

## Modelado de parámetros de calidad en la cocción de chayote

O.C. Caro-Hernández, I.L. Camacho-Hernández, J.J. Caro-Corrales, J.A. Zazueta-Niebla, M.F. Pacheco-Plata, R.M. Espinoza-Jaime, y L.C. Soto-López.

Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sin, México.  
[oliviacarol6@gmail.com](mailto:oliviacarol6@gmail.com)

**RESUMEN:** El fruto de chayote (*Sechium edule* Sw) posee un alto contenido de agua y bajo contenido de lípidos, además aporta vitamina C y minerales. Su comercio ha ido en aumento y generalmente se consume cocinado, horneado o frito. La cocción es un tratamiento térmico que beneficia la desnaturalización de enzimas que pudieran inducir deterioro en los alimentos; sin embargo, puede afectar otros parámetros de calidad. El objetivo de este estudio fue modelar la diferencia total de color ( $\Delta E$ ), retención de ácido ascórbico (*RAA*) y actividad remanente de peroxidasa (*ARP*) en la cocción de rodajas de chayote a diferentes temperaturas (80 a 90 °C) y tiempos (2 a 6 min). La  $\Delta E$  se determinó mediante un colorímetro y las *RAA* y *ARP* con un método espectrofotométrico. La  $\Delta E$  varió entre 5.5 y 9.0, misma que aumentó con la temperatura y el tiempo de cocción; las *RAA* y *ARP* estuvieron en los intervalos de 39.2 a 63.4 % y de 33 a 73 %, respectivamente; ambas disminuyeron al incrementar la temperatura y el tiempo de cocción. Los modelos obtenidos fueron adecuados y reproducibles, lo que permite realizar estimaciones de dichas variables durante la cocción de rodajas de chayote.

**Palabras clave:** Chayote, cocción, modelados.

**ABSTRACT:** The fruit of chayote (*Sechium edule*) or mirliton squash has high-water content and low lipid content; in addition, provides vitamin C and minerals. Its marketing has been increasing and is usually consumed cooked, baked or fried. Cooking is a thermal process that benefits the denaturation of enzymes that could induce deterioration in food; however, can affect other quality parameters. The objective of this study was to model the total color difference ( $\Delta E$ ), ascorbic acid retention (*AAR*) and remaining peroxidase activity (*RPA*) after cooking of chayote slices at different temperatures (80 to 90 °C) and times (2 to 6 min). The  $\Delta E$  was determined using a colorimeter and *AAR* and *RPA* with a spectrophotometric method. The  $\Delta E$  varied between 5.5 and 9.0, which increased with temperature and cooking time; the *AAR* and *RPA* ranged from 39.2 to 63.4 % and from 33 to 73 %, respectively; both decreased with increasing temperature and cooking time. The obtained models were adequate and reproducible, which allows estimations of these variables during the cooking of chayote slices.

**Keywords:** Chayote, cooking, modeling.

**Área:** Frutas y hortalizas

### INTRODUCCIÓN

El consumo de chayote está adquiriendo mayor importancia gracias a las cualidades saludables que presenta, específicamente por su bajo aporte energético. Asimismo, es una fuente de vitamina C, cuyo contenido oscila entre 11 y 20 mg/100 g en fruto maduro, además, de aportar minerales y carbohidratos (Castro *et al.*, 2015).

El chayote es uno de los cultivos comerciales más valorados en el mercado internacional, principalmente en Estados Unidos y los países Europeos (Encarnación 2006). México es el primer exportador a nivel mundial de chayote verde liso, con el estado de Veracruz como principal productor (Cadena y Arévalo 2010).

La cocción en agua es un proceso que consiste en sumergir los alimentos en el líquido y someterlos a temperaturas altas durante un periodo de tiempo determinado. Este proceso favorece la desnaturalización de enzimas, la hidratación y gelificación del almidón, conserva el sabor de los alimentos, reduce el riesgo de intoxicaciones alimentarias y vuelve el alimento más digerible. Sin embargo, cocciones prolongadas causan lixiviación parcial de los minerales y nutrimentos, así como el deterioro de algunas vitaminas, dependiendo del tamaño del alimento y de los tiempos y temperaturas de cocción (Nieto 2014).

La optimización de procesos permite conocer las mejores condiciones en que las variables de estudio rinden las respuestas más adecuadas. El modelado es una metodología que implica una representación matemática del comportamiento de un sistema. Si estas ecuaciones son precisas y reproducibles, posibilitan la estimación de las variables en diferentes escenarios de proceso y además, describen la forma en que los factores afectan a dichas respuestas. En este estudio se modela la diferencia total de color, respecto al producto fresco, la degradación de ácido ascórbico y la actividad remanente de peroxidasa como función de la temperatura y el tiempo durante la cocción de rodajas de chayote, respecto al producto fresco. El modelado adecuado de los parámetros permitirá realizar predicciones de dichas variables en el intervalo de las condiciones estudiadas.

La diferencia total de color ( $\Delta E$ ), la retención de ácido ascórbico ( $RAA$ ) y la actividad remanente de peroxidasa ( $ARP$ ) presentaron un comportamiento lineal con el tiempo y la temperatura de cocción de rodajas de chayote. Los gráficos de superficie de respuesta y los modelos indicaron que, al aumentar ambos factores, la  $\Delta E$  se incrementó y la retención de ácido ascórbico y actividad remanente de peroxidasa disminuyeron.

Los modelos obtenidos para las tres variables de respuesta se consideran adecuados y reproducibles, ya que cumplen con una significancia del modelo ( $p$ ) menor a 0.05, coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayor a 0.8, coeficiente de variación menor al 10 % y no presentaron falta de ajuste ( $p_{LOF} > 0.05$ ).

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Materia prima.** Se utilizó como materia prima chayote (*S. edule Sw.*) variedad *virens levis*, el cual se adquirió en un mercado local de Culiacán, Sinaloa. Se seleccionaron lotes en estado de madurez comercial, tomando en cuenta el criterio de homogeneidad tanto de color, como de tamaño, libres de daños mecánicos y fitosanitarios. Los frutos fueron almacenados en refrigeración hasta su posterior tratamiento y análisis. Después, fueron cortados en rodajas de 4 mm de espesor con una rebanadora para su procesamiento.

**Tratamiento térmico.** La cocción de rodajas de chayote se llevó a cabo en un baño María mediante inmersión en agua con condiciones de temperatura entre 80 y 90 °C con una duración de 2 a 6 min, en proporciones de 10 rodajas de chayote por 15 litros de agua (Moncada 2006).

**Diferencia Total de Color ( $\Delta E$ ).** La evaluación de la diferencia total de color se determinó según la metodología descrita por Yam y Papadakis (2004) midiendo los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en la superficie de las rodajas en fresco como control, así como en las rodajas cocidas. Se realizaron cinco disparos en cada una de las cinco muestras utilizadas para cada experimento, para esto se empleó un colorímetro triestímulo (Minolta, Chromameter CR-210, Japón).

**Contenido de Ácido Ascórbico.** La vitamina C se cuantificó espectrofotométricamente a 520 nm siguiendo la metodología descrita por Iribe-Salazar (2015), la cual consiste en tres etapas, realizar una curva de calibración a diferentes concentraciones con el Stock de ácido ascórbico, preparar la muestra y realizar la medición, para determinar el contenido de vitamina C tanto en chayote fresco como procesado. Los resultados fueron expresados como porcentaje de retención de ácido ascórbico.

**Actividad Remanente de Peroxidasa.** La medición de actividad remanente de peroxidasa se realizó mediante espectrofotometría basado en la metodología propuesta por Zhang *et al.*, (2005). Se realizó una cinética con los cambios de absorbancia producidos en función del tiempo medidos a 470 nm y 25 °C durante 3 minutos, basada en la reacción de oxidación de guayacol en presencia de peróxido de hidrógeno. Los resultados se expresaron como porcentaje de actividad remanente de peroxidasa.

**Diseño experimental y modelado.** Se utilizó un Diseño Central Compuesto Rotable (Myers *et al.*, 2016) con dos factores: temperatura (80 a 90 °C) y tiempo (2 a 6 min) con cinco niveles de variación para cada factor, lo que resulta en un total de 13 tratamientos.

Se empleó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSE) de acuerdo con Bas y Boyaci (2007) con la cual se definieron las relaciones entre respuestas y variables independientes, además, se obtuvieron modelos matemáticos de predicción. A través del software Design Expert 7.0, se analizaron los datos mediante regresión y se elaboraron los gráficos de superficie de respuesta.

Para que el modelo de predicción sea reproducible, es necesario cumplir con un valor  $p$  del modelo ( $p < 0.05$ ), un coeficiente de determinación ( $R^2 > 0.8$ ), coeficiente de variación (C.V.  $< 10\%$ ) y que pase la prueba de falta de ajuste ( $p_{LOF} \geq 0.05$ ). Si estas condiciones se cumplen el modelo se considera adecuado (Milán-Carrillo *et al.*, 2006).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

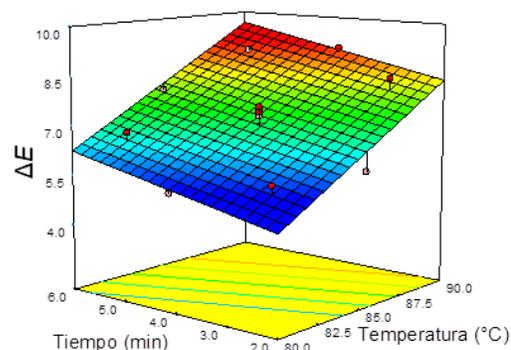
**Diferencia Total de Color ( $\Delta E$ ).** La **Figura 1** muestra el comportamiento de la  $\Delta E$ , dependiente de la temperatura y el tiempo de cocción de las rodajas de chayote. Conforme aumentan la temperatura y el tiempo, la  $\Delta E$  incrementa. Esto puede deberse a que la clorofila es convertida a feofitina durante el tratamiento térmico, siendo mayor la conversión al aumentar el tiempo, o a que ésta es degradada por hidrólisis y oxidación al incrementar la temperatura (Muftugil, 1986). La diferencia total de color se encontró entre 5.5 y 9.0. El modelo de predicción obtenido con coeficientes codificados fue:

$$\Delta E = 7.28 + 1.19T + 0.48t$$

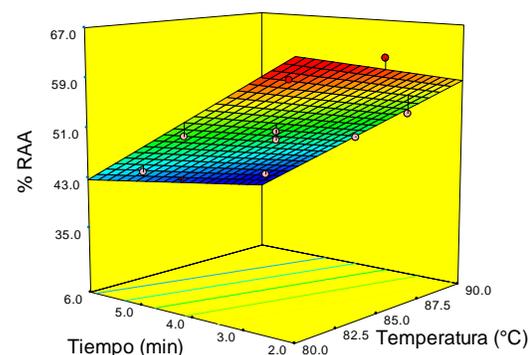
La  $\Delta E$  presentó un comportamiento lineal, con la temperatura y el tiempo; dicho modelo resultó adecuado y reproducible ya que la significancia del modelo fue  $p < 0.0001$ , no presentó falta de ajuste ( $p_{LOF} = 0.27$ ), el coeficiente de variación (C.V.) fue menor a 10 % (4.1 %) y explicó el 93.7 % ( $R^2$ ) de la variación en los datos experimentales. Este modelo permite realizar predicciones de la diferencia total de color después de la cocción de rodajas de chayote en el intervalo de temperatura y tiempo estudiados.

Peña Galván y *et al.*, (2017) obtuvieron una  $\Delta E$  de 18.1 en chayote después de un proceso de cocción de 30 min. Pellegrini y *et al.*, (2010) reportaron una  $\Delta E$  de 12.8 para brócoli, 9.9 para col de brúcelas y 11.3 para coliflor, con tiempos de escaldado de 8, 10 y 10 min, respectivamente, similares a los obtenidos en esta investigación. Muftugil (1986) reportó una  $\Delta E$  de 11.2 para ejotes cocidos en agua durante 3 min.

**Contenido de Ácido Ascórbico.** El parámetro nutrimental, retención de ácido ascórbico (RAA) se muestra en la **Figura 2**, los porcentajes de retención experimentales estuvieron en un intervalo de 39.2 a 63.4 %. La mayor retención se encontró a



**Figura 1** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de la temperatura y tiempo sobre la diferencia total de color ( $\Delta E$ , respecto al fresco) después de la cocción de rodajas de chayote.



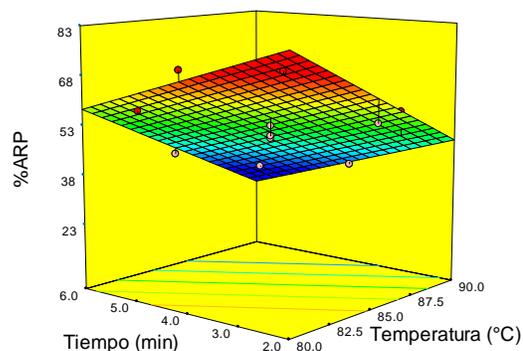
**Figura 2** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de la temperatura y tiempo de cocción sobre la retención de ácido ascórbico (RAA) en rodajas de chayote.

temperaturas bajas y tiempos cortos, la que disminuye al incrementar dichos factores. Cruz y *et al.*, (2008) indican que la pérdida de ácido ascórbico durante el procesamiento térmico en agua puede ser atribuida a su solubilidad (proceso de lixiviación) y a que este nutrimento no es estable a altas temperaturas. El modelo de predicción codificado fue:

$$\%RAA = 50.45 - 2.56T - 7.95t$$

El modelo tiene como términos significativos la temperatura y el tiempo, es reproducible ya que la significancia del modelo fue  $p < 0.0001$ , no presentó falta de ajuste ( $p_{LOF} = 0.75$ ), tuvo un C.V. de 4.6 % y explicó el 91.2 % de la variación total de los datos.

Selman (1994) encontró una disminución de ácido ascórbico al incrementar la temperatura y tiempos de escaldado en ejotes, siguiendo tendencias similares a las reportadas en este estudio. Yamaguchi y *et al.*, (2001) reportan RAA del 7, 35, 24 y 12 % para espárrago, brócoli, zanahoria y calabaza, respectivamente, cocinados a 100 °C por 5 min. Agüero *et al.*, (2007) reportan mayores retenciones en tiempos cortos para calabaza escaldada aún con temperaturas altas (RAA = 72 %, 90 °C, 0.13 min).



**Figura 3** Gráfico de superficie de respuesta que muestra el efecto de la temperatura y tiempo de cocción sobre la actividad remanente de peroxidasa (ARP) en rodajas de chayote.

**Actividad Remanente de Peroxidasa.** La actividad remanente de peroxidasa (ARP) se presenta en la **Figura 3**, donde se observa que depende de la temperatura y el tiempo en forma lineal. La actividad remanente oscila entre 33 y 73 %, la menor ARP se tuvo a 88.5 °C y 5.4 min. Mendoza y Herrera (2012) reportan que a temperaturas mayores a 50 °C se presentó una considerable disminución en la actividad enzimática debido a la desnaturalización de su estructura proteínica. El modelo codificado de predicción fue:

$$\%ARP = 52.69 - 11.9T - 8.08t$$

Este modelo sigue una disminución lineal al incrementar la magnitud de ambos factores, con una  $p$  del modelo  $< 0.0001$ , no presenta falta de ajuste ( $p_{LOF} = 0.32$ ), tiene un C.V. de 7.8 % y explica el 90.7 % de la dispersión de los valores experimentales.

Mendoza y Herrera (2012) así como Ricse y Cueva (2017) reportaron una tendencia a disminuir la actividad enzimática en papa al incrementar las temperaturas y tiempos de cocción. Los reportes de estos autores concuerdan con lo obtenido en este proyecto. De igual forma, Goncalves *et al.*, (2007) señalan una tendencia a disminuir la actividad enzimática de calabaza al aumentar los tiempos y temperaturas de escaldado.

## CONCLUSIÓN

Los modelos de la diferencia total de color, degradación de ácido ascórbico y actividad remanente de peroxidasa para la cocción de rodajas de chayote fueron adecuados y son reproducibles. Además, permiten detectar la forma en que la temperatura y tiempo de cocción afectan a estos parámetros de calidad. Estos modelos permitirán realizar estimaciones adecuadas de dichos parámetros de calidad en el intervalo estudiado de los factores, lo que puede facilitar la optimización del proceso de cocción de rodajas de chayote.

## BIBLIOGRAFÍA

Agüero, M., Ansorena, M., Roura, S., & del Valle C. 2007. Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *LWT*, 41, 401-407.

- Bas, D., & Boyaci, I. 2007. Modeling and Optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 836-845.
- Cadena, J., & Arévalo, M. 2010. Rescatando y aprovechando los recursos fitogenéticos de mesoamérica. *Chayote*. Volumen 1, 4.
- Castro, J., Toledo, A., Rodríguez, B., Perdomo, A., Rodríguez, E., & Díaz C. 2015. Caracterización morfológica y composición química de chayotas (*Sechium edule*) cultivadas en las Islas Canarias (España). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65, 243-253.
- Cruz, R., Vieira, M., & Silva, C. 2008. Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 483-488.
- Encarnación, S. 2006. La producción y precios del chayote en México [Tesis de Licenciatura]. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 10.
- Goncalves, E., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandao, T., & Silva, C. 2007. Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, color and texture changes of pumpkin (*Cucurbita máxima* L.) during blanching. *Journal of Food Engineering*, 81, 693-701.
- Iribe-Salazar, R., Caro-Corrales, J., Hernández-Calderón, O., Zazueta-Niebla, J., Gutiérrez-Dorado, R., Carrasco-Escalante, M., & Vázquez-López, Y. 2015. Heat transfer during blanching and hydrocooling of broccoli florets. *Journal of Food Science*, 80(12), E2774-E2781.
- Mendoza, R., Herrera, A. 2012. Cinética de inactivación de la enzima peroxidasa, color y textura en papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres condiciones de escaldado. *Información Tecnológica*, 23(4), 73-82.
- Milan, J., Gutiérrez, R., Perales, J., Cuevas, E., Ramírez, B., & Reyes, C. 2006. The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(7), 727-736.
- Moncada, L., & Gualdrón, L. 2006. Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de investigación*, 6, 179-187.
- Muftugil, N. 1986. Effect of different types of blanching on the color and the ascorbic acid and chlorophyll contents of green beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 10(1), 69-76.
- Myers, R., Montgomery, D., & Anderson, C. 2016. Design of experiments for fitting response surface. En *Response surface methodology*, editado por: Myers R.H., Montgomery D.C., & Anderson C.M. *John Wiley & Sons, Inc.*, 369-434.
- Nieto, C. 2014. Técnicas de cocción: sabor, color, textura y nutrientes a buen recaudo. *Farmacia Profesional*, 28, 15-19.
- Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Mazzeo, T., Contino, D., Gallo, M., Riso, P., Fogliano, V., & Porrini, M. 2010. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4310-4321.
- Peña, M., Sosa, M., & Cerón, A. 2017. Determinación de fenoles, flavonoides y parámetros fisicoquímicos en chayote (*Sechium edule*) procesado térmicamente. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 101-106.
- Ricse, A., & Cueva, N. 2017. Comportamiento cinético de la actividad de peroxidasa y color en papas (*Solanum tuberosum*) de dos variedades; Canchán y Perricholi, sometidas a tratamiento térmico. [Tesis de Licenciatura]. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. 43-46.
- Selman, J. 1994. Vitamin retention during blanching of vegetables. *Food Chemistry*, 49(2), 137-147.
- Yam, K., & Papadakis, S. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.
- Yamaguchi, T., Mizobuchi, T., Kajikawa, R., Kawashima, H., Miyabe, F., Terao, J., Takamura, H., & Matoba, T. 2001. Radical-Scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. *Food Science and Technology Research*, 7(3), 250-257.
- Zhang, Z., Pang, X., Xuewu, D., Ji, Z., & Jiang, Y. 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chemistry*, 90(1), 47-52.