada una de las temperaturas de estudio. Para muestras con recubrimiento la concentración de carotenoides totales se mantiene entre 45 y 70% con respecto al valor inicial, mientras que para la muestra sin recubrimiento el contenido final se encuentra entre el 10 y 15% con respecto al valor inicial. Además, los valores más altos de carotenoides totales para cada uno de los tratamientos (luego de las 24 h) son mayores a temperaturas de 40 y 50 °C y menores para tratamientos a 60 y 70 °C. Lo anterior, demuestra el efecto positivo de la aplicación del recubrimiento sobre la preservación del color en muestras de papa criolla.

Tabla 5. Resultados del color superficial en papa criolla

Temp. [°C]	Trat	Tiempo (h)	L	a*	b*	C	h°
40	SR	0,0	63,43±0,82 ^a	10,55±0,40 ^{abc}	27,48±1,14 ^{abcde}	28,37±1,02 ^{bc}	69,00±1,31 ^{abc}
	SR	24,0	46,05±10,51 ^{cde}	9,34±1,12 ^{abcde}	17,60±12,26 ^{defgh}	21,03±10,94 ^{cdefg}	62,05±17,08 ^{abcd}
	SR	48,0	39,17±9,58	7,01±1,72 ^{cdefg}	9,07±13,44 ^{fghi}	14,67±10,74 ^{efgh}	52,30±32,66 ^{abcd}
70	SR	0,0	61,43±2,69 ^a	7,42±0,68 ^{cdefg}	26,71±2,44 ^{abcde}	27,72±2,53 ^{bcd}	74,47±0,08 ^{ab}
	SR	24,0	37,84±1,68 ^e	5,48±0,16 ^g	0,62±1,50 ⁱ	5,65±0,11 ^h	6,49±15,37 ^{ef}
	SR	48,0	35,43±1,09 ^e	5,58±0,44 ^{fg}	-0,07±1,66 ⁱ	5,75±0,35 ^h	-0,75 ±17,15 ^f
40	CR	0,0	60,61±6,12 ^{ab}	12,33±3,02 ^a	41,60±5,18 ^a	42,68±4,08 ^a	73,49±7,92 ^{ab}
	CR	24,0	55,53±0,49 ^{abc}	9,51±0,43 ^{abcde}	31,96±0,75 ^{abcd}	33,19±0,82 ^{abc}	73,43±0,36 ^{ab}
	CR	48,0	50,19±1,60 ^{abcd}	8,17±0,49 ^{bcdefg}	29,73±2,36 ^{abcd}	32,18±2,34 ^{abc}	74,63±1,01 ^{ab}
70	CR	0,0	62,42±1,06 ^a	5,91±0,34 ^{efg}	3,43±0,81 ^{hi}	31,27±0,83 ^{abc}	30,13±0,55 ^{bcdef}
	CR	24,0	42,01±2,06 ^{de}	6,84±0,82 ^{defg}	3,58±2,48 ^{hi}	7,18±1,05	27,61±20,12 ^{cdef}
	CR	48,0	40,50±7,37 ^e	7,20±3,04 ^{cdefg}	5,41±8,72 ^{ghi}	10,02±6,98 ^{fgh}	36,92±14,19 ^{abcdef}

Fuente: los autores.

Tabla 6. Resultados de la pérdida de peso y carotenoides totales para papa criolla

Temp. [°C]	Trat.	Pérdida de peso [%]	Carotenoides [µg/g]
40	SR	100,00±0,00 ^a	1,30±0,02 ^{abc}
	SR	88,02±4,24 ^{abc}	0,49±0,02 ^{fghij}
	SR	79,98±3,80 ^{bcd}	0,35±0,02 ^{hij}
70	SR	100,00±0,00 ^a	0,75±0,14 ^{defg}
	SR	58,85±6,69 ^{gh}	0,36±0,08 ^{hij}
	SR	45,17±10,73 ^{hi}	0,14±0,02 ⁱ
40	CR	100,00±0,00 ^a	1,30±0,02 ^{ab}
	CR	92,44±1,87 ^{ab}	0,80±0,01 ^{defg}
	CR	81,69±6,02 ^{bcd}	0,64±0,01 ^{defgh}
70	CR	100,00±0,00 ^a	0,75±0,14 ^{defgh}
	CR	68,22±8,56 ^{def}	0,56±0,29 ^{efghi}
	CR	58,87±8,33 ^{gh}	0,53±0,27 ^{efghij}

Dentro de una columna los valores con diferente letra representa diferencias significativas (Tukey, p <0,05). Medias ±desviación estándar. SR: sin recubrimiento, CR: con recubrimiento

Fuente: los autores.

A pesar de que la disminución en el contenido de carotenoides y el porcentaje de pérdida de peso es menor en comparación con las muestras sin recubrimiento, hay una notable pérdida en la firmeza por el efecto de la aplicación del recubrimiento. La firmeza, aunque no fue una medida de este trabajo, se pudo observar cualitativamente, y era notorio a diferencia de las muestras sin recubrimiento. Según Rojas-Grau y colaboradores (2009), uno de los inconvenientes en la utilización de los recubrimientos sobre matrices alimentarias es el espesor, ya que restringe el intercambio gaseoso durante la respiración

del tejido, causando acumulación de gases de desecho que traen como efecto la muerte de los tejidos internos del alimento. Por otro lado, según lo reportado por Nourian y colaboradores (2003), el incremento en la temperatura conlleva a cambios de textura, debido a la aceleración en los cambios fisicoquímicos que se desarrollan en el interior de la matriz alimentaria, como gelatinización del almidón, degradación de la pectina, la ruptura de la pared celular. Según los mencionados autores, la temperatura de almacenamiento tiene un efecto considerable sobre la conversión de almidón y pectina a azúcares reductores, lo

cual afecta la textura y un aceleramiento en la degradación del color. Además, reportan que para temperaturas de almacenamiento entre 16 a 20 °C la variedad de papa se degradó o resultó inaceptable a los 35 días, mientras que a temperaturas de almacenamiento entre 4 y 8 °C el producto se mantiene aceptable hasta por 130 días. Por lo tanto, para confirmar el efecto de la temperatura sobre la firmeza

y la degradación del color, se realizó un ensayo control (con y sin recubrimiento) a condiciones de laboratorio (27 °C y 70% de humedad relativa aproximadamente), y se evaluó los parámetros colorimétricos, pérdida de peso y carotenoides totales cada 120 h durante 360 h que duró el ensayo. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados color superficial, pérdida masa y carotenoides totales para papa criolla a condiciones ambientales

	Tiempo (h)	L	a*	b*	C	h°	Pérdida de peso [%]	Carotenoides [μg/g]
SR	0	66,73±0,83	8,32±1,98	33,94±5,96	35,24±5,21	75,06±5,99	100,00±0,00	1,445±0,740
	120	61,02±4,10	8,84±1,48	35,03±4,30	36,19±3,75	75,84±4,22	98,07±1,43	0,836±0,118
	240	54,61±7,48	9,06±1,86	21,43±9,32	23,28±8,36	68,78±10,67	84,24±4,10	0,797±0,070
	360	52,23±10,69	10,51±0,85	19,31±11,12	22,79±8,39	61,45±22,39	61,32±5,11	0,461±0,129
CR	0	65,10±0,80	10,70±0,86	37,45±2,25	25,80±2,36	77,39±0,45	100,00±0,00	1,445±0,543
	120	62,33±5,60	10,13±0,65	37,08±2,80	26,47±2,39	76,17±0,95	97,88±0,91	1,250±0,036
	240	57,87±6,02	9,13±0,60	23,34±7,41	38,02±2,80	65,37±7,72	91,91±6,64	1,070±0,329
	360	55,89±2,18	8,38±0,35	24,43±2,65	38,54±6,75	67,48±2,74	81,57±1,49	0,953±0,218

Medias ±desviación estándar.

Fuente: los autores.

De acuerdo a los resultados de la Tabla 7, los parámetros colorimétricos son similares para las muestras con y sin recubrimiento. Sin embargo, el contenido de carotenoides totales final del ensayo se mantiene hasta en un 66% para muestras con recubrimiento, mientras que las muestras sin recubrimiento el contenido final se mantiene en 32% con referencia al contenido inicial. Además, cualitativamente la textura del control con recubrimiento se afecta en mayor grado en comparación de la muestras sin recubrimiento por lo que se puede afirmar que hay un efecto significativo en la modificación de la tasa de respiración, debido al espesor del recubrimiento sobre la superficie de la papa criolla. Sin embargo, en las muestras con recubrimiento no se desarrolla pardeamiento superficial y se inhibe el crecimiento de brotes.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la caracterización de las películas sugieren la incorporación de un 20% del gel *Aloe vera* en mezclas de quitosano al 2.5% p/v, debido a que presenta una aceptable homogeneidad. La cinética de pérdida de color en papa criolla puede ser modelada a través de una cinética de orden cero y la ecuación de Arrhenius en un rango de temperatura entre 40 y 70 °C. Por otra parte, la aplicación de recubrimiento a base de quitosano y *Aloe*

vera en papa criolla permite conservar el contenido de carotenoides totales hasta en un 70% en comparación con las muestras sin recubrimiento. Sin embargo, es importante evaluar mezclas de *Aloe vera* y quitosano que permitan mejorar el intercambio de gases entre la matriz alimenticia y su entorno. Además, es importante evaluar el efecto del recubrimiento a temperaturas de almacenamiento de anaquel (temperaturas menores de 10 °C), ya que a temperaturas altas los procesos bioquímicos del alimento pueden influir en los resultados de las variables que se están evaluando.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al apoyo del Centro Astin-SENA, al Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos (GIDEMP), y a los aprendices de la Tecnología en química aplicada a la industria y análisis de muestras químicas. Asimismo, al Departamento de Biotecnología del Tecnoparque Nodo Cali. C. C. agradece el soporte económico del contrato de financiamiento de recuperación contingente No. FP44842- 259-2015, COLCIENCIAS-SENA.

Bibliografía

- Alves, V. D., Costa, N., & Coelho, I. M. (2010). Barrier properties of biodegradable composite films based on kappa-carrageenan/pectin blends and mica flakes. *Carbohydrate Polymers*, 79(2), 269-276.
- Anderson, R., Conway, H.F., Pheiser, V.F. y Griffin, E.L. 1969. Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14: 4-12.
- Baldizón, C. G., Córdoba, M. E. M., & Valle, G. C. (2012). Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31-38.
- Bianeth Peña, C., & Restrepo, L. P. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actual. nutr*, 14(1), 25-32.
- Burger, W., Burge, M. J., Burge, M. J., & Burge, M. J. (2009). *Principles of Digital Image Processing* (p. 221). London: Springer.
- Campos, C. A., Gerschenson, L. N., & Flores, S. K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 849-875.
- Cuesta, L., Cuví, M. J. A., Guerrero, C. M., & Concellón, A. (2013). Contenido de compuestos antioxidantes en tres estados de maduración de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) cultivado a diferentes alturas (msnm). *Enfoque UTE*, 4(1), pp-32.
- Cutter, C. N. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat science*, 74(1), 131-142.
- Espitia, P. J. P., Du, W. X., de Jesús Avena-Bustillos, R., Soares, N. D. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287-296.
- García, M. A., Díaz, R., Puerta, F., Beldarraín, T., Castillo, A., González, J., & Duarte, C. (2008). Envasado activo de embutidos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(2), 1-7.
- García, M. A., Pinotti, A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2004). Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymers*, 56(3), 339-345.
- Ghidouche, S., Rey, B., Michel, M., & Galaffu, N. (2013). A rapid tool for the stability assessment of natural food colours. *Food chemistry*, 139(1), 978-985.
- Hawkes, J. G. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. Belhaven Press.
- Karlsen, J., & Skaugrud, O. (1991). Excipient properties of chitosan. *Manufacturing chemist*, 62(6), 18-19.
- Kaviani, M., Shariati M.A., Josevska, E., Tomovska, J., Vanaei, M. (2015). Effects of Chitosan and Aloe Vera Gel Coating on Quality Characters of Pistachio. *J Nutr Health Food Eng* 2(1): 00042.
- Khoshgozaran-Abras, S., Azizi, M. H., Hamidy, Z., & Bagheripoor-Fallah, N. (2012). Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of Aloe vera gel incorporation. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2058-2062.
- Kiss, I., & Farkas, J. (1972). Radiation preservation of fruit juices in combination with freeze-concentration. *The International journal of applied radiation and isotopes*, 23(4), 161-171.
- Kurek, M., Galus, S., & Debeaufort, F. (2014). Surface, mechanical and barrier properties of bio-based composite films based on chitosan and whey protein. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(1), 56-67.
- Luna-Guzmán, I., & Barrett, D. M. (2000). Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 61-72.
- Marpudi, S. L., Abirami, L. S. S., Pushkala, R., & Srividya, N. (2011). Enhancement of storage life and quality maintenance of papaya

- fruits using Aloe vera based antimicrobial coating. *Indian Journal of Biotechnology*, 10(1), 83-89.
- Mendoza, R., & Herrera, A. O. (2012). Cinética de inactivación de la enzima peroxidasa, color y textura en papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo phureja) sometida a tres condiciones de escaldado. *Información tecnológica*, 23(4), 73-82.
- Moreira, M. D. R., Pereda, M., Marcovich, N. E., & Roura, S. I. (2011). Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *Journal of Food Science*, 76(1), M54-M63.
- Mosquera, T., Cuéllar, D., Álvarez, M., Angarita, M., Delgado, M., & Juyó, D. (2013). *Genética de la papa frente a la gota*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Nourian, F., Ramaswamy, H. S., & Kushalappa, A. C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT-Food Science and Technology*, 36(1), 49-65.
- Ordoñez-Santos, L. E., Aguilar, P. H., Solarte, O. D. R., & Jaramillo, M. E. A. (2014). Concentración de carotenoides totales en residuos de frutas tropicales. *Producción+ Limpia*, 9(1), 91-98.
- Ordóñez-Santos, L. E., Martínez-Álvarez, G. M., & Vázquez-Riascos, A. M. (2014). Effect of processing on the physicochemical and sensory properties of mammee apple (*Mammea americana* L.) fruit. *Agrociencia (Montecillo)*, 48(4), 377-385.
- Ordóñez-Santos, L. E., Vázquez-Odériz, M. L., & Romero-Rodríguez, M. (2011). Micronutrient contents in organic and conventional tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 46(8), 1561-1568.
- Rodríguez, D. R., & Ramírez, L. N. (2011). La agroindustria de la papa criolla en Colombia. Situación actual y retos para su desarrollo. *Gestión & Sociedad*, 4(2), 17-30.
- Román, M. O., Valencia, F. E., & Rodríguez, M. C. (2013). Cinética del color durante el almacenamiento de caramelos blandos de uchuva adicionados de calcio y sin sacarosa. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(2).
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 438-447.
- Sánchez-González, L., Cháfer, M., Hernández, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2011). Antimicrobial activity of polysaccharide films containing essential oils. *Food Control*, 22(8), 1302-1310.
- Shen, X. L., Wu, J. M., Chen, Y., & Zhao, G. (2010). Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 285-290.
- Sogvar, O. B., Saba, M. K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29-35.
- Silva, S. S., Popa, E. G., Gomes, M. E., Cerqueira, M., Marques, A. P., Caridade, S. G., & Reis, R. L. (2013). An investigation of the potential application of chitosan/Aloe-based membranes for regenerative medicine. *Acta biomaterialia*, 9(6), 6790-6797.
- Urrutia, O., & Wilmer, J. (2010). Operaciones de acondicionamiento y tratamientos de mejora de la calidad en papa amarilla (*Solanum phureja*) mínimamente procesada. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, (2), 44-48.
- Younesa, I.; Hajji, S.; Frachet, V.; Rinaudo, M.; Jellouli, K.; Nasri, M. Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. Antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 489-498, 2014.