

## Modelado de parámetros de calidad en tomate *cv. saladette* durante el escaldado secuencial empleando microondas

M.F. Pacheco-Plata, J.J. Caro-Corrales, R. Gutiérrez-Dorado, J.A. Zazueta-Niebla y I.L. Camacho-Hernández, O.C. Caro-Hernández, R.M. Espinoza-Jaime, y L.C. Soto-López.  
Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.  
[est.maria.pp@uas.edu.mx](mailto:est.maria.pp@uas.edu.mx)

**RESUMEN:** El tomate es una hortaliza utilizada en la industria alimentaria como materia prima para la elaboración de productos con una larga vida útil y que pueden almacenarse sin necesidad de refrigeración. Sin embargo, contiene una gran variedad de enzimas que pueden alterar la calidad de estos productos; entre éstas se incluye la poligalacturonasa (PG) que presenta una alta resistencia térmica. El escaldado tradicional en agua caliente es una tecnología que se utiliza para inactivar enzimas indeseables. El escaldado con microondas es una alternativa que reduce el tiempo de procesamiento y retiene una mayor cantidad de vitaminas. El objetivo del presente trabajo fue modelar parámetros de calidad en tomate *cv. Saladette* durante el escaldado con microondas seguido del escaldado tradicional. Se utilizó un diseño central compuesto rotatable para obtener modelos matemáticos y gráficos de superficie de respuesta de diferencia total de color, degradación de vitamina C y actividad remanente de poligalacturonasa (PG1) los cuales mostraron comportamientos lineales al incrementar la temperatura y el tiempo de escaldado. Los modelos de predicción obtenidos para cada una de las respuestas estudiadas fueron reproducibles y adecuados.

**Palabras clave:** Tomate, escaldado, microondas.

**ABSTRACT:** Tomato is a vegetable used in the food industry as a raw material to manufacture products with a long shelf life, which can be stored without refrigeration. However, a large variety of enzymes can alter the quality of these products; including polygalacturonase (PG), which has a high thermal resistance. Traditional blanching in hot water is a technology used to inactivate undesirable enzymes. Microwave blanching is an alternative which reduces the processing time and retains a higher quantity of vitamins. The objective of this work was to model quality parameters in tomato *cv. Saladette* during microwave blanching followed by traditional blanching. A central composite design was used to obtain mathematical models and response surface graphs of total color difference, vitamin C degradation and remaining polygalacturonase activity (PG1) which showed linear behaviors with increasing temperature and blanching time. Prediction models for each studied responses were reproducible and adequate.

**Keywords:** Tomato, blanching, microwaves.

**Área:** Frutas y hortalizas

### INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) forma parte importante en la dieta humana con variadas formas de consumo. Esta hortaliza destaca por ser una fuente de  $\beta$ -caroteno, licopeno y vitamina C (Sosa 2012); además, por ser una de las tres principales hortalizas cultivadas en el mundo. A nivel mundial, China es el principal productor de tomate (SIAP 2017), mientras que México es el principal exportador (INTAGRI 2018).

La gran popularidad del tomate radica en que es utilizado en la industria alimentaria como materia prima para la elaboración de diversos productos (Cárdenas y *et al.*, 2015) que presentan una larga vida útil y pueden almacenarse sin necesidad de refrigeración (SAGARPA 2010). No obstante, el control de reacciones enzimáticas juega un papel importante en la calidad de estos productos. Se ha reportado una gran variedad de enzimas presentes en tomate, las de principal importancia para la industria son pectilmetilesterasa (PME), poligalacturonasa (PG), peroxidasa (POD), entre otras, donde la de mayor resistencia térmica es PG (Pellegrini 2017). Con el fin de inactivar enzimas indeseables se emplea el escaldado ordinario, que consiste en la inmersión de la hortaliza en agua a temperatura cercana a la de

ebullición, durante un tiempo corto. Una gran desventaja de este método es que afecta la calidad de los productos. Como alternativa al escaldado tradicional se encuentra el escaldado por microondas, éste se basa en el uso de ondas electromagnéticas y las propiedades dieléctricas del alimento para inducir calentamiento. Esta tecnología reduce el tiempo de procesamiento y retiene una mayor cantidad de vitaminas solubles en el producto (Soltero 2019).

Para determinar las condiciones óptimas de operación de un proceso se requiere modelar los parámetros de interés con técnicas matemáticas y estadísticas (Myers y *et al.*, 2016). En la actualidad no se han encontrado registros que informen acerca del modelado de la diferencia total de color, degradación de vitamina C e inactivación enzimática empleando un escaldado secuencial el cual incluya microondas como fuente de calentamiento. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue obtener modelos matemáticos y gráficos de superficie de respuesta para diferencia total de color, degradación de vitamina C e inactivación de poligalacturonasa en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Saladette durante el escaldado con microondas seguido del escaldado tradicional.

Los gráficos de superficie de respuesta obtenidos en el presente trabajo mostraron que la diferencia total de color, la retención de ácido ascórbico y la actividad remanente de poligalacturonasa (PG1) presentaron un comportamiento lineal al incrementar la temperatura y tiempo de escaldado. Los modelos de predicción para cada parámetro tuvieron una significancia  $p < 0.0001$ , un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ) mayor a 0.80, no presentaron falta de ajuste ( $p \geq 0.05$ ) y el coeficiente de variación fue menor del 10 %. Por lo tanto, todos los modelos de predicción fueron adecuados y reproducibles.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Materia prima.** Se utilizó tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Saladette, adquirido de un mercado local de Culiacán, Sinaloa, en estado de madurez número 5 (USDA 2005) libre de defectos físicos, con forma y tamaño uniforme. Las muestras se lavaron con una solución de NaClO al 0.1 % y se almacenaron en refrigeración a 10 °C hasta su posterior uso (Soltero 2019).

**Equipo de microondas.** Se utilizó un horno de microondas comercial (Frigidaire, FMY141D1PGMM, México), modificado para mantener constante la temperatura de la superficie del fruto por medio de un controlador de tipo proporcional, integral y derivativo (PID, Honeywell DC1010, EUA). Se construyó como sensor de temperatura un termopar tipo T recubierto con adhesivo epóxico de alta conductividad térmica, el que se conectó al controlador PID para accionar o interrumpir el funcionamiento del magnetrón del horno.

**Escaldado con microondas sin inmersión en agua seguido de escaldado tradicional.** Se utilizó la metodología empleada por Pellegrini (2017). A una muestra de tomate (500 g) se le instaló un termopar que se conectó al controlador de temperatura. Se realizó el escaldado con microondas sin inmersión en agua (EMSI) a 90 °C por 1 min. Después, los tomates se trituraron en una licuadora (Oster, BPST-02, EUA). La pulpa se tamizó con una malla de 2 mm para obtener 400 mL de jugo, al cual se le realizó el escaldado tradicional (ET) en un baño María (Fisher Scientific, 9500, EUA) a las temperaturas y tiempos indicados por el diseño de experimentos. Se agitó manualmente durante el tratamiento. Enseguida, se enfrió a 25 °C. Posteriormente, se realizaron los análisis sobre el jugo inactivado.

**Diferencia total de color.** Para la medición de color se utilizó la metodología de Iribe (2015) basada en los parámetros de color CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que se obtuvieron con un colorímetro triestímulo (Minolta, Chromameter CR-200, Osaka, Japón), se registraron los parámetros tanto en jugo fresco como en jugo escaldado y se calculó la diferencia total de color ( $\Delta E$ ).

**Retención de ácido ascórbico.** El contenido de ácido ascórbico se cuantificó utilizando la técnica 967.21 de la A.O.A.C. (2012). Los resultados se reportaron como porcentaje de retención de ácido ascórbico.

**Actividad remanente de poligalacturonasa.** La actividad enzimática de la fracción 1 de poligalacturonasa (PG1) se determinó siguiendo la metodología descrita por Anthon y col (2002) y Pellegrini (2017). Los resultados se expresaron en porcentaje de actividad remanente (% AR).

**Modelado de las variables de respuesta ( $\Delta E$ , % RAA y % AR).** Se utilizó un diseño central compuesto rotatable con dos factores: temperatura (60 a 90 °C) y tiempo (2 a 6 min) con cinco niveles de variación, con un total de 13 tratamientos (Myers *et al.*, 2016). Se realizó un análisis de regresión donde los términos no significativos ( $p > 0.05$ ) fueron descartados para determinar los modelos de predicción. A través del software Design Expert 7.0, se analizaron los datos con la metodología de superficie de respuesta (MSR) y se obtuvieron los gráficos de superficie de respuesta. Se considera necesario cumplir con una significancia del modelo ( $p \leq 0.05$ ), un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj} \geq 0.8$ ), un coeficiente de variación (C.V.  $\leq 10\%$ ) y pasar la prueba de falta de ajuste ( $p > 0.05$ ), para que el modelo sea adecuado y reproducible (Milán *et al.*, 2006).

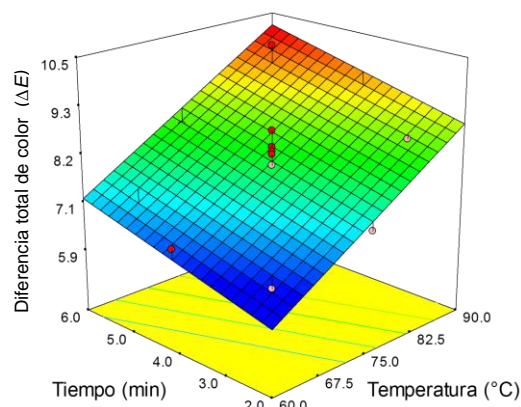
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo de predicción para la diferencia total de color presentó un comportamiento lineal con los términos temperatura y tiempo significativos. Éste se muestra a continuación:

$$\Delta E = 8.07 + 1.07 T + 0.44 t$$

La significancia del modelo fue  $p < 0.0001$ , el coeficiente de determinación ajustado fue  $R^2_{aj} = 0.83$ , no presentó falta de ajuste ( $p = 0.18$ ) y el coeficiente de variación (C.V.) fue inferior al 10% (5.30 %), por lo que el modelo con coeficientes codificados se considera adecuado y reproducible.

En la **Figura 1** se muestra la  $\Delta E$  para jugo de tomate, en función de la temperatura y el tiempo de escaldado secuencial (escaldado en microondas sin inmersión en agua seguido de escaldado tradicional). La diferencia total de color se encontró en el intervalo de 6.3 a 10.0. En el gráfico se observa que al incrementar la temperatura y el tiempo de escaldado, se incrementa la  $\Delta E$ , pero tal como lo establece el modelo, la influencia de la temperatura es mayor. El tomate y sus productos son fuentes importantes de licopeno, el cual es responsable de la coloración roja, ya que en su estructura contiene muchos dobles enlaces de carbono conjugados y presenta mayor absorbancia en comparación con otros carotenos (Khoo *et al.*, 2011). El licopeno, en forma natural, se encuentra predominantemente en su conformación *trans* en tomates frescos (El-Raey *et al.*, 2005; Khoo *et al.*, 2011). Sin embargo, durante el procesamiento de los alimentos, los isómeros *cis* pueden aumentar debido a la isomerización de la conformación *trans* (Khoo *et al.*, 2011) y con ello modificar los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  e incrementar la diferencia total de color. Khoo *et al.*, (2011) indicaron que un calentamiento a 60 y 80 °C favorece la isomerización del licopeno; temperaturas cercanas a las que se utilizaron en el presente estudio. La cantidad de azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos también afecta el color de los productos de tomate procesados al causar la formación de 5-hidroximetilfurfural y otros compuestos de color marrón productos de la reacción de Maillard (Jayathunge *et al.*, 2017). Otros autores reportaron un comportamiento similar de  $\Delta E$  en el escaldado de tomate Cherry (Pellegrini 2017) y brócoli (Soltero 2019) al utilizar microondas.



**Figura 1** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la  $\Delta E$  del jugo de tomate escaldado con microondas sin inmersión seguido de escaldado tradicional.

Por otra parte, el modelo de predicción obtenido para la retención de ácido ascórbico tuvo un comportamiento lineal.

$$\% \text{ RAA} = 83.10 - 1.91T - 1.65t$$

La temperatura y el tiempo fueron significativos ( $p < 0.0001$ ). El modelo presentó un  $R^2_{aj} = 0.86$ , C.V. = 0.97 % y pasó la prueba de falta de ajuste ( $p = 0.22$ ). Esto indica que el modelo codificado es adecuado y reproducible.

En la **Figura 2** se muestra el gráfico de superficie de respuesta para la retención de ácido ascórbico con respecto a la temperatura y el tiempo en jugo de tomate escaldado con microondas sin inmersión seguido de escaldado tradicional. A medida que la temperatura y el tiempo de escaldado incrementan, este parámetro disminuye ligeramente; se obtuvieron retenciones entre 78.4 a 86.3 %. Este comportamiento puede deberse a que el ácido ascórbico es inestable y puede degradarse con la temperatura, presencia de luz y de oxígeno, dando lugar a sustancias con efecto no antioxidante (Klopotek *et al.*, 2005).

Figueroa *et al.*, (2016) reportan una disminución de ácido ascórbico en jugo de manzana de 8.3 % después un tratamiento a 83 °C por 30 s, al utilizar microondas, mientras que se perdió 10.4 % con un tratamiento a 90 °C por 60 s. Por otro lado, Klopotek *et al.*, (2005) al aplicar un tratamiento térmico observaron una disminución de un 35 % en el jugo de fresa, en comparación al jugo filtrado. En cambio, en el procesamiento térmico para elaborar puré reportaron una disminución de vitamina C de un 12 % en comparación con las fresas frescas.

Los resultados de la actividad remanente de poligalacturonasa (PG1) se puede apreciar en la **Figura 3**, una disminución lineal de este parámetro al aumentar la temperatura y el tiempo de escaldado, atribuido a que normalmente la enzima poligalacturonasa al igual que otras enzimas, puede ser inactivada por procesamiento térmico (Fachin *et al.*, 2004). La actividad remanente se encontró entre 86.2 y 98.9 %. El modelo codificado de predicción se muestra a continuación:

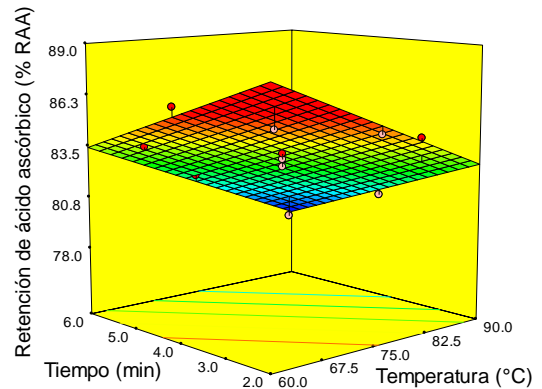
$$\% \text{ AR} = 92.40 - 4.10T - 1.61t$$

Los términos temperatura y tiempo fueron significativos ( $p < 0.0001$ ). Este modelo tuvo un  $R^2_{aj} = 0.88$ , C.V. = 1.4 % y no presentó falta de ajuste ( $p = 0.19$ ), por lo que el modelo se considera adecuado y repetible.

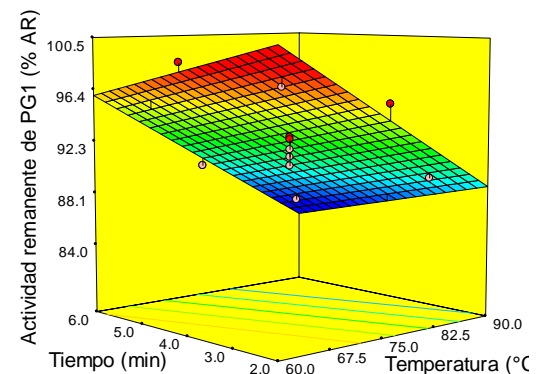
En la literatura se ha reportado que la fracción PG1 de la enzima poligalacturonasa presenta estabilidad térmica. Incluso, después de 5 min a 90 °C, todavía hay actividad residual de PG (Fachin *et al.*, 2004; Pellegrini 2017).

## CONCLUSIÓN

Se obtuvieron modelos de predicción adecuados y reproducibles para diferencia total de color, retención de ácido ascórbico y actividad remanente de PG1 en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Saladette en el escaldado con microondas seguido del escaldado tradicional. Los gráficos de superficie de respuesta mostraron incrementos de estos parámetros al incrementar la temperatura y el tiempo en el



**Figura 2** Gráfico de superficie de respuesta que ilustra el efecto de temperatura y tiempo sobre el % RAA en jugo de tomate escaldado con microondas sin inmersión seguido de escaldado tradicional.



**Figura 3** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de la temperatura y el tiempo sobre la actividad remanente de PG1 en jugo de tomate escaldado con microondas sin inmersión seguido de escaldado tradicional.

escaldado secuencial de tomate Saladette. Los modelos posibilitan estimar con precisión los cambios en color, la degradación de vitamina C e inactivación de PG1 en función de la temperatura y el tiempo, al utilizar la operación de escaldado con microondas sin inmersión en agua seguido de escaldado tradicional para tomate Saladette.

### BIBLIOGRAFÍA

- Anthon, G., Sekine, Y., Watanabe, N., & Barrett, D. 2002. Thermal inactivation of pectin methylesterase, polygalacturonase, and peroxidase in tomato juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6153-6159.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2012. Official Method Ascorbic Acid in Vitamin Preparations and Juices. En AOAC, Editorial AOAC International, 1500.
- Cárdenas, F., Tamayo, R., Ayón, L., López, M., Mendivil, A., & Vega, M. 2015. Cambios fisiológicos y de actividad de enzimas del sistema antioxidante en tomate con tolerancia inducida al daño por frío. Sinaloa. Disponible de: <http://sistemanodalsinaloa.gob.mx>. Consultado en abril de 2018.
- El-Raey, M., Ibrahim, G., & Eldahshan, O. 2013. Lycopene and Lutein; A review for their Chemistry and Medicinal Uses. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(1), 245-254.
- Fachin, D., Smout, C., Verlent, I., Nguyen, B., Loey, A., Hendrickx, M. 2004. Inactivation kinetics of purified tomato polygalacturonase by thermal and high-pressure processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(9), 2697-2703.
- Figueroa, F., Sosa, M., López, A., & Palou, E. 2016. Retención de ácido ascórbico en jugo de manzana después de tratamientos térmicos o con luz ultravioleta. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 285-289.
- INTAGRI. 2018. El Cultivo de Tomate. México. Disponible de: <https://www.intagri.com>. Consultado en abril de 2018.
- Iribe, R., Caro, J., Hernández, O., Zazueta, J., Gutiérrez, R., Carrasco, M., & Vázquez, Y. 2015. Heat transfer during blanching and hydrocooling of broccoli florets. *Journal of Food Science*, 80(12), E2774-E2781.
- Jayathunge, K., Grant, I., & Koidis, A. 2017. Integration of design of experiment, surface response methodology, and multilayer validation to predict the effect of blanching on color of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), 1-10.
- Khoo, H., Prasad, K., Kong, K., Jiang, Y., & Ismail, A. 2011. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. 2011. *Molecules*, 16(2), 1710-1738.
- Klopotek, Y., Otto, K., & Böhm, V. 2005. Processing Strawberries to Different Products Alters Contents of Vitamin C, Total Phenolics, Total Anthocyanins, and Antioxidant Capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5640-5646.
- Milán, J., Reyes, C., Camacho, I., & Rouzaud, O. 2002. Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) into a useful product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(14), 1718-1728.
- Myers, R., Montgomery D., & Anderson, C. 2016. Design of Experiments for Fitting Response Surface. En Response Surface Methodology, editado por: Myers, R., Montgomery, D., & Anderson, C. *John Wiley & Sons Incorporation*, 369-434.
- Pellegrini, J. 2017. Inactivación de poligalacturonasa en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) empleando microondas [Tesis de maestría]. México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 112 p.
- [SAGARPA] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2010. Monografía del Jitomate. México. Disponible en [www.sagarpa.com.mx](http://www.sagarpa.com.mx). Consultado en abril de 2018.
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. México. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>. Consultado en abril de 2018.
- Soltero, C. 2019. Inactivación de peroxidasa en brócoli (*Brassica oleracea* L.) empleando microondas [Tesis de maestría]. México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 123 p.
- Sosa, N. 2012. El jitomate (*Solanum lycopersicum*): aporte nutricional, enfermedades, postcosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(1), 40-53.
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2005. Shipping Point and Market Inspection Instructions. Disponible en [www.usda.gov](http://www.usda.gov). Consultado en abril de 2018.