

Efecto del tratamiento hidrotérmico en la conservación poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. 'Nabateo' en estado de madurez verde maduro (grupo 1)

Post harvest effects of the hot water treatment of tomatoes 'nabateo' (*Solanum lycopersicum* L.) cv. conservation in their green maturity state

Américo Guevara P.¹; Miriam E. Ramos R.²

Resumen

Se estudió el efecto del tratamiento hidrotérmico a 40, 45 y 50 °C por 2, 3, 4 minutos, en la conservación poscosecha del tomate cv. 'Nabateo' y un testigo, en el estado de madurez verde maduro, almacenados a 8±0,5 °C y 90 % H.R. Se evaluaron los siguientes atributos de calidad: pérdida de peso (%), color, textura, pH y sólidos solubles y se tomaron muestras semanales por 35 días. La mayor textura (805,45 g_p) se obtuvo en tomates tratados a 45 °C por tres minutos (T5), la evaluación estadística encontró diferencias significativas en este atributo. Se determinó que el tratamiento hidrotérmico reduce la actividad de la poligalacturonasa y evidencia el efecto que tiene el tratamiento con agua caliente para retardar la acción de esta enzima, prolongando el tiempo de vida útil hasta 34 días. La evaluación fisicoquímica en el mejor tratamiento, encontró lo siguiente: color a*/b* 0,86; textura 805,45 g_p; licopeno 30,40 mg/kg; vitamina C 10,16 mg/100g, actividad de poligalacturonasa 0,221 μmol/min x g de tejido fresco, pH 4,20, °Brix 5,00, energía total 21,70 kcal/100g de muestra, azúcares totales 3,29 g/100g muestra, azúcares reductores 2,78 g/100g muestra y como análisis proximal en g/100g de muestra: carbohidratos 4,17, fibra 1,00, proteína 1,01, grasa 0,11, cenizas 0,79, materia seca 6,08 y humedad 93,92.

Palabras clave: actividad de poligalacturonasa; estado de madurez; licopeno; Nabateo; *Solanum lycopersicum* L.; textura.

Abstract

Mature green tomato fruits cv. Nabateo were treated with hot water at 40, 45 and 50 °C for 2, 3, & 4 min plus a check and then stored at 8±0,5 °C and 90 % R.H. Quality attributes were evaluated: weight loss (%), color, texture, pH and soluble solids; taking samples weekly over 35 days. The highest texture (805,45 g_p) was obtained in tomatoes treated at 45 °C for 3 min (T5), a highly statistical significance was observed in this characteristic. Hot water treatments reduced Polygalacturonase activity, therefore the shelf life of tomato's were prolonged by 34 days. Physicochemical evaluation in the best treatment showed: color a*/b* 0,86; texture 805,45 g_p; lycopene 30,40 mg/kg; polygalacturonase activity 0,224 μmol/min x g fresh tissue, ascorbic acid 10,16 mg/100mg sample, pH 4,20, °Brix 5,00, total energy 21,70 kcal/100g sample, total sugars 3,29g/100g sample, reducing sugars 2,78 g/100g sample. A proximate composition in g/100g of sample showed: carbohydrates 4,17, fiber 1,10, protein 1,01, fat 0,11, ash 0,79, dry material 6,08 and moisture 93,92.

Keywords: tomato; Polygalacturonase activity; ripeness state; lycopene; Nabateo; *Solanum lycopersicum* L.; texture.

1. Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas de consumo humano, se cultiva en un amplio rango de latitudes, desde la línea ecuatorial hasta casi el círculo polar. Los frutos se destinan tanto al consumo en fresco como a la industria procesadora. Es una fuente interesante de fibra (0,50%), potasio (0,25%), vitaminas C (0,02 %) en función al peso fresco, vitamina E, provitamina A y vitaminas del grupo B (Nuez, 1995); presenta un alto contenido de carotenos como el licopeno (30 mg/kg), pigmento natural que otorga al tomate su color rojo característico y es de interés para la salud del consumidor (Ordóñez *et al.*, 2009). Por las cualidades expuestas, su demanda en los últimos años ha superado el

promedio anual de producción de 86 millones de toneladas a nivel mundial; en el Perú, durante el 2010, se tuvo una producción de 224.897 t/año (Ministerio de Agricultura, 2011).

El tomate es un fruto climatérico y tiene una vida útil poscosecha corta, por tanto, está sujeto a cambios continuos después de ser cosechados, originando como consecuencia pérdidas entre 5 y 25 % en países industrializados y 20 a 50 % en países en desarrollo, por lo que se hace necesario aplicar tecnologías apropiadas para su conservación (Artés y Artés, 2004).

Desde esta perspectiva, la tecnología de alimentos debe buscar nuevas formas y métodos para prolongar el tiempo de vida útil; una de estas es el tratamiento hidrotérmico

1 Profesor principal de la Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
Email: aguevara@lamolina.edu.pe.

2 Docente de la E.A.P. Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.

(Lurie, 1998), de mucho interés para el consumidor, debido a que no incluye productos químicos en el proceso y permite retardar la maduración, el control de enfermedades, evitar daños por frío que, en conjunto, prolongan el tiempo de vida útil del vegetal, además de cumplir con normas cuarentenarias en el comercio mundial. Por las consideraciones expuestas se decidió llevar a cabo el trabajo de investigación planteando los siguientes objetivos: Determinar la influencia del tratamiento hidrotérmico en la textura durante su conservación en refrigeración y caracterizar los tomates provenientes del mejor tratamiento.

2. Materiales y métodos

Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Donoso Huaral del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)-Ministerio de Agricultura y en los Laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias, instalaciones pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de noviembre del 2008 a enero del 2011.

Materia prima

Se utilizaron tomates (*Solanum lycopersicum* L.) del cultivar 'Nabateo', recién cosechados, cultivados en el distrito Carquín Alto, provincia de Huaral, departamento de Lima, en el estado de madurez: verde maduro (Grupo 1), clasificación establecida por ITINTEC 011.115 (1977).

Métodos de análisis

Análisis fisicoquímicos

- Color externo: Se siguieron las recomendaciones de Casas (2007), Navarro (2005), Yang y Chinnan (1988), citados por Batu (2003), e ITINTEC 011.115 (1977).
- Gravedad específica: Según el método de Jagtiani *et al.* (1987) citados por Durand (2002).
- Longitud y diámetro ecuatorial: Método sugerido por Casas (2007).
- Análisis proximal, pH y sólidos solubles: Método AOAC (Asociación de las comunidades analíticas, 1997).
- Determinación de azúcares reductores: Según Miller (1959).
- Azúcares totales: Según Ranganna (1979).
- Pérdida de peso: Se determinó hallando la diferencia entre el peso inicial y el peso hallado en cada fecha de evaluación; método sugerido por Durand (2002) e INDECOPI (2009).
- Textura: Se utilizó un texturómetro marca *QTS Texture Analyzer*, con una sonda metálica de 2,71 mm de diámetro, a una velocidad de penetración de 120 mm/min y una distancia de penetración de 20 mm teniendo en cuenta las recomendaciones de Márquez *et al.* (2007) y Sozzi *et al.* (1999), citados por Bombelli y Wright (2006).
- Licopeno: Se determinó según lo establecido por Fish *et al.* (2002), citados por Henríquez, González y Krarup (2005).
- Vitamina C: Según el método de Al-Ani, Opara, Al-Bahri y Al-Rahbi (2007).

Análisis bioquímico

Actividad de Poligalacturonasa: Se efectuó en el mejor tratamiento hidrotérmico, siguiendo las recomendaciones de Navarro (2005) y Campos (1993), citados por Viguria (2002).

Análisis estadístico

Los resultados de pérdida de peso, color, textura, pH y sólidos solubles (por triplicado y un tratamiento testigo) fueron procesados estadísticamente en dos etapas: en la primera se evaluaron los 10 tratamientos (temperatura, tiempo y testigo), seleccionando a los que destacaron, los que fueron evaluados en una segunda etapa a fin de encontrar al mejor. La prueba estadística que se utilizó fue un diseño completamente al azar (DCA) y prueba de Tukey, con un nivel de significación de 0,05 utilizando el paquete estadístico *Statgraphics Plus* versión 5.1.

Metodología experimental

En la **Fig. 1** se presenta el esquema experimental seguido en la investigación.

Materia prima

Se recibieron 200 kg de tomate en estado de madurez verde maduro (Grupo 1), en cajas de plástico, en los laboratorios de la Estación Experimental INIA-Huaral, seguidamente fueron seleccionados, clasificados, lavados, desinfectados y sometidos a las siguientes determinaciones: gravedad específica, longitud, diámetro ecuatorial, análisis proximal, color, textura, sólidos solubles, pH y actividad de la poligalacturonasa.

Tratamiento hidrotérmico

Los tomates fueron tratados en agua a 40, 45 y 50 °C por 2, 3 y 4 min cuyo objetivo fue determinar el efecto de la temperatura y tiempo en retardar la maduración, sin alterar características organolépticas y fisicoquímicas del tomate. La decisión del mejor tratamiento se hizo en la etapa de almacenamiento.

Almacenamiento

Los tomates, posteriormente a su tratamiento hidrotérmico, fueron conservados por 35 días a $8 \pm 0,5$ °C y 90 % H.R., efectuando controles por triplicado a los 0, 7, 14, 21, 28 y 35 días de almacenamiento, evaluando la textura como indicativo para decidir el mejor tratamiento, considerando además otros controles como: pH, sólidos solubles, color y pérdida de peso. Los valores obtenidos fueron tabulados y evaluados estadísticamente.

Caracterización

Las muestras provenientes del mejor tratamiento hidrotérmico fueron caracterizadas en: análisis proximal, azúcares reductores y totales, color, textura, sólidos solubles, pH, licopeno, vitamina C y actividad de la poligalacturonasa.

3. Resultados y discusión

Caracterización del tomate cultivar Nabateo.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos del tomate cultivar 'Nabateo', en el estado de madurez verde maduro al momento de recolección. Se observa un alto contenido de humedad 93,25 % (b.h.) característico de frutas y hortalizas frescas lo cual coincide con Salunkhe y Kadam (2004) y Collazos *et al.* (1996); en los otros componentes se dan algunas diferencias en

Operaciones Unitarias	Materia prima: Recolección, Recepción, Selección, Clasificación, Caracterización, Lavado, Desinfectado	Tratamiento Hidrotérmico con Agua Caliente	Almacenamiento Refrigerado	Caracterización
Variables y Controles		Temp (°C) Tiempo (min)	8±0,5 °C y 90 % H.R. 0,7,14,21,28 y 35 días	
TOMATE (VERDE MADURO GRUPO 1)				
	<ul style="list-style-type: none"> . Gravedad específica . Longitud y Diámetro Ecuatorial . Análisis proximal . Color . Textura . pH . Actividad de Poligalacturonasa (PG) 	<ul style="list-style-type: none"> . Temperatura . Tiempo 	Decisión: <ul style="list-style-type: none"> . Textura . Pérdidas de peso (%) . Color . Sólidos solubles . pH . Actividad de PG 	<ul style="list-style-type: none"> . Análisis proximal . Color . Textura . pH . Sólidos solubles . Licopeno . Vitamina C . Azúcares reductores . Azúcares totales . Actividad de PG . Apariencia General . Apreciación interna . Sabor

Figura 1. Esquema Experimental para determinar el efecto del tratamiento hidrotérmico en la conservación poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. 'Nabateo' en estado de madurez verde maduro (Grupo1)

Tabla 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos del tomate cv. 'Nabateo' en el estado de madurez verde maduro al momento de la recolección

COMPONENTES	GRUPO 1	
	% b.h.*	%b.s.*
Humedad (g/100g de muestra)	93,25	---
Materia seca (g)	6,75	----
Cenizas totales (g/100g de muestra)	0,56	8,29
Grasa Cruda (g/100g de muestra)	0,05	0,74
Proteína cruda (g/100g de muestra)	0,99	14,66
Fibra cruda (g/100g de muestra)	1,00	14,81
Carbohidratos (g/100g de muestra)	5,15	76,29
Energía total (kcal/100g de muestra)		24,99
Color (a*/b*)		-0,46
Textura (g _p)		2.166,90
Sólidos solubles (°Brix)		4,50
pH		4,00
Gravedad específica		0,98
Longitud (mm)		56,76
Diámetro ecuatorial (mm)		52,61
Actividad de poligalacturonasa (μmol/min x g de tejido fresco)		0,119

*b.h.: base húmeda.

b.s. : base seca.

Tabla 2. Resultados promedio de pérdida de peso, color, textura, pH y sólidos solubles del tomate cv. 'Nabateo' verde maduro en almacenaje

°T	CARACTERÍSTICAS EVALUADAS		DÍAS DE ALMACENAMIENTO																	
			0 DÍAS			7 DÍAS			14 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS			35 DÍAS		
			t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3
40°C	Pérdida de peso (%)	0.000	0.000	0.000	2.11 ^{cd}	2.06 ^d	2.46 ^{abcd}	3.61 ^{ab}	3.50 ^b	4.06 ^{ab}	5.20 ^{ab}	4.75 ^b	5.4 ^{ab}	6.53 ^a	5.80 ^a	6.56 ^a	7.56 ^{ab}	6.95 ^b	7.72 ^{ab}	
	Color a*/b*	-0.48 ^a	-0.46 ^a	-0.463 ^a	-0.31 ^a	-0.30 ^a	-0.35 ^a	0.18 ^a	0.11 ^a	0.15 ^a	0.57 ^b	0.57 ^b	0.56 ^b	0.71 ^a	0.68 ^a	0.71 ^a	0.82 ^{ab}	0.69 ^a	0.77 ^{bc}	
	Textura g _f	2105.50 ^{cd}	2030.00 ^d	2348.67 ^{ab}	1751.33 ^d	1839.17 ^{abc}	1759.17 ^d	1649.17 ^{ab}	1527.83 ^c	1583.00 ^{bc}	1182.00 ^{bcd}	1280.83 ^b	1442.00 ^b	938.667 ^{abcd}	889.34 ^{de}	944.00 ^{bc}	734.5 ^{ab}	665.17 ^{cd}	705.17 ^{abcd}	
	pH	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.01 ^a	4.01 ^a	4.01 ^a	4.01 ^b	4.01 ^b	4.08 ^a	4.04 ^{cd}	4.03 ^d	4.09 ^b	4.29 ^a	4.23 ^b	4.07 ^c	4.07 ^c	4.13 ^b	4.12 ^b	
	Sólidos solubles (°Brix)	4.43 ^a	4.30 ^a	4.50 ^a	4.53 ^{ab}	4.53 ^{ab}	4.6 ^{ab}	5.00 ^a	5.07 ^a	5.0 ^a	5.13 ^a	5.19 ^{ab}	5.00 ^a	6.65 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	
45°C	Pérdida de peso (%)	0.000	0.000	0.000	2.62 ^{abcd}	2.53 ^{abcd}	2.76 ^{abc}	4.03 ^{ab}	3.73 ^{ab}	4.24 ^{ab}	5.47 ^{ab}	5.19 ^{ab}	5.59 ^{ab}	6.65 ^a	6.22 ^a	6.77 ^a	7.81 ^{ab}	7.13 ^{ab}	7.99 ^{ab}	
	Color a*/b*	-0.483 ^a	-0.493 ^a	-0.472 ^a	-0.35 ^a	-0.34 ^a	-0.35 ^a	0.09 ^a	0.09 ^a	0.1 ^a	0.57 ^b	0.57 ^b	0.61 ^b	0.70 ^a	0.75 ^a	0.74 ^a	0.88 ^{ab}	0.88 ^{ab}	0.84 ^{ab}	
	Textura g _f	2330.50 ^{ab}	2343.50 ^{ab}	2254.50 ^{abc}	1805.83 ^{de}	1895.00 ^b	1863.83 ^{abc}	1640.5 ^{ab}	1686.33 ^a	1684.33 ^a	1126.67 ^{cd}	1481.50 ^b	1229.83 ^{bcd}	964.83 ^d	1046.17 ^a	868.5 ^{ef}	686.83 ^{cd}	765.33 ^{ab}	691.00 ^{bcd}	
	pH	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.06 ^a	4.02 ^a	4.02 ^a	4.09 ^a	4.09 ^a	4.08 ^a	4.10 ^b	4.10 ^b	4.09 ^b	4.1 ^{ef}	4.12 ^{de}	4.13 ^d	4.05 ^d	4.21 ^a	4.07 ^c	
	Sólidos solubles (°Brix)	4.47 ^a	4.43 ^a	4.50 ^a	4.57 ^{ab}	4.5 ^b	4.53 ^{ab}	5.0 ^a	5.07 ^a	4.67 ^a	5.07 ^a	5.10 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	
50°C	Pérdida de peso (%)	0.000	0.000	0.000	2.636 ^{abcd}	2.96 ^a	2.87 ^{ab}	4.26 ^{ab}	4.66 ^a	4.52 ^{ab}	5.65 ^{ab}	6.20 ^a	6.01 ^{ab}	6.96 ^a	7.52 ^a	7.12 ^a	8.13 ^{ab}	8.92 ^a	8.46 ^{ab}	
	Color a*/b*	-0.45 ^a	-0.46 ^a	-0.46 ^a	-0.35 ^a	-0.34 ^a	-0.31 ^a	0.14 ^a	0.09 ^a	0.16 ^a	0.63 ^b	0.65 ^b	0.62 ^b	0.81 ^a	0.82 ^a	0.80 ^a	0.91 ^a	0.85 ^{ab}	0.81 ^{ab}	
	Textura g _f	2455.33 ^a	2166.17 ^{bcd}	2309.33 ^{abc}	1891.33 ^a	1827.50 ^{bc}	1885.17 ^{ab}	1514.67 ^c	1537.83 ^c	1552.17 ^c	1279.17 ^b	1279.33 ^b	1269.00 ^{bc}	816.33 ^f	861.67 ^{ef}	873.67 ^{def}	665.33 ^{cd}	746.67 ^{ab}	720.5 ^{abc}	
	pH	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.07 ^a	4.02 ^a	4.02 ^a	4.08 ^a	4.02 ^b	4.09 ^a	4.09 ^b	4.21 ^a	4.21 ^a	4.09 ^{bc}	4.22 ^b	4.14 ^b	4.14 ^b	4.08 ^c	4.12 ^b	
	Sólidos solubles (°Brix)	4.00 ^b	4.43 ^a	4.27 ^{ab}	4.50 ^b	4.53 ^{ab}	4.50 ^b	4.87 ^a	4.83 ^a	5.0 ^a	5.00 ^a	5.23 ^a	5.07 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	
Testigo	Pérdida de peso (%)	0.000	0.000	0.000	2.196 ^{cd}	2.196 ^{cd}	2.196 ^{cd}	3.98 ^{ab}	3.98 ^{ab}	3.98 ^{ab}	5.71 ^{ab}	5.71 ^{ab}	5.71 ^{ab}	7.27 ^a	7.27 ^a	7.27 ^a	8.86 ^a	8.86 ^a	8.86 ^a	
	Color a*/b*	-0.45 ^a	-0.45 ^a	-0.45 ^a	-0.35 ^a	-0.35 ^a	-0.35 ^a	0.19 ^a	0.19 ^a	0.19 ^a	0.76 ^a	0.76 ^a	0.76 ^a	0.82 ^a	0.82 ^a	0.82 ^a	0.92 ^a	0.92 ^a	0.92 ^a	
	Textura g _f	2167.00 ^{bcd}	2167.00 ^{bcd}	2167.00 ^{bcd}	1691.5 ^a	1691.5 ^a	1691.5 ^a	1425.00 ^d	1425.00 ^d	1425.00 ^d	1093.83 ^d	1093.83 ^d	1093.83 ^d	817.50 ^f	817.50 ^f	817.50 ^f	653.5 ⁱ	653.5 ⁱ	653.5 ⁱ	
	pH	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	4.0 ^a	4.06 ^c	4.06 ^c	4.06 ^c	4.17 ^c	4.17 ^c	4.17 ^c	4.17 ^c	4.17 ^c	4.17 ^c	4.21 ^a	4.21 ^a	4.21 ^a	
Sólidos solubles (°Brix)	4.53 ^a	4.53 ^a	4.53 ^a	4.7 ^a	4.7 ^a	4.7 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a		

*Tempos de tratamiento hidrotérmico: t₁=2, t₂=3 y t₃=4 min.

comparación con lo indicado por Casas (2007); Muchuweti *et al.* (2005); Batu (2003); Aponte y Guadarrama (2003); Wills *et al.* (1999); Lurie (1998), Zambrano *et al.* (1996); Nuez (1995); Gormley y Egan (1977) y Yamaguchi *et al.* (1960), citados por Blas (1975) y se atribuyen al cultivar, estado de madurez, labores culturales y condiciones climatológicas, entre otras.

Resultados de las características fisicoquímicas en almacenamiento del tomate cultivar 'nabateo', postratamiento hidrotérmico

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedios de pérdidas de peso (%), color (a^*/b^*), textura (g_f), pH y sólidos solubles ($^{\circ}Brix$) del tomate postratamiento hidrotérmico almacenados a $8 \pm 0,5$ °C y 90 % H.R.

La evaluación estadística calificó como mejores a cinco tratamientos que a continuación se muestran, los que fueron seleccionados y comparados en una segunda etapa, además del testigo, a fin de determinar el mejor:

- T5: Temperatura de 45 °C por 3 min;
- T1: Temperatura de 40 °C por 2 min;
- T3: Temperatura de 40 °C por 4 min;
- T6: Temperatura de 45 °C por 4 min;
- T9: Temperatura de 50 °C por 3 min.

Pérdida de peso

En la Fig. 2 se presenta la variación de pérdida de peso del tomate de los cinco tratamientos seleccionados, almacenados a $8 \pm 0,5$ °C y 90 % H.R. postratamiento hidrotérmico por 35 días. Como se visualiza, los diferentes tratamientos mostraron un incremento en la pérdida de peso a medida que transcurrió el almacenamiento, atribuido al fenómeno de transpiración (Pantástico, 1984).

Se evidencia que el tratamiento T5 (45 °C por 3 min) reportó la menor pérdida de peso con 7,13 %, seguido de los tratamientos T1=7,55 %; T3=7,72 %; T6=7,99 % y T9=8,45 %. La evaluación estadística no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos.

Al respecto Burton (1982) citado por Henríquez (2002), indica que la pérdida de peso permitido en tomates

almacenados es de 7 %, interpolando la curva; cumple con esta especificación el tratamiento T5 que llegó a los 34 días. Posteriormente, los frutos perdieron su calidad comercial.

Asimismo, se determinó que los tomates sometidos a tratamientos hidrotérmicos mostraron menores pérdidas de peso respecto al tratamiento testigo (8,86 %), resultados que probablemente se deban a una mayor permeabilidad del agua osmótica en los frutos no tratados (Znidarcic y Pozrl, 2006).

Color: Razón (a^*/b^*)

La Fig. 3 muestra el grado de maduración a través de la razón a^*/b^* para el Grupo 1. Se observa que aumentó de -0,49 a 0,88 en el tratamiento T5, seguido de los tratamientos T1 (-0,48 a 0,82), T3 (-0,46 a 0,77), T6 (-0,47 a 0,84) y T9 (-0,46 a 0,81). Asimismo, se determinó que ninguno de los tratamientos alcanzaron valores semejantes al testigo T10 (-0,45 a 0,92), resultados que indican que el tratamiento hidrotérmico retarda la razón de color (Navarro, 2005 y Lurie, 1998). Realizada la evaluación estadística, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Al respecto, Vicente (2004), Batu (2003) y Guadarrama (2001) indican que la razón a^*/b^* es un indicativo de la degradación de clorofila y en gran medida del contenido de licopeno que le confiere el color rojo característico al tomate.

Textura

La Fig. 4 reporta la variación de textura con respecto al tiempo de almacenamiento del tomate verde maduro. La mejor textura correspondió al tratamiento T5=2343,50 a 765,33 g_f al inicio y final, respectivamente; seguido de los tratamientos, T1=2105,50 a 734,50 g_f ; T3=2348,67 a 705,17 g_f ; T6=2254,50 a 691 g_f y T9=2309,33 a 720,50 g_f . La evaluación estadística encontró diferencias significativas al 5 % en todos los tratamientos.

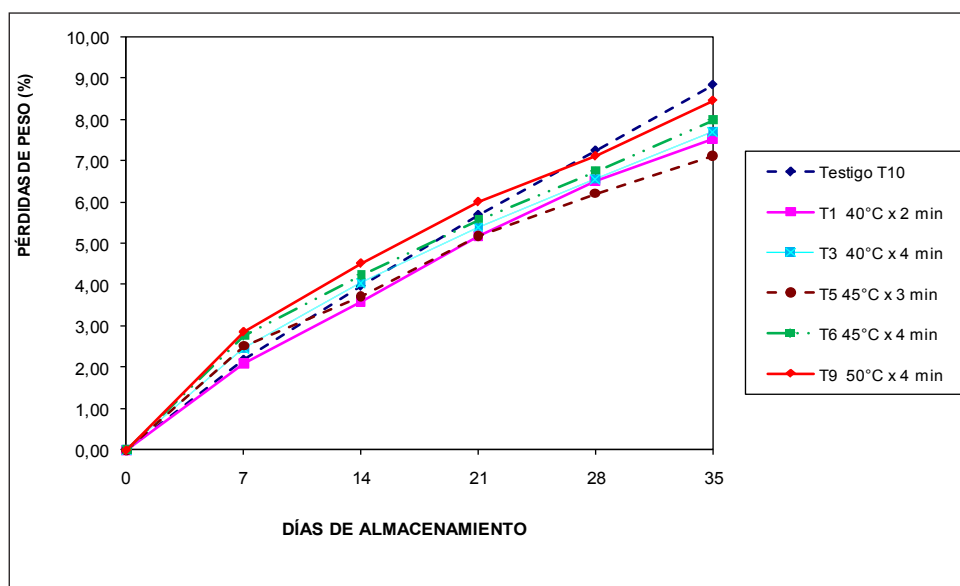


Figura 2. Variación de pérdida de peso (%) respecto al tiempo de almacenamiento del tomate cv. 'Nabateo' verde maduro

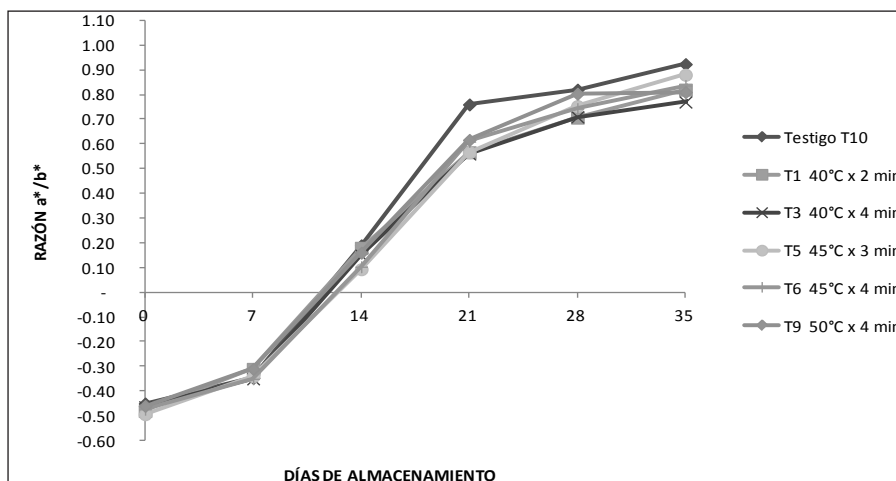


Figura 3. Variación del color (razón a*/b*) respecto al tiempo de almacenamiento del tomate cv. 'Nabateo' verde maduro

Al respecto, Navarro (2005), investigando el efecto del tratamiento hidrotérmico en la variación de textura en tomate Raf, encontró que las muestras evaluadas tenían una vida útil de 21 días; resultados muy cercanos a los obtenidos en esta investigación; lo cual evidencia el efecto del tratamiento con agua caliente en la actividad de la poligalacturonasa. Reportes similares obtuvieron Martínez y Civello (2008), Aponte y Guadarrama (2003), Lurie (1998) y Gormley y Egan (1977), quienes indican que el ablandamiento tiene relación con cambios en la estructura y composición de las paredes celulares durante la maduración, por acción de las enzimas, especialmente de la poligalacturonasa. Por lo expuesto, se puede indicar que el tratamiento hidrotérmico bajo las condiciones realizadas, retarda la acción enzimática y prolonga la vida útil del tomate.

pH

La Fig. 5 muestra la evolución del pH de los mejores tratamientos en almacenaje de tomate verde maduro con tratamiento hidrotérmico. Los valores al inicio y final del almacenaje fueron T1= 4,0 a 4,07, T3= 4,0 a 4,12, T5=

4,0 a 4,21, T6= 4,0 a 4,07 y T9= 4 a 4,12 a los 35 días. Se observa que el comportamiento no es homogéneo y es posible que se deba a las características intrínsecas del tomate relacionadas a los factores culturales (Pantástico, 1984). La evaluación estadística encontró diferencias significativas al 5 % en los tratamientos.

Similares resultados fueron obtenidos por Yamaguchi *et al.* (1960), citados por Blas (1975) quienes encontraron un rango de variación en tomate comprendido entre 3,9 a 4,6, reportes que se ubican dentro de los determinados en esta investigación.

Sólidos solubles

La Fig. 6 muestra la variación de los sólidos solubles en las mejores muestras de tomate verde maduro con tratamiento hidrotérmico en almacenaje. Los reportes al inicio y a los 35 días fueron: T1= 4,43 a 5,00 °Brix, T3= 4,5 a 5,0 °Brix, T5= 4,43 a 5,0 °Brix, T6= 4,50 a 5,00 °Brix y T9= 4,27 a 5,00 °Brix. Los incrementos en los valores proceden de la hidrólisis del almidón o hemicelulosa de las paredes celulares y acumulación de monosacáridos (Pantástico,

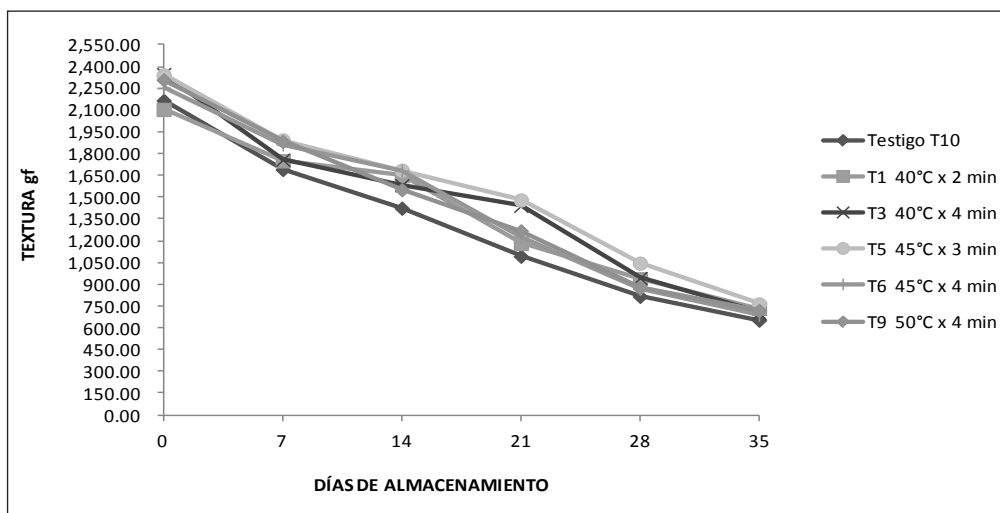


Figura 4. Variación de textura (g_f) respecto al tiempo de almacenamiento del tomate cv. 'Nabateo' verde maduro.

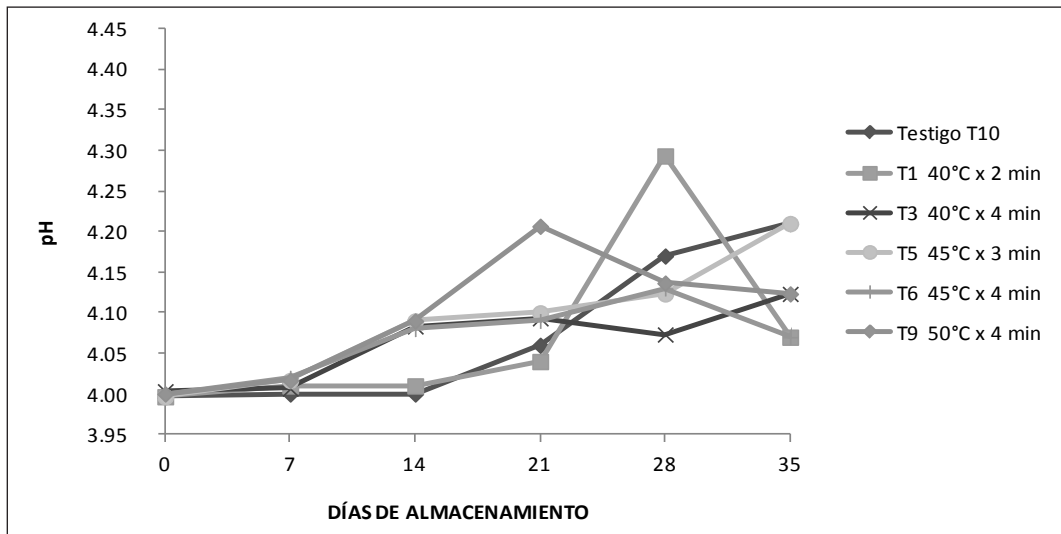


Figura 5. Variación del pH respecto al tiempo de almacenamiento del tomate cv. 'nabateo' verde maduro

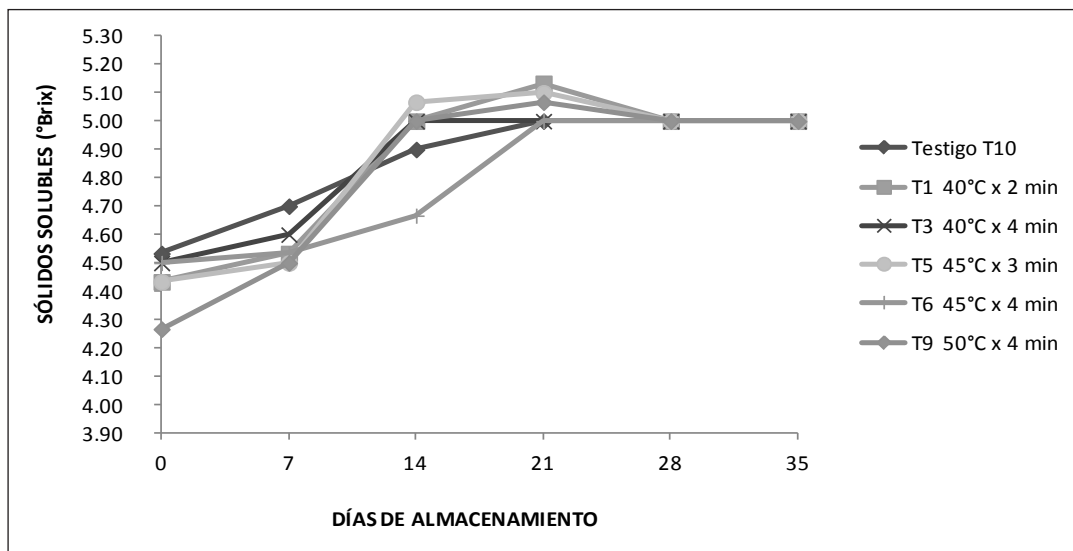


Figura 6. Variación de sólidos solubles (°Brix) respecto al tiempo de almacenamiento del tomate cv. 'Nabateo' verde maduro

1984). La evaluación estadística encontró diferencias significativas al 5 % en todos los tratamientos.

Investigadores como Zambrano *et al.* (1996) encontraron en los cultivares *Río Grande* 4,98 °Brix y en *Walter*, 4,493 °Brix (Nuez, 1995). Los reportes en la investigación de referencia fueron superiores y probablemente se deban al cultivar, labores culturales, temperatura de almacenamiento entre otros (Guadarrama, 2001). Cabe indicar que esta característica no fue influenciada por el tratamiento hidrotérmico y almacenaje en refrigeración.

Actividad enzimática de la poligalacturonasa (pg) en el mejor tratamiento y en el testigo

En la Fig. 7 se aprecia que hasta los 14 días, el tratamiento T5 y el testigo (T10) no mostraron diferencias significativas, destacando el tratamiento T5 con una menor actividad de la poligalacturonasa, resultado que coincide

con lo indicado por Paull y Chen (2000), citados por Martínez y Civello (2008), quienes manifiestan que al aplicar tratamientos con calor, se consigue perturbar la degradación de la pared celular, al reducir la actividad de las enzimas polisacárido hidrolasas relacionadas con la textura, que es un atributo de primer orden en el tomate. Posteriormente al tiempo antes indicado, en las muestras de tomate sin tratamiento hidrotérmico se aprecia mayor actividad de la PG, evidenciando el efecto que tiene el tratamiento con agua caliente en retardar la acción de esta enzima y como consecuencia en prolongar el tiempo de vida útil de esta importante hortaliza.

Caracterización del mejor tratamiento

En la Tabla 3 se reportan los resultados de los análisis físicoquímicos del tomate verde maduro sometido a 45 °C por tres minutos de tratamiento hidrotérmico, a los 34 días

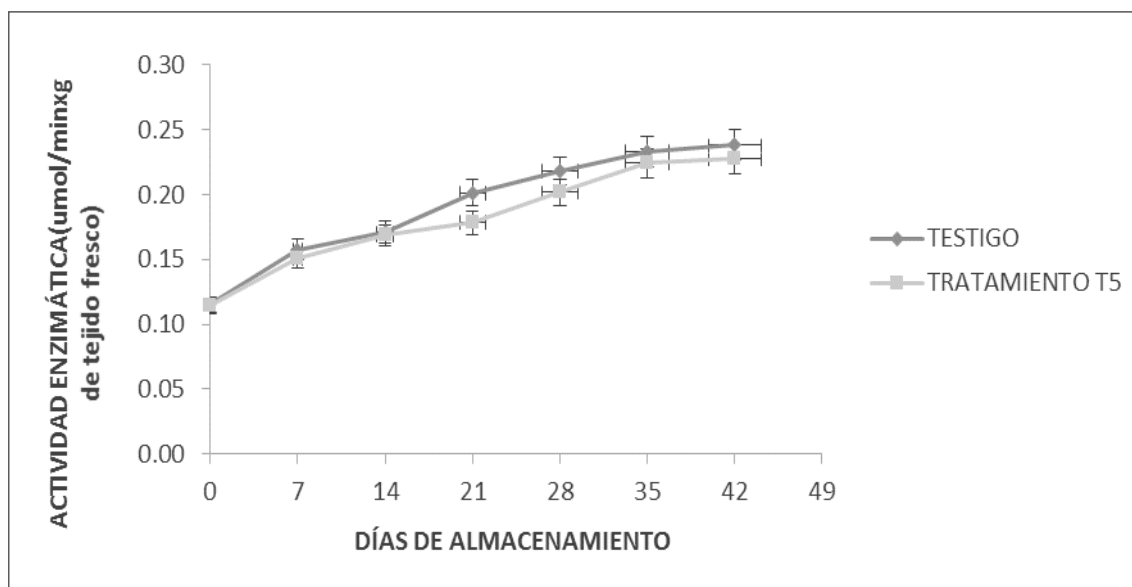


Figura 7. Variación de actividad de poligalacturonasa respecto al tiempo de almacenamiento en tomates cv. 'Nabateo' verde maduro

de almacenaje a $8 \pm 0,5$ °C y 90 % de H.R.

Los contenidos de proteína, grasa, ceniza, fibra, sólidos solubles y pH, se incrementaron ligeramente con respecto al material vegetal inicial, atribuyéndose estas variaciones al comportamiento climaterico del fruto (Pantástico, 1984). La humedad (93,92 % b.h.) se mantuvo en el rango de 80 a 95 % recomendado por Wills *et al.* (1999) como característica ideal de hortalizas frescas. La textura evidenció una reducción de 2343,50 a 805,45 g_p, relacionada con el incremento de la actividad enzimática

(0,114 a 0,221 µmol/min x g de tejido fresco). Al respecto, Muchuweti *et al.* (2005) refieren que la creciente actividad de la poligalacturonasa conduce a una apariencia suave y pulposa de las frutas maduras, cuando estas avanzan desde el estado verde al maduro. Asimismo, Gormley y Egan (1977) reportan para la venta al por menor una textura promedio mínima de 680 g_f sin aplicar el tratamiento hidrotérmico, mientras que para el consumo en el hogar es de 540 g_p, para los cultivares de tomate Sonato, Grenadier, Adago, Extase y Exquise.

Tabla 3. Resultados del análisis fisicoquímico del mejor tratamiento

CARACTERÍSTICA	CONTENIDO	
	% b.h.	% b.s.
Humedad (g/100g de muestra)	93,92	--
Materia seca (g/100g de muestra)	6,08	--
Cenizas totales (g/100g de muestra)	0,79	12,99
Grasa cruda (g/100g de muestra)	0,11	1,81
Proteína cruda (g/100g de muestra)	1,01	16,61
Fibra cruda (g/100g de muestra)	1,00	16,45
Carbohidratos (g/100g de muestra)	4,17	68,59
Azúcares reductores (g/100g muestra)	2,78	45,72
Azúcares totales (g/100g muestra)	3,29	54,11
Energía total (kcal/100g de muestra)	21,70	
Color (a*/b*)	0,86	
Textura (g _p)	805,45	
Sólidos solubles (°Brix)	5,00	
pH	4,20	
Licopeno (mg/kg muestra)	30,40	
Acido ascórbico (mg/100g muestra)	10,16	
Actividad de poligalacturonasa (µmol/min x g de tejido fresco)	0,221	

*b.h.: base húmeda.

b.s.: base seca.

La razón de color a^*/b^* alcanzó valores de -0,46 a 0,86 al inicio y final de almacenamiento, respectivamente; valores cercanos a los reportados por Batu (2003) y característico de tomates maduros.

El pH varió de 4 a 4,20, resultados que se encuentran dentro de lo establecido por Yamaguchi *et al.* (1960); citado por Blas (1975). El pH ácido es característico del tomate, evita el desarrollo de cierta carga microbiana, contribuyendo con la conservación del alimento.

Se encontró 2,78 g/100g de azúcares reductores, 3,29 g/100g de azúcares totales, 30,40 mg/kg de licopeno y 10,16 mg/100 g de vitamina C; cercanos a los registrados por Zambrano *et al.* (1996), quienes a su vez manifiestan que el estado de madurez al momento de la recolección incide en la composición química del tomate.

La razón de color a^*/b^* alcanzó valores de -0,46 a 0,86 al inicio y final de almacenamiento, respectivamente; valores cercanos a los reportados por Batu (2003) y característico de tomates maduros.

Se encontró 2,78 g/100g de azúcares reductores, 3,29 g/100g de azúcares totales, 30,40 mg/kg de licopeno y 10,16 mg/100 g de vitamina C, valores cercanos a los registrados por Zambrano *et al.* (1996), quienes a su vez manifiestan que el estado de madurez al momento de la recolección incide en la composición química del tomate.

La actividad de la poligalacturonasa fue de 0,221 $\mu\text{mol}/\text{min} \times \text{g}$ de tejido fresco, superior al material vegetal inicial, indicativo de la maduración de los frutos por la acción enzimática (Muchuweti *et al.*, 2005 y Hobson, 1964).

4. Conclusiones

El mejor tratamiento hidrotérmico aplicado en el tomate en estado de madurez verde maduro, fue el de 45 °C x 3 minutos (T5), bajo estas condiciones se puede almacenar por 34 días a $8 \pm 0,5$ °C y 90 % de H.R.

El tratamiento hidrotérmico en tomate incidió positivamente en la textura (805,45 g_p), y reportó 0,221 $\mu\text{mol}/\text{min} \times \text{g}$ de tejido fresco como actividad enzimática de la poligalacturonasa, a los 34 días de almacenaje.

A los 34 días de almacenaje postratamiento hidrotérmico se registró la siguiente composición fisicoquímica: textura 805,45 g_p ; actividad de poligalacturonasa 0,221 $\mu\text{mol}/\text{min} \times \text{g}$ de tejido fresco; vitamina C 10,16 mg/100g y licopeno 30,40 mg/kg de muestra.

5. Literatura citada

Al-Ani, M.; Opara, L.; Al-Bahri, D. y Al-Rahbi, N. 2007. Spectrophotometric Quantification Of Ascorbic Acid. *Journal Of Food Agriculture*, 5:165-168.

Asociación de las comunidades analíticas [AOAC]. 1997. *Official Methods of Analysis. Agricultural Chemicals Contaminants; Drugs.* (15th ed.). I y II.

Aponte, L. y Guadarrama, A. 2003. Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 29: 145-160.

Artés, F. y Artés H., F. 2004. *Tratamiento posrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones.* España: Universidad Politécnica de Cartagena.

Batu, A. 2003. *Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes.*

Blas, D. 1975. Comparativo de cultivares de tomate para industria, en tres localidades de la costa central (Cañete, Chíncha, Huaura, 1974). (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Casas, A. 2007. *Prácticas de Fisiología y Manejo Postcosecha en la Facultad de Agronomía.* Laboratorio de Horticultura. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Collazos, C.; White, P.; White, H.; Viñas, E.; Alvistur, E.; Urquieta, R.; Vásquez, J.; Díaz, C.; Quiroz, A.; Roca, A.; Hegsted, M.; Bradfield, R.; Herrera, N.; Faching, A.; Robles, N.; Hernández, E. y Arias, M. 1996. *Tablas Peruanas de Composición de Alimentos.* Lima-Perú: Instituto Nacional de Salud-Centro Nacional de Alimentación y Nutrición.

Durand, W. 2002. *Influencia del momento de recolección de la calidad y tiempo de vida del mango (Mangifera indica L.) Variedad Haden.* (Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Gormley, R. y Egan, S. (1977). Firmness and colour of the fruit of some tomato cultivars from various sources during storage. *J. Sci. Fd Agric*, 29: 534-538.

Guadarrama, A. 2001. *Fisiología poscosecha de frutos.* Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 133 pp.

Henríquez, C.; González, R. y Krarup, C. 2005. Tratamientos térmicos y progresión del daño por enfriamiento y de la pigmentación de tomates en postcosecha. *Cien. Inv. Agr.*, 32, 113-123.

Henríquez, M. 2002. *Daño por enfriamiento en postcosecha de tomate: Expresiones de síntomas, influencia de la radiación solar y de tratamientos térmicos.* (Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias Agropecuarias Mención Cultivos). Santiago de Chile.

Hobson, G. 1964. *Polygalacturonase in abnormal Tomato fruit.* *Biochemical Society.* London- New York: Cambridge University Press.

INDECOPI. 1999. NTP-ISO 2859-I. *Planes de Muestreo simple para inspección normal.* Lima- Perú.

Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharv. Biol. Technol.*, 14: 257-269.

Martínez, A. y Civello, P. 2008. Effect of heat treatments on gene expression and enzyme activities associated to cell wall degradation in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Tecnology*, 49: 35-45.

Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31 (3): 426-428.

Ministerio de Agricultura. 2011. *Producción Hortofrutícola 2010.* Oficina de estudios estadísticos. Lima – Perú: Ministerio de Agricultura.

Muchuweti, M.; Moyo, E. y Muschipe, S. 2005. Some Properties of the Polygalactunase from Four Zimbabwean Wild Fruits (*Uapaca kirkiana*, *Zizphus mauritiana*, *Tamarindus indica* and *Berchemia Discolor* Fruits). *Food Chem.* 2005, 90: 655-661.

- Navarro, J. 2005.** *Eficacia de los tratamientos térmicos postcosecha en tomate RAF: Influencia del estado de madurez del fruto.* (Titulación de Ingeniería Técnica Agrícola, Especialidad de Hortofructicultura y Jardinería). Universidad de Almería, Escuela Politécnica Superior. Almería, España.
- Nuez, F. 1995.** *El cultivo de tomate.* España: Editorial Mundi-Prensa.
- Ordóñez, A.; Balanza, M.; Martín, F. y Flores, C. 2009.** *Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva.* 20(2): 31-37.
- Pantástico, B. 1984.** *Fisiología de la postrecolección manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales.* México: Compañía Editorial Continental.
- Ranganna, S. 1979.** *Manual of analysis of fruit and vegetable products.* New Delhi.
- Salunkhe, D. y Kadam, S. 2004.** *Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas.* Zaragoza: Editorial Acribia.
- Vicente, A. 2004.** *Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre la calidad y fisiología postcosecha de frutillas (*Fragaria ananassa* Duch.).* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Química.
- Wills, R.; Lee, T.; McGlasson, W. y Hall, E. 1999.** *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas.* Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Zambrano, J.; Moyeja, J. y Pacheco, L. 1996.** Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Revista Agronomía Tropical.* 46(1), 61-72. Venezuela.
- Znidarcic, D. y Pozrl, T. 2006.** Comparative study of quality in tomato cv. "Malike" (*Lycopersicon esculentum* Mill) whilst stored at different temperatures. *Acta agriculture Slovenica,* 87 (2): 235-243.