

Influencia de los métodos de cocción sobre la actividad antioxidante y compuestos bioactivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Influence of cooking methods on antioxidant activity and bioactive compounds of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Jorge Gutiérrez Tlahque¹, Yair Olovaldo Santiago Sáenz², Alma Delia Hernández Fuentes², José Manuel Pinedo Espinoza³, Guadalupe López Buenabad⁴ y César Uriel López Palestina⁴

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L.; tratamientos térmicos; carotenoides; fenoles; flavonoides
Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; thermal treatments; carotenoids; phenols; flavonoids

Recepción: 03-10-2018 / Aceptación: 15-11-2018

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de tres tipos de cocción (rehogado, hervido y asado), sobre el contenido de los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en tomate, se establecieron cuatro tratamientos: rehogado, hervido, asado y testigo (sin aplicación de algún método de cocción). Una vez aplicados los tratamientos fueron evaluadas las propiedades fisicoquímicas tales como sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y pH, así como el contenido de licopeno, β -caroteno, ácido ascórbico, fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante *in vitro* mediante los ensayos de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolino-6-ácido sulfónico) (ABTS). Todos los métodos de cocción aumentaron los SST y redujeron la acidez del fruto. Mediante el asado se retuvo una mayor concentración de ácido ascórbico (58.10%), respecto al testigo. Se observó un aumento significativo ($P \leq 0.05$) en la concentración de carotenoides y compuestos fenólicos en tomates por efecto del rehogado y por lo tanto una mayor actividad antioxidante. Se encontró una inhibición del radical DPPH[•] de 17.92% y una actividad antioxidante expresada en equivalentes de Trolox de 25.97 μ M por gramo de peso fresco, de acuerdo con el ensayo de ABTS. El hervido provocó un efecto de lixiviación de los compuestos bioactivos al medio de cocimiento y por lo tanto una menor concentración de estos compuestos. El rehogado fue el mejor método de cocción de tomates para obtener una mayor concentración de compuestos antioxidantes.

¹ Instituto Tecnológico de Zitácuaro, Tecnológico Nacional de México. H. Zitácuaro, Michoacán, México

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo, Hidalgo, México

³ Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Agronomía. Zacatecas, Zacatecas, México

⁴ Instituto Tecnológico de Roque, Tecnológico Nacional de México. Celaya, Guanajuato, México. E-mail: clopez_17p@outlook.com

Abstract

In order to evaluate the effect of three types of cooking (sautéed, boiled, and roasted) on content of the bioactive compounds, and antioxidant activity in tomato, four treatments were established: sautéed, boiled, roasted, and control (without application of some cooking method). Once the treatments were applied, the physiochemical properties such as total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and pH were evaluated as well as the lycopene content, β -carotene, ascorbic acid, phenols and total flavonoids, and antioxidant activity *in vitro* by essays of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH), and 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazolino-6-sulfonic acid) (ABTS). All the cooking methods increased the TSS and reduced the acidity of the fruit. By roasting, a higher concentration of ascorbic acid (58.10%) was retained, as compared to the control. A significant increased ($P \leq 0.05$) was observed in the concentration of carotenoids, and phenolic compounds in tomatoes due to the effect of the treatment sautéed, therefore a greater antioxidant activity. An inhibition of DPPH[•] radicals was found of 17.92%, and an antioxidant activity expressed as Trolox equivalents of 25.97 μ M per g of fresh weight, as a result of the ABTS test. The boiling treatment caused a lixiviation effect of the bioactive compounds in the cooking media; therefore a smaller concentration was found. Sautéed was a better cooking method for tomatoes to obtain a higher concentration of antioxidant compounds.

Introducción

El tomate es una de las hortalizas de fruto más consumidas en el mundo, esto ha llevado que el tomate sea uno de los principales contribuyentes de nutrientes y antioxidantes en la dieta. El tomate es una fuente importante de licopeno, β -caroteno, fenoles y flavonoides, también el ácido ascórbico está presente en proporciones considerables (Di Paola-Naranjo *et al.*, 2016; Kavitha *et al.*, 2014; Salas-Pérez *et al.*, 2016). El consumo regular de tomates se ha correlacionado con la reducción en el riesgo de padecer una variedad de patologías como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Borguini y da Silva Torres, 2009). Este efecto positivo se atribuye a los antioxidantes, en particular, los carotenoides (licopeno y β -caroteno) y compuestos fenólicos, los cuales tienen la capacidad de neutralizar especies reactivas de oxígeno (EROs) y previniendo cambios oxidativos en el cuerpo humano (Rosales *et al.*, 2011; Gutiérrez-Tlahque *et al.*, 2018 López-Palestina *et al.*, 2018).

Por otra parte, la mayoría de las hortalizas requieren ser sometidas a diversos métodos de cocción y de esa manera poder ser incorporadas en la dieta. De acuerdo con la literatura se ha demostrado que los diferentes métodos de cocción (hervido, salteado, freído, tostado, asado, etc.) inducen cambios significativos en la composición química y concentración de los compuestos bioactivos (Miglio *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2011). El calentamiento puede provocar oxidación, degradación térmica, lixiviación y otros eventos que conducen a niveles más bajos o más altos de antioxidantes en alimentos procesados en comparación con los alimentos frescos (Pellegrini *et al.*, 2009). Se han reportado diversos efectos positivos y negativos que dependen de las diferencias que existen en las características nutrimentales de cada especie vegetal, así como de las distintas condiciones del proceso (Bunea *et al.*, 2008; Volden *et al.*, 2009). En tomates se ha encontrado una mayor pérdida de compuestos bioactivos y por lo tanto, menor actividad antioxidante cuando se someten a tratamiento de hervido, mientras que por fritura profunda con aceite de oliva se ha reportado una mayor concentración de polifenoles y carotenoides (Ramírez-Anaya *et al.*, 2015; Vallverdú-Queralt *et al.*, 2015). Dewanto *et al.*, (2002) indicaron que el procesamiento térmico mejoró el valor nutracéutico de los tomates aumentando el contenido de licopeno, fenoles y flavonoides totales, así como la actividad antioxidante. Hof *et al.*, (2000), demostraron que el tratamiento térmico puede tener un efecto nocivo sobre el contenido de micronutrientes de los vegetales, pero al mismo tiempo aumenta la concentración de algunos nutrientes. Los hallazgos anteriores desmienten la noción popular de que las hortalizas procesadas presentan un menor valor funcional. Debido a la falta información en la literatura sobre el efecto de los métodos de cocción utilizados en la cocina mexicana sobre la calidad nutracéutica de los frutos de tomate, se evaluó la influencia de tres métodos de cocción conocidos comúnmente como rehogado, hervido y asado, sobre los compuestos bioactivos y actividad antioxidante en frutos de tomate.

Método

Reactivos

Los reactivos utilizados fueron 2, 2'-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), Trolox (ácido 6-hidroxi- 2, 5, 8-tetrametilcromano-2-carboxílico), 2, 2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS) y persulfato de potasio, adquiridos en Sigma-Aldrich (Sigma-Aldrich Química S.A. de C.V, Toluca, Estado de México, México). Hexano, etanol y acetona fueron adquiridos en J.T.

Baker S.A. de C.V. (Avantor Performance Materials, Ecatepec, Estado de México, México). Los cuales se utilizaron para determinar el contenido de fenoles y flavonoides totales y la actividad antioxidante.

Material vegetal

Se utilizaron tomates tipo Saladette maduros (completamente rojos), firmes al tacto, en ausencia de daños físicos y microbiológicos y de tamaño mediano (diámetro 3.5 – 4.4 cm), los cuales fueron adquiridos en Julio de 2018, en la central de abastos de la ciudad de Tulancingo, Hidalgo, México. Posteriormente los frutos fueron lavados y desinfectados con una solución de hipoclorito de sodio (250 ppm) previo a la aplicación de los tratamientos de cocción.

Técnicas de cocción aplicadas

En base a los tipos de cocción se obtuvieron cuatro tratamientos: T1, testigo (sin aplicación de algún tipo cocción); T2, rehogado; T3, hervido y T4, asado. La unidad experimental consistió en 120 g de muestra, con tres repeticiones para cada tratamiento. La aplicación de las diferentes técnicas se describe a continuación:

Rehogado. En esta técnica de cocción se pesaron 120 g de tomate fresco, posteriormente fueron molidos (Osterizer, modelo BLSTBC4129-013, México) y mezclados con 60 g de aceite comestible previamente calentado a 80 °C en un sartén de acero inoxidable. La mezcla fue agitada constantemente durante 10 minutos hasta presentar un aspecto cristalino y una textura suave, sin indicio de pardeamiento y sin sobrepasar los 100 °C.

Hervido. Se utilizaron 2 tomates enteros (aproximadamente 120 g), los cuales fueron sumergidos en 600 mL de agua destilada en ebullición a 94°C en una olla de acero inoxidable. Cuando el agua nuevamente empezó a ebullición junto con los tomates se prosiguió con el calentamiento durante 10 minutos hasta conseguir la cocción de los frutos con una consistencia firme.

Asado. Se tomaron 2 frutos de tomate enteros (aproximadamente 120 g), los cuales fueron colocados sobre la superficie de un sartén de acero inoxidable que se encontraba a fuego directo,

se mantuvieron en constante movimiento durante 10 min hasta que los frutos presentaron grietas en la superficie y empezaron a exudar agua del propio fruto.

A los frutos que corresponden al testigo y aquellos a los cuales se les aplicó cocción en medio hervido y asado fueron molidos (Osterizer, modelo BLSTBC4129-013, México) y transferidos a vasos de precipitados protegidos de la luz y llevados a temperatura de 4 °C, antes de evaluar las variables de estudio.

Variables de estudio

Caracterización fisicoquímica. Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron de acuerdo al método 920.151 propuesto por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1995), en un refractómetro digital (ATAGO CO LTD, modelo PR-101, Japón) con escala 0-45%, los valores fueron reportados como grados Brix (° Brix). La acidez titulable (AT), se determinó usando el método 942.15 descrito por la AOAC (1990), los resultados fueron expresados como % de ácido cítrico. Los valores de pH se determinaron con un potenciómetro digital (Modelo HI 2211, Hanna Instruments Inc. Reino Unido).

Cuantificación de licopeno y β -caroteno. La concentración de licopeno y β -caroteno se determinó por espectrofotometría de acuerdo a Fish *et al.*, (2002), con modificaciones. Para ello se tomó 1 g de tomate molido el cual se mezcló con 20 mL de acetona: etanol: hexano (1:1:2, v/v). La mezcla obtenida se sometió a un baño ultrasónico (Branson, modelo 3510, China) por 15 min a 30 °C a una frecuencia de 40 kHz. A la mezcla anterior se le adicionaron 5 mL de agua destilada la cual se agitó vigorosamente por 2 min en un vórtex, después la muestra se centrifugó a 10000×g por 10 min (Thermo Scientific, modelo ST 16R, Alemania). En el espectrofotómetro se registró la absorbancia a los sobrenadantes a 503 y 478 nm (Jenway, Techne Inc., modelo 6715 UV/Vis, E.U.A.) para licopeno y β -caroteno respectivamente. La concentración carotenoides se determinó utilizando curvas estándar y expresando los resultados en mg de licopeno y β -caroteno por 100 g de peso fresco (PF).

Ácido ascórbico. El ácido ascórbico fue determinado por el procedimiento descrito por Dürüst *et al.*, (1997), con modificaciones. Se pesó 0.1 g de muestra a la que se le añadieron 10 mL de ácido metafosfórico a 3 % (v/v). Las muestras se sonicaron en un baño ultrasónico (Branson, modelo

3510, China), durante 15 min a una frecuencia de 40 kHz. Después las muestras se centrifugaron a 10000xg durante 10 minutos, del sobrenadante se tomaron 2 mL a los cuales se le adicionaron 2 mL de la solución buffer de acetato pH = 4, 3 mL de dicloroindofenol y 15 mL de xileno, posteriormente la mezcla fue agitada vigorosamente. Se registró la absorbancia en el espectrofotómetro (Jenway, Techne Inc., modelo 6715 UV/Vis, E.U.A.) a una longitud de onda de 520 nm. Los resultados se reportaron en mg de ácido ascórbico por 100 g de peso fresco.

Fenoles y flavonoides totales. Los fenoles y flavonoides totales fueron determinados de acuerdo al procedimiento descrito por Rosales *et al.*, (2011). Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de peso fresco (PF) para fenoles totales y mg equivalentes de quercitina (EQ)/100 g PF, para flavonoides totales.

Actividad antioxidante. La actividad antioxidante *in vitro* se determinó utilizando los ensayos de la capacidad captadora de radicales DPPH[•] y el de capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC). Muestras de 0.1 g se mezclaron con metanol puro, posteriormente fueron sometidas a un baño ultrasónico por 15 min a 30 °C a una frecuencia de 40 kHz, posteriormente las muestras fueron centrifugadas a 10000 ×g durante 10 minutos a 5 °C. Para determinar la actividad captadora de radicales DPPH[•] descrita por Brand-Williams *et al.*, (1995), se mezclaron 0.3 mL del sobrenadante con el radical DPPH[•] (6 x 10⁻⁵ M), después de 60 min de reacción se midió la absorbancia (A) a 517 nm. La reducción del radical DPPH[•] se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Efecto detoxificador DPPH}^{\bullet} (\%) = [1 - (A_{517\text{nm}} \text{ muestra} / A_{517\text{nm}} \text{ blanco})] \times 100$$

El ensayo TEAC se realizó de acuerdo con una versión modificada del método de Re *et al.*, (1999). Para formar el radical ABTS^{•+} se utilizó ABTS a una concentración de 7.0 mM mezclado con persulfato de potasio a 2.45 mM. 100 µL de sobrenadante se mezcló con 2.9 mL del radical ABTS^{•+} diluido, después de 6 min de reacción a 30 °C se midió su absorbancia a 734 nm. Los resultados fueron expresados en µM equivalentes de Trolox por gramo de peso fresco.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones y una prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey con una $P \leq 0.05$. Para todos los análisis se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS) para Windows versión 9.4.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica

Las características fisicoquímicas en los frutos testigo y en los tratamientos se presentan en el Cuadro 1. Como se observa los sólidos solubles totales (SST) de los frutos testigo fueron significativamente menores a los de los frutos procesados. Esto se puede deber a que los frutos al ser sometidos a tratamientos térmicos pierden agua, favoreciendo una mayor concentración de sólidos en los frutos (Cuastumal-Canacuan *et al.*, 2016). Por otra parte, el tratamiento de rehogado afectó de manera significativa ($P \leq 0.05$) concentrando una mayor cantidad de SST, esto puede ser atribuido a que el aceite permite una mayor transferencia de calor al producto, lo que provoca una mayor evaporación de agua en el alimento (Ramírez-Anaya *et al.*, 2010). El efecto de las técnicas de cocción provocó una reducción de la acidez titulable (AT) en los frutos de tomate, mientras que el pH aumentó de manera gradual a la disminución de la AT. Este fenómeno fue más evidente en el efecto de los tratamientos con rehogado y asado de los tomates (Cuadro 1). Con respecto a la AT, esta se encuentra directamente relacionada con la concentración de los ácidos orgánicos, por lo que una disminución de AT se puede atribuir a procesos de lixiviación y oxidación de los compuestos orgánicos dado que los tratamientos térmicos pueden afectar a la matriz biológica que los contiene (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013). El aumento de los SST y la reducción de la AT, con el respectivo aumento del pH en frutos de tomate después de la aplicación de los tratamientos de cocción presentan un comportamiento similar a frutos como el mango, guayaba, tomate de árbol y de cáscara donde se aplicaron diferentes tipos de cocción como hervido, asado, con vapor o en horno de convección y microondas (Cuastumal-Canacuan *et al.*, 2016; Rodríguez-Arredondo *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de técnicas de cocción sobre los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y pH en frutos de tomate

Técnica de cocción	SST (° Brix)	AT (% de ácido cítrico)	pH
Testigo	3.73 ± 0.06 ^c	0.24 ± 0.04 ^a	4.33 ± 0.01 ^d
Rehogado	7.50 ± 0.30 ^a	0.07 ± 0.00 ^c	4.45 ± 0.00 ^a
Hervido	4.13 ± 0.06 ^{cb}	0.14 ± 0.00 ^b	4.37 ± 0.01 ^c
Asado	4.57 ± 0.06 ^b	0.07 ± 0.00 ^c	4.39 ± 0.01 ^b

Los resultados se expresan como la media ± desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes en cada columna presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Licopeno y β -caroteno

En la Figura 1 se muestra el contenido de licopeno y β -caroteno en tomate después de la aplicación de las diferentes técnicas de cocción. Donde, los tomates cocinados mediante rehogado presentaron un incremento en el contenido de estos carotenoides respecto al tratamiento testigo alcanzando una concentración de 10.96 y 1.96 mg/100 g de peso fresco (PF) para licopeno y β -caroteno respectivamente; lo que se traduce en un aumento de 66.12% para licopeno y 54.07% para β -caroteno. Por otra parte, el tratamiento de hervido fue el que presentó un menor contenido de licopeno, es decir 29.13% menor concentración de licopeno respecto al testigo. El proceso de rehogado fue la técnica más efectiva debido a que permite una mayor liberación de estos compuestos fitoquímicos desde la matriz donde se encuentran (pericarpio externo) mediante la ruptura de paredes celulares ocasionada por una elevada temperatura de proceso originada por el aceite utilizado como medio de calentamiento y como medio de extracción debido a su naturaleza no polar que le permite extraer con mayor facilidad estos compuestos de carácter lipofílico (Dewanto *et al.*, 2002; Miglio *et al.*, 2008; Stahl *et al.*, 2006). Esto es consistente con la literatura, donde Vallverdú-Queral *et al.*, 2015, establecen que los niveles de carotenoides totales, α -caroteno, β -caroteno y Z-licopeno aumentaron en tomates sometidos a tratamiento térmico en aceite de oliva. Esto también se observó en productos derivados de frutos de tomate, como salsas y purés, los cuales presentan mayor concentración de licopeno que en tomates crudos (Hwang, 2005). Los resultados indican que el rehogado es un proceso que permite aumentar la concentración de los carotenoides, requisito esencial del licopeno y β -caroteno para mantener su papel *in vivo* (Hwang, 2005). Esto se traduce en un mayor efecto en sus propiedades

antioxidantes, las cuales son las responsables de los beneficios obtenidos mediante su ingesta (Oroian y Escriche, 2015).

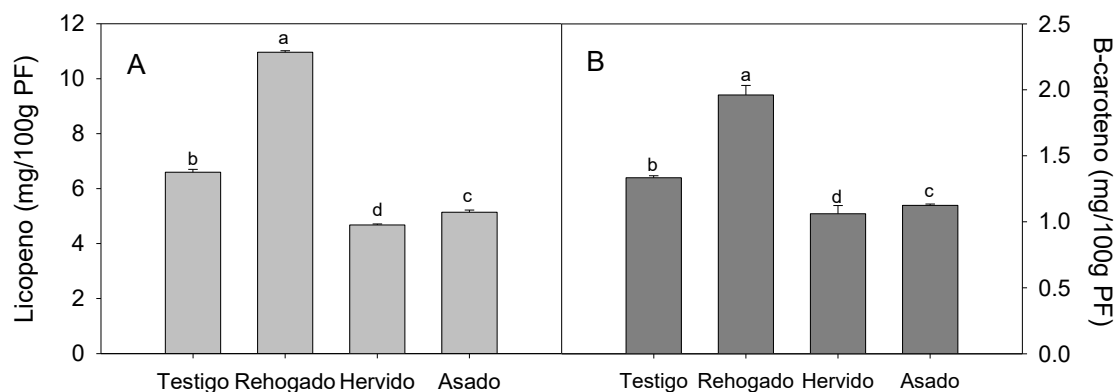


Figura 1. Efecto de la aplicación de técnicas de cocción sobre el contenido de licopeno (A) y β -caroteno (B) en frutos de tomate. Medias \pm desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$)

Ácido ascórbico

La concentración de ácido ascórbico fue drásticamente afectada por los diferentes procesos de cocción (Figura 2). En los tomates testigo, la concentración de ácido ascórbico fue de 50.82 mg/100g PF, el tratamiento mediante asado retuvo el 58.10%, en hervido el 47.32% y el tratamiento de rehogado no presentó dicho ácido orgánico. El ácido ascórbico es severamente afectado por el procesamiento térmico debido a su alta hidrofiliidad y baja estabilidad térmica (Volden *et al.*, 2009). En el rehogado la degradación del ácido ascórbico en su totalidad se puede atribuir a que previamente el tomate sufrió una ruptura celular mediante el molido, lo que facilitó la degradación de la molécula, la cual probablemente reaccionó con el oxígeno activando la enzima ácido ascórbico oxidasa, desencadenando la oxidación a la forma dehidroascórbico (DHAA) y la hidrólisis del DHAA al ácido 2,3-dicetogulónico, perdiendo así su valor nutrimental (Cuastumal-Canacuan *et al.*, 2016; Ordóñez-Santos *et al.*, 2013); aunado a la elevada temperatura, proceso que se alcanza mediante el empleo de aceite como medio de transferencia de calor (Ramírez-Anaya *et al.*, 2015). Estos resultados son congruentes con la literatura, donde se ha reportado una pérdida total del ácido ascórbico en zanahorias sometidas al freído o una retención del 51% en brócoli cocido con agua en ebullición (Miglio *et al.*, 2008). También, se ha observado una pérdida del 46% de este compuesto bioactivo en coliflor hervida (Volden *et al.*,

2009) y 52.53% en brotes de bambú hervido (Zhang *et al.*, 2011). Por otra parte, el tratamiento de asado fue el que retuvo una mayor concentración de ácido ascórbico, esto probablemente se debió a que los frutos no fueron sometidos a ningún medio de transferencia de calor (agua o aceite) y se mantuvieron en constante movimiento durante su asado.

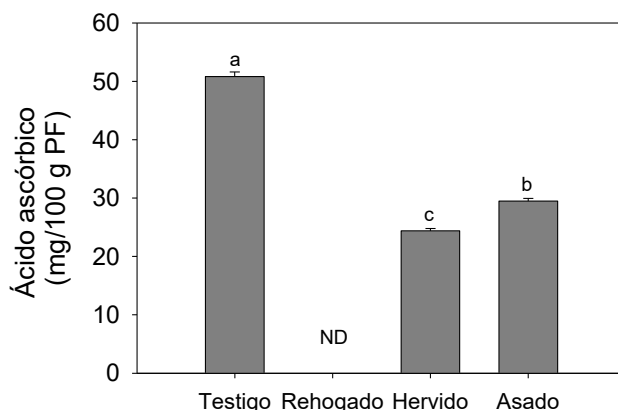


Figura 2. Contenido de ácido ascórbico en frutos de tomate crudos (testigo) y cocidos. Medias \pm desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$). ND: No Detectado

Fenoles y flavonoides totales

Como se observa en la Figura 2A y 2B el procesamiento mediante rehogado favoreció un incremento de los fenoles y flavonoides totales con una concentración equivalente de 48.66 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100g y 25.25 mg equivalentes de quercetina EQ/100g respectivamente, mientras que los frutos procesados mediante el hervido presentaron una reducción significativa de estos compuestos del orden de 10.33% para fenoles y 16.68% para flavonoides. Ramírez-Anaya *et al.*, 2015, reportaron una mayor concentración de fenoles totales en vegetales como calabaza y papa sometidos a una fritura profunda comparados con el tratamiento por hervido. Los mismos autores mencionan que este fenómeno se debe a la evaporación de agua de los vegetales durante el freído, además de la falta de migración de estas sustancias hidrosolubles hacia el aceite. Así mismo la temperatura de proceso origina una ruptura del enlace glucosídico en moléculas combinadas fenol-azúcar, que dan lugar a agliconas que favorecen al aumento en la concentración de fenoles en vegetales que se han sometido a freído, horneado o cocinado en microondas (Bunea *et al.*, 2008; J. D. P. Ramírez-Anaya *et al.*, 2015).

Además, Zhang *et al.*, (2011), mencionan que el tratamiento térmico desnaturaliza las polifenoloxidasas evitando la descomposición de los compuestos fenólicos. Por otro lado, cuando las muestras se someten a un tratamiento de hervido, los compuestos fenólicos disminuyen debido a un proceso de lixiviación; derivado de la destrucción de las paredes celulares y los compartimentos subcelulares (vacuolas y apoplastos) durante la ebullición facilitando la migración de sustancias hidrosolubles hacia el espacio extracelular y de allí al agua de procesamiento, la cual se puede enriquecer de estos compuestos bioactivos (Miglio *et al.*, 2008; Volden *et al.*, 2009); mientras que el aumento de fenoles y flavonoides en muestras de tomates asados se puede atribuir a la liberación de estos compuestos de la matriz celular por efecto del procesamiento térmico (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013). Se ha encontrado que los fenoles totales en tomates aumentan 1.57 veces en la técnica de salteado y hasta 25 veces en fritura profunda con aceite de oliva extravirgen (Ramírez-Anaya *et al.*, 2015). Comportamientos similares se han encontrado en el efecto de los procesos de cocción (rehogado y hervido) en algunos vegetales como papas, calabazas (Ramírez-Anaya *et al.*, 2015), zanahorias (Miglio *et al.*, 2008) y espinacas (Bunea *et al.*, 2008).

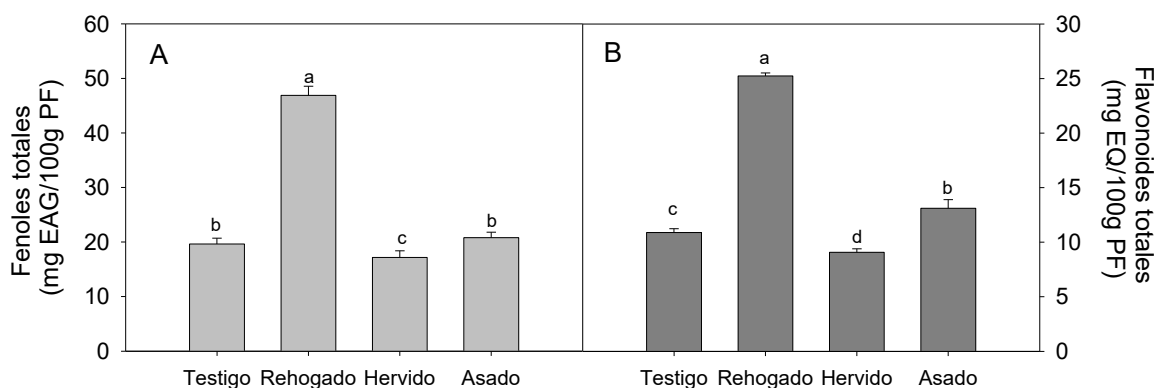


Figura 3. Influencia de técnicas de cocción sobre el contenido de fenoles totales (A) y flavonoides totales (B) en frutos de tomate. Medias \pm desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$)

Actividad antioxidante

El procesamiento de tomates mediante las técnicas de cocción aplicadas en el presente estudio afectó de manera significativa la actividad de los radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolino-6-ácido sulfónico) (ABTS) de los frutos (Figura 3). El

hervido provocó una reducción en los valores de ABTS de 14.99% con respecto al testigo, sin presentar diferencias significativas de acuerdo al ensayo de DPPH. Por otro lado, el rehogado y el asado aumentan los valores de DPPH en 2.44 y 2.18 veces con respecto al testigo (17.92% de inhibición del radical DPPH[•]). Mientras que mediante el ensayo de ABTS el testigo registró un valor de 25.97 $\mu\text{M ET/g PF}$; este valor aumentó a 38.33% y 13.02% para tomates procesados mediante rehogado y asado respectivamente. Los tratamientos de cocción que se probaron en el presente trabajo reflejaron su efecto sobre el contenido de licopeno, β -caroteno, ácido ascórbico, fenoles y flavonoides totales que son compuestos responsables de la actividad antioxidante que presentan los frutos de tomate (Borguini y Da Silva Torres, 2009; Oroian y Escriche, 2015). Es evidente que el rehogado favoreció la concentración de los carotenoides y los compuestos fenólicos, pero no así en el ácido ascórbico, el cual fue destruido por la temperatura de proceso. Así mismo, se puede observar en la Figura 3A y 3B, que la actividad antioxidante del tratamiento con rehogado no es tan elevada respecto al resto de los tratamientos como en el comportamiento en los carotenoides y compuestos fenólicos. Los valores de actividad antioxidante de este estudio son similares a lo reportado por Ramírez-Anaya *et al.*, 2015, quien encontró que los valores de ABTS pueden aumentar hasta 15% para tomates sazonados con aceite de oliva, mientras que los valores de DPPH aumentan hasta 39.8%; para tomates hervidos se reduce su capacidad antioxidante en 52.88% de acuerdo al ensayo de DPPH. Por otra parte, se ha reportado que en brócoli y zanahorias sometidos a freído, aumentaron la actividad antioxidante aumenta hasta 2.61 y 2.63 veces respectivamente en referencia al testigo (Miglio *et al.*, 2008). La fritura de bambú también permite una mayor retención de polifenoles (Zhang *et al.*, 2011). Por otro, lado Volden *et al.*, 2009, reportaron que la actividad antioxidante en coliflor se ve mayormente reducida por el efecto del hervido, respecto al escaldado y cocido al vapor. En papa se ha reportado que el tratamiento de hervido reduce considerablemente la actividad antioxidante en el tubérculo, mientras que en el agua donde se llevó acabo el tratamiento térmico se presenta un 75.71% de actividad antioxidante respecto a la papa después de hervido (Ramírez-Anaya *et al.*, 2010). Zhang *et al.*, 2011, mencionan que existe migración de una gran cantidad de sustancias bioactivas en el medio de cocción lo que causa una caída en la capacidad antioxidante. Las técnicas de asado y rehogado fueron las más adecuadas para obtener una elevada actividad antioxidante en frutos de tomate después de su procesamiento, lo que permite que dichos compuestos bioactivos se encuentren mayormente disponibles después de su ingesta y así actúen como antioxidantes

naturales capaces de atrapar especies reactivas de oxígeno, reducir el estrés oxidativo y reducir el peligro de oxidación de los componentes celulares (Borguini y Da Silva Torres, 2009; Oroian y Escriche, 2015).

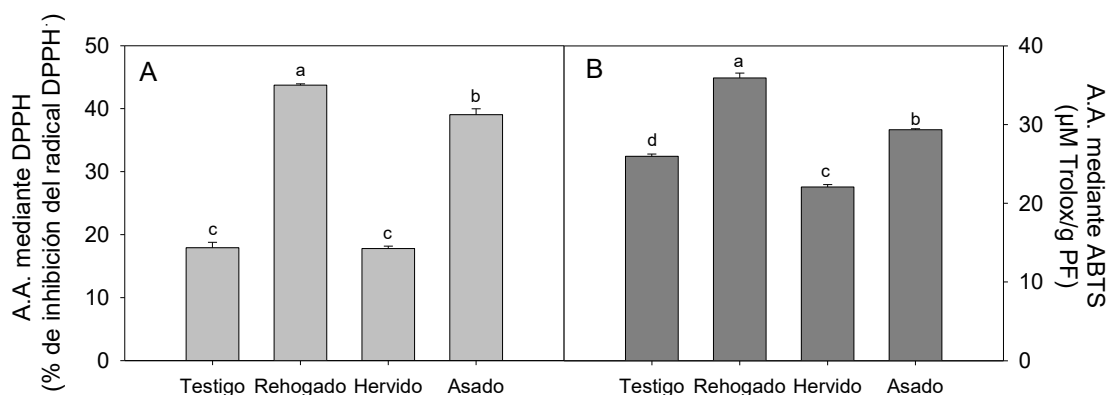


Figura 4. Efecto de la aplicación de técnicas de cocción sobre la actividad antioxidante (A.A.) mediante los ensayos de DPPH (A) y ABTS (B) en frutos de tomate. Medias \pm desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$)

Conclusiones

Los métodos de cocción doméstica empleados en México afectan o modifican profundamente las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes en frutos de tomate. De acuerdo a las condiciones de cocción aplicadas en el presente estudio, el asado y el rehogado fueron las mejores técnicas culinarias para mejorar la calidad funcional del tomate. Particularmente el rehogado, registró una mayor concentración en carotenoides y compuestos fenólicos respecto al testigo; mientras que el asado retuvo mayor concentración de ácido ascórbico. El hervido de los tomates promovió una lixiviación de los compuestos bioactivos de carácter hidrofílico al agua de cocimiento reduciendo su valor antioxidante. La mayor concentración de compuestos bioactivos con actividad antioxidante en tomate se presentó por efecto del rehogado, por lo tanto, fue el mejor método de cocción en tomates.

Referencias

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official Methods of Analysis.

- Borguini, R. G. y Da Silva Torres, E. A. F. (2009). Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. *Food Reviews International*, 25(4): 313–325.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 28(1):25–30.
- Bunea, A., Andjelkovic, M., Socaciu, C., Bobis, O., Neacsu, M., Verhé, R. y Camp, J. Van. (2008). Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*. 108(2): 649–656.
- Cuastumal-Canacuan, H. G., Murillo-Valencia, B. L. y Santos-Ordóñez, E. L. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*. 13(1): 2016–85.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K. y Liu, R. H. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50: 3010–3014.
- Di Paola-Naranjo, R. D., Otaiza, S., Saragusti, A. C., Baroni, V., Carranza, A. D. V., Peralta, I. E. Asis, R. (2016). Hydrophilic antioxidants from Andean tomato landraces assessed by their bioactivities in vitro and in vivo. *Food Chemistry*. 206: 146–155.
- Dürüst, N., Sümengen, D. y Dürüst, Y. (1997). Ascorbic acid and element contents of food of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 8561(96): 2085–2087.
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P. y 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.
- Gutiérrez-Tlahque, J., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Jiménez-Alvarado, R., y Hernández-Fuentes, A. D. (2018). Effect of climate conditions on total phenolic content and antioxidant activity of *Jatropha dioica* Cerv. var. *dioica*. *Ciencia e Investigación Agraria*. 45(1): 70-81.
- Hwang, E. S. (2005). Tomato-based products and lycopene in the prevention of cancer: Bioavailability and antioxidant properties. *Cancer prevention research*. 10(2): 81-88.
- Hof, K. H., De Boer, B. C., Tijburg, L. B., Lucius, B. R., Zijp, I., West, C. E., Hautvast, J.G., y Weststrate, J. A. (2000). Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein

fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. *The Journal of nutrition*. 130(5): 1189-1196.

Kavitha, P., Shivashankara, K. S., Rao, V. K., Sadashiva, A. T., Ravishankar, K. V. y Sathish, G. J. (2014). Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(5): 993–999.

López-Palestina, C., Aguirre-Mancilla, C., Raya-Pérez, J., Ramírez-Pimentel, J., Gutiérrez-Tlahque, J. y Hernández-Fuentes, A. (2018). The Effect of an Edible Coating with Tomato Oily Extract on the Physicochemical and Antioxidant Properties of Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) Fruits. *Agronomy*. 8(11): 248.

Miglio, C. C., Chiavaro, E., Visconti, A., Fodliano, V., Pellegrini, N., Fogliano, V. y Pellegrini, N. (2008). Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of Selected Vegetables. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 56(1): 139–147.

Ordóñez-Santos, L. E., Portilla, M. A. O. y Rodríguez, D. X. R. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*. 10(2): 44–51.

Oroian, M. y Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*. 74: 10–36.

Pellegrini, N., Miglio, C., Del Rio, D., Salvatore, S., Serafini, M. y Brighenti, F. (2009). Effect of domestic cooking methods on the total antioxidant capacity of vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60(2): 12–22.

Ramírez-Anaya, J. D. P., Samaniego-Sánchez, C., Castañeda-Saucedo, M. C., Villalón-Mir, M. y De La Serrana, H. L. G. (2015). Phenols and the antioxidant capacity of Mediterranean vegetables prepared with extra virgin olive oil using different domestic cooking techniques. *Food Chemistry*. 188: 430–438.

Ramírez-Anaya, J., Samaniego-Sánchez, C., Villalón-Mir, M. y López-García de la Serrana, H. (2010). Variation on the content of phytochemicals compounds in typical Mediterranean foods depending on the culinary. *Ars Pharmaceutica*. 51: 437–446.

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *26(98)*: 1231–1237.
- Rodríguez-Arredondo, A., Maldonado-Garfías, C., Sosa-Morales, M. E. y Cerón-García, A. (2018). Evaluación de compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas de cáscaras de tomate verde (*Physalis* spp.) bajo diferentes condiciones de procesamiento. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*. 3: 205–209.
- Rosales, M. A., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. del M., Blasco, B., Ríos, J. J. y Ruiz, J. M. (2011). The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: Evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91(1): 152–162.
- Salas-Pérez, L., González Fuentes, J. A., García Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S. y Preciado-Rangel, P. (2016). Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*, 8(17), 310-325.
- Singleton, V. L. y Rossi, J. A. (1965). Colorimetric of total phenolic whit phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16(3): 144–158.
- Stahl, W., Heinrich, U., Aust, O., Tronnier, H. y Sies, H. (2006). Lycopene-rich products and dietary photoprotection. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 5(2): 238–242.
- Vallverdú-Queralt, A., Regueiro, J., de Alvarenga, J. F. R., Torrado, X. y Lamuela-Raventos, R. M. (2015). Carotenoid profile of tomato sauces: Effect of cooking time and content of extra virgin olive oil. *International Journal of Molecular Sciences*. 16(5): 9588–9599.
- Volden, J., Borge, G. I. A., Hansen, M., Wicklund, T. y Bengtsson, G. B. (2009). Processing (blanching, boiling, steaming) effects on the content of glucosinolates and antioxidant-related parameters in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. botrytis). *LWT - Food Science and Technology*. 42(1): 63–73.
- Zhang, J., Chu, P. C., Chao, C. y Chen, J. (2011). Effect of three cooking methods on nutrient components and antioxidant capacities of bamboo shoot. *J Zhejiang Univ-Sci B (Biomed y Biotechnol)*. 12(9):752–759.