

CINÉTICA DE COCCIÓN DE VEGETALES

López, R.; Abril, J. y A. Casp

Tecnología de Alimentos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

Universidad Pública de Navarra

Campus de Arrosadía 31006 – Pamplona (Spain). E-mail: acasp@unavarra.es

RESUMEN

Cuando se somete un alimento a procesamiento térmico se produce un gran número de cambios en su composición química, cambios que van a provocar modificaciones en su textura.

La composición química de los alimentos es muy compleja, y no es posible cuantificar cada uno de los cambios que tienen lugar como resultado del calentamiento ni relacionar cada uno de ellos con las modificaciones de las propiedades físicas que se perciben cuando se observa el proceso.

Sin embargo, se puede estudiar la cinética de la variación de la textura de los alimentos por medio de una aproximación sencilla, pero muy útil, como es expresar los resultados en términos de constante de velocidad de reacción aparente, de forma análoga a como se realiza para el estudio de la destrucción térmica de microorganismos.

El estudio se ha realizado con guisantes, efectuando distintas cocciones en agua, a temperaturas constantes comprendidas entre 65 y 95°C.

De cada una de las muestras cocidas se ha medido la textura de forma instrumental, y se representa el logaritmo de los valores de la fuerza obtenidos frente a los tiempos de cocción, para cada una de las temperaturas, se puede así trazar una recta. La inversa de la pendiente de la recta ajustada es el valor del parámetro D del modelo de Bigelow, correspondiente a la temperatura ensayada.

Representando los valores del logaritmo de D contra su correspondiente temperatura, se puede ajustar otra recta y obtener el valor del parámetro z , que es la inversa de la pendiente, que junto con el valor D caracterizará la cinética de cocción del producto.

Palabras clave: cocción, tratamientos térmicos, textura, propiedades físicas.

COOKING KINETICS OF VEGETABLES

ABSTRACT

When a food support a thermal treatment a great number of changes may occur in its chemical composition, changes that will cause modifications in its texture.

The chemical composition of the foods is very complex, and it isn't possible to quantify each one of changes that they take place as a result of the heating neither to establish the relationship of each one of them with the modifications of the physical properties that are perceived when one observes the process.

However, we can study the kinetics of the variation of the texture of the foods by means of a simple, but very useful approach, like it's to express the results in terms of constant of speed of apparent reaction, in way similar to the study of the thermal destruction of microorganisms.

The study has been carried out with peas, cooking them in water at constant temperatures between 65 and 95 °C.

The texture has been measured in the cooked samples by instrumental way, and the logarithm of the values of the force is represented in front of the cooking time, for each temperature. The inverse of the slope of the adjusted straight line is the D parameter in the Bigelow's model.

Representing the values of the logarithm of D against their corresponding temperature, you can adjust another straight line and to obtain the value of the parameter z , that together with the value D will characterize the kinetics of cooking of peas.

Key words: cooking, thermal treatments, texture, physical properties

INTRODUCCIÓN

Las modificaciones en las características texturales de los alimentos son el resultado de los cambios producidos en su composición química durante su procesado, por lo general, la mayoría de los alimentos se reblandecen durante esta fase. Por lo tanto, el conocimiento de este fenómeno de reblandecimiento se podrá utilizar en el diseño de los sistemas de proceso. En particular, el conocimiento de la cinética de reblandecimiento de un producto es útil para el establecimiento de las condiciones más apropiadas para su tratamiento térmico.

Los cambios producidos en la población microbiana y en la concentración de algunos componentes (por ejemplo, la pérdida de vitaminas y la degradación de la clorofila) en los alimentos durante su procesado térmico han sido ampliamente estudiados. El ablandamiento de los alimentos en general, y la cinética de este ablandamiento, en particular, han recibido mucha menor atención. Hoyem y Kvale (1977) hicieron una de las primeras revisiones de lo publicado hasta la fecha, aunque la mayor información sobre los trabajos sobre el estudio de la cinética de ablandamiento por calor de los alimentos, se puede obtener de las publicaciones de Lund (1975, 1982 y 1983) y de Rao y Lund (1986).

El objetivo de este trabajo es el estudio de la cinética de cocción de guisantes cuantificando los parámetros que la definen.

MODELOS CINÉTICOS

Cuando se somete un alimento a un procesado térmico tienen lugar un gran número de cambios en su composición química. A causa de su compleja composición química, no es posible cuantificar cada uno de los cambios que tienen lugar como resultado del calentamiento ni relacionar cada uno de ellos con los cambios físicos, como el ablandamiento, que se perciben al observar el proceso. Sin embargo, para el estudio de la cinética de la variación de la textura de los alimentos se puede emplear una aproximación sencilla pero muy útil, como es expresar los resultados en términos de su constante de velocidad de reacción aparente, de forma análoga a como se realiza para el estudio de la destrucción térmica de microorganismos de acuerdo con el modelo de Bigelow (Ball y Olson, 1957)

$$\frac{dP}{dt} = -k_n \cdot P^n$$

donde P es la propiedad empleada para caracterizar el ablandamiento, t es el tiempo de proceso, k es la constante de velocidad de reacción y n es el orden de la reacción. El signo negativo de esta ecuación indica que la magnitud de la

propiedad que se mide a temperatura constante decrece con el tiempo. Para los materiales que se reblandecen con el calentamiento, esto es cierto cuando la propiedad medida es la fuerza de compresión, por ejemplo.

Si la dependencia de P con respecto del tiempo es de primer orden ($n=1$) se puede definir un parámetro D , que representará el tiempo en minutos que deberá transcurrir para que el valor de la propiedad medida recorra un ciclo logarítmico, a temperatura constante. Es decir, el parámetro D será el inverso de la pendiente de la recta obtenida al representar en coordenadas semilogarítmicas el cambio de la propiedad P con respecto del tiempo, a una determinada temperatura:

$$\log P = \log P_0 - \frac{t}{D}$$

donde P_0 es el valor de la propiedad considerada, antes de aplicarse el tratamiento térmico. El signo negativo indica que el valor de esta propiedad disminuye con el tiempo de tratamiento.

El valor del parámetro D caracteriza la termorresistencia de la propiedad medida en un determinado alimento a una temperatura definida, y su significado práctico es el siguiente:

- Cuando se mantiene un alimento a una temperatura constante durante un tiempo de D minutos, el valor de la propiedad considerada disminuye en un 90%. Si el tratamiento se alarga durante otros D minutos, el valor de dicha propiedad se reducirá al 90% de su valor residual y así sucesivamente.
- Conociendo el valor parámetro D de un alimento para una propiedad a una temperatura definida, y el número de reducciones decimales que queremos conseguir en dicha propiedad, podremos determinar cual es la duración del tratamiento a aplicar a esa temperatura, ya que $t = n \cdot D$, siendo n en este caso el número de reducciones decimales requeridas.

Como D es la reducción decimal a una temperatura determinada, podremos calcular las distintas D para varias temperaturas de proceso. Si se representan los valores de las D obtenidas contra la temperatura de proceso, en coordenadas semilogarítmicas, se obtiene también una relación lineal, por lo que se puede definir un parámetro z (en grados centígrados) cuyo valor corresponderá también al paso de la recta por un ciclo logarítmico, o lo que es lo mismo a la inversa de la pendiente de la recta:

$$\log D = a - \frac{T}{z}$$

donde a será la ordenada en el origen y T la temperatura de tratamiento.

La ecuación anterior se puede generalizar para cualquier tiempo teniendo en cuenta que D es un tiempo específico y que es cierto que $t = n \cdot D$, por lo tanto:

$$\log t = A - \frac{T}{z} \quad (1)$$

siendo $A = a + \log n$.

Esta es la ecuación del conjunto de puntos (parejas de *tiempos* y *Temperaturas*) que presentan la misma acción frente a la propiedad medida en el alimento considerado.

Por lo tanto, el efecto sobre la propiedad estudiada de un determinado tratamiento vendrá definido por las condiciones de tiempo-Temperatura empleadas y por el parámetro z característico de la propiedad y del alimento

estudiado. Así será sencillo encontrar tratamientos equivalentes a otro conocido, a temperaturas o tiempos distintos a los empleados en el tratamiento de referencia, simplemente tendrán que cumplir las condiciones expresadas en la ecuación (1) o lo que es lo mismo, pertenecer a esa misma recta. Si se parte de la ecuación general (1) y se consideran las coordenadas de un punto conocido t^* y T^* , para este punto será cierto que:

$$\log t^* = A - \frac{T^*}{z}$$

despejando A y sustituyéndola en (1) tendremos:

$$\log t = \log t^* + \frac{T^*}{z} - \frac{T}{z} = \log t^* - \frac{T - T^*}{z}$$

$$\log t - \log t^* = -\frac{T - T^*}{z}$$

$$\frac{t}{t^*} = 10^{-\frac{T - T^*}{z}}$$

$$t = t^* \cdot 10^{-\frac{T - T^*}{z}}$$

De esta forma se puede saber cuanto tiempo (t) hay que mantener la temperatura T para obtener un resultado semejante al conseguido cuando se mantiene la temperatura T^* durante el tiempo t^* .

La relación entre la capacidad para modificar la propiedad estudiada de dos temperaturas de tratamiento se puede encontrar obteniendo el cociente de sus parámetros D :

$$L_T = \frac{D^*}{D} = 10^{\frac{T - T^*}{z}}$$

Esta sería la relación entre la capacidad de modificación de dos tratamientos de 1 minuto, uno realizado a la temperatura de referencia (T^*) y otro a cualquier temperatura (T), para la propiedad y en el alimento que tengan como parámetro de termoresistencia z . Cuando el tratamiento sea de t minutos:

$$C = L_T \cdot t = t \cdot 10^{\frac{T - T^*}{z}}$$

Con esta expresión se ha llegado a obtener el valor del parámetro C o parámetro de cocción, que será la unidad de comparación con la que se medirán los distintos tratamientos aplicados, cuando se defina la temperatura de referencia (T^*) que elegida. Una vez determinada la temperatura de referencia, al valor C conseguido a esa temperatura se le suele llamar C_0 .

Lo referido en los párrafos anteriores es válido para un tratamiento a temperatura constante, y por lo tanto los tiempos de calentamiento y de enfriamiento son despreciables. Esto en la práctica no es posible, ya que cualquier tratamiento estará compuesto por un periodo de calentamiento, otro de mantenimiento de la temperatura y un tercero de enfriamiento. En los periodos de calentamiento y de enfriamiento el producto pasará por un conjunto de temperaturas distintas, cada una de las cuales tendrá una relación de modificación de la propiedad estudiada L_{Ti} diferente. En este caso el valor C se calculará sumando los productos de las relaciones de modificación de cada temperatura por el tiempo que se ha aplicado cada una de ellas: $C = \sum L_{Ti} \cdot \Delta t_i$

En los procesos de cocción se suele elegir como temperatura de referencia un valor inferior a 100°C.

Para obtener los datos necesarios en un estudio de la cinética de ablandamiento, la muestra de alimento debe ser mantenida a temperaturas diferentes durante distintos intervalos de tiempo. Para cada temperatura será conveniente trabajar con cinco intervalos de tiempo, de forma que se obtenga la información suficiente para el cálculo de la pendiente de las curvas correspondientes (Rao y Lund, 1986).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha partido de guisantes congelados superfinos, de calibre < 8,7 mm. En las pruebas de cocción se ha utilizado un baño termostático JULABO, modelo MD, con un agitador suplementario Heidolph mod. R7R1, para conseguir la homogeneidad de la temperatura en el baño. Las muestras se colocan en cestillas de acero inoxidable, fabricadas para este fin y se introducen en el baño termostático.

La medida instrumental de la textura se ha realizado por medio de una máquina universal de ensayos Lloyd LR5K, trabajando a compresión y con una herramienta de corte múltiple. Se toma la medida de la fuerza máxima aplicada. Los resultados se expresan en Newtons.

Para la obtención de las curvas correspondientes a cada una de las temperaturas estudiadas se han realizado en cada caso cocciones con cinco tiempos distintos. En todos los casos se han realizado tres repeticiones.

Las muestras una vez cocidas durante sus correspondientes tiempos, se enfrían inmediatamente bajo chorro de agua y se dividen en tres partes para realizar la medida instrumental de la textura en cada una de ellas. Se han utilizado 75 g de muestra (guisantes) para la realización de esta medida. La elección de la cantidad de muestra se ha hecho de forma que los valores de fuerza obtenidos se encuentren dentro de un rango en el que el error de método sea asumible.

Para los estudios de cocción de guisantes se ha trabajado a tres temperaturas: 75, 85 y 95°C y con tiempos comprendidos entre 5 y 40 minutos.

RESULTADOS

Temperatura constante

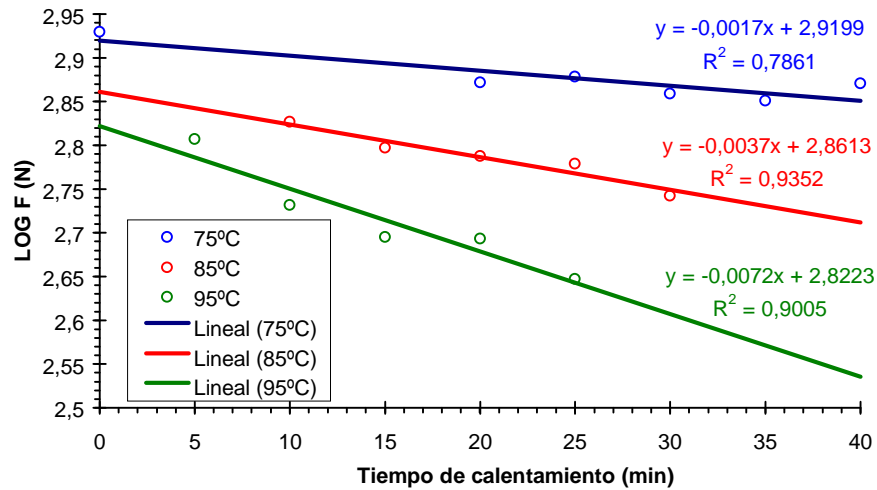
Para obtener el parámetro de termorresistencia D , para cada temperatura de las ensayadas, se han representado los valores de los logaritmos de las fuerzas aplicadas frente a los tiempos de cocción. Los resultados de los ajustes realizados pueden verse en la gráfica nº1, en la que también se han presentado las ecuaciones de las rectas calculadas y los valores de los coeficientes de regresión obtenidos en cada caso.

Por lo tanto los valores calculados para los parámetros D (en minutos) aparecen en la Tabla 1. En la gráfica nº 2 se presenta el ajuste realizado para el cálculo del parámetro z . En estas gráfica se recoge también la ecuación de la recta ajustada y el coeficiente de regresión lineal obtenido.

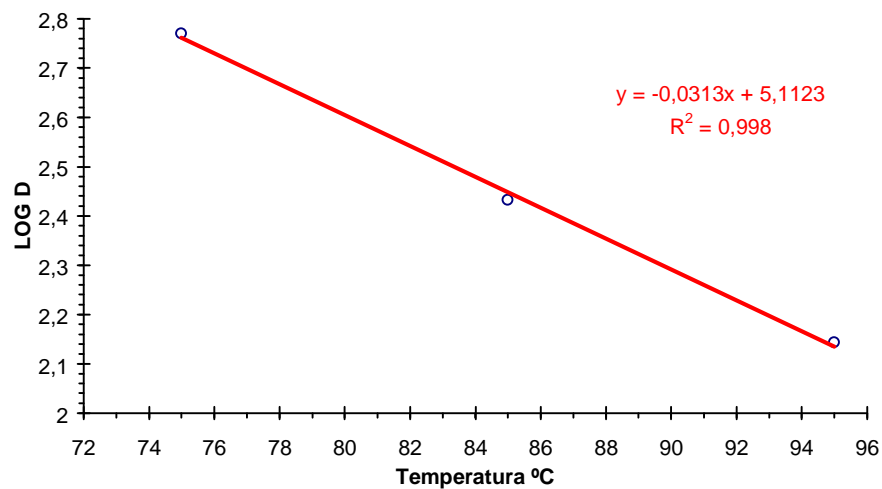
El valor del parámetro z para los guisantes se obtiene calculando la inversa de la pendiente de esta recta, obteniéndose en este caso un valor de $z = 31,9$

Tabla 1.- Valores de los parámetros D (min) para los guisantes

Temperatura		
75°C	85°C	95°C
588,0	270,0	138,9



Gráfica n°1.- Determinación de los parámetros D para el guisante



Gráfica n°2.- Determinación del parámetro z para el guisante

Validación a temperatura variable de los resultados obtenidos

Para comprobar la validez de los parámetros de cocción cuando el proceso no tenga lugar a temperatura constante, como será lo habitual en el proceso industrial, se han realizado con cada muestra unas cocciones a temperatura variable, tras lo cual se ha calculado el valor C_0 alcanzado.

A continuación se ha medido la textura obtenida después de cada cocción y se ha calculado el valor que debería haber presentado este atributo de acuerdo con los parámetros de cocción calculados con anterioridad. Finalmente se han

comparado los valores calculados con los reales para conocer el error cometido y juzgar la validez del modelo.

Para el cálculo de C_0 se ha tomado como temperatura de referencia 85°C, temperatura intermedia de las que se han empleado para los ensayos de termorresistencia. En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos: el valor de fuerza máxima obtenido en el ensayo (real), el valor que debería haber tenido esta fuerza de acuerdo con el modelo establecido (calculada) y la diferencia porcentual existente entre estos dos valores (error).

Como se puede observar en la citada tabla, los errores cometidos están dentro de un rango aceptable, por lo que se pueden aceptar como buenos los valores obtenidos para los parámetros D y z de los guisantes.

Tabla 2.- Resultados obtenidos a temperatura variable.

C_0 aplicado	Fuerza (N)		Error (%)
	Real	Calculada	
10,4	674,9	665,0	1,40
16,5	638,1	633,2	0,76
20,3	556,4	611,0	8,90
26,2	517,7	581,0	10,90

En conclusión, se han obtenido los parámetros que caracterizan la cinética de cocción en agua y a temperatura constante de guisantes y se han validado los valores de los parámetros anteriores a temperatura variable, comprobando que los errores que hay que asumir en los procesos en los que la temperatura no sea constante son aceptables en la práctica industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Ball, C. y Olson, F. (1957). *“Sterilization in food technology”*. McGraw Hill. New York.

Hoyem, T. y Kvale, O. (eds) (1977) *“Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing”*. Applied Science Publishers, London.

Lund, D.B. (1975) *“Effects of heat processing on nutrients”*. En: Nutritional evaluation of food processing (R.S. Harris y E. Karmas, eds). The Avi Publishing Co. Westport, CT.

Lund, D.B. (1982) *“Quantifying reactions influencing quality of foods: texture, flavor and appearance”*. J. Food Processing and Preservation, **6**, 133-153.

Lund, D.B. (1983) *“Kinetics of physical changes in foods”*. American Society of Agricultural Engineers. Winter Meeting. December 13-16. Chicago Il.

Rao, M.A. y Lund, D.B. (1986) *“Kinetics of thermal softening of foods. A review”*. J. Food Processing and Preservation, **10**, 311-329.