

Modelado de inactivación de peroxidasa y degradación de vitamina C en turiones de espárrago (*Asparagus officinalis* L.) durante el escaldado

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

Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Sinaloa. Av. De las Américas s/n, Ciudad Universitaria. Culiacán Sinaloa. luis.soto1993@hotmail.com

RESUMEN: El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es una hortaliza con importantes cualidades nutrimentales, esto ha hecho que su demanda haya manifestado un incremento a nivel mundial. Sin embargo, su elevada velocidad de respiración ($60 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 5°C) lo convierte en una hortaliza con una corta vida de anaquel que requiere ser procesada para retardar su perecimiento. El escaldado tradicional consiste en la inmersión de los tejidos vegetales en agua caliente por un tiempo y temperatura determinados. Su principal objetivo es la inactivación de enzimas que degradan la calidad de los productos, pero a consecuencia hay pérdida de vitaminas, minerales y cambios de color indeseables. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue modelar la retención de actividad enzimática (RAE) y la retención de ácido ascórbico (RAA), en tres secciones diferentes de espárragos (Punta, Medio y Base). Para la obtención de modelos se utilizó un Diseño Central Compuesto Rotable. Los factores fueron temperatura ($50\text{-}90^\circ\text{C}$) y tiempo (2-6 min). Tanto la retención de ácido ascórbico como la actividad enzimática mostraron un comportamiento lineal en las tres secciones. Los modelos fueron adecuados y reproducibles, lo que permite realizar estimaciones precisas en el proceso de escaldado.

Palabras clave: Escaldado, espárrago, modelado.

ABSTRACT: The asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is a vegetable with important nutrimental quality properties, this has meant that its demand has manifested an increase, worldwide. However, its high respiration rate ($60 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a 5°C) makes it a vegetable with a short shelf life, with the need to be processed to delay its perishing. The traditional blanching involves the immersion of vegetable tissues in hot water for a certain time and temperature. Its main objective is the inactivation of enzymes that degrade the quality of the products; however, as a result, there is a loss of vitamins, minerals and undesirable color changes. Therefore, it was proposed to model the enzymatic activity retention (EAR), and the ascorbic acid retention (AAR), in three different sections of the asparagus (Tip, Medium, and Base). A rotatable Central Composite Design was used to obtain the models. The factors were temperature ($50\text{-}90^\circ\text{C}$) and time (2-6 min). Both, the ascorbic acid retention and the enzymatic activity showed a linear behavior, in all three sections. The models were adequate and reproducible, which allows making precise estimations in the blanching process.

Keywords: Blanching, asparagus, modeling.

Área: Frutas y hortalizas

INTRODUCCIÓN

El espárrago (*Asparagus officinalis* L.) es una hortaliza muy valorada a nivel global, apreciada por su sabor, bajo contenido energético y calidad nutrimental. Dado que es un producto de temporada, es necesario procesarlo para garantizar su disponibilidad durante todo el año. Técnicas de conservación como el congelado, enlatado o elaboración de conservas requieren una etapa de escaldado (Yang *et al.*, 2017).

El escaldado tradicional es un proceso aplicado a frutas y hortalizas previo a técnicas de conservación como enlatado y congelado; es por mucho el más popular debido a su simplicidad y bajo costo. Su principal propósito es la inactivación de enzimas. Sin embargo, el proceso conlleva ciertos efectos negativos en la calidad del producto, como cambios de color indeseables, pérdida de textura y de componentes nutrimentales (Zheng *et al.*, 2011).

El modelado es una técnica que provee una representación matemática del fenómeno real. Si estos modelos son precisos, es posible predecir el comportamiento de las variables en diferentes condiciones

de proceso, y con ello, encontrar las condiciones en las que las respuestas sean las mejores, con base en un criterio preestablecido. En este trabajo se modeló la retención de actividad enzimática y la retención de ácido ascórbico en tres secciones del espárrago en función de la temperatura y el tiempo de escaldado. Si el modelado es adecuado se podrán realizar predicciones de las variables en el intervalo de condiciones contempladas para este estudio.

La Peroxidasa es reconocida como una de las enzimas más termoresistentes, es por ello que, es utilizada como un índice de la drasticidad del proceso de escaldado. Si esta enzima es inactivada, otras enzimas responsables de degradación de tejidos también serán inactivadas.

La Vitamina C es un componente termolábil presente en alimentos que, en procesos térmicos como el escaldado, representa un indicador de la pérdida de otras vitaminas. Así mismo, actúa como un criterio válido para otros componentes nutricionales y sensoriales, como pigmentos y sustancias aromáticas. El conocimiento de su degradación puede ser muy útil para la determinación de las condiciones de operación de modo que se logre asegurar la máxima retención de estos compuestos (Esteve *et al.*, 1999).

El objetivo de este estudio fue obtener modelos que estimaran de manera adecuada la retención de actividad enzimática y de ácido ascórbico durante el escaldado en tres diferentes secciones de turiones de espárrago (punta, medio y base). Los resultados mostraron que la sección punta es la más susceptible tanto a la inactivación enzimática como a la degradación de Vitamina C. Los modelos obtenidos a partir de los datos experimentales resultaron ser adecuados y reproducibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como materia prima se empleó espárrago obtenido de un mercado local, con calibre uniforme, puntas cerradas y libres de defectos. Estos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio y almacenados en refrigeración hasta su uso.

El proceso de escaldado se realizó en un baño termostático (Thermo Fisher/Precision, 9500, EUA) por inmersión en agua, acorde a la temperatura y tiempo determinados en el diseño experimental. Una vez escaldados, los espárragos enteros fueron transferidos a un baño de agua-hielo a 4 °C e inmediatamente se evaluaron las variables experimentales (Pinchao *et al.*, 2016).

La determinación de Peroxidasa se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Zhang *et al.*, (2006). Se elaboró una cinética de reacción en la cual se monitoreó el cambio de coloración a 470 nm. Dicho cambio de coloración es generado por la formación de tetraguayacol, en una mezcla inicial de buffer de fosfato de sodio (0.02 M, pH=6.5), guayacol, H₂O₂ y extracto enzimático. El resultado se expresó como porcentaje de retención de actividad enzimática (%RAE).

La cuantificación de vitamina C se llevó a cabo siguiendo la técnica espectrofotométrica descrita por Dürüst *et al.*, (1997). Inicialmente, se realizó una curva de calibración con estándares a diferentes concentraciones. El contenido de vitamina C se determinó observando el cambio de coloración, a 520 nm, producido por la acción reductora del ácido ascórbico sobre el reactivo de coloración DCPI (2,6-diclorofenolindofenol). El resultado se expresó como porcentaje de retención de ácido ascórbico (%RAA).

Tanto las determinaciones de Peroxidasa como de vitamina C, se realizaron en tres secciones diferentes del turión: punta, medio y base.

El diseño experimental consistió en un Diseño Central Compuesto Rotable con dos factores: temperatura (50 a 90 °C) y tiempo (2 a 6 min), con cinco niveles de variación, dando un total de 13 tratamientos (Myers *et al.*, 2016; Montgomery 2005).

Se desarrolló un análisis de regresión sobre los datos experimentales para generar los modelos de predicción. Los modelos, cuyos términos de regresión resultaron significativos ($p < 0.05$), debieron cumplir con los criterios de $p_{\text{modelo}} < 0.05$, $R^2 \geq 80\%$, C.V. $< 10\%$ y pasar la prueba de falta de ajuste ($p_{\text{LOF}} \geq 0.05$), para ser considerados adecuados y reproducibles (Montgomery 2005). Para el análisis de datos se utilizó el paquete computacional Desing Expert 7.0.

RESULTADOS

En la **Figura 1** se muestra el comportamiento del porcentaje de retención de actividad enzimática, para la sección punta del espárrago, dependiente de la temperatura y el tiempo de escaldado. Se obtuvo una menor retención a altas temperaturas y largos tiempos de escaldado. Los porcentajes de retención se encontraron entre 2.3 y 87.2 %. El modelo de predicción con coeficientes codificados fue:

$$\%RAE = 42.02 - 26.16 T - 17.98 t$$

Resultaron significativos los términos de temperatura y tiempo. No presentó falta de ajuste ($p_{LOF} = 0.70$), el coeficiente de variación fue de 9.3 %. El modelo explicó el 98 % de la variación de los datos experimentales.

En el gráfico de superficie (**Figura 2**) para el porcentaje de retención de actividad enzimática en la sección medio del espárrago, mostró que las menores retenciones se encontraron a altas temperaturas y largos periodos de tiempo de proceso. Los porcentajes de retención se hallaron entre 0.7 y 45.8 %. El modelo codificado de predicción fue:

$$\%RAE = 22.78 - 16.19 T - 3.07 t$$

En el modelo, los términos de temperatura y tiempo resultaron significativos, no presentó falta de ajuste ($p_{LOF} = 0.78$), tuvo un coeficiente de variación de 7.5 %, y el modelo logró explicar el 98 % de la variación de los datos experimentales.

En la **Figura 3** se presenta el gráfico de superficie para el porcentaje de retención de actividad enzimática para la sección base. La mayor retención de actividad enzimática se logra a bajas temperaturas y tiempos cortos, y a medida que la temperatura y el tiempo aumentan se logra disminuir el porcentaje de retención. La retención de actividad enzimática se encontró entre 0.3 y 27.2 %. El modelo codificado de predicción resultante fue:

$$\%RAE = 12.23 - 9.15 T - 3.11 t$$

La respuesta para esta sección muestra un comportamiento lineal; tanto la temperatura como el tiempo resultaron ser significativos. El modelo no presentó falta de ajuste ($p_{LOF}=0.62$), el coeficiente de variación fue de 9.6 %, y logró explicar hasta el 98 % de la variación de los datos experimentales.

En la sección punta (**Figura 4**) se observaron mayores porcentajes de retención de vitamina C a bajas temperaturas y cortos periodos de tiempo de escaldado. A medida que la

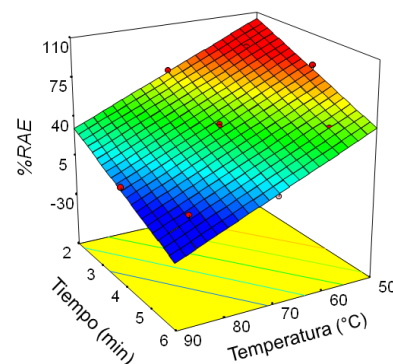


Figura 1 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de actividad enzimática. Sección punta.

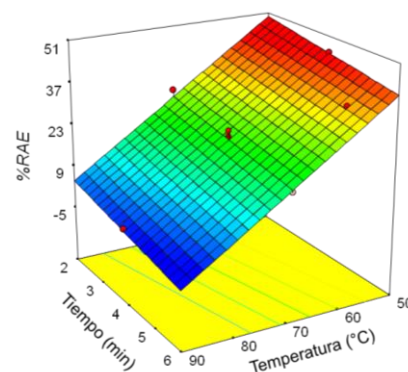


Figura 2 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de actividad enzimática. Sección medio.

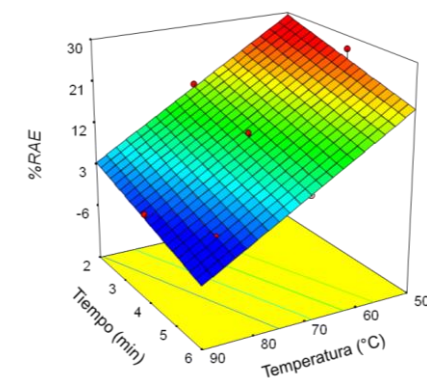


Figura 3 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de actividad enzimática. Sección base.

temperatura y el tiempo aumentan, los porcentajes de retención disminuyen. La retención de vitamina C en la sección punta se encontró en el intervalo 22.4 a 84.8 %. El modelo de predicción codificado fue:

$$\%RAA = 53.56 - 21.12 T - 5.37 t$$

Resultaron significativos la temperatura y el tiempo. Dicho modelo no presentó falta de ajuste ($p_{LOF} = 0.31$), tuvo un coeficiente de variación de 9.5 % y explicó el 93 % de la variación en la respuesta.

En la sección medio (**Figura 5**), el mayor porcentaje de retención se localizó a bajas temperaturas y tiempos cortos, y mostró una disminución a medida que la temperatura y el tiempo se incrementaron. La retención de vitamina C estuvo entre 25.8 y 94.7 %. El modelo de predicción codificado fue:

$$\%RAA = 58.19 - 24.07 T - 8.27 t$$

Resultaron significativos los términos de tiempo y temperatura. El modelo no presentó falta de ajuste ($p_{LOF} = 0.41$), tuvo un coeficiente de variación de 8.2 %, y explicó el 96 % de la variación.

En la sección base (**Figura 6**), se observó un comportamiento similar a las otras dos secciones: mayores porcentajes de retención a bajas temperaturas y tiempos cortos de procesamiento. De igual manera, aumentos en tiempo y temperatura de escaldado resultaron en una disminución en el porcentaje de retención. La retención de vitamina C se encontró en un rango de 30.1 a 97.9 %. El modelo codificado de predicción fue:

$$\%RAA = 61.60 - 23.24 T - 5.41 t$$

En el modelo, tiempo y temperatura en su forma lineal resultaron significativos. No presentó falta de ajuste ($p_{LOF} = 0.17$), tuvo un coeficiente de variación de 7.8 %, y explicó el 95 % de la variación de los datos.

DISCUSIÓN

Los porcentajes de retención de actividad enzimática variaron en las tres secciones estudiadas. La punta fue la región en la que se logró reducir en mayor medida la actividad enzimática (0.3 %) y la base la que presentó mayor retención de actividad (2.3 %). Wang y Luh (1983) explican que la distribución de una enzima varía dentro de la misma hortaliza, sobre todo si existen diferencias estructurales o químicas. Estas diferencias se traducen en diferencias en la velocidad de penetración de calor y en la termoresistencia de las enzimas.

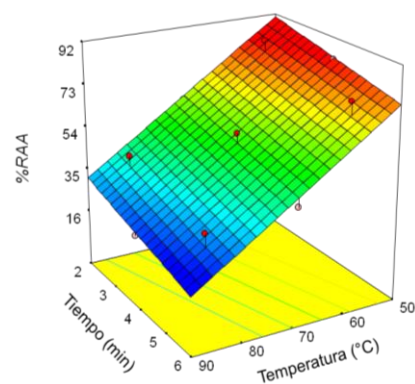


Figura 4 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de ácido ascórbico. Sección punta.

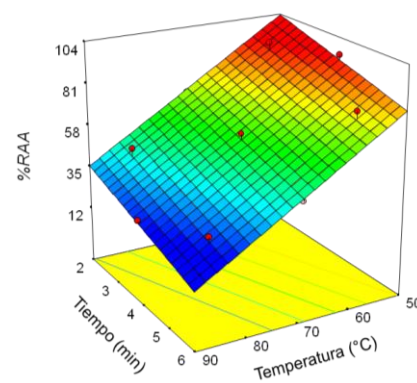


Figura 5 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de ácido ascórbico. Sección medio.

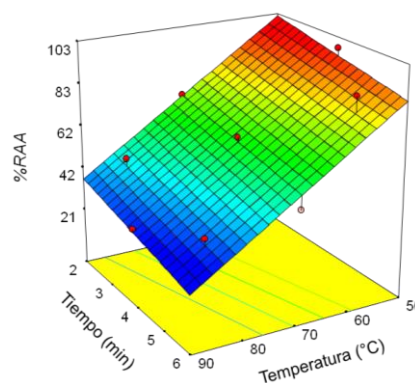


Figura 6 Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre porcentaje de retención de ácido ascórbico. Sección base.

Ganthavorn *et al.*, (1991) redujeron hasta un 46 % la retención de actividad enzimática de peroxidasa en turiones de espárrago tras someterlos a 10 minutos de escaldado a 60 °C, dicho resultado es similar a los encontrados en este estudio.

En este trabajo, los modelos que describen la degradación de vitamina C durante el escaldado mostraron un comportamiento lineal en las tres secciones; similarmente reportes hechos por diversos autores coinciden en que la degradación de vitamina C es bien descrita por este tipo de modelos (Frias y Oliveira 2001; Zheng *et al.*, 2011). Al contrastar el porcentaje de retención de las tres secciones se puede observar que hay una menor retención en la punta del turión (84.8 %). Zheng Lu (2011) observaron el mismo comportamiento y concluyeron que la sección punta es la más lábil a la pérdida de vitamina C que el resto del turión durante tratamientos térmicos. Esto probablemente se deba a que este segmento presenta una textura más blanda, lo cual incrementa la lixiviación y presenta una menor resistencia a la penetración de calor.

CONCLUSIONES

Los modelos de retención de actividad enzimática y retención de ácido ascórbico durante el escaldado de turiones de espárrago resultaron adecuados y repetibles. Debido a ello, estos modelos permiten estimar el efecto de la temperatura y el tiempo de escaldado sobre las variables de respuesta. Estos modelos pueden predecir de manera adecuada el comportamiento de las variables estudiadas, lo que facilitará la optimización del proceso de escaldado de turiones de espárrago.

BIBLIOGRAFÍA

- Dürüst, N., Sümengen, D., & Dürüst, Y. 1997. Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2085-2087.
- Esteve, M., Frígola, A., Martorell, L., & Rodrigo, C. 1999. Kinetics of green asparagus ascorbic acid heated in a high-temperature thermoresistometer. *European Food Research & Technology*, 208, 144-147.
- Frias, J., & Oliveira, J. 2001. Kinetic models of ascorbic acid thermal degradation during hot air drying of maltodextrin solutions. *Journal of Food Engineering*, 4, 255-262.
- Ganthavorn, C., Nagel, C., & Powers, J. 1991. Thermal Inactivation of Asparagus Lipoxygenase and Peroxidase. *Journal of Food Science*, 56(1), 47-49.
- Montgomery, D. 2005. Response Surface Methods and Designs. En Design and Analysis of Experiments, editado por: Jennifer Welter, John Wiley & Sons, Inc., 413-435.
- 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.
- Pinchao, Y., Andrade J., & Osorio, O. 2016. Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 4: Optimización del proceso de Escaldado de Arvejas (*Pisum sativum* L.) Variedades Sureña y Andina en base a la Inactivación de Peroxidasa. *Información Tecnológica*, 27(4), 43-52.
- Wang, Z., & Luh, B. 1983. Characterization of Soluble and Bound Peroxidase in Green Asparagus. *Journal of Food and Science*, 48, 1412-1421.
- Yang, G., Hyang, J., Namiesnik, J., Barasch, D., & Nemirovski, A. 2017. Detection of bioactive compounds in organically and conventionally grown asparagus spears. *Food Analytical Methods*, 11(1), 309-318.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A., & Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17(10), 524-534.
- Zheng, H., Fang, S., Lou, H., Chen, Y., & Jiang, L. 2011. Neural network prediction of ascorbic acid degradation in green asparagus during thermal treatments. *Expert System Applications*, 38, 5591-5602.
- Zheng, H., & Lu H. 2011. Effect of microwave pretreatment on the kinetics of ascorbic acid degradation and peroxidase inactivation in different parts of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during water blanching. *Food Chemistry*, 128, 1087-1093.