

TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA PRESERVACIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

DEHYDRATION TECHNOLOGY FOR THE PRESERVATION OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Emilio Ochoa-Reyes^{1,*}, José de Jesús Ornelas-Paz¹, Saúl Ruiz-Cruz², Vrani Ibarra-Junquera³, Jaime D. Pérez-Martínez⁴, Juan Carlos Guevara-Arauz⁴ y Cristobal N. Aguilar⁵

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.-Unidad Cuauhtémoc, Av. Río Conchos S/N, Parque Industrial, C.P. 31570, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. | ²Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, 5 de Febrero 818 Sur, C.P. 85000, Cd. Obregón, Sonora, México. | ³Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Químicas, Km. 9 carretera Coquimatlán-Colima, C.P. 28400, Coquimatlán, Colima, México. | ⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Manuel Nava 6 Zona Universitaria, C.P. 78210, San Luis Potosí, México. | ⁵Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Blvd. V. Carranza S/N, República, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

INTRODUCCIÓN

La diversidad de usos y sus atributos sensoriales y protectores de la salud humana han posicionado al tomate como uno de los frutos más importantes en la dieta humana. Sin embargo, su corta vida poscosecha en estado fresco ha limitando su distribución. La deshidratación de este fruto ha permitido extender su vida de anaquel, fortaleciendo su demanda. Hoy en día el tomate deshidratado es muy popular en ciertas regiones del mundo. La deshidratación del tomate se lleva a cabo mediante diversos métodos, variando de artesanales a altamente sofisticados y a gran escala. La deshidratación permite reducir la actividad acuosa del fruto, reduciendo la susceptibilidad al deterioro, pero induciendo una serie de cambios físicos, químicos y de bioactividad que afectan su aceptabilidad por el consumidor final. La magnitud de estos cambios depende de las condiciones de deshidratación.

GENERALIDADES SOBRE LA TECNOLOGÍA DE DESHIDRATACIÓN

La deshidratación permite preservar alimentos altamente perecederos, especialmente frutas y hortalizas, cuyo contenido de agua es típicamente superior al 90%. El objetivo principal de esta tecnología es reducir el contenido de humedad de los alimentos, lo cual disminuye su actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento. La eficiencia del transporte de humedad desde el alimento está determinada por la resistencia interna del tejido al movimiento del agua y una resistencia externa, que se presenta entre la superficie sólida y el fluido deshidratante, el cual en la mayoría de los casos es aire. Las principales variables que modulan la velocidad del movimiento del agua en el alimento son el tiempo y la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura, la deshidratación se acelera, pero los atributos cualitativos iniciales del alimento cambiarán drásticamente (Muratore *et al.*, 2008). El uso de altas temperaturas de deshidratación daña la

aparición del tomate (pardeamiento), reduce el contenido de nutrientes e induce un sabor dulce a consecuencia de la caramelización de los azúcares (Zanoni *et al.*, 1998; Muratore *et al.*, 2008). Altos niveles de 5-hidroximetilfurfural, un indicador de la degradación de azúcares, son comunes en tomates deshidratados a altas temperaturas (Muratore *et al.*, 2008). En general, la disminución de la temperatura de deshidratación alargará el tiempo de este proceso, pero el tomate obtenido tendrá mejores atributos nutricionales, color, aroma, sabor y textura (Rajkumar *et al.*, 2007). Las temperaturas de secado inferiores a 65 °C permiten preservar el color y sabor del tomate. A estas temperaturas también se preservan mejor los compuestos, tales como polifenoles, flavonoides, licopeno, β-caroteno y ácido ascórbico (Toor *et al.*, 2006), los cuales confieren a este fruto una alta actividad antioxidante y un efecto contra varias formas de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Shi *et al.*, 1999).

Además de la temperatura y el tiempo de deshidratación, el incremento en la superficie de contacto del alimento con el fluido deshidratante también incrementa la velocidad de movimiento del agua desde el alimento hacia el exterior del mismo. Esto se logra rebanando y perforando el tomate (Rajkumar *et al.*, 2007).

MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA DESHIDRATACIÓN DE TOMATE

Deshidratación Solar

La deshidratación por exposición al sol es ampliamente practicada en los trópicos y subtropicales. La variante más común y económica de este método consiste en colocar el alimento sobre la tierra (acondicionada o alfombrada) o piso de concreto, quedando expuesto directamente al sol. La desventaja de esta variante radica en la vulnerabilidad del alimento a la contaminación por polvo, infestación por insectos y hongos productores de aflatoxinas, pérdidas por animales y baja calidad de los productos obtenidos (Bala, 2004). El proceso de deshidratación mediante la exposición directa al

*Autor para correspondencia: Emilio Ochoa-Reyes
Correo electrónico: emilio.ochoa@ciad.mx

Recibido: 27 de agosto de 2012

Aceptado: 16 de octubre de 2012

sol puede requerir de 106 a 120 h (Sacilik *et al.*, 2006). Otra variante del secado solar consiste en emplear deshidratadores solares tipo túnel, donde el alimento queda protegido del ambiente durante la deshidratación. La temperatura típica que suele alcanzarse en estos túneles oscila entre los 60 y 80 °C, llegando a alcanzar en algunos casos excepcionales hasta 140 °C. Los flujos de calor típicos para estos secadores varían de 202.3 a 767.4 W/m². El deshidratado (11.5 % de humedad) de rebanadas de tomate mediante túneles solares suele tardar de 82 a 96 h (Sacilik *et al.*, 2006).

Las ventajas de la deshidratación solar radican en los bajos costos de operación y en ser ecológicos, puesto que generalmente no utilizan energía eléctrica o derivada de combustibles fósiles (Bala y Woods, 1994). Se han diseñado e instalado diferentes tipos de deshidratadores solares en diferentes regiones del mundo. En términos generales, los deshidratadores solares se pueden clasificar en dos tipos: los deshidratadores que utilizan exclusivamente fuentes de energía renovables y los deshidratadores que incluyen además fuentes de energía no renovable, ya sea como fuente suplementaria de calor o para favorecer la circulación de aire (Bala, 1998).

Deshidratado con Aire Caliente Forzado

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios, incluyendo tomates (Doymaz, 2007). En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Schiffmann, 1995). El incremento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando una deshidratación eficiente (Cárcel *et al.*, 2007). En tomates, la resistencia externa al movimiento del agua contribuye significativamente a la resistencia global (Hawlder *et al.*, 1991). La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado (Mulet *et al.*, 1999). Doymaz (2007) encontró que al incrementar la temperatura del aire forzado de 55 a 70 °C el tiempo de deshidratación disminuía de 35,5 a 24 horas, respectivamente. La disminución de la velocidad del aire caliente (60 °C) de 1.5 a 0,13 m/s incrementó el tiempo de deshidratación de 28 a 65 h (Tsamo *et al.*, 2006; Doymaz 2007). En general, en este método de deshidratación es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja (Sharma y Prasad, 2001), puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos, densidad, capacidad de absorción de agua y concentración de solutos (Maskan, 2001). Tiempos y temperaturas elevadas de deshidratación también causan la formación de aromas indeseables y la reacción de Maillard en tomates (Boudhrioua *et al.*, 2003).

El flujo del aire caliente puede ser a contracorriente o en paralelo. Generalmente la deshidratación con aire caliente a contracorriente es más eficiente que la que se logra con el flujo de aire en paralelo. Unadi *et al.* (2002) demostraron que la deshidratación de tomates (15 % de humedad) fue

más rápida con aire a contracorriente (5 h menos) que con flujo en paralelo, debido a que la transferencia de calor fue más eficiente al existir un contacto más estrecho debido al movimiento en sentidos opuestos.

Deshidratación Osmótica

La deshidratación osmótica tiene la ventaja de mantener de mejor manera las características organolépticas (color, textura, sabor y aroma) y nutricionales (vitaminas, minerales y compuestos protectores) de los tomates, lo cual no se logra con la deshidratación térmica (Jiokap *et al.*, 2001). La deshidratación osmótica también permite reducir los costos de producción, empaque y distribución de esta hortaliza (El-Aouar *et al.*, 2006). La deshidratación osmótica consiste en colocar el producto en contacto con una solución de azúcar y/o sal, a la cual se le denomina solución osmótica. Durante la deshidratación osmótica disminuye continuamente el contenido de agua en el tomate mientras el agente osmótico penetra en él (Huu-Thauan *et al.*, 2009). Al incrementar la concentración y temperatura de la solución osmótica y al disminuir la proporción de tomate: solución osmótica, la solución se torna viscosa, causando la disminución del coeficiente de disolución y alterando el proceso de deshidratación. El azúcar tiene un menor poder osmótico que otros agentes osmóticos. Tsamo *et al.* (2006) compararon la deshidratación de rodajas de tomate mediante soluciones saturadas de sal, azúcar y sal-azúcar por 20 h, encontrando que los tomates tratados con sal-azúcar presentaron el menor contenido de humedad, seguido por los que se trataron con sal y azúcar, respectivamente. Similarmente, Askari *et al.* (2008) demostraron que dos medios osmóticos (40 % de sacarosa + 5 % de NaCl y 40 % de sacarosa + 10 % de NaCl) presentaron un mayor poder deshidratante que la sacarosa por sí sola. Se ha hipotetizado que la sacarosa forma una capa que reduce el intercambio de materiales entre el tomate y la solución osmótica, haciendo más lento el proceso de deshidratación (Askari *et al.*, 2008). La reducción de agua que típicamente se alcanza mediante la deshidratación osmótica varía del 30 al 60 %; sin embargo, en tomate la deshidratación suele ser un poco mayor (Raoult-Wack, 1994). Huu-Thauan *et al.* (2009) reportaron pérdidas de agua del 81,7-83,5 % en tomates deshidratados osmóticamente con una solución azucarada (70 °Brix) a 45 y 55 °C. Es importante indicar que el intercambio de materiales entre la solución osmótica y el tomate causa el encogimiento y deformación del tejido.

Deshidratado con Microondas

Las microondas causan la polarización de moléculas y una movilidad intensa de sus electrones, debido a la conversión de energía electromagnética en energía cinética. A causa de este movimiento, los electrones chocan entre sí, generando calor como resultado de la fricción (Alibas *et al.*, 2007). La aplicación de microondas genera un calentamiento interno y una presión de vapor dentro del producto que suavemente "bombea" la humedad hacia la superficie, reduciendo la resistencia interna del alimento al movimiento de

agua y causando su deshidratación (Turner y Jolly, 1991). La alta presión de vapor de agua que se genera en el interior del alimento expuesto a microondas puede inducir la formación de poros en el producto, lo cual facilita el proceso de secado (Feng *et al.*, 2001). Este método de deshidratación se ha vuelto común, porque previene la disminución de la calidad y asegura una distribución rápida y eficiente del calor en el alimento (Díaz-Maroto *et al.*, 2003). Con este método el tiempo de secado se reduce significativamente y se obtienen grandes ahorros de energía (Feng, 2002).

La potencia de salida del microondas desempeña un papel fundamental en la deshidratación del tomate. Al aumentar la potencia se disminuye el tiempo de secado (Heredia *et al.*, 2007). Sin embargo, las variaciones de potencia en el rango alto no tiene un impacto significativo en tiempo de deshidratación. Al-Harahsheh *et al.* (2009) no encontraron diferencias en el tiempo (20 min) de deshidratación (88 % de humedad) de rebanadas de tomate mediante microondas en el rango alto de potencia (480, 640 y 800 W). No obstante, al disminuir la potencia (160 y 320 W) observaron un incremento de 10 a 20 min en el tiempo de secado. En general, la calidad de los tomates deshidratados con microondas es considerablemente buena, especialmente en cuanto a firmeza y sólidos solubles totales, sobre todo cuando este método se combina con un pretratamiento de deshidratación osmótica (Lu *et al.*, 2011).

Deshidratado por Liofilización

Es un proceso industrial empleado para asegurar la estabilidad a largo plazo y para preservar las propiedades originales de los productos farmacéuticos y biológicos. Este proceso se aplicó recientemente para mejorar la estabilidad a largo plazo de las nanopartículas (Abdelwahed *et al.*, 2006). El liofilizado requiere la eliminación de agua de más de 99 % de una solución diluida inicialmente. La concentración de soluto total aumenta rápidamente y es una función de la temperatura solamente, es por lo tanto independiente de la concentración de la solución inicial. El estado sólido del agua durante la liofilización protege la estructura primaria y la forma de los productos con una reducción mínima de volumen. Los compuestos volátiles, sales o electrolitos, sino forman una clase especial de excipientes, sales, acetato o bicarbonato, se eliminan fácilmente durante la etapa de sublimación del hielo y por lo tanto no permanecen en el producto deshidratado (Franks, 1998).

Pikal *et al.* (1984) mencionaron que los materiales para ser liofilizados son agrupados en dos clases: sólidos con un alto contenido de agua, como pueden ser productos alimenticios, generalmente se colocan en bandejas dentro del liofilizador, o soluciones homogéneas como péptidos o fármacos convencionales. Estados intermedios comprenden dispersiones como liposomas o células individuales (microorganismos, levaduras). A pesar de las muchas ventajas, el secado por congelación siempre ha sido reconocido como el proceso más costoso para la fabricación de un producto deshidratado.

El proceso de liofilización consta de tres etapas: (I) *Congelación previa*, se separa el agua de los componentes hidratados del producto, por la formación de cristales de hielo o mezclas eutécticas. (II) *Sublimación* de estos cristales que elimina el agua del seno del producto trabajando a presión y temperatura por debajo del punto triple y aportando el calor latente de sublimación. Esta etapa tiene lugar en el liofilizador. (III) *Evaporación o desorción* del agua que queda aún adsorbida en el interior del producto. Es decir una vez sublimado todo el hielo, también queda cierta agua retenida en el alimento (agua enlazada) para ello se aumenta la temperatura del liofilizador manteniendo el vacío lo cual favorece su evaporación.

Otros Métodos de Deshidratación

Deshidratador de charola rotatoria. Estos tipos de deshidratadores están elaborados con paredes de acero inoxidable en su interior, aluminio en el exterior, abastecido de bandejas o charolas en su interior con una ligera inclinación, las cuales giran lentamente (5-20 rpm) generando que el producto se mueva a través de la charola, entre las cuales fluye una corriente de aire caliente que circula a diferentes velocidades, ya sea en la misma dirección o en dirección opuesta al flujo del producto (Kiranoudis *et al.*, 1997).

Deshidratador por atomización. Consta de una cámara vertical cilíndrica o cónica, en la que se pulverizan líquidos o suspensiones. El aire caliente se mueve a través de la cámara de evaporación del agua; la tasa de flujo de aire comprimido se controla mediante un medidor de flujo de área variable. Se utiliza un ciclón para separar los sólidos que típicamente contienen una humedad inferior al 5 % (Singh y Heldman 2001).

Deshidratador de lecho fluidizado. Combina una placa perforada con tasas de flujo de aire de tal manera que las partículas sólidas quedan suspendidas sobre la placa. Estos secadores pueden funcionar por lotes o en modo de flujo continuo (Singh y Heldman, 2001).

Deshidratadores de tambor. En este método se utiliza calentamiento por conducción. El material húmedo se deja caer sobre uno o más tambores calentados. El agua se evapora y el material deshidratado se retira con el apoyo de un cuchillo o espátula. Esto puede hacerse en una cámara de vacío (Singh y Heldman, 2001).

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS PROTECTORES

La deshidratación del tomate causa alteraciones en sus niveles naturales de nutrientes y compuestos protectores, por concentración por deshidratación y por la termolabilidad y oxidación de estos compuestos (Zanoni *et al.*, 1998). El tomate se considera como la fuente principal de ácido ascórbico (vitamina C) para el humano, compuesto que ejerce efectos positivos en la nutrición y salud humana. Sin embargo, este compuesto es altamente sensible al calentamiento, al oxígeno y a la luz (Yanishlieva-Maslarova, 2001).

El método de secado, el régimen tiempo-temperatura de secado y las propiedades físicas del producto influyen en la magnitud de pérdida de vitamina C durante el deshidratado. Cuando la deshidratación del tomate se efectúa a baja temperatura y por tiempos cortos, la degradación de vitamina C tiende a ser mínima (Pokorny y Schmidt, 2001). En general, la pérdida de vitamina C en tomates a consecuencia de la deshidratación suele ser de entre el 60 y 80 % cuando se emplean temperaturas de entre 80 y 110 °C (Chang *et al.*, 2006). Se ha observado que la deshidratación osmótica previa a la deshidratación con aire forzado ayuda a reducir las pérdidas de ácido ascórbico. Muratore *et al.* (2008) demostraron que los tomates deshidratados mediante una solución osmótica y luego con aire forzado perdieron 59 % de vitamina C, mientras que los tomates que sólo se deshidrataron con aire forzado perdieron hasta un 74 % de su contenido inicial de vitamina C.

Los carotenoides son el grupo de pigmentos bioactivos más distintivo del tomate, destacando el licopeno entre este grupo de pigmentos. Se ha reportado que los tomates deshidratados pueden llegar a contener más carotenoides que los frescos, presumiblemente como un efecto de concentración por deshidratación, así como por la síntesis *de novo* y la transformación de carotenoides que se presenta en tejidos deshidratados (Tonon *et al.*, 2007). El contenido de licopeno en tomate deshidratado típicamente oscila entre el 8,1 y el 20,9 %, dependiendo de la temperatura de secado, humedad, exposición al oxígeno y a luz (Goula y Adamopoulos, 2005). Demiray *et al.* (2012) sugirieron que los tomates se deben secar a temperaturas inferiores a los 70-80 °C con el fin de obtener una mejor retención de carotenoides en el producto final. Nicoli *et al.* (1997) demostraron que los niveles de licopeno no se alteran significativamente durante el secado de mitades de tomate a 80 °C, mientras que a 110 °C se observó una reducción del 12 %. Se ha inferido que la estabilidad de licopeno depende tanto de su resistencia al calor, así como de la formación de subproductos de la reacción de Maillard con actividad antioxidante durante el secado (Nicoli *et al.*, 1997). Las pérdidas de β -caroteno en tomates a consecuencia de la deshidratación suelen ser mayores a las que comúnmente se observan para licopeno. Demiray *et al.* (2012) demostraron que la degradación de β -caroteno en cuartos de tomate puede ser de hasta un 81 % a consecuencia de la deshidratación con aire forzado a 60 °C. Pérdidas menores de β -caroteno (32 %) pueden obtenerse mediante una deshidratación parcial (75 %) a 60 °C (Muratore *et al.*, 2008).

Los compuestos fenólicos conforman otro grupo de compuestos bioactivos del tomate. Interesantemente, la deshidratación causa un incremento en el contenido de estos compuestos en tomate. Chang *et al.* (2006) demostraron que las rebanadas de tomates deshidratadas con aire caliente (60 °C) presentaron contenidos de compuestos fenólicos totales y flavonoides de entre 13 y 72 % respectivamente, a los observados en tomates frescos. Lavelli *et al.* (1999) también observaron un incremento significativo (37 %) en el contenido de compuestos fenólicos totales en tomate a consecuencia de la

deshidratación. La causa de estos incrementos se desconoce, pero se ha atribuido a la concentración por deshidratación, un incremento en la extractabilidad de estos compuestos a causa del deterioro celular del tomate durante el secado y al desdoblamiento de compuestos fenólicos complejos (Lavelli *et al.*, 1999; Bovy *et al.*, 2002). Sin embargo, otros autores reportan una disminución significativa en el contenido de compuestos bioactivos al incrementar la temperatura y tiempo de deshidratado de tomates. En la Tabla 1 se observan diferentes comportamientos de los compuestos bioactivos en función al tiempo, temperatura y tipo de deshidratado.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN EL SABOR Y AROMA

El sabor es uno de los indicadores de calidad más importantes de una fruta y un factor decisivo en la elección de compra el consumidor. Los compuestos aromáticos del tomate han sido ampliamente estudiados y, aunque se han identificado más de 400 compuestos volátiles, es bien conocido que algunos son esenciales y realmente contribuyen al sabor del tomate (Petro-Turza, 1986). Sin embargo, al someter los tomates a tratamientos térmicos para su deshidratación, la calidad, en términos de sabor y aroma, se reduce, debido a la pérdida de los compuestos volátiles más importantes, que forman el aroma, produciendo el desarrollo de un sabor excesivamente fuerte. Una combinación adecuada de las técnicas de deshidratación sería interesante para reducir los cambios indeseables que ocurren, como resultado de la operación de secado, y para mejorar la eficiencia del proceso. Un ejemplo podría ser la aplicación de una etapa de deshidratación osmótica, seguido de secado con aire caliente, con y sin la aplicación de energía de microondas. Mediante la combinación de estas técnicas, todo el proceso se ve favorecido por las numerosas ventajas proporcionadas por cada uno de ellos (Dermesonlouoglou *et al.*, 2007).

Heredia *et al.* (2012) identificaron 20 compuestos de los cuales el 73,3 % representan la fracción volátil de tomate fresco, concluyendo que el perfil volátil de tomates deshidratados se vio afectado de diferentes maneras, dependiendo de las condiciones del procesamiento. La energía de microondas modifica la fracción de los compuestos volátiles del tomate fresco, desarrollando un nuevo perfil, debido principalmente a la generación de furfural y la activación de reacciones de Maillard. Un pretratamiento osmótico en una solución de sacarosa, seguido por aire caliente, fue la combinación de técnicas de secado que conservó principalmente el aroma típico del tomate fresco.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN EN LA MICROBIOLOGÍA DEL TOMATE

En la actualidad es escasa la evidencia científica que indique que los tomates deshidratados pueden ser causa de enfermedades transmitidas por alimentos; sin embargo, esto puede ser posible debido a que las bacterias enteropatógenas existen en el tomate fresco y los cambios estructurales

Tabla 1. Comportamientos de los compuestos bioactivos en tomates deshidratados
Table 1. Behaviors of bioactive compounds in dehydrated tomatoes

| Tipo de secado | Condiciones de secado | Efecto generado | Autor |
|-------------------|---|--|-------------------------------------|
| aire caliente | 40 °C/90 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (38,0 y 31,1 %), Licopeno aumenta 28,2 % | Chang y Liu (2007) |
| | 40 °C/240 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (76,0 y 65,8 %), Licopeno aumenta 12,8% | |
| aire caliente | 80 °C/90 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (52,0 y 31,7 %), Licopeno aumenta 46,1% | Chang y Liu (2007) |
| | 80 °C/240 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (80,0 y 70,0 %), Licopeno aumenta 12,8% | |
| aire caliente | 120 °C/90 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (76,0 y 60,0 %), Licopeno aumenta 46,1 % | Demiray <i>et al.</i> (2012) |
| | 120 °C/240 min/1,5 ms ⁻¹ (vel. de aire) | FT y FLT disminuyen (88,0 y 90,0 %), Licopeno disminuye 74,3 % | |
| aire caliente | 60 °C/1200 min/0,2 ms ⁻¹ (vel. de aire) | Vitamina C disminuye 75,1 %, B-Caroteno disminuyó 80,9 % | Demiray <i>et al.</i> (2012) |
| | 100 °C/300 min/0,2 ms ⁻¹ (vel. de aire) | Vitamina C disminuye 92,7 %, B-Caroteno disminuyó 95,7 % | |
| Liofilizado | -50 °C/1440 min/5 Pa | FT y FLT aumentaron (2,6 y 72,0 %), Licopeno disminuyó 33,0 % Vitamina C disminuyó 8,2 % | Chang <i>et al.</i> (2006) |
| Charola rotatoria | 45 °C/345-390 min/1,2 ms ⁻¹ (vel. de aire)/20 rpm (vel. de rotación) | FT disminuyen 21,6 %, Vitamina C disminuye 42,8 %, Licopeno disminuye 23,4 %. | Santos-Sánchez <i>et al.</i> (2012) |
| | 50 °C/285-315 min/1,2 ms ⁻¹ (vel. de aire)/20 rpm (vel. de rotación) | FT disminuyen 11,4 %, Vitamina C disminuye 37,2 %, Licopeno disminuye 19,1 %. | |
| | 60 °C/210-255 min/1,2 ms ⁻¹ (vel. de aire)/20 rpm (vel. de rotación) | FT disminuyen 8,8 %, Vitamina C disminuye 27,6 % Licopeno disminuye 11,4 % | |

FT: Fenoles totales, FLT: Flavonoides totales.

que sufre el fruto a consecuencia de la deshidratación causan su atrapamiento, confiriéndoles termoprotección e implicando riesgo en el consumo de estos productos (Hawaree *et al.*, 2009). Se ha demostrado que la resistencia al calor de los microorganismos durante el proceso de deshidratado aumenta a medida que el contenido de agua del alimento disminuye. (Bera *et al.*, 1988). Esto se debe a la disminución de la transferencia de calor desde el fluido deshidratante hacia el alimento, puesto que el agua del alimento determina en gran medida dicha transferencia. El agua es un excelente conductor de calor. El nivel óptimo de resistencia ocurre generalmente a una actividad acuosa de entre 0,20 y 0,50, dependiendo del tipo de microorganismo (Bera *et al.*, 1988). Corry (1975) observó que la resistencia térmica máxima de *Salmonella typhimurium* se alcanza a una actividad acuosa de entre 0 y 0,2 en un rango de temperaturas de 125 a 160 °C. Los cambios en la actividad del agua y la contracción del

alimento, causados por la deshidratación de los alimentos de origen vegetal con aire caliente no tiene un efecto significativo sobre la susceptibilidad a *Salmonella* al calor (Hawaree *et al.*, 2009). Murrell y Scott (1966) demostraron que *Bacillus coagulans* y esporas de *C. botulinum* soportan temperaturas de entre 110 y 120 °C en alimentos vegetales con actividad de agua de entre 0,2 y 0,4.

A pesar de que la deshidratación puede conferir indirectamente cierta resistencia a los microorganismos, la reducción del contenido de humedad de los alimentos disminuye la actividad de enzimas, bacterias y mohos, favoreciendo la preservación del tomate (Janjai y Bala, 2012). Lu *et al.* (2011) encontraron que al deshidratar tomate en microondas se logra una reducción en la población de *Salmonella* spp de hasta 2,05 log. Ronceros *et al.* (2008) demostraron que el desarrollo de *E. coli* se inhibe en tomates gracias a la deshidratación. Se ha establecido que en alimentos con

valores de actividad de agua inferiores a 0,95-0,80, la mayoría de los hongos, levaduras y bacterias enteropatógenas no se desarrollan (Marth y Steel, 1998).

Durante el almacenamiento del tomate deshidratado pueden desarrollarse algunas especies de hongos, principalmente del género *Alternaria*, que son capaces de producir micotoxinas como el alternariol, alternariol monometil éter y ácido tenuazónico. Si bien, el riesgo de desarrollo de estos hongos y producción de toxinas puede reducirse mediante refrigeración (Pose *et al.*, 2010), el uso de agentes antimicrobianos resulta más económico. Actualmente existe una amplia gama de agentes antimicrobianos químicos (ácido propiónico y propionatos, ácido sórbico y sorbatos, ácido benzoico y benzoatos, parabenos, óxido de etileno y de propileno, diacetato de sodio, dióxido de azufre, sulfitos, nisina y nitrito de sodio), que si bien han sido reconocidos como seguros por la FDA (Food and Drug Administration), han generado preocupación en los consumidores debido a los efectos negativos que pueden causar en los humanos a largo plazo. Esto ha motivado a los investigadores a buscar compuestos antimicrobianos alternativos de origen natural y que sean seguros, entre los que destacan diversos extractos de plantas y aceites esenciales. Estos ejercen actividad antifúngica, antibacteriana, insecticida, nematocida y antioxidante, debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, saponinas, sapogenina, esteroides y azúcares (Oka *et al.*, 2000; Daferera *et al.*, 2003; Chorianopoulos *et al.*, 2004; Pavela, 2005). Diversas plantas disponibles en México tienen potencial para ser utilizadas con este fin, destacando el hojásén, candelilla, cáscara de granada, lechuguilla, eneldo y yuca (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2011; Ochoa-Reyes, 2011). Dentro del grupo de aceites esenciales destaca el de orégano, el cual podría favorecer la preservación del tomate deshidratado gracias a su actividad antioxidante y antimicrobiana (Botsoglou *et al.*, 2003), que deriva de su contenido de carvacrol, timol, *p*-cymeno y γ -terpineno (Baydar *et al.*, 2004).

CAMBIOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO DEL TOMATE DESHIDRATADO

En los tomates deshidratados y envasados es común que se observe una degradación importante de vitaminas, lo cual se produce a través de una variedad de mecanismos, tales como oxidación por la acción de la luz, calor, ácidos, álcalis, oxígeno y sus especies reactivas. La degradación de vitaminas conduce a una disminución del valor nutricional del tomate, llegando a no reflejar las cantidades mínimas fijadas en las etiquetas. La vitamina C es una de las vitaminas que más se degradan en el tomate durante el almacenamiento, particularmente en condiciones de alta humedad y temperatura. Los tomates deshidratados también experimentan cambios de color durante el almacenamiento, como una consecuencia de la oxidación de carotenoides. Los tomates deshidratados almacenados también sufren cambios en sus atributos de sabor y aroma, como consecuencia de reaccio-

nes no enzimáticas que se presentan en este producto, sin embargo, estos cambios no están perfectamente caracterizados (Camargo *et al.*, 2010).

Hossain y Gottschalk (2009) reportan que al almacenar tomate deshidratado en condiciones ambientales (20 ± 4 °C) durante 5 meses se presenta mayores cambios en color y mayor pérdida de ácido ascórbico, licopeno y flavonoides totales. No hay cambios significativos para los recipientes utilizados durante el almacenamiento (vidrio, plástico y bolsa de polietileno). Al almacenar los tomates deshidratados en condiciones de refrigeración ($1-5$ °C), sufrieron un incremento en el porcentaje de humedad, envasados en frasco de plástico y bolsa polietileno; el color, ácido ascórbico, licopeno y flavonoides totales disminuyeron linealmente. No se observó crecimiento de microorganismos (hongos y mohos) tanto para tratamientos almacenados en temperatura ambiente y refrigeración.

Se puede recomendar que los tomates deshidratados se almacenen en envases de vidrio a condiciones de refrigeración libres de contacto con la luz durante un periodo de hasta 5 meses sin que presente cambios significativos en: color, ácido ascórbico, licopeno y flavonoides totales.

CONCLUSIONES

Al deshidratar tomate se tiene el riesgo de perder gran cantidad de propiedades organolépticas; sin embargo, si se diseña una estrategia de deshidratado mediante la combinación de algunos métodos, como puede ser el uso de la deshidratación osmótica como pretratamiento aunado a métodos de deshidratación con bajas temperaturas, se puede llegar a disminuir la pérdida de propiedades organolépticas y compuestos bioactivos característicos del tomate fresco. La tecnología de deshidratación nos permite conservar el tomate hasta por un periodo de cinco meses en refrigeración, siempre y cuando se almacene en frascos de vidrio libres de la luz, lo cual disminuirá significativamente la degradación de compuestos bioactivos y cambios en el color, que se pueden generar durante el almacenamiento, estas condiciones también inhibirán el crecimiento de microorganismos (hongos y mohos) al bajar el contenido de actividad acuosa. Se requiere de hacer más eficiente el uso de la energía requerida para deshidratar este fruto sin que éste pierda sus propiedades organolépticas.

REFERENCIAS

- Abdelwahed, W. Degobert, G. Stainmesse, S. y Fessi, H. Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 58:1688-1713.
- Al-Harashsheh, M., Al-Muhtaseb, H.A., Magee, T.R.A. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 48: 524-531
- Alibas, O.I., Akbudak, B. y Akbudak, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 577-583.
- Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M. 2008. In-

- vestigation of the effects of microwave treatment on the optical properties of apple slices during drying. *Drying technology*. 26(11):1362-1368
- Bala, B.K. 1998. Solar drying systems: simulation and optimization. ed. Agrotech Publishing Academy, India.
- Bala, B.K. 2004. Experimental investigation of the performance of the solar tunnel drier for drying jackfruit for production of dried jackfruit and jackfruit leather. Annual research report, Department of Farm Power and Machinery, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, Bangladesh.
- Bala, B.K. y Woods, J.L. 1994. Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice. *Solar Energy*. 53(3):259-266.
- Baydar H., Sagdic O., Ozkan, G. y Karadogan, T. 2004. Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food Control*, 15:169-172.
- Botsoglou, N.A., Grigoropoulou, S.M., Botsoglou, E., Govaris, A. y Papageorgiou, G. 2003. The effects of dietary oregano essential oil and α -tocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. *Meat Science*, 65:1193-1200.
- Bovy, A., de Vos, R., Kemper, M., Schijlen, E., Almenar, P.M., Muir, S., Collins, G., Robinson, S., Verhoeyen, M., Hughes, S., Santos-Buelga, C. y Van, T.A. 2002. High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes LC and C1. *Plant Cell*. 14:2509-2526
- Camargo, G.A., Grillo, S.L.M., Mieli, J. y Moretti, R.H. 2010. shelf life of pretreated Dried Tomato. *Food Bioprocess Technol*. 3:826-833
- Cárcel, J.A., García-Pérez, J.V., Riera, E. y Mulet, A. 2007. Influence of high intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. *Drying Technology*. 25:185-193.
- Chang, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. y Liu, Y.C. 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering* 77(3):478-485.
- Chorianopoulos, N., Kalpoutzakis, E., Aligiannis, N., Mitaku, S., Nychas, G. y Haroutounian, S.A. 2004. Essential oils of *Satureja*, *Origanum*, and *Thymus* species: chemical composition and antibacterial activities against food-borne pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52:8261-8267.
- Daferera, D.J., Ziogas, B.N. y Polissiou, M.G. 2003. The effectiveness of plant essential oils on the growth of *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp. and *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Crop Protection*. 22:39-44.
- Demiray, E., Yilmaz, Y., Tulek, Y., 2012. Degradation Kinetics of Lycopene, β -Carotene and Ascorbic Acid in Tomatoes during Hot Air Drying. *LWT - Food Science and Technology*. 1-5.
- Dermesonlouoglou, E.K., Giannakourou, M.C. y Taoukis, P. 2007. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*. 78(1):272-280.
- Diaz-Maroto, M.C., Gonzalez-Vinas, M.A, Cabezudo, M.D. 2003. Evaluation of the effect of drying on aroma of parsley by free choice profiling. *European Food Research and Technology*. 216:227-232.
- Doymaz, I. 2007. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 78(4):1291-1297.
- El-Aouar, A.A., Azoubel, M.P., Barbosa, L.J. y Murr, X.E.F. 2006. Influence of osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering* 75: 267-274.
- Feng, H. 2002. Analysis of microwave assisted fluidized-bed drying of particulate product with a simplified heat and mass transfer model. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 29, 1021-1028.
- Feng, H., Tang, J., Cavalieri, R.P. y Plump, O.A. 2001. Heat and mass transport in microwave drying of porous materials in a spouted bed. *American Institute Chemical Engineers Journal*. 47(7):1499-1511.
- Franks, F. 1998. Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 45:221-229.
- Goula, A.M. y Adamopoulos, K.G. 2005. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology* 38(5):479-487.
- Hawaree, N., Chiewchan, N. y Devahastin, S. 2009. Effects of drying temperature and surface characteristics of vegetable on the survival of *Salmonella*. *Journal of Food Science* 74, E16-22.
- Hawladar, M.N.A., Uddin, M.S., Ho, J.C. y Teng, A.B.W. 1991. Drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 14(4): 259-268.
- Heredia, A., Barrera, C. y Andrés, A. 2007. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering*. 80(1):111-118.
- Heredia, A., Peinado, I., Rosa, E., Andrés, A. y Escriche, I. 2012. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: Influences of osmotic pre-treatment and microwave power. *Food Chemistry*. 130:889-895.
- Huu-Thuan, B., Makhlof, J. y Ratti, C. 2010. Postharvest ripening characterization of greenhouse tomatoes. *International Journal of Food Properties*. 13:830-846.
- Janjai, S. y Bala, B.K. 2012. Solar Drying Technology. *Food Eng Rev* 4:16-54.
- Jasso de Rodríguez, D., Rodríguez, G.R., Hernández, C.F.D., Aguilar, G.C.N., Sáenz, G.A., Villarreal, Q.J.A. y Moreno, Z.L.E. 2011. In vitro antifungal activity of extracts of Mexican Chihuahuan Desert plants against postharvest fruit fungi. *Industrial Crops and Products*, 34:960-966.
- Jiokapa, N.Y., Nuadje, G.B., Raoult-Wack, A-L. y Giroux, F. 2001. Déshydratation-imprégnation par immersion de rondelles de mangue (*Mangifera indica*): influence de la température et de la concentration de la solution sur les cinétiques de certains éléments constitutifs du fruit. *Fruits*, 56, 169-177.
- Kiranoudis, C.T., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. y M. Tsampanlis. 1997. Design of tray dryers for food dehydration. *Journal of Food Engineering*. 32(3):269-291.
- Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C., y Elstner, E. F. 1999. Evaluation of radical scavenging activity of fresh and airdried tomatoes by three model reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47:3826-3831.
- Lu, Y., Turley, A., Dong, X. y Wu, C. 2011. Reduction of *Salmonella enterica* on grape tomatoes using microwave heating. *International Journal of Food Microbiology*. 145:349-352
- Marth, E.H. y J.L. Steel 1998. *Applied Dairy Microbiology*.

- Marcel Dekker Inc., New York.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182.
- Mulet, A., Sanjuán, N., Bon. J. y Simal, S. Drying model for highly porous hemispherical bodies. *European Food Research and Technology*. 210(2):80-83.
- Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F. y Maccarone, E. 2008. Partial dehydration of cherrytomato at different temperature, and nutritional quality of the products. *Food Chemistry*, 111(4):887-891.
- Murrell, W. y Scott, W. 1966. The heat resistance of bacterial spores at various water activities, *Journal of General Microbiology*. 43:411-425.
- Nicolai, M.C., Anese, M., Parpinel, M.T., Franceschi, S. y Lerici, C.R. 1997. Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*. 114:71-74
- Ochoa-Reyes, E. 2011. Prolongación de vida de anaquel del pimiento morrón empleando un sistema de biopolímero-cera de candelilla. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Oka, Y., Nacar, S., Putievsky, E., Ravid, U., Yaniv, Z. y Spiegel, Y. 2000. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology*, 90:710-715.
- Pavela, R. 2005. Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia*. 76(7-8):691-696.
- Petro-Turza, M. 1986. Flavor of tomato and tomato products. *Food Review International*, 2(3), 309-351
- Pikal, M.J., Roy, M.L. y Shah. S. 1984. Mass and heat transfer in vial freeze-drying of pharmaceuticals: role of the vial. *Journal of pharmaceutical sciences*. 73:1224-1237.
- Pokorny, J. y Schmidt, S. 2001. Natural antioxidant functionality during food processing. *En Antioxidant in food practical applications*. J. Pokorny, N. Yanishlieva, y M. Gordon (ed.), pp. 331-351. Abington, England: Woodhead Publishing.
- Pose, G., Patriarca, A., Kyanko, V., Pardo, A. y Fernández, V. P. 2010. Water activity and temperature effects on mycotoxin production by *Alternaria alternata* on a synthetic tomato medium. *International Journal of Food Microbiology*. 142:348-353.
- Rajkumar, P., Kulanthaisami, S., Raghavan, G.S.V., Gariépy, R.Y. y Orsat, V. 2007. Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods. *Drying Technology*. 25(7-8):1394-1357.
- Raoult-Wack, A.L. 1994. Advances in osmotic dehydration. *Trends in Food Science and Technology*. 5:255-260.
- Roncero, B.A., Leiva, J.I., Burgos, E.C. y Pardo, L.C. 2008. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad del tomate deshidratado. *Información tecnológica*, 19(5):3-10.
- Sacilik, k., keskin, R., Elicin, A.K. 2006. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*. 73(3):231-238.
- Santos-Sánchez, N.F., Valadez-Blanco, R. Gómez-Gómez, M.S., Pérez-Herrera, A. y Salas-Coronado, R. 2012. Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. *LWT - Food Science and Technology*. 46:298-304
- Schiffmann, R. F. 1995. Microwave and dielectric drying. *En Handbook of industrial drying*. A.S. Mujumdar (Ed.), pp. 345-372. New York: USA.
- Sharma, G.P. y Prasad, S. 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*. 50(2):99-105.
- Shi, J.X., LeMaguer, M., Kakuda, Y., Liptay, A. y Niekamp, F. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32(1), 15-21.
- Singh y Heldman. 2001. Introduction to Food Engineering, 3rd. ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Tonon, R.V., Baroni, A.F. y Hubinger, M.D. 2007. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*. 82: 509-517.
- Toor, R.K. y Savage, G.P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*. 94(1):90-97.
- Tsamo, C.V.P., Bilame, A.F., Ndjouenkeu, R. 2006. Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*). *International Journal of Food Properties*. 9(4):877-888
- Turner, I.W. y Jolly, P.G. 1991. Combined microwave and convective drying of a porous material. *Drying Technology*, 9(5):1209-1269.
- Unadi, A., Fuller, R.J. y Macmillan, R.H. 2002. Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Technology*, 7:1407-1425.
- Yanishlieva-maslarova, N. V. (2001). Inhibiting oxidation. *en Antioxidants in foods*. J. Pokorny, N. Yanishlieva, y M. Gordon (Ed.), pp22-70. Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Zanoni, B., Peri, C., Nani, R. y Levelli, V. 1998. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Journal of Food Engineering*. 31(5):395-401.