

ESTUDIO TRANSITORIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEL PROCESO DE ESCALDADO DE BRÓCOLI

Rico Hernández, Paulina (1), Alfaro Ayala, Jorge Arturo (2)

1 [Lic. Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [p.ricohernandez@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ja.alfaroayala@ugto.mx]

Resumen

El trabajo de investigación consiste en estudiar la transferencia de calor en el proceso de escaldado del brócoli, tomando dos tamaños de floretes (3 cm y 6 cm) a la temperatura ambiente, es decir, cuando el brócoli llega del campo, y por otra parte, a la temperatura de 8°C cuando se encuentra en el cuarto de conservación, el escaldado es realizado en dos maneras, una es en agua a una temperatura de 95°C por 4 min, y la otra es en vapor a 105°C por 3.25 min. Los resultados obtenidos son que el brócoli de 3cm a ambas temperaturas de 8°C y 25°C la transferencia de calor en el escaldado en agua se da más rápido, en cambio en el brócoli de 6 cm a 8°C la transferencia de calor es más lenta que a 25°C, así mismo sucede con el vapor se obtienen las mismas temperaturas en el centro del brócoli, pero a un menor tiempo, lo que se puede concluir es que con el escaldado en vapor se obtienen las mismas temperaturas pero con tiempos menores, como se puede observar en los contornos obtenidos de la simulación que la geometría y el tamaño son importantes para el escaldado en ambos métodos.

Abstract

The investigation consists of studying the heat transfer in the broccoli scalding process, taking two sizes of florets (3 cm and 6 cm) at room temperature, that is, when the broccoli arrives from the field, and on the other hand, at the temperature of 8 ° C when it is in the conservation room, the blanching is done in two ways, one is in water at a temperature of 95 ° C for 4 min, and the other is in steam at 105 ° C for 3.25 min. The results obtained are that the broccoli of 3cm at both temperatures of 8 ° C and 25 ° C the heat transfer in the blanching in water is given faster, in contrast in broccoli from 6 cm to 8 ° C the heat transfer it is slower than at 25 ° C, the same happens with the steam, the same temperatures are obtained in the center of the broccoli, but at a shorter time, what can be concluded is that with the steaming in steam the same result is obtained but with shorter times, as can be seen in the contours obtained from the simulation that geometry and size are important for blanching in both forms.

Palabras Clave

Escaldado 1; Brócoli 2; Simulación 3; Conducción 4; Estado transitorio 5.

INTRODUCCIÓN

Escaldado

El escaldado es un tratamiento térmico corto que se da a los alimentos ya sea en agua o vapor. Este proceso se da entre 70°C - 105°C, por un tiempo determinado y luego se enfría el producto rápidamente a una temperatura cercana a la ambiental, para así evitar que el producto alcance la pre cocción y en algunos casos la cocción [1]. El vapor se ha convertido en una alternativa frente al agua caliente para el escaldado ya permite obtener menores tiempos de escaldado pero consume una gran cantidad de energía y es una costosa operación comercial en términos energéticos. [2]

Tiempos de escaldado

El tiempo de escaldado depende de los siguientes parámetros: temperatura del baño de escaldado, temperatura inicial y final del producto, tamaño y geometría de producto y propiedades termofísicas del producto, tales como, calor específico, conductividad térmica y densidad. Los tiempos y temperaturas de escaldado sugeridos en la literatura para diversos productos varían en un amplio rango dependiendo del tamaño, para vegetales como el brócoli el tiempo se encuentra de 2- 4 min. [3]

Transferencia de calor

En este trabajo solo se abordará la transferencia por conducción que ocurre cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, ya que presenta transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. [4]

Ecuación de transferencia de calor por conducción en estado transitorio y ecuación de la energía

La ley básica que da relación entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura, es atribuida al físico francés Joseph Fourier quien desarrolló esta ley basándose en observaciones experimentales (Ecuación 1), la ecuación de la energía (Ecuación 2), La deducción de la ecuación global de transferencia de calor en estado transitorio se puede obtener tomando un elemento diferencial de volumen y haciendo un balance de energía en el elemento de volumen en diferentes geometrías como paralelepípedo (a), esfera (b) y cilindro (c).

(Ecuación 3).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ecuacion 1})$$

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \quad (\text{Ecuacion 2})$$

Para paralelepípedo: $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$ (a)

Para esfera: $\frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$ (b) (Ecuacion 3)

Para cilindro: $\frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$ (c)

Propiedades termofísicas de los alimentos

Propiedades tales como la conductividad térmica, calor específico, y densidad, se requieren en el análisis de la transferencia de calor en los procesos de alimentos y los equipos de procesamiento. Así que las propiedades termofísicas del producto están calculadas por medio de correlaciones empíricas de la literatura [5], debido a que calcula las propiedades termofísicas basándose en la composición proximal y la temperatura de evaluación.

Generalidades del brócoli

El nombre científico es *Brassica oleracea* L. [6]. La composición del brócoli aproximadamente es de 90.69% de agua, 2.98% proteína, 0.35% grasas, 5.24% carbohidratos, 3% fibra y 0.92% minerales [7]. El brócoli en la industria es cortado a diferentes tamaños como es el corte “spears” que de largo va de 9 a 15 cm, “florete” de largo de 3 a 6 cm, “cut” son tallos cortos de largo de 2 a 5 cm, entre otros.

MATERIALES Y MÉTODO

Para la realización de este proyecto, se trabajó en un computador Dell Precision. Procesador Intel core17 - 7700HQ@2.80 GHz con 16GB de ram.

Método

Se basará en las siguientes suposiciones: donde la transferencia de calor ocurre sólo por conducción en el interior del brócoli, el brócoli inicialmente tiene una distribución de temperaturas uniforme y es expuesta súbitamente al medio de calentamiento, las propiedades termofísicas del alimento (ρ , C_p , k) se consideran constantes en el rango de temperaturas evaluado, el alimento es considerado isotrópico y homogéneo y la desactivación térmica de las enzimas, indicadoras de la eficiencia del escaldado, no se tomaran en cuenta en este trabajo.

Calculo de las propiedades termofísicas del brócoli

En la TABLA 2 se muestran las propiedades termofísicas que son importantes para el estudio de la transferencia de calor a las temperaturas de 25 y 8°C, se calcularon con las correlaciones y la composición del brócoli.

Tabla 2: Propiedades termofísicas del brócoli a 25 y 8 °C

| | K (W/m K) | ρ (kg/m ³) | C_p (KJ/kg K) |
|------|------------|-----------------------------|-----------------|
| 25°C | 0.57800825 | 1002.242564 | 3.96398673 |
| 8 °C | 0.55180524 | 1004.542203 | 3.9592289 |

Software para la simulación de la transferencia de calor en el brócoli

- **Ansys:** Este software desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real, problemas complejos y presta soporte a la industria. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.
- **Geometría en 3D de brócoli y mallado:** Se descargó una geometría de brócoli en 3D (IMAGEN 2) de la página thingiverse.com (<https://www.thingiverse.com/>), se escaló 3cm y 6cm con un programa llamado Blender® (software libre). La geometría no era un sólido por lo que en Ansys/ Spaceclaim se convirtió en sólido para poder trabajar la conducción. Para hacer el análisis de transferencia de calor a la geométrica en 3D, con el software de Ansys se realiza el mallado que es convertir el dominio irregular 3D en un número finito de partes llamadas elementos o celdas que forman una serie de puntos interconectados entre sí llamados nodos como se muestra en la IMAGEN 3.

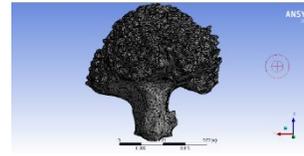
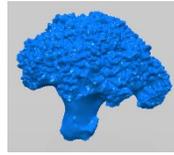


IMAGEN 2: Modelo en 3D de un florete de brócoli **IMAGEN 3: Modelo del brócoli en 3D mallado con Ansys**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó la simulación en las geometrías de 3 cm y 6 cm que son las medidas mínimas y máximas respectivamente, a temperaturas de 25 y 8°C que son las temperaturas aproximadas a las que se introduce brócoli al escaldado. En la IMAGEN 4 se someten a escaldar en agua a 95°C por 4 min, donde se puede observar como penetra el calor en el brócoli y las diferentes temperaturas que se presentaron desde la superficie hasta el interior de los floretes de 3 y 6 cm. La zona azul es la que presenta el menor rango de temperaturas, y contiene el punto de más lento calentamiento. Al hacer una comparación en las geometrías se puede apreciar que hay una gran diferencia entre un brócoli pequeño y el grande, en el caso a) y b) se observa que el brócoli solo alcanza una temperatura de 34°C por el centro y el brócoli pequeño a los 4 min alcanza ya los 86°C, si se compara el caso a) y c) la temperatura en el centro es más baja al introducir el brócoli a los 8°C lo que quiere decir que al tiempo de 4 min el brócoli solo alcanza 18°C por lo que no está escaldado completamente como lo es en un brócoli de 3 cm, en los casos b) y d) se puede analizar que a pesar de la baja temperatura del brócoli a 8°C alcanza una temperatura de 81°C, el tamaño del brócoli está a su favor.

En la IMAGEN 5 se muestra el comportamiento de cocción en el centro del brócoli durante 20 min en agua a 95°C, a) un brócoli de 6 cm se observa que a los 16 min alcanza una temperatura de 86°C en el centro como en el caso b) el brócoli de 3 cm alcanza los 86°C a los 4 min.

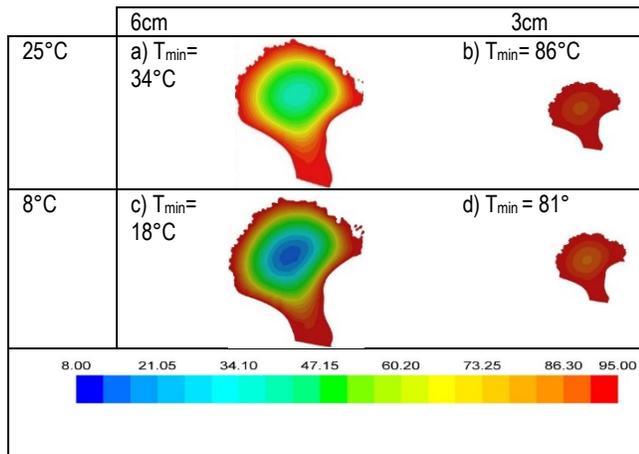


IMAGEN 4: Escaldado en agua a 95°C por 4 min

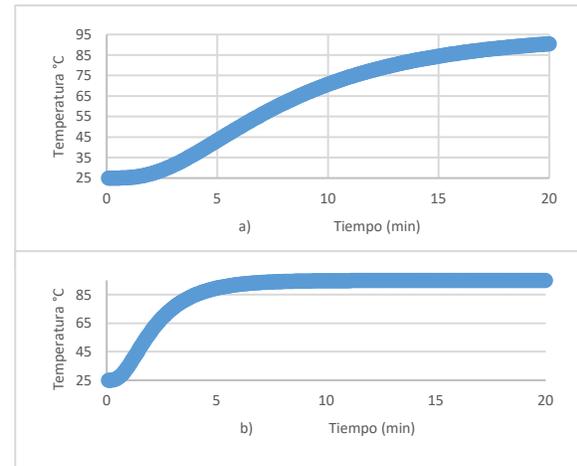


IMAGEN 5: Escaldado en agua a 95 por 20 min: caso a) y b)

En la IMAGEN 6 se realizó el mismo proceso que en la simulación anterior pero en este caso con un escaldado en vapor de agua a una temperatura de 105°C y a 3.25 min, las temperaturas salieron similares. Lo que se puede ver que a menor tiempo con el vapor se alcanzan temperaturas similares que con escaldado en agua. En la IMAGEN 7 se muestran los comportamientos de la cocción en vapor a 105°C en el centro del brócoli, en a) un brócoli de 6 cm se obtiene de la gráfica que se necesitan aproximadamente 12 min para alcanzar una temperatura de 86 °C y en b) el brócoli de 3 cm se obtiene la misma temperatura a los 3.25 min.

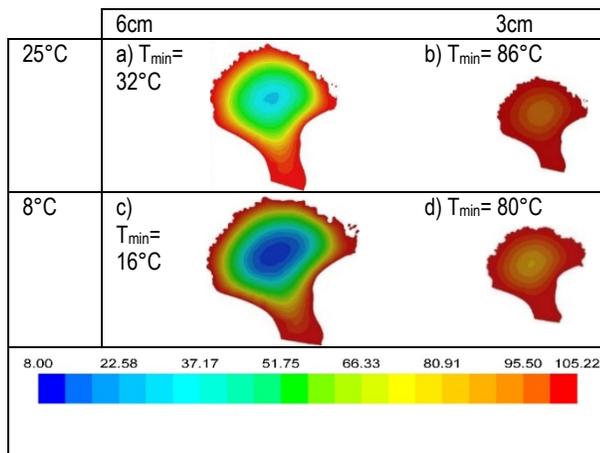


IMAGEN 6: Escaldado en vapor de agua a 105°C por 3.25 min

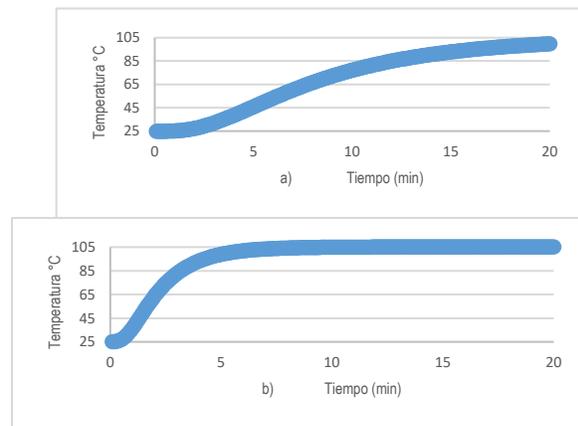


IMAGEN 7: Escaldado en vapor de agua a 105°C por 3.25 min

Se esperaban los resultados que en la geometría de 6cm la transferencia de calor fuera más lenta en comparación que el brócoli de 3 cm, se obtuvo que la diferencia por el tamaño es significativa.

No se esperaba que en la cabeza del brócoli estuviera la diferencia de temperatura, si no en el tallo, por la diferencia de diámetros que tiene el tallo a comparación de las ramitas de la cabeza, la geometría obtenida no permitió que esto se apreciará en la simulación de la transferencia de calor, en cambio la geometría era completamente solida sin huecos por lo que la diferencia de temperatura se dio en el centro de la cabeza del brócoli.

CONCLUSIONES

La transferencia de calor se da con menor tiempo en el escaldado con vapor (3.25 min) que con agua (4min), en la geometría de 3 cm se da más rápido la transferencia de calor, en el caso del tamaño de 6cm a escaldar a 105 °C y 95 °C se requieren 12 min y 16 min respectivamente para alcanzar una temperatura de escaldado como el brócoli de 3 cm. Los resultados obtenidos en comparación del agua a 95°C y el vapor a 105 °C demostraron un buen ajuste al disminuir de 4 min a 3.25 para el escaldado en vapor. El software puede utilizarse para caracterizar el escaldado del brócoli reduciendo el consumo de energía.

REFERENCIAS

- [1] Fellows, P. (1988). Food processing technology: principles and practice. Ellis Horwood. Chichester, pp.(55)
- [2] Woodroof, J.G. (1988). Preparing vegetables for processing. In: Commercial vegetables processing. AVI Book, Van Nostrand Reinhold. New York. pp: (175- 192).
- [3] Judy A. Harrison, Ph.D., and Elizabeth L. Address, Preserving Food, The University of Georgia and Ft. Valley State University, the U.S. Department of Agriculture and counties of the state cooperating, Recuperado; https://nchfp.uga.edu/publications/uga/uga_freeze_veg.pdf, (19/07/2018)
- [4] Perez, M.E., Sosa, M.E., (2013) Mecanismo de transferencia de calor que ocurre en tratamientos térmicos de alimentos, Temas Selectos de Ingeniería en alimentos. 38
- [5] Choi, Y. y Okos, M.R. (1986). Effects of temperature and compositions on the thermal properties of foods. In: Food engineering and process application. Vol I. Transport phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P. (eds). Elsevier Applied Science Co., Inc. New York. pp. (93-101)
- [6] Sampayo, E. (2011), Determinación de fibra cruda en diez especies vegetales a diferentes tiempos de cocción, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 21
- [7] Uzi, M.G, El cultivo del broccoli, Universidad Autonoma de Chapingo, Recuperado: <https://es.scribd.com/document/161814682/GENERALIDADES-DEL-BROCOLI> (19/07/2018).