

# EFECTO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION EN EL COLOR Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

## EFFECT OF THE DEHYDRATION PROCESS ON COLOR AND BIOACTIVE COMPOUNDS OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.)

González-Sánchez, T.<sup>1</sup>; Delgado-Alvarado, A.<sup>1\*</sup>; Herrera-Cabrera, B. E.<sup>1</sup>; Pérez-Luna, G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. *Campus* Puebla. Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla No. 25, Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula, Estado de Puebla. 72760 Puebla, Puebla, México. <sup>2</sup>Facultad Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Av. 14 sur y Av. San Claudio, Ciudad Universitaria Edif. 109F. 72560 Puebla, Puebla, México.

\***Autora de correspondencia:** adah@colpos.mx

### RESUMEN

La ingesta del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la dieta diaria se asocia estrechamente con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, por lo que actualmente tiene importancia por su valor biológico y actividad antioxidante. La preservación y potenciación de estos compuestos permiten desarrollar diferentes formas de conservación tales como, la deshidratación, teniendo en cuenta mantener los atributos físico-químicos del fruto. Se analizó el efecto de tres procesos de deshidratación (solar, liofilización y descompresión instantánea controlada, DIC) en el color y compuestos bioactivos (vitamina C, licopeno, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante) de los frutos de jitomate deshidratados. Los resultados mostraron que la deshidratación solar conservo mejor el color, licopeno y vitamina C; el procesamiento por DIC preservó mejor los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante (CI<sub>50</sub>); mientras que la liofilización no mostró ventaja en conservar el color y los componentes bioactivos, respecto a la deshidratación solar y proceso DIC.

**Palabras clave:** antioxidantes, fruto deshidratado, licopeno, jitomate, vitamina C.

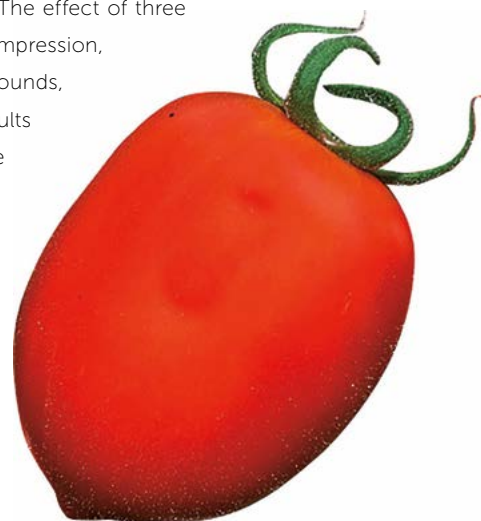
### ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) intake in the daily diet is closely associated to the reduction of risk of chronic diseases, so it is currently important because of its biological value and antioxidant activity. The preservation and potentiation of these compounds allow developing different ways of conservation, such as dehydration, taking into account the need to maintain the physical-chemical attributes of the fruit. The effect of three dehydration processes (solar, freeze drying, and controlled instantaneous decompression, CID) on color and bioactive compounds (vitamin C, lycopene, total phenolic compounds, and antioxidant activity) of dehydrated tomato fruits were analyzed. The results showed that solar dehydration retain a better color, lycopene and vitamin C; the CID process had a good preservation phenolic compounds and antioxidant (CI<sub>50</sub>) capacity; while freeze drying did not show an advantage in conserving the color and bioactive components, compared to solar dehydration and the CID process.

**Keywords:** antioxidants, dehydrated fruit, lycopene, tomato, vitamin C.

**Agroproductividad:** Vol. 9, Núm. 4, abril. 2016, pp: 33-40.

**Recibido:** noviembre, 2015. **Aceptado:** marzo, 2016.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron frutos de jitomate procedentes de la región del Municipio de Tetela de Ocampo, Puebla, México, cuyo principal producto es el jitomate en invernadero. El sistema de cultivo fue con fertirriego. Los frutos fueron tipo saladette, variedad "Rafaello", cosechados en madurez fisiológica. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 16 frutos de jitomate por cada tratamiento (fresco, liofilización, deshidratación solar y DIC).

Los frutos provenientes del invernadero se lavaron y desinfectaron durante un minuto en agua potable con una solución yodada. En los tratamientos de deshidratación solar y DIC, el corte de los frutos se realizó en rodajas de un centímetro de espesor para obtener un deshidratado uniforme.

**Deshidratación Solar:** las rodajas de los frutos de jitomate se colocaron dentro de la charola del secador solar SSB-2008 (Figura 1), registrando la temperatura y la humedad relativa del ambiente con un dataloger HOBO Mod. H08-004-002.

**Deshidratación por liofilización:** los frutos se congelaron a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  en bolsas Ziploc®; y después de ello, se trocearon y liofilizaron en un equipo LABCONCO Mod. 75034. El proceso se realizó bajo las siguientes condiciones:  $-0.40$  bar de presión,  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura y 400 min de procesamiento.

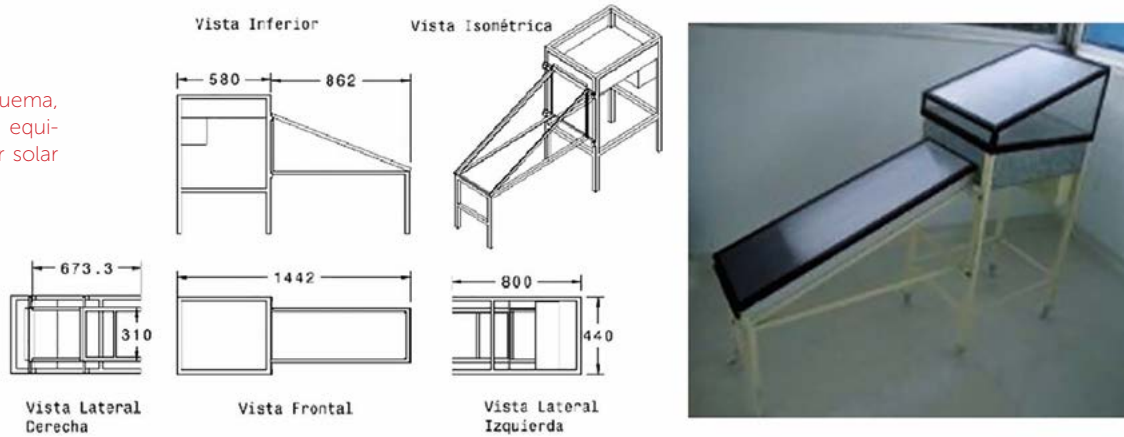
**Deshidratación por descompresión instantánea controlada (DIC):** las rodajas de jitomate fueron previamente tratadas en el

## INTRODUCCIÓN

**El jitomate** (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más consumida y una de las más importantes a nivel mundial. Los frutos generalmente se consumen en estado fresco y en algunos productos como jugos, purés, salsas y enlatados (Akbudak *et al.*, 2009). Como cultivo representa importancia económica y biológica, donde resalta su actividad antioxidante y características funcionales, ya que su ingesta en la dieta diaria se asocia con la reducción de riesgos de enfermedades crónicas (Agarwa y Aai, 2000), algunos tipos de cáncer (Rao *et al.*, 2007) y enfermedades del corazón (Rao *et al.*, 1999), atribuido a las características antioxidantes, determinadas por compuestos bioactivos, tales como, el licopeno,  $\beta$ -caroteno y vitamina C (Leonardi *et al.*, 2000). No obstante, el jitomate es altamente perecedero en estado fresco, lo que trae pérdidas post-cosecha, de ahí que prevenir estas pérdidas resulta de gran interés, particularmente cuando existe fluctuación entre la oferta y la demanda en algunas temporadas del año. Uno de los procesos para preservar alimentos por más tiempo es la deshidratación, dentro de la cual hay diferentes procesos como liofilización, secado osmótico, secado al vacío, por aire forzado o por deshidratación solar; el común denominador de estos procedimientos es la eliminación de agua del alimento a procesar (Fito *et al.*, 2001). El deshidratado de jitomate, ocasiona cambios de color en el producto final por una combinación del oscurecimiento no enzimático, reacciones de Maillard, y por degradación de licopeno (Kerkhofs *et al.*, 2005). Además de existir colapso de las estructuras que causa textura rugosa (Ratti *et al.*, 2008). En el aspecto nutrimental, los vegetales frescos se pueden ver afectados por el procesamiento de deshidratación o por factores de cosecha y post-cosecha, donde la causa principal del deterioro es la oxidación en los carotenoides, lo cual se debe principalmente al alto grado de instauración que poseen estos compuestos, que son especialmente sensibles a la luz, calor y oxígeno (Mínguez, 1997). Otros factores físicos y químicos, que también degradan a los carotenoides, son temperaturas elevadas, exposición a la luz, oxígeno y pH extremo (Nguyen y Schwartz, 1999). Específicamente la degradación del licopeno no sólo afecta el atractivo color de los frutos deshidratados, sino también su valor nutritivo (Ré *et al.*, 2002). Además de que el manejo del fruto durante la cosecha y post-cosecha puede influir en el deterioro de su actividad antioxidante (García *et al.*, 2007).

En la actualidad la innovación de tecnologías para llevar a cabo la deshidratación abre nuevas puertas para disminuir el daño físico y fitoquímico, como es el caso de la deshidratación solar (González, 2010) y la tecnología por descompresión instantánea controlada (DIC, por sus siglas en francés *Détente Instantanée Contrôlée*) (Kamal *et al.*, 2008), que genera una estructura porosa y mejora la textura y el color. Por lo que este trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto de los procesos de deshidratación (solar, liofilización y tecnología DIC) en el color y los compuestos bioactivos (vitamina C, licopeno, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante) en frutos de jitomate deshidratados.

**Figura 1.** Esquema, dimensiones y equipo del secador solar SSB-2008.



deshidratador solar, hasta que tenían 12% de humedad. Posteriormente se realizó el deshidratado con un equipo de tecnología DIC (Figura 2), monitoreando las condiciones del proceso, presión y tiempo.

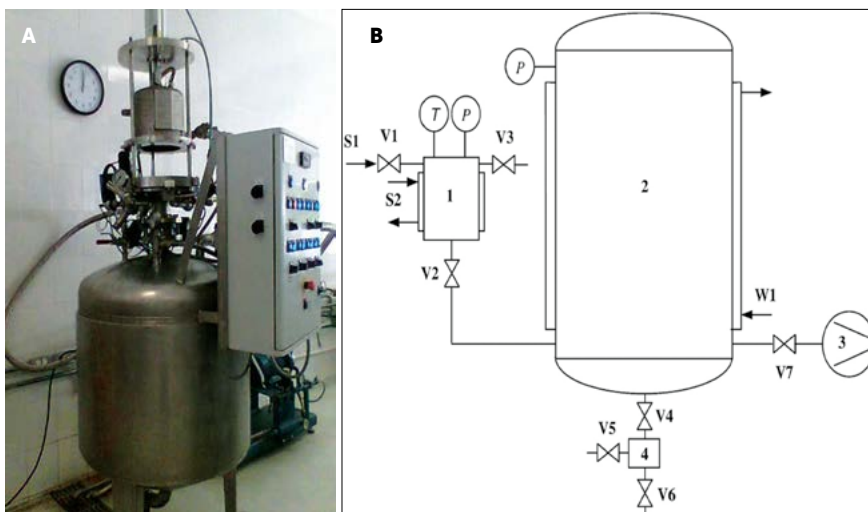
Los tratamientos seleccionados del DIC, se establecieron bajo pruebas previas con dicho equipo y tomando diversos rangos de tiempo y presión tanto bajos como

muy altos. Visualmente se determinó que el tratamiento de 2.5 bar y 25 s de tiempo dio la mejor respuesta, con esto se determinaron los 13 tratamientos para esta tecnología (Cuadro 1).

El color se evaluó con un colorímetro *colorflex* Mod. 6405 y adicionalmente se tomaron fotografías de cada uno de los tratamientos de deshidratación. En jitomate

fresco, el color se cuantificó en la superficie alrededor de la zona ecuatorial en el fruto entero, girando el fruto para tomar lecturas en tres partes diferentes, considerando las coordenadas cromáticas. En jitomate deshidratado la medición se hizo en un 1 g de fruto molido y tamizado en una malla de 1 micra y en tamiz número 8 para homogenizar la muestra. En cada tratamiento de la muestra molido se registraron las variables "L", "a" y "b", con base en la escala CIELAB de color, y se calculó el índice de color (IC) de acuerdo con Vignoni et al. (2006) mediante la ecuación:

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



**Figura 2.** Deshidratador por descompresión instantánea controlada (DIC): a) Prototipo utilizado en este trabajo. b) Partes que componen el deshidratador DIC: 1- autoclave, 2- tanque de vacío, 3- bomba de vacío, 4-trampa, V1-V7 - válvulas, S1, S2 - vapor saturado W1 - agua fría P - manómetro T - termopar.

**Cuadro 1.** Técnicas para deshidratación de jitomate (*Solanum lycopersicum*): descompresión instantánea controlada (DIC), deshidratación solar (DS), liofilización (LIOF).

	DIC													DS	LIOF
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Presión (bar)	2.5	4	2.5	2.5	3.6	3.6	2.5	1.4	1.4	2.5	1	2.5	2.5	1	0.4
Tiempo (min)	0.41	0.41	0.66	0.41	0.6	0.23	0.41	0.2	0.6	0.41	0.41	0.16	0.41	633	400

## Compuestos bioactivos

**Vitamina C (ácido ascórbico):** se determinó con base en el método enzimático de ascorbato oxidasa descrito por Foyer *et al.* (1983).

**Licopeno:** se realizó espectrofotométricamente de acuerdo al método de Sadler *et al.* (1990) con modificaciones descritas por Wayne *et al.* (2002).

**Compuestos fenólicos totales (CFT):** se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999) y se expresó como equivalentes de ácido gálico. Una alícuota de extracto metanólico (50  $\mu\text{L}$ ) se mezcló con 450  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 250  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin-Ciocalteu al 50 %. La mezcla se dejó reposar 8 min. A continuación a cada tubo con el tratamiento se le añadió 1.25 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 5 % y se agitó en vortex. Después de reposar por 30 min a temperatura ambiente y en oscuridad, se determinó la absorbancia a 725 nm. Se obtuvo una curva patrón ( $y=0.001x-0.0054$ ;  $R^2=0.9938$ ), utilizando ácido gálico como estándar. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje en base seca.

**Actividad Antioxidante:** se evaluó la capacidad que tiene un posible antioxidante para neutralizar un radical (Antolovich *et al.*, 2002), mediante el cálculo de la concentración inhibitoria media ( $\text{CI}_{50}$ ), para lo cual se estableció una curva de regresión lineal con el fin de determinar la  $\text{CI}_{50}$  ( $\text{mg mL}^{-1}$ ), que representa la cantidad de muestra necesaria para disminuir en 50% la absorbancia del DPPH. Los valores de  $\text{CI}_{50}$  indican la concentración de la muestra que se requiere para atrapar 50% de los radicales libres de DPPH. La baja absorbancia de la mezcla de reacción indica alta actividad antioxidante. El porcentaje de inhibición se determinó de la siguiente manera:

$$\%DPPH = \frac{(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}})}{A_{\text{blanco}}} \times 100$$

En donde  $A_{\text{blanco}}$  = absorbancia del testigo (DPPH 0.1mM);  $A_{\text{muestra}}$  = absorbancia obtenida de cada muestra después de 30 min con DPPH 0.1 mM. El porcentaje de inhibición del DPPH de la muestra fue graficado versus la concentración ( $r=0.995$ ).

Los datos cuantitativos con una distribución normal y varianzas homogéneas obtenidos por los tres tipos de deshidratación en jitomate se organizaron en hojas de cálculo Excel (Microsoft Excel 2010) y procesaron con Statistiscal Analysis System (SAS) versión 9.1 (SAS Institute, 2002), además se les realizó análisis de varianza (ANAVA) y pruebas de diferencia significativa honesta (prueba de medias Tukey).

















## RESULTADOS Y DISCUSION

Aun cuando los procesos de deshidratación en fruto de jitomate no son complejos, el propósito de este trabajo fue el de cuidar que la apariencia, valor nutritivo y valor funcional del producto final fuera lo menos afectado por la deshidratación, a fin de que sea lo más semejante al producto fresco

para que tenga buena aceptación por el consumidor.

**Color:** la apariencia del color por fotografías y los parámetros determinados en el colorímetro se muestran en la Figura 3, en estas imágenes se detectan visualmente diferencias entre tratamientos de deshidratación.

Se observó que el procesamiento de liofilización tuvo un valor de tonalidad más roja, debido al valor de "a" que indica un rango de color de rojo a verde (valores positivos son rojos, negativos verdes y cero da un valor neutro) (Hunter Lab, 2001). Se sabe que durante la deshidratación, el incremento en el tiempo de secado y temperatura provoca oscurecimiento en los tejidos (Olorunda *et al.*, 1990), así como, incremento en la luminosidad (L) y disminución en el color rojo (a/b) después del secado con aire. Lo cual fue similar en los resultados de este trabajo, ya que la proporción a/b disminuyó en la mayoría de los tratamientos, excepto en el tratamiento del DIC I11 que registró un valor de 1.19, que fue 26% mayor al del fruto fresco, y en el DS que evidenció la proporción de a/b más cercana (0.98) al del fruto fresco (0.94) (Figura 3). Dentro de los frutos procesados por la tecnología DIC el I8 fue el tratamiento que tuvo el color y valor de a/b (0.87) más cercano al del fruto fresco. Al respecto Arias *et al.* (2000) mencionan que la concentración de licopeno tiene una correlación directa con el color del fruto y en términos de parámetros de color, existe una asociación directa entre los valores de a, a/b y  $(a/b)^2$  con el contenido de licopeno. Por lo que en frutos procesados por deshidratación es conveniente que conserven el color, lo más cercano posible

	FRUTO FRESCO	DESHIDRATADO SOLAR	LIOFILIZADO	
	 L=38.33 a=26.44 b=28.08 a/b=0.94	 L=26.65 a=16.02 b=16.31 a/b=0.98	 L=46.44 a=20.15 b=27.09 a/b=0.74	
DIC				
1. 2.5 bar/0.41 min.	2. 4.0 bar/0.41 min.	3. 2.5 bar/0.66 min.	4. 2.5 bar/0.41 min.	5. 3.6 bar/0.60 min.
 L=34.91 a=17.01 b=22.96 a/b=0.74	 L=26.96 a=13.43 b=16.55 a/b=0.81	 L=34.92 a=17.39 b=23.74 a/b=0.73	 L=35.04 a=18.11 b=23.87 a/b=0.76	 L=27.43 a=12.74 b=15.79 a/b=0.81
6. 3.6 bar/0.23 min.	7. 2.5 bar/0.41 min.	8. 1.4 bar/0.23 min.	9. 1.4 bar/0.60 min.	10. 2.5 bar/0.41 min.
 L=37.78 a=18.42 b=28.14 a/b=0.65	 L=49.99 a=19.77 b=29.49 a/b=0.67	 L=29.93 a=16.60 b=19.12 a/b=0.87	 L=31.87 a=16.50 b=21.22 a/b=0.78	 L=28.12 a=15.12 b=18.44 a/b=0.82
	11. 1 bar/0.41 min.	12. 2.5 bar/0.16 min.	13. 2.5 bar/0.41 min.	
	 L=26.23 a=18.15 b=15.15 a/b=1.20	 L=38.24 a=20.26 b=27.71 a/b=0.73	 L=28.77 a=15.67 b=19.98 a/b=0.78	

**Figura 3.** Apariencia y parámetros de color en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) fresco después de tratamientos de deshidratado solar, liofilizado y descompresión instantánea controlada (DIC 1-13).

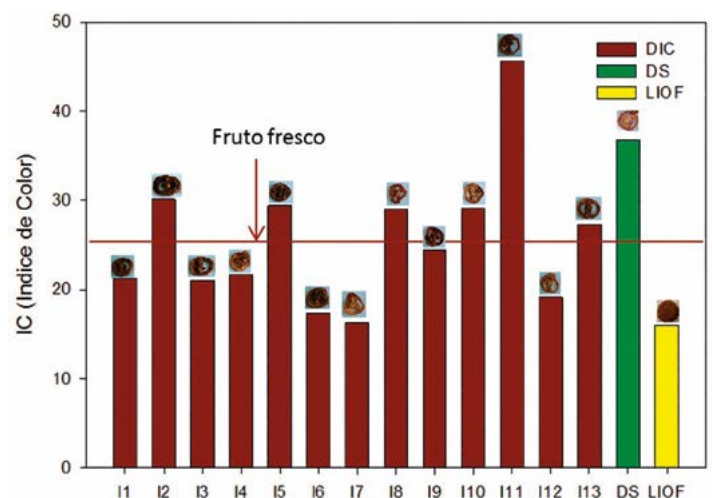
a los frutos frescos, como una indicación de conservación del contenido de licopeno.

El índice de color (IC), por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos. Si el IC es positivo entre valores de 20 a 40, la relación de color va desde el naranja intenso al rojo profundo, así que en los tratamientos por tecnología DIC, particularmente en I2, I5, I8, I9, I10 y I13 tuvieron valores en un rango de 24.4 a 30, que fueron cercanos al del fruto fresco (24.6) y tuvieron tonalidades rojo intenso. Mientras que los frutos de la deshidratación solar tuvieron un IC de 36.8, 50% mayor que el del fruto fresco y la deshidratación por liofilización tuvo una reducción de 35% en relación al fruto fresco (Figura 4).

**Compuestos bioactivos**

Los componentes bioactivos obtenidos del jitomate presentan características antioxidantes, determinadas por los compuestos como licopeno,  $\beta$ -caroteno, vitamina C (Leonardi *et al.*, 2000). De los productos derivados de esta especie, los frutos deshidratados son de particular interés, debido a que algunos compuestos bioactivos como ácido ascórbico y compuestos fenólicos encontrados

en su composición se encuentran en altas cantidades (Giovanelli *et al.*, 1999). En este trabajo se detectó un efecto altamente significativo ( $P < 0.0001$ ) por los diferentes tipos de tratamientos de deshidratación para contenido de licopeno, ácido ascórbico y  $Cl_{50}$ . En el tratamiento DIC, las diferentes presiones que se utiliza-



**Figura 4.** Índice de color de jitomates (*Solanum lycopersicum* L.) deshidratados. Tratamientos DIC: I1=2.5 bar/0.41 min; I2=4.0 bar/0.41 min; I3=2.5 bar/0.66 min; I4=2.5 bar/0.41 min; I5=3.6 bar/0.60 min; I6=3.6 bar/0.23 min; I7=2.5 bar/0.41 min; I8=1.4 bar/0.23 min; I9=1.4 bar/0.60 min; I10=2.5 bar/0.41 min; I11=1 bar/0.41 min; I12=2.5 bar/0.16 min; I13=2.5 bar/0.41 min; DS=Deshidratación solar. LIOF=Liofilización.

ron en los procesos de deshidratación tuvieron alta significancia para todas las respuestas excepto en ácido ascórbico. En DIC, el tiempo de duración de los procesamientos también mostro alta significancia en compuestos fenólicos totales y Cl<sub>50</sub>. El coeficiente de variación para ácido ascórbico tuvo un porcentaje alto (CV=56.16%), debido a que los procesos con presiones altas (tratamientos de DIC) no muestran presencia de ácido ascórbico por lo que las diferencias entre estos valores son muy grandes. En la concentración de compuestos fenólicos totales hubo una amplia variación para los distintos tratamientos que se realizaron. En el Cuadro 2 se indican valores promedio de los compuestos bioactivos y antioxidantes con las diferentes presiones utilizadas en los frutos de jitomate deshidratado.

Las diferencias entre presiones resultaron altamente significativas para todas las variables. Respecto a licopeno, la deshidratación solar y el DIC a 4 bar, tuvieron los valores estadísticamente mayores, a pesar de que el tratamiento de des-

hidratación solar requirió el mayor tiempo para la deshidratación (633 min) (Cuadro 1). En los compuestos fenólicos totales y el Cl<sub>50</sub>, el DIC a 4 bar, mostro los valores más altos. Mientras que de Vitamina C no se detectó su presencia en ninguno de los tratamientos. La capacidad antioxidante, Vitamina C y contenido de licopeno se mantuvieron con el valor más alto en los frutos tratados con deshidratación solar.

### Contenido de licopeno

El proceso térmico para muchos compuestos bioactivos se refleja negativamente, pero algunos carotenoides (licopeno,  $\alpha$ -y  $\beta$ -caroteno) son muy termoestables (Hadley *et al.*, 2002). Los tratamientos a los que se sometieron los frutos de jitomate presentaron diferentes contenidos de licopeno, registrando la mayor concentración (0.018 g 100 g<sup>-1</sup> MS) los frutos procesados en el deshidratador solar (Figura 5). Lo que sugiere que es un buen tratamiento para preservar el contenido de este compuesto, además que en deshidratación por convección el contenido de licopeno puede aumentar a diferentes temperatu-

ras de secado (40, 80 y 120 °C) (Palomo *et al.*, 2010).

Dentro de los frutos procesados por la tecnología DIC, los tratamientos que tuvieron los valores más altos de color con base al IC, fueron el I2 (IC=30) y I11 (IC=44), los cuales también obtuvieron los valores mayores de licopeno (0.015 y 0.013 g 100 g<sup>-1</sup> MS, respectivamente); aunque son valores menores a los descritos en frutos de jitomate deshidratado en un horno de secado, donde se reporta una concentración de licopeno de 0.025 g 100 g<sup>-1</sup> MS (Gómez, 2009).

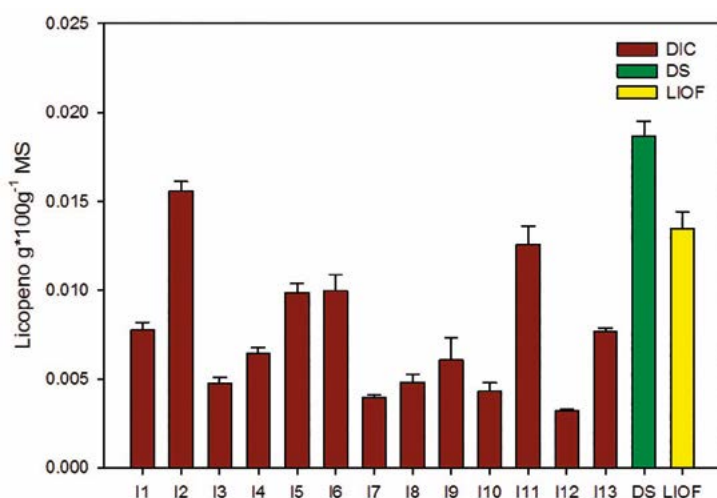
### Compuestos fenólicos, actividad antioxidante y capacidad inhibitoria (Cl<sub>50</sub>)

En el contenido de compuestos fenólicos totales, la deshidratación por DIC fue el que mejor conservo estos compuestos. Destaco el tratamiento I2 (4 bar/ 0.41 min) con 0.200 g 100 g<sup>-1</sup> MS (Cuadro 4), incluso los tratamientos I1, I3 y I5 con esta misma tecnología fueron superiores a los valores obtenidos en los procesamientos de deshidratación solar (0.043 g 100 g<sup>-1</sup> MS) y

**Cuadro 2.** Valores promedio de las variables bajo estudio en tratamientos con diferentes presiones utilizadas en la deshidratación de jitomates.

Presión (bar)	Licopeno (g:100 g <sup>-1</sup> )	Compuestos Fenólicos Totales (g:100 g <sup>-1</sup> )	Vitamina C (g:100 g <sup>-1</sup> )	Actividad Antioxidante (% inhibición del radical DPPH)	Cl <sub>50</sub> (mg·mL <sup>-1</sup> )
<b>DIC</b>					
<b>4.0</b>	0.015 a	0.200 a	ND	79.53 e	12.25 a
<b>3.6</b>	0.009 cd	0.062 b	ND	87.86 b	17.72 b
<b>2.5</b>	0.005 d	0.049 b	ND	73.12 d	30.49 e
<b>1.4</b>	0.005 d	0.012 e	ND	45.07 f	45.11d
<b>1.0</b>	0.012 b	0.032 be	ND	21.96 g	55.18 e
<b>Solar</b>					
<b>1.0</b>	0.018 a	0.043 b	0.00019 a	94.0 a	64 f
<b>Liofilizado</b>					
<b>0.40</b>	0.013 b	0.056 b	0.0000123 b	54.63 e	55.76 e
<b>DMS</b>	0.0026	0.0329	0.000000515	8.43	4.77

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa Tukey (P≤0.05). ND=no detectado.



**Figura 5.** Concentración de licopeno para frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) deshidratados. DS=Deshidratación solar; I1 al I13=tratamientos DIC (ver leyenda de Figura 4). LIOF=Liofilización. DMS<0.001.

por liofilización (0.056 g 100 g<sup>-1</sup> MS). No obstante, la deshidratación solar mostro los frutos con la actividad antioxidante más alta (94.88%), seguidos por los frutos procesados por DIC, ya que aún bajo diferentes condiciones en la mayoría de los tratamientos la inhibición llego a 90% (Cuadro 3). Excepto los tratamientos I8, I10, I11 y I12 en los cuales la inhibición no llego a 50%. La capacidad inhibitoria al 50% (CI<sub>50</sub>) mide la efectividad de un compuesto para inhibir una actividad biológica y/o bioquímica (Joshi *et al.*, 2010); de tal forma que un CI<sub>50</sub> bajo está asociado con actividad antioxidante alta (Zhu *et al.*, 2011). En este trabajo el tratamiento DIC I2 (4 bar/0.41min) fue el que tuvo la mayor concentración media inhibitoria (11.01 mg mL<sup>-1</sup>),

mientras que la deshidratación por liofilización tuvo el valor más alto (54.83 mg mL<sup>-1</sup>) (Cuadro 3).

## CONCLUSIONES

El análisis de frutos de jitomate deshidratados mostró cambios diferentes en color y compuestos bioactivos en función de las condiciones de procesamiento de deshidratación. La deshidratación solar favoreció la conservación del color, licopeno y vitamina C. La descompresión instantánea controlada (DIC) conservo mejor los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Los tratamientos I9 y I13 del proceso DIC, conservaron el color de los frutos deshidratados, con índices de color (IC) semejantes al del fruto fresco. Los frutos de jitomate deshidratados por liofilización no mostraron ventajas en conservar el color y los componentes bioactivos, respecto a la deshidratación solar y a la descompresión instantánea controlada. La deshidratación de jitomate puede realizarse sin perder considerablemente color y compuestos bioactivos, si se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación del uso de la técnica solar, e incluso como pre-tratamiento, aunado a la descompresión instantánea controlada, con los cuales se puede llegar a disminuir la pérdida de compuestos bioactivos característicos del jitomate fresco.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, *Campus Querétaro* y a la Dra. Carmen Téllez Pérez. Por permitirnos realizar las pruebas y asesoramiento en la deshidratación con el equipo de Descompresión Instantánea Controlada (DIC).

## LITERATURA CITADA

Akbudak B., Bolkan H., Cohen, N. 2009. Determination of physicochemical

**Cuadro 3.** Concentración de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante y CI<sub>50</sub> de frutos deshidratados de jitomate.

Tratamiento	Compuestos fenólicos totales (g·100 g <sup>-1</sup> MS)	Actividad antioxidante (%)	CI <sub>50</sub> (mg·mL <sup>-1</sup> )	
DIC	I1	0.0783	90.57	30.40
	I2	0.2003	79.53	11.01
	I3	0.1494	89.55	16.38
	I4	0.0371	84.82	30.01
	I5	0.0801	85.63	12.60
	I6	0.0452	90.08	18.37
	I7	0.0221	84.31	29.65
	I8	0.0097	25.70	43.94
	I9	0.0151	64.44	41.70
	I10	0.0262	38.42	25.05
	I11	0.0326	21.96	49.38
	I12	0.0236	40.47	34.25
	I13	0.0128	83.67	30.73
Deshidratación solar	0.0438	94.88	30.04	
Liofilización	0.0562	54.63	54.83	

- characteristics in different products of tomato varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60:126-138.
- Agarwa A., Aai R.V. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal* 163:739-744.
- Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E., McDonald S., Robards K. 2002. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst* 127:183-198.
- Arias R., Lee T. C., Logendra L., Janes H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:1697-1702.
- FAOSTAT. 2010. Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura [http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor\\_fao\\_2010\\_producción\\_mundial\\_tomate\\_estadísticas](http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor_fao_2010_producción_mundial_tomate_estadísticas)
- Fito M. P., Andrés A.M., Barat J.M., Albors S.A.M. 2001. *Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente*; Editorial Universidad Politécnica de Valencia <http://books.google.com.mx/books?id=cUEt038sq90C&pg=PA1&dq=tipos+de+deshidratacion+de+alimentos#v=onepage&q=&f=false>. Febrero 2010
- Foyer C.H., Rowell J., Walker D. 1983. Measurements of the ascorbate content of spinach leaf protoplasts and chloroplasts during illumination. *Planta* 157:239-244.
- García A.J., Jacob K., Iniesta M.D., Martínez M.C., Ros G., Periago J.M., 2007. Evaluación de compuestos bioactivos durante la maduración del tomate. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
- Giovanelli G., Lavelli V., Peri C., Nobili S. 1999. Variation in antioxidant compounds of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79:1583-1588.
- Gómez G.M.S. 2009. *Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias*. Tesis de Licenciatura de Ingeniero en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca Oaxaca. Huajuapán de León, Oaxaca, México
- González S.T. 2010. *Estudio de la actividad antioxidante y contenido de licopeno en jitomate fresco y deshidratado*. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad Ingeniería Química. Colegio de Ingeniería en Alimentos. Puebla, Puebla.
- Hadley C.W., Clinton S.K., Schwartz S.J. 2002. The consumption of processed tomato products enhances plasma lycopene concentrations in association with a reduced lipoprotein sensitivity to oxidative damage. *Human Nutrition and Metabolism* 133:727-732.
- Hunter Lab e Izasa. 2001. Principios básicos de medida y percepción de color. [www.hunterlab.com](http://www.hunterlab.com)
- INEGI. 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/nav/cer/2008/cerno/c11.xls#\\*11.3!A1](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/nav/cer/2008/cerno/c11.xls#*11.3!A1)
- Joshi S., Verma A., Mathela C. 2010. Antioxidant and antibacterial activities of the leaf essential oils of Himalayan Lauraceae species. *Food and Chemical Toxicology* 48:37-40.
- Kamal M., Sobolik V., Kristiawan M., Mounir S. M., Allaf K. 2008. Structure expansion of green coffee beans using instantaneous controlled pressure drop process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9:534-541.
- Kerkhofs N.S., Lister C.E., Savage G.P. 2005. Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-Air Drying. *Plant Foods Human Nutrition* 60:117-121.
- Leonardi C.A.P., Esposito F., Fogliano V. 2000. Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh 'consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:4723-4727.
- Minguez M.M.I. 1997. *Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos*. Sevilla Ediciones Universidad de Sevilla, Capítulo VI p. 103-107; VII p. 111-148
- Nguyen C., Carlin F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 34:371-401.
- Olorunda A.O., Aworh O.C., Onuoha C.N. 1990. Upgrading quality of dried tomato. Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 52:447-454.
- Palomo I., Moore C.R., Carrasco G., Villalobos P., Guzmán L. 2010. El consumo de Tomates Previene el Desarrollo de Enfermedades Cardiovasculares y Cáncer: Antecedentes Epidemiológicos y Mecanismos de Acción. *IDESIA Arica* 28(3):121-129.
- Rao L.G., Mackinnon E.S., Josse R.G., Murray T.M., Strauss A., Rao A.V. 2007. Lycopene consumption decreases oxidative stress and bone resorption markers in postmenopausal women. *Osteoporosis International* 18:109-115.
- Rao A.V., Agarwal S. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutrition Research* 19:305-323.
- Ratti C. 2009. *Advances in food dehydration*. Boca Raton, FL. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Re R., Bramley P.M., Rice E.C. 2002. Effects of food processing on Flavonoids and Lycopene status in a Mediterranean tomato variety. *Free Radical Research* 36 (7):803-810.
- Reina C., Guzmán C., Sánchez J. 1998. Manejo postcosecha y evaluación de la calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Programa de ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana: Neiva
- Sadler G., Davis J., Dezman D. 1990. Rapid extraction of lycopene and  $\beta$ -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science* 55(5), 1460-1461.
- SAS Institute. 2002. *Statistical Analysis System (SAS), version 6*
- SIAP. 2011. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Agropecuario. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ventana.php?idLiga=1740&tipo=1> Avance de Siembras y Cosechas Año Agrícola 2010
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology* (299C): 152-178.
- Vignoni L., Ricardo M.C., Forte M., Mirabile M.L. 2006. Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica* 17(6): 63-67.
- Wayne W.F., Perkins P.V., Collins J.K. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Composition and Analysis* 15(3): 309-317.
- Zhu K-X., Lian C-X., Guo X-N., Peng W., Zhou H-M. 2011. Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chemistry* 126:122-1126.