

TRATAMIENTO HIDROTÉRMICO CON RECUBRIMIENTO DE QUITOSANO PARA EL CONTROL DE ANTRACNOSIS (*COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDES*) EN POSTCOSECHA DE PAPAYA

HYDROTHERMAL TREATMENT WITH CHITOSAN COATING FOR THE CONTROL OF ANTRACNOSIS (*COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDES*) IN POSTHARVEST PAPAYA

Chávez-Espinoza Juleisy^{1*}; Fernández-Solarte Marilyn¹; Prado-Cedeño Angel¹

¹Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manta, Ecuador

*Correo: julych14@gmail.com

Resumen

El propósito de esta investigación fue determinar la influencia del tratamiento hidrotérmico a temperaturas de 30, 40 y 45 °C, tiempos de inmersión de 20, 30 y 40 minutos y concentración de quitosano de 0,1, 0,2 y 0,3 % para el control de Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en postcosecha de papaya, más un testigo absoluto que no tuvo incidencia en las variables de estudio. Los parámetros respuesta fueron: pérdida fisiológica de peso (PFP), pH, °Brix, acidez, firmeza e índice de deterioro (ID). Los resultados demuestran que la temperatura influyó sobre la PFP en los días 5, 9 y 10, mientras que los tiempos de inmersión influyeron en los días 5 y 12, la influencia del quitosano al 0,1% se vio expresada los días 5, 10 y 12. Respecto a la firmeza, el tratamiento con 35 °C mostró un mejor comportamiento. A pesar de la presencia de *Colletotrichum gloeosporioides* el ID reflejó un daño moderado, sin embargo, para las variables pH, °Brix y acidez no se reportaron diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: papaya, postcosecha, temperatura, recubrimiento, *Colletotrichum gloeosporioides*.

Abstract

The purpose of this investigation was to determine the influence of the application of hydrothermal treatment using the temperatures 30, 40 and 45 °C, immersion times 20, 30 and 40 minutes and concentration of chitosan 0,1, 0,2 and 0,3 % for the control of Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) plus an absolute control that did not have the influence of the actors under study, on the parameters physiological weight loss (PFP), pH, ° Brix, acidity, firmness and deterioration index (ID). The results show that the temperature influenced the PFP on days 5, 9 and 10, while the immersion times influenced on days 5 and 12, the influence of the chitosan at 0.1% was expressed on days 5, 10 and 12 for this same variable. For firmness the treatment with 35 ° C showed a better behavior. In spite of the presence of *Colletotrichum gloeosporioides*, the ID corresponded to a moderate damage, however, for the variables pH, °Brix and acidity no significant statistical differences were reported.

Keywords: papaya, postharvest, temperature, covering, *Colletotrichum gloeosporioides*.

1. Introducción

El cultivo de la papaya es ampliamente generalizado y actualmente existe en todas las áreas tropicales, siendo los mayores productores Brasil, México, Indonesia y Filipinas, aunque también se ha observado una gran concentración de especies de papaya en la región oriental de los Andes, comprendida entre Bolivia, Colombia, Venezuela (Díaz, 2002). En 2010 la producción de papaya se estimó en 11,22 millones de toneladas y la tasa de crecimiento anual de su producción a nivel mundial fue del 4,35%. Entre 2008 y 2010, Asia aportó con el 52,55% de la producción global; le sigue Suramérica (23,09%), África (13,16%), Centroamérica (9,56%) (FAO, 2012). Según (Bastidas, 2006) el Ecuador se ubica como el país número 22 en producción de papaya (*Carica papaya*) en el mundo, con una participación promedio anual de 2.37%, equivalente a 81,34 mil toneladas métricas.

La (FAO, 2010) afirma que en el mundo entre el 25% y 50% de la producción de productos frutícolas se pierde después de la cosecha, como resultado de los procesos de descomposición, infestados por insectos y ataque de microorganismos. Estas pérdidas suelen

ser mayores en zonas tropicales por las condiciones climáticas prevalecientes. En el caso específico de la papaya, la norma (INEN 1756, 2012) indica que esta fruta se caracteriza por una rápida maduración debido a un incremento en la velocidad de la respiración y el desprendimiento de etileno durante su desarrollo, lo cual la hace altamente perecedera y susceptible al ataque de microorganismos.

(Gutierrez, 2007) aclara que la antracnosis es considerada la principal enfermedad de frutos de papaya en postcosecha, sin embargo, *Colletotrichum gloeosporioides* es un hongo fitopatógeno que también induce síntomas como el pelado del fruto, la mancha chocolate y la pudrición basal.

Como alternativas para el combate de enfermedades postcosecha, se han implementado prácticas innovadoras tales como los tratamientos hidrotérmicos (TH), con los que se busca reducir pérdidas. Los TH disminuyen la incidencia de pudriciones, severidad de antracnosis y prolongación de la vida útil (Fallik, 2004; Bautista-Baños et al., 2006). Por su parte, el uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló

para simular las cubiertas naturales de los productos vegetales.

Bautista-Baños et al. (2003) investigaron la influencia del quitosano en el crecimiento del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* y la calidad del fruto de papaya. Los recubrimientos de quitosano reducen la incidencia del ataque fúngico y aumentan la firmeza del fruto. Se ha determinado que el quitosano tiene un efecto más preventivo que terapéutico, debido a que es más eficaz cuando se aplica antes de la inoculación con *Colletotrichum gloeosporioides*. Por tanto, el objetivo de la presente investigación es evaluar el tratamiento hidrotérmico a diferente temperatura, tiempo de inmersión y porcentaje de quitosano en el control de antracnosis en postcosecha de papaya.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización

El presente trabajo de investigación se lo ejecutó en la Universidad Laica "Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) de la Ciudad de Manta, en el Laboratorio de Ciencias de Alimentos experimentales que corresponde a la Facultad de Ciencias Agropecuarias que se sitúa a 0°, 57", 35", de latitud Sur y 80°, 40", 0", de latitud este respectivamente.

2.2. Factores en estudio

El tipo de experimento utilizado fue trifactorial, con diferentes temperaturas, tiempos de inmersión y concentraciones de quitosano. En la tabla 1 se muestra la codificación de los factores.

Tabla 1. Factores del tratamiento

Factor	Variable	Codificación
Temperatura (°C)	35	A1
	40	A2
	45	A3
Tiempo de inmersión (min)	20	B1
	30	B2
	40	B3
% Quitosano	0,1	C1
	0,2	C2
	0,3	C3

2.3. Tratamiento de estudio

Para determinar el control de *Colletotrichum gloeosporioides*, las papayas fueron inoculadas con el hongo procedente del Laboratorio Microbiológico (USA). Posteriormente, se sometieron a tratamiento hidrotérmico con la combinación de tres temperaturas y tres tiempos de inmersión donde a tres diferentes concentraciones de un recubrimiento a base de quitosano; adicionalmente hubo un tratamiento testigo al cual no se le empleo tratamiento alguno. Con la

interacción de los factores en estudio se obtienen los tratamientos que se detallan en la siguiente tabla.

La tabla 2 detalla las tres variables manipuladas durante la investigación, así como su interacción.

Tabla 2. Combinaciones de los tratamientos

Código	Temperatura (°C)	Tiempo de inmersión (min)	% Quitosano
A1B1C1	35	20	0,1
A1B1C2	35	20	0,2
A1B1C3	35	20	0,3
A1B2C1	35	30	0,1
A1B2C2	35	30	0,2
A1B2C3	35	30	0,3
A1B3C1	35	40	0,1
A1B3C2	35	40	0,2
A1B3C3	35	40	0,3
A2B1C1	40	20	0,1
A2B1C2	40	20	0,2
A2B1C3	40	20	0,3
A2B2C1	40	30	0,1
A2B2C2	40	30	0,2
A2B2C3	40	30	0,3
A2B3C1	40	40	0,1
A2B3C2	40	40	0,2
A2B3C3	40	40	0,3
A3B1C1	45	20	0,1
A3B1C2	45	20	0,2
A3B1C3	45	20	0,3
A3B2C1	45	30	0,1
A3B2C2	45	30	0,2
A3B2C3	45	30	0,3
A3B3C1	45	40	0,1
A3B3C2	45	40	0,2
A3B3C3	45	40	0,3

Además de los 27 tratamientos, se empleó un tratamiento con un testigo (papaya sin tratamiento).

2.4. Diseño experimental

El estudio se realizó a base de un diseño experimental completamente al azar (DCA) con un arreglo tri factorial A*B*C,

con tres repeticiones. El procesamiento de los datos se realizó mediante el paquete estadístico (Infostat, Versión Profesional 2018).

El total de las unidades experimentales se establece mediante la relación entre los tratamientos y repeticiones ($t \cdot r$): $28 \cdot 3 = 84$.

2.5. Diseño experimental

Tabla 3. Diseño experimental ADEVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Total (T*V.1)	83
Repeticiones (V.1)	2
Factor A	2
Factor B	2
Factor C	2
Interacciones (A*B)	4
Interacciones (A*C)	4
Interacciones (B*C)	4
Interacciones (A*B*C)	8
Testigo vs resto	1
Error experimental	54

2.6. Análisis estadístico

En la investigación las variables del ADEVA se sometieron a la prueba de significancia del test de Tukey al 0,05%. Se determinó el coeficiente de variación para observar la variabilidad de los datos en relación con la varianza, utilizando el paquete estadístico Infostat versión profesional 2018.

2.7. Obtención de las muestras

El material vegetal provino de la finca "Papaya del Sol" ubicada en el Km. 7 Vía a Santo Domingo-Quevedo, margen

derecho, recinto la Providencia, Parroquia Puerto Limón, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuya plantación tenía 18 meses y una superficie de siembra de 7 hectáreas de papaya Híbrido TAINUNG N°1 originaria de Taiwán. Fueron seleccionadas 252 unidades experimentales, de acuerdo a su grado de madurez (20-25%), peso promedio de 1881 g, tamaño, coloración, sin daños o síntomas de deterioro.

2.8. Preparación de los recubrimientos

Para la preparación de la solución de recubrimiento de almidón de quitosano se utilizó el método propuesto por Santacruz et al. (2015). Las soluciones de quitosano ($M_w = 149$ kDa y $DD = 95\%$) en concentraciones de 0,1%, 0,2% y 0,3%, se prepararon con una solución acuosa de ácido acético al 1% (v/v), utilizado como medio para disolver el quitosano. Las mezclas fueron homogenizadas utilizando un Ultraturrax (Polytron, Suiza) a 11000 rpm durante 2 minutos.

2.9. Procedimiento para la aplicación de los tratamientos

Las papayas fueron inoculadas con una solución de seis litros de agua pectonada que contenía el hongo *Colletotrichum*

gloeosporioides con 1.5×10^5 Unidades formadoras de colonia (UFC). Se les dió un reposo de dos horas, pasado este tiempo se le aplicó el tratamiento hidrotérmico utilizando tres temperaturas (35 °C, 40 °C y 45°C), para luego sumergirlos en las respectivas soluciones de recubrimiento con las concentraciones de quitosano (0,1, 0,2 y 0,3%).

Se realizó el secado de las muestras recubiertas a temperatura ambiente durante 30 minutos. Inmediatamente se almacenaron las muestras también a temperatura ambiente y se evaluaron las características físico-químicas durante 12 días.

2.10. Identificación del hongo *Colletotrichum gloeosporioides*

Para realizar la observación del hongo, se utilizó un microscopio binocular (Euromex Bio Blue 1000X BB4260). Con una aguja de disección estéril se rasparon las lesiones sobre la cáscara de los frutos de papaya. Las esporas en suspensión se distribuyeron sobre la superficie de la caja Petri con un asa de platino y posteriormente, las cajas Petri fueron colocadas en una incubadora por 72 horas a una temperatura de 28 °C. Transcurrido este tiempo, se

identificaron las esporas en el microscopio con un lente de 40x.

2.11. Procedimiento para determinar pérdida de peso en papaya

Para determinar la pérdida de peso se aplicó el método propuesto por (González-Aguilar et al., 2009). Según este método se registra el peso inicial en el día cero y cada 72 horas durante el almacenamiento. Se utilizó una balanza digital (Sartorius TE6101, Germany) y los resultados se expresaron en porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial.

2.12. Procedimiento para determinar pH

Para efectuar el análisis de pH se utilizó un pH-metro marca Martina (Germany). Se preparó una muestra de 10 g de zumo de papaya disueltos en 100 ml de agua destilada.

2.13. Procedimiento para determinar color

Para la medición de color se utilizó un colorímetro marca CR-400 (Japón), previamente calibrado. Se colocó la papaya sobre una superficie totalmente clara y sobre el fruto se colocó el colorímetro, registrándose los datos L*, a* y b*. Para la interpretación de los resultados se empleó el modelo para la

determinación de colorimetría, es decir el Espacio Hunter L^* a^* b^* tomado de Williams (2002); donde L^* es un indicador de la luminosidad, a^* representa la cromaticidad verde (-) y rojo (+) y b^* representa la cromaticidad azul (-) y amarillo (+). A cada muestra se le realizaron tres medidas ecuatoriales en la epidermis o piel y se expresaron como promedio aritmético (Hernández et al., 2009).

2.14. Determinación del contenido de sólidos solubles y acidez titulable

Para determinar el contenido de sólidos solubles se utilizó un refractómetro digital (Atago, Japón), reportándose el resultado como °Brix (AOAC, 1990). Se colocaron unas gotas de zumo previamente obtenidas sobre el prisma del refractómetro, la medición fue a través del ocular.

Por su parte, la acidez titulable se determinó por valoración con NaOH 0,1N (AOAC, 1984), reportándose como porcentaje de ácido cítrico. La muestra se obtuvo mezclando 48 ml de agua destilada con 2 g del extracto de zumo de papaya, con un total de 3 muestras ubicadas en matraces. Se agregaron 5 gotas de fenolftaleína para determinar la acidez del fruto y se tituló con hidróxido

de sodio hasta que la coloración cambie a rosa.

2.15. Determinación del índice de deterioro

Tres muestras del control y de cada tratamiento se evaluaron individualmente en los días 0, 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 de almacenamiento para detectar signos de deterioro, utilizando una escala hedónica de 6 puntos propuesta por (González-Aguilar et al., 2009). Los 6 puntos de la escala se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Escala hedónica

Parámetro	Valor
Ninguna presencia de daño por hongos	1
Presencia	2
Ligeramente	3
Moderada	4
Grave	5
Muy grave	6

Empleándose la siguiente ecuación para la obtención de los resultados:

$$ID: (1n+2n+3n+4n+5n) N^{\circ}1$$

Donde:

(n): número de muestras clasificadas en cada nivel hedónico.

(N): número total de muestras analizadas para cada día de muestreo.

2.16. Determinación de textura instrumental

Para la medición de la firmeza se empleó un Texturómetro digital TMS-Pro (Japón). Se utilizaron 3 muestras de control y 3 de cada tratamiento utilizando el método propuesto por (Castro et al., 2015). Los resultados se expresaron como la fuerza máxima (N) necesaria para penetrar en la pulpa del fruto. La sonda fue calibrada con una dimensión de 3 milímetros de diámetro, 8 centímetros de longitud y 20 milímetros/segundos de velocidad.

3. Resultados y discusión

3.1. Color en papayas

Al inicio del trabajo experimental, los tratamientos presentaron tonalidad verde amarillo (a^*-9); no obstante, a partir del quinto día, fue cambiando su tonalidad al amarillo rojo ($a^*14,16$). Este comportamiento evidencia que a medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, el color verde desapareció, mientras que los colores amarillo y rojo fueron cada vez más intensos. Durante el almacenamiento postcosecha, no se encontraron diferencias entre los frutos de papaya en lo que respecta a la tonalidad de la cáscara del Híbrido Tainung, siendo su

coloración anaranjado tenue al final de la experimentación. Estos resultados concuerdan con Cano et al., (1993), quienes mencionan que los ángulos de tono se situaron en dos cuadrantes; el primero, en el tono verde amarillo para los ángulos mayores de 90° , pero menores de 180° , y el segundo, en el tono amarillo rojo para los ángulos de 0 a 90° . Los ángulos de tono de los cultivares Maradol, Sunset y del tipo Cera tendieron a disminuir durante el proceso de maduración y senescencia de los frutos. Así mismo, Li & Yu, (2001), Han et al., (2004) y Hernández et al., (2006) observaron la conservación del color en fresas, frambuesas y melocotones a las que se le aplicaron recubrimientos a base de quitosano.

La figura 1 muestra las interfaces entre los tonos de color con su respectivo parámetro según el espacio Hunter.

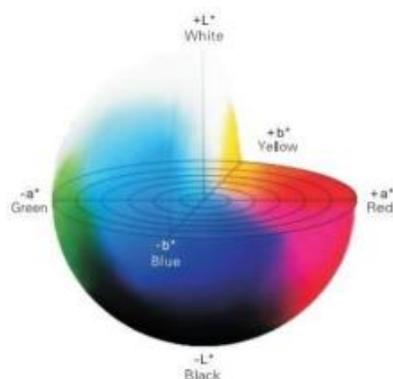


Figura 1. Espacio Hunter L*, a*, b*

Tabla 5. Color en muestras de papaya con aplicación de los tratamientos

Tratamiento	Código	1 dda			5 dda			8 dda			10 dda		
		L*	a*	b*	*L	*a	*b	*L	*a	*b	*L	*a	*b
1	A1B1C1	41	-9	25	55	10	51	62	15	59	61	17	63
2	A1B1C2	47	-9	25	60	14	49	62	17	58	60	19	56
3	A1B1C3	45	-9	22	52	11	45	62	10	52	60	14	55
4	A1B2C1	44	-9	25	55	12	43	61	14	55	59	17	55
5	A1B2C2	45	-9	26	54	11	39	57	13	50	56	14	48
6	A1B2C3	45	-9	24	56	9	43	62	11	53	62	12	56
7	A1B3C1	45	-9	25	56	7	44	57	9	50	56	11	49
8	A1B3C2	41	-9	25	55	10	51	60	15	61	60	15	56
9	A1B3C3	44	-9	25	55	12	43	60	12	53	59	13	53
10	A2B1C1	46	-9	23	54	7	42	60	15	55	60	10	56
11	A2B1C2	45	-9	23	53	10	43	60	12	54	58	14	51
12	A2B1C3	47	-9	25	57	10	45	61	10	52	56	13	50
13	A2B2C1	44	-9	24	56	10	45	62	13	57	60	16	58
14	A2B2C2	46	-9	25	57	10	49	59	13	54	59	13	59
15	A2B2C3	46	-9	24	57	10	49	61	13	53	61	15	58
16	A2B3C1	46	-9	25	56	10	49	60	11	55	59	15	54
17	A2B3C2	45	-9	27	55	10	51	61	11	56	57	14	51
18	A2B3C3	46	-9	26	56	11	51	62	12	56	60	15	56
19	A3B1C1	45	-9	23	56	9	43	65	12	62	62	15	55
20	A3B1C2	45	-10	22	54	12	45	62	13	55	60	16	55
21	A3B1C3	46	-9	24	58	9	49	62	13	59	61	16	59
22	A3B2C1	45	-9	23	56	10	46	59	11	54	64	12	57
23	A3B2C2	46	-10	23	58	11	45	60	12	55	56	14	49
24	A3B2C3	46	-10	24	58	11	44	62	12	57	57	14	51
25	A3B3C1	44	-9	25	57	11	49	63	13	63	60	15	56
26	A3B3C2	46	-9	26	58	11	54	62	11	58	61	14	58
27	A3B3C3	47	-9	26	59	11	47	63	14	30	56	16	53
28	Testigo	46	-9	25	57	10	51	61	16	57	59	18	55

Simbología. Dda: día después de la aplicación de tratamiento; L*: luminosidad; a*: cromaticidad verde (-) a rojo (+); b*: cromaticidad azul (-) a amarillo (+).

3.2. Pérdida fisiológica de peso

En el primer día de la aplicación de los tratamientos, la pérdida fisiológica de peso fue significativamente mayor en todos los tratamientos con respecto al testigo ($p < 0,05$), esto debido a que el tratamiento térmico aumenta la

temperatura interna del tejido de la fruta, lo que sugiere que posiblemente, esta sea la razón para el mencionado resultado. Por su parte, en el tratamiento con temperatura de 40°C, el testigo evidenció pérdidas de peso con diferencias altamente significativas en

los intervalos de observación de 5, 9 y 10 días; en tanto que durante esos mismos intervalos los tratamientos de 35 y 45°C fueron iguales. En los intervalos 2, 3, 6, 7, 8 y 12 el testigo fue el que más pérdida de peso acreditó, pero sin diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos.

En torno al tiempo de inmersión, el testigo obtuvo significación estadísticamente menor el primer día de la aplicación, pero fue el que más pérdida de peso generó. En los días 5 y 12 los tratamientos de 30 y 20 minutos de inmersión mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, resultando ser los mejores tratamientos con medias de 1,66 y 1,39% respectivamente.

Con respecto a la concentración de quitosano, el testigo al igual que en la temperatura y el tiempo de inmersión, mostró diferencias altamente significativas el primer día después de la aplicación de los tratamientos. Sin embargo, ha sido el parámetro que más pérdida de peso generó a lo largo del periodo de almacenamiento. La concentración de 0,1% fue estadísticamente menos influyente que el testigo en los intervalos 5, 10 y 12 días

con medias de 1,69, 0,52 y 1,37 %, respectivamente; pero en estos mismos intervalos compartió significación estadística con los tratamientos de 0,2 y 0,3 % de quitosano. En los demás días de observación los tratamientos fueron estadísticamente iguales (tabla 6).

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Gorini (1989) y Lassoudiere (1969), quienes afirman que el incremento de la merma de peso se debe a la pérdida de agua en los frutos, que depende tanto de la actividad fisiológica de los mismos como de factores externos, particularmente la temperatura. En este mismo sentido, Han et al., (2004) observaron una reducción de la pérdida de peso en fresas y frambuesas a las que se aplicó recubrimientos a base de quitosano.

Asimismo, estos resultados coinciden también con los encontrados por Gallegos et al., (2003), quienes aseveran que la pérdida de peso del producto aumentó a través del tiempo en las tres temperaturas utilizadas. Vázquez et al., (2003) se suman a estas afirmaciones, pues concluyen que la deshidratación se incrementó con el tiempo, pero que en la práctica los valores resultaron similares.

Tabla 6. Porcentaje de pérdida fisiológica de peso en papayas durante los días más significativos estadísticamente

Factores		1 dda	2 dda	3 dda	5 dda	7 dda	10 dda	12 dda
A	35	0,75 a	0,77 a	0,83 a	1,75 ab	0,84 a	0,54 b	1,43 a
	40	0,64 a	0,77 a	0,79 a	1,62 b	0,82 a	0,54 b	1,40 a
	45	0,72 a	0,83 a	0,90 a	1,79 ab	0,89 a	0,59 ab	1,50 a
	Testigo	0,49 b	0,89 a	0,88 a	2,00 a	0,89 a	0,67 a	1,78 a
	Tukey	0,13159	NS	NS	0,29746	NS	0,13331	NS
B	20	0,71 a	0,77 a	0,83 a	1,72 ab	0,84 a	0,55 a	1,39 b
	30	0,69 a	0,77 a	0,82 a	1,66 b	0,84 a	0,56 a	1,42 ab
	40	0,71 a	0,83 a	0,87 a	1,78 ab	0,88 a	0,56 a	1,52 ab
	Testigo	0,49 b	0,89 a	0,88 a	2,00 a	0,89 a	0,67 a	1,78 a
	Tukey	0,13159	NS	NS	0,29746	NS	NS	0,38158
C	0,1	0,71 a	0,76 a	0,82 a	1,69 b	0,83 a	0,52 b	1,37 b
	0,2	0,71 a	0,81 a	0,85 a	1,74 ab	0,87 a	0,58 ab	1,41 ab
	0,3	0,70 a	0,80 a	0,86 a	1,74 ab	0,85 a	0,56 ab	1,55 ab
	Testigo	0,49 b	0,89 a	0,88 a	2,00 a	0,89 a	0,67 a	1,78 a
	Tukey	0,13159	NS	NS	0,29746	NS	0,13331	0,38158

Factor A: Temperatura (°C), Factor B: Tiempo de inmersión (min), Factor C: Concentración de quitosano (%). NS: No significativa; dda: día después de la aplicación del tratamiento.

3.3. Firmeza

En cuanto a los análisis de firmeza, los resultados fueron altamente significativos en los días 6 y 12 de observación, después de la aplicación de los tratamientos cuando se aplicó la temperatura de 35°C; en estos mismos intervalos compartieron significación los tratamientos de 35 y 40°C. Esto demuestra que, a mayor temperatura, mayor es la pérdida de firmeza, la cual disminuyó significativamente a medida que transcurrieron los días del almacenamiento.

Para tiempo de inmersión y concentración de quitosano, en el día 6 no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos a pesar de que presentaron mayor firmeza que el control. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Vargas et al., (2006), quienes observaron una reducción en la deshidratación y la pérdida de firmeza en fresas recubiertas con quitosano y ácido oleico.

Asimismo, estos datos coinciden con los reportados por Watada (1990), Agar et al., (1999) y por Beaulieu (2002) quienes mencionan que la pérdida de textura por

efecto de la temperatura y los días de almacenamiento, se debe a la hidrólisis de los componentes de la pared celular, aserto que es respaldado por Karakurt & Hubber (2003), quienes sostienen que la pared celular de las frutas generalmente se compone de pectinas, hemicelulosas y polímeros del polisacárido celulosa; por lo tanto, la rápida suavización y deterioro de la papaya fresca cortada se puede deber a la actividad potenciada de las enzimas que hidrolizan estos componentes de la pared celular y a una senescencia acelerada.

Tabla 7. Firmeza (N) en papayas durante los días de tratamiento con mayor significancia estadística

Factores		6 dda	12 dda
A	35	4,84 b	3,76 b
	40	4,06 ab	2,17 ab
	45	2,73 a	1,17 a
	Testigo	3,16 a	2,46 ab
	Tukey	1,46921	2,28827
B	20	4,00 a	2,54 a
	30	3,88 a	2,19 a
	40	3,74 a	2,36 a
	Testigo	3,16 a	2,46 a
C	0,1	4,08 a	2,51 a
	0,2	3,69 a	2,17 a
	0,3	3,86 a	2,41 a
	Testigo	3,16 a	2,46 a

Factor A: Temperatura (°C); Factor B: Tiempo de inmersión (min), Factor C: Concentración de quitosano (%), dda: día después de la aplicación del tratamiento.

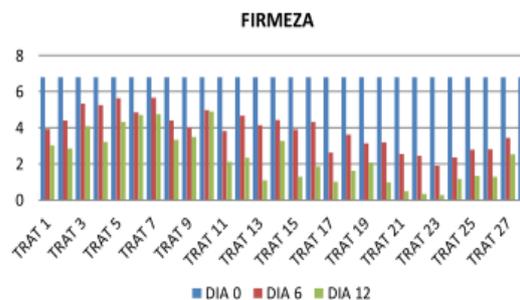


Figura 2. Firmeza después del tratamiento en papayas.

3.4. Índice de deterioro y crecimiento de hongos en papayas

En la tabla 8 los síntomas de ID por deshidratación en los frutos se observaron a partir del día 5, con un valor de 1,05; en el día 9 los frutos presentaron mayor pérdida de agua, lo cual determinó la pérdida de calidad comercial del fruto, en este día el ID fue de 2,27. Este valor fue incrementando gradualmente hasta el día 12, alcanzando un valor correspondiente a un daño moderado (2,70). Respecto al ID por daños mecánicos, no se observaron deterioros notorios entre el primer y noveno día, mientras que en los días 10 y 12 se comprobó la presencia de daño, pero se infiere que se debe a su grado de maduración y constante manipulación en todo el transcurso de la toma de datos. En cuanto al ID de hongos hubo presencia a partir del día 5, con un ID de 1,04. Este último valor fue aumentando moderadamente en los días de

almacenamiento hasta alcanzar en el día 12, un ID de 1,25. Se comprobó en el laboratorio la presencia de *Colletotrichum gloeosporioides* de acuerdo a las observaciones microscópicas, donde se identificaron las estructuras del hongo. En el gráfico 3, se observa la variación del Índice de deterioro en los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento.

Tabla 8. Causas asociadas al Índice de deterioro en papayas en los tratamientos aplicados

Día	Daño deshidratación	Daño mecánico	Daño hongos
0	1	1	1
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
5	1,05	1	1,04
6	1,62	1	1,04
7	1,81	1	1,08
8	1,88	1	1,09
9	2,27	1	1,1
10	2,3	1,12	1,1
12	2,7	1,12	1,25

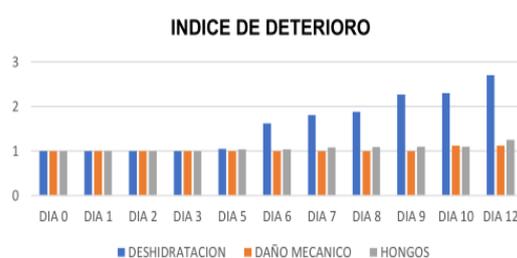


Figura 3. Índice de deterioro en función de las principales causas en papayas.

La tabla 9 muestra los diámetros del tamaño del hongo *C. gloeosporioides* a partir del día 6 en los tratamientos 1, 9,

13, 24. Los tratamientos 5 y 6 mostraron aparición del hongo al octavo día, mientras que el tratamiento 8 al noveno día.

Los resultados encontrados concuerdan con los mostrados por Castro et al., (2015), quienes mencionan que los arilos tratados con quitosano 100 % y almacenados a 4°C en rambután presentaron un menor índice de deterioro luego de 12 días de almacenamiento, con un valor de 3,96 (deterioro ligero); estos mismos autores afirman también, que el aumento del deterioro está relacionado con la pérdida de textura, pérdida de peso, actividad microbiológica y el proceso de respiración.

El crecimiento del hongo reportado en el presente trabajo concuerda parcialmente con los encontrados por Ramos (1997), quien menciona que en las papayas maradol, sunset, cera, se detectó la presencia del hongo *C. gloeosporioides*, con un diámetro inicial de 0,8 cm y posteriormente se incrementó hasta 3,24 cm durante los 14 días de almacenamiento. Por tanto, la presente investigación confirma lo expuesto por Ramos (2017), quien además indica que el *C. gloeosporioides*

coloniza el fruto y genera lesiones mayores a 3cm.

Los tratamientos 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26 y 27 no evidenciaron presencia de *C. gloeosporioides* durante los intervalos de observación.

En el gráfico 4, se observa el diámetro de crecimiento del hongo *C. gloeosporioides* en los tratamientos aplicados durante el tiempo de almacenamiento.

Tabla 9. Diámetro de crecimiento (mm) de *C. gloeosporioides*

Número	Tratamiento	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 12
1	A1B1C1	4,5	5,21	6,9	2,07	0,4	3,62
5	A1B2C2			10	5,11	2,57	2,49
6	A1B2C3			7,2	4,38	3,94	5,28
8	A1B3C2				15,5	5,52	3,97
9	A1B3C3	5,5	3,66	4,9	4,11	2,58	3,36
13	A2B2C1	1,5	4,85	5,7	2,7	1,68	8,91
24	A3B2C3	1,3	1,61	4,1	2,37	1,5	1,5
28	Testigo		9,69	4,7	2,39	3,74	3,51

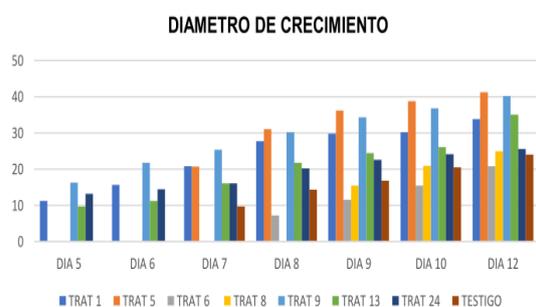


Figura 4. Diámetro de crecimiento (mm) de *C. gloeosporioides* en papayas.

3.5. pH, sólidos solubles totales, acidez

Los resultados de sólidos solubles totales y pH mostraron un ligero incremento tanto en frutos tratados como en frutos control, pero sin embargo no existieron diferencias significativas entre estos,

como se muestra en el cuadro 10. Respecto a los análisis de acidez titulable, tampoco existió diferencia significativa durante el periodo de observación.

Estos datos se asemejan a los expresados por Han et al., (2004), y Ayranci & Tunc (2004), los cuales mencionan que observaron una conservación de sólidos solubles totales, pH y acidez titulable en albaricoques, fresas y frambuesas a las cuales se les aplicó recubrimiento a base de quitosano, metilcelulosa y

polietilenglicol. Asimismo, Srinivasa et al., (2006) afirman que el pH en guayabas recubiertas con quitosano no presentó diferencias significativas a los 15 días de almacenada la fruta.

Igualmente, Almeida et al., (2011), reportan que hay que considerar que la papaya no tiene reservas de almidón, los ácidos orgánicos son utilizados como sustratos de la respiración para la síntesis de nuevos componentes durante el proceso de maduración, causando una disminución de la acidez.

Rodríguez et al., (2014) mencionan que en el análisis de la acidez titulable no se detectaron diferencias significativas

entre los genotipos evaluados, exhibiendo valores similares con promedio de 0,03%, afines con los obtenidos en el cultivar Baixinho de Santa Amália. Esquivel et al., (2008) señalan que la acidez de la papaya es baja y no repercute en la calidad del fruto.

Según las normas INEN 2337, la concentración mínima requerida para los sólidos solubles en la pulpa de papaya es 8 °Brix, la misma que se cumple a partir del día cinco, manteniéndose estable en todos los tratamientos (INEN, 2008).

Tabla 10. Efecto de los tratamientos sobre el pH, °Brix y acidez en muestras de papaya.

Factores		pH		°Brix		acidez	
		6 dda	12 dda	6 dda	12 dda	6 dda	12 dda
A	35	5,43 a	5,45 a	8,18 a	9,30 a	0,04 a	0,02 a
	40	5,47 a	5,48 a	8,13 a	9,28 a	0,03 a	0,03 a
	45	5,48 a	5,48 a	8,15 a	9,33 a	0,03 a	0,02 a
	Testigo	5,49 a	5,42 a	8,23 a	9,37 a	0,03 a	0,02 a
B	20	5,49 a	5,50 a	8,13 a	9,29 a	0,03 a	0,02 a
	30	5,43 a	5,45 a	8,16 a	9,35 a	0,03 a	0,02 a
	40	5,45 a	5,47 a	8,17 a	9,27 a	0,04 a	0,02 a
	Testigo	5,49 a	5,42 a	8,23 a	9,37 a	0,03 a	0,02 a
C	0,1	5,46 a	5,46 a	8,14 a	9,21 a	0,03 a	0,02 a
	0,2	5,46 a	5,47 a	8,20 a	9,36 a	0,04 a	0,03 a
	0,3	5,45 a	5,48 a	8,12 a	9,35 a	0,03 a	0,02 a
	Testigo	5,49 a	5,42 a	8,23 a	9,37 a	0,03 a	0,02 a

Factor A: Temperatura (°C), Factor B: Tiempo de inmersión (min), Factor C: Concentración de quitosano (%), dda: día después de la aplicación del tratamiento.

4. Conclusiones

Se establece que, en torno a la interacción de los factores en estudio, los mejores tratamientos fueron el 10, 16, 18 y 19, los cuales reportaron menor pérdida de peso y no presentaron desarrollo de *C. gloeosporioides*.

El tratamiento 35°C tuvo efecto sobre la firmeza de los frutos de papaya en todas las observaciones realizadas, mientras que el tiempo de inmersión y el quitosano no manifestaron influencia sobre esta variable. Los tiempos de inmersión mostraron su efecto los días 5 y 12 después de la aplicación de los tratamientos sobre la Pérdida Fisiológica de Peso.

La concentración de quitosano al 0,1% evidenció una influencia sobre la pérdida fisiológica de peso en los días 5, 10 y 12. El testigo sufrió pérdida el primer día de observación después de la aplicación de los tratamiento; esto se debió posiblemente, al calentamiento de la fruta, sin embargo, fue el tratamiento que mayor pérdida de peso ocasionó entre todos los tratamientos experimentales.

La actividad del *Colletotrichum gloeosporioides* en el almacenamiento de las frutas, se debe a sus

características de quiescencia y condiciones ambientales que al momento de la maduración favorecen la infección y propagación del hongo. A pesar de comprobar la presencia de *Colletotrichum gloeosporioides*, su crecimiento se ubicó dentro de lo reportado por múltiples trabajos de este tipo, de modo que el índice de deterioro se registró en 2,70, correspondiente a un daño moderado.

Bibliografía

- Agar, I. T., Massantini, R., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (1999). Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *Journal of food science*, 64(3), 433-440. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb15058.x
- Almeida, A., Reis, J., Santos, D., Vieira, T., & da Costa, M. (2011). Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 49-60
- AOAC. (1984). Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis (14ta Ed.).
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15ª Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU.

- Ayranci, E., & Tunc, S. (2004). The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris Lam.*) and green peppers (*Capsicum annuum L.*). *Food Chemistry*, 87(3), 339-342. Doi: 10.1016/j.foodchem.2003.12.003
- Bastidas, T. (2006). Proyecto de factibilidad para la comercialización de papayas hawayanas al mercado chileno. In U. T. (UTE). Quito-EC.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop protection*, 22(9), 1087-1092. Doi: 10.1016/S0261-2194(03)00117-0
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A., Velázquez-Del Valle, M. G., Hernández-López, M., Ait-Barka, E., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop protection*, 25(2), 108-118. Doi: 10.1016/j.cropro.2005.03.010
- Beaulieu, J. J. (2002). The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks. In C. W. K.C. Gross, *Agricultural Handbook* (Vol. 66).
- Cano, L., Lozada, & Fuster, C. (1993). Actividades enzimáticas de la peroxidasa y polifenoloxidasas en frutos de papaya. Cambios durante la maduración y procesado. *Instituto del Frío*, 696-701.
- Castro, M., Ziani, K., & Santacruz, S. (2015). Conservación de arilos de rambutan (*Nephelium lappaceum*) mediante recubrimientos comestibles de quitosano y áloe vera. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 23(2), 32-43.
- Díaz, J. A. (2002). *Manual práctico para el cultivo de la papaya hawaiana*. Guácimo, Limón, Costa Rica: EARTH.
- Esquivel, M. A., Tornet, Y., Aranguren, M., Ramos, R., Rodríguez, K., & Pastor, M. (2008). Caracterización de los frutos de cuatro cultivares de papaya del grupo solo, introducidos en Cuba. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 32(2), 169-175.
- Fallik, E. (2004). Prestorage hot water treatments (immersion, rising and brushing). *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 125-134. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2003.10.005
- FAO. (2010). *Agricultura de la Papaya*. Obtenido de: <http://faostat.fao.org>. p 1

- FAO. (2012). *Crop Production*. Obtenido de:
<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- Gallegos, S., Riaño, C., & Orozco, L. (2003). Determinación del comportamiento químico y fisiológico de *Feijoa sellowiana* en almacenamiento. Programa de industrialización. Cenicafe: Colombia.
- González-Aguilar, G., Valenzuela-Soto, E., Lizardi-Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez-Téllez, M., Villegas-Ochoa, M., Monroy-García, I. & Ayala-Zavala, F. (2009). Effect of chitosan coating in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut papaya 'Maradol'. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(1), 15-23. Doi: 10.1002/jsfa.3405
- Gorini, F. (1989). La preservación de la calidad después de la cosecha. *Cultivo de frutas*, 7, 7-12.
- Gutierrez, A. (2007). Control de la antracnosis en frutos de papaya *Carica papaya L.* durante la poscosecha. Reporte anual de Investigación Tecnológica INFAG: Mococho.
- 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 x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33(1), 67-78. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.01.008
- Hernández, P., Almenar, E., Ocio, M., & Gavara, R. (2006). Efecto de las inmersiones de calcio y recubrimientos de quitosano en la vida postcosecha de las fresas (*Fragaria x ananassa*) Poscosecha. *Poscosecha Biol Technol*, 39(3), 247-253.
- Hernández, M. S., Barrera, J., Martínez, O., & Fernández-Trujillo, J. (2009). Postharvest quality of arazá fruit during low temperature storage. *LWT-Food Science and Technology*, 42(4), 879-884. Doi: 10.1016/j.lwt.2008.11.009
- INEN. (2008). NTE INEN 2337. Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales. Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- INEN. (2012). NTE INEN 1756. Frutas frescas, Papaya. Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- Karakurt, Y., & Huber, D. J. (2003). Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 28(2),

- 219-229. Doi: 10.1016/S0925-5214(02)00177-1
- Lassoudiere, A. (1969). The papaya crop packaging for shipment, changes in products for export. In K. Nirmal, Sinha, & J. S, Handbook of fruits and fruit processing (2 ed., Vol. 24, 11-12, 491-502).
- Li, H., & Yu, T. (2001). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(2), 269-274. Doi: 10.1002/1097-0010(20010115)81:2<269::AID-JSFA806>3.0.CO;2-F
- Ramos, I. (2017). Croplife latín america. Obtenido de: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/antracnosis>
- Ramos, M. A. (1997, Mayo). Calidad de tres cultivares de papaya (*Carica papaya*) Cera, Maradol y Sunset, y la susceptibilidad a la antracnosis (*colletotrichum gloeosporoides* Penz.) en postcosecha. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Rodríguez-Cabello, J., Díaz-Hernández, Y., Pérez-González, A., Natali-Cruz, Z., & Rodríguez-Hernández, P. (2014). Evaluación de la calidad y el rendimiento en papaya silvestre (*Carica papaya* L.) de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 36-44.
- Santacruz, S., Rivadeneira, C., & Castro, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food hydrocolloids*, 49, 89-94. Doi: 10.1016/j.foodhyd.2015.03.019
- Srinivasa, P. C., Harish Prashanth, K. V., Susheelamma, N. S., Ravi, R., & Tharanathan, R. N. (2006). Storage studies of tomato and bell pepper using eco-friendly films. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1216-1224. Doi: 10.1002/jsfa.2472
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest biology and technology*, 41(2), 164-171. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.03.016
- Vázquez, D. E., Meier, G. E., & Ponte, D. (2003). Comportamiento postcosecha de frutos de mandarina nova en almacenamiento frigorífico prolongado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 5(1), 16-25.
- Watada, A. E. (1990). Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 44(5), 116-122.

Williams, A. (2002). A key element in color reproduction. *The International Journal of Newspaper Technology*, 5.