

Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres Condiciones de Escaldado

Rolando Mendoza y Aníbal O Herrera*

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Sede Bogotá, Carrera 30 45 – 03, Ciudad Universitaria, Bogotá-Colombia (e-mail: aoherreraa@unal.edu.co)

* autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Jul. 18, 2011; Aceptado Sep. 28, 2011; Versión final recibida Ene. 30, 2012

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar la cinética de inactivación de la enzima peroxidasa y la cinética del color y textura en tubérculos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) sometidos a escaldado mediante agua a 80°C, 90°C y vapor saturado a 93°C. Los coeficientes de transferencia de calor para el escaldado en agua oscilaron entre 214 y 230 W °C⁻¹ m⁻² mientras que para vapor saturado fueron en promedio 84.5 W °C⁻¹ m⁻². A diferentes tiempos de precocción el tubérculo de papa criolla presentó una zona en donde ocurrió pardeamiento enzimático, hecho que fue modelado según la cinética de Michaelis-Menten y otra zona en donde el cambio de color disminuyó debido a la inactivación enzimática que correspondió a una cinética de primer orden, de manera similar al comportamiento de la textura. La inactivación de la enzima peroxidasa obedeció al mecanismo de Lumry–Eyring.

Palabras clave: modelación de procesos, Solanum tuberosum grupo phureja, cambio de color, textura, peroxidasa

Kinetics of Peroxidase Enzyme Inactivation, Color and Texture in Golden Potato (*Solanum tuberosum phureja* group) under three Blanching Conditions

Abstract

The objective of this work was to determine the inactivation kinetics of peroxidase enzyme and the change in color and texture in golden potato tubers (*Solanum tuberosum phureja* group) exposed to blanching with water at 80°C, 90°C and to saturated steam at 93°C. The heat transfer coefficients for the blanch water ranged between 214 and 230 W °C⁻¹ m⁻² while for saturated steam they showed an average of 84.5 W °C⁻¹ m⁻². At different pre-cooking times the golden potato tuber showed an area that developed enzymatic browning, which was fitted to the Michaelis-Menten kinetic model and another area where the color change decreased due to enzyme inactivation, which corresponded to first order kinetics, in a similar way as the texture behavior. The inactivation of peroxidase enzyme followed the Lumry-Eyring mechanism.

Keywords: process modeling, Solanum tuberosum phureja group, instrumental color, texture, peroxidase

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el nombre de papa criolla corresponde a los morfotipos que presentan tubérculos con color de piel y pulpa amarillos (fenotipo yema de huevo), clasificada como *Solanum phureja*; *Solanum tuberosum* Grupo Phureja (Huaman y Spooner., 2002) y recientemente como *Solanum tuberosum* Grupo Andigena (Spoonner *et al.*, 2007). Este grupo está conformado por un conjunto de variedades nativas de papa que crecen extensamente en los Andes desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia (Ghislain *et al.*, 2006), con un centro importante de diversidad localizado en el departamento de Nariño (Colombia). La papa criolla se cultiva entre 1.800 y 3.200 m.s.n.m., con un rango de temperatura promedio de 10 a 20°C, en suelos con textura franca y pH entre 5.2 y 5.9 (Pérez *et al.*, 2008).

La papa criolla se destaca por sus cualidades culinarias y características como alto valor nutricional, aporte de carbohidratos, fuente de proteínas de alto valor biológico, vitaminas solubles en agua (vitamina C y complejo B), minerales (Fe, Zn, Cu y Ca) y carotenoides (Bonierbale *et al.*, 2004), diversidad de genotipos con altos contenidos de proteína y masa seca (MS) (Rodríguez *et al.*, 2009), agradable sabor y textura, fácil preparación, buena aceptación en el mercado y alto potencial de exportación en diversas formas de procesamiento (Bonilla *et al.*, 2009). La papa criolla se considera un alimento funcional debido a la presencia de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, carotenoides y alcaloides.

La papa criolla es un producto muy perecedero debido a que carece de periodo de dormancia (Rodríguez *et al.*, 2010), por lo que los esfuerzos para comercializarla van encaminados hacia diferentes formas de procesamiento y el diseño de nuevas presentaciones.

El principal producto de papa criolla procesada que se comercializa es la papa entera precocida y congelada (Bonilla *et al.*, 2009). Durante su procesamiento y posterior almacenamiento presenta cambios del color característico y ruptura de la corteza, ya sea por tratamientos térmicos excesivos o deficientes, que generan rechazo por parte del consumidor. Su procesamiento consta de las etapas de lavado, selección, escaldado, enfriado, congelación, empaque y almacenamiento.

El escaldado se define como un tratamiento térmico cuyo fin es la estimulación (activación y/o inactivación) de las enzimas presentes en el tejido de las plantas. La actividad enzimática aparente se incrementa cuando aumenta la temperatura hasta alrededor de 50°C, donde alcanza un nivel máximo conocido como la temperatura óptima para la acción enzimática. A temperaturas más altas se observa una considerable disminución en la actividad debido a la desnaturalización de su estructura proteínica. En el escaldado de la papa se busca la inactivación de las enzimas que puedan ser perjudiciales en la calidad del producto final como la enzima polifenoloxidasas que es la responsable del pardeamiento en los tubérculos procesados. Esta reacción se genera cuando la enzima contenida en los cloroplastos entra en contacto con el oxígeno y los sustratos fenólicos contenidos principalmente en la corteza (alrededor del 50%) y en los tejidos en donde la concentración disminuye desde la corteza hacia el centro (Limbo y Piergiorganni. 2006). El contacto se genera mediante ruptura de las membranas celulares y los organelos que contienen la enzima debido a procedimientos de poscosecha deficientes como golpes, sometimiento del tubérculo a esfuerzos y a etapas del proceso como pelado, cortado o troceado, escaldado y cocción, entre otros

Debido a la facilidad con la que se determina su actividad y por su estabilidad al calor comparada con otras enzimas, la peroxidasa es usada como indicador de la calidad de los tratamientos térmicos. Se acepta una disminución en su actividad superior al 90% como control para un escaldado adecuado (Polata *et al.*, 2009). Esta enzima controla los niveles de peróxidos que se generan en casi todas las células vivas y constituye una actividad importante para las plantas ya que evita el efecto perjudicial de los radicales libres. Existe la hipótesis de que la enzima peroxidasa se desactiva siguiendo dos etapas gobernadas por el mecanismo Lumry–Eyring (Polata *et al.*, 2009). La enzima tiene dos isoformas con distintas estabilidades térmicas, la

relación entre la isoforma termolábil con la isoforma termoestable es de 30:70, sin embargo los mecanismos de desactivación son distintos dependiendo del material vegetal, en papas la pérdida de actividad de la isoforma estable de la enzima peroxidasa consta de dos fases, una transformación reversible en el primer paso que es muy rápida, seguida por una transformación lenta e irreversible de un intermediario (Polata *et al.*, 2009).

Otro efecto de los procesos de escaldado es el cambio de textura que sufre el tubérculo debido principalmente a gelatinización de almidones y solubilización de sustancias pécticas, lo que produce pérdida de firmeza en el tejido (Abu-Ghannam y Crowley. 2006). En papa criolla, esto puede conducir al rompimiento de la piel cuando los tubérculos se procesan enteros.

El proceso de escaldado generalmente se hace a temperaturas que oscilan entre 80°C y 100°C y tiempos entre 20 s y 15 min, sin embargo, se han reportado tratamientos entre 55°C y 75°C en los que se obtienen productos con alta firmeza debido a la menor separación celular que se genera; adicionalmente, se ha propuesto que la enzima metil-pectin-esterasa juega un rol importante en este fenómeno debido a que posibilita la formación de redes con iones calcio y magnesio (Abu-Ghannam y Crowley. 2006), (Liu y Scanlon 2007). Generalmente, el cambio de textura en vegetales sometidos a escaldado sigue una cinética de primer orden (Nisha y Pandit. 2006, Troncoso y Pedreschi 2007), suponiendo que este cambio se realiza de manera irreversible.

Como todos los fenómenos son dependientes de la temperatura en este tipo de tratamientos, deben conocerse sus perfiles a lo largo del producto para generar modelos acoplados de los cambios fisicoquímicos. Usualmente, se considera que la resistencia conductiva a la transferencia de calor es la más importante al interior del producto, mientras que la transferencia por convección se convierte en una condición de frontera de la solución de las ecuaciones de transferencia de calor en estado transitorio.

El objetivo de este trabajo fue determinar la cinética de inactivación de la enzima peroxidasa y la cinética de la textura y el color en papa criolla, en función de tres tratamientos de escaldado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se trabajó con tubérculos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo *phureja*) variedad Colombia con gravedad específica en promedio de 1.088, diámetros de 3.0±0.3 cm, en estado madurez comercial, absolutamente sanos, provenientes del municipio de Une Cundinamarca (Colombia), localizado a los 4° 24' de latitud norte y 74° 02' de longitud oeste, a 2.376 msnm y temperatura media de 16°C.

Tratamientos de escaldado

Los tratamientos de escaldado se realizaron en agua a 80°C, 90°C y con vapor saturado a 560 mmHg (presión atmosférica de Bogotá).

Medición de actividad peroxidasa

La actividad peroxidasa se determinó mediante el método espectrofotométrico usando peróxido de hidrógeno como sustrato y guayacol como agente revelador. El extracto se preparó mediante la mezcla de 1gr de muestra del centro del tubérculo de papa previamente congelada en nitrógeno líquido con solución de KOH 0.8M en relación 1:2 y se recogió el filtrado. El medio usado para medir la actividad peroxidasa contuvo 0.05M de solución reguladora de fosfato de potasio, (pH 5.8), solución de guayacol 7.2 mM, solución de peróxido de hidrógeno 11,8 mM y 0.1 mL de extracto para un volumen total de 3.0 mL. La reacción se inició mediante la adición de la solución de peróxido de hidrógeno y el cambio de absorbancia se midió a una longitud de onda de 470 nm. La actividad peroxidasa se calculó usando el coeficiente de extinción molar (26.6 mM⁻¹ cm⁻¹ a 470 nm) para tetraguayacol (Lin y Kao. 1999, Jebara *et al.*, 2005). Una unidad de actividad peroxidasa

se define como la cantidad de enzima que causa la formación de 1 μmol de tetraguayacol por minuto.

Medición de cambios en textura

Los cambios de textura se estudiaron determinando la fuerza máxima de penetración mediante el texturómetro Texture Analyzer TA – XT2i, Stable Micro Systems, usando un punzón cilíndrico de 2 mm de diámetro de punta achatada, adjunta a una celda de carga de 20 N, que atravesó las muestras a una velocidad de 5mm/min a una distancia de 5 mm.

Medición de cambios de color

Utilizando muestras de papa escaldadas a diferentes tiempos y almacenadas a temperatura ambiente por un periodo de 48 horas se determinó el color instrumental en la escala Hunter Lab. El cambio de color (ΔE) se calculó tomando como referencia el color de la pulpa de los tubérculos crudos.

Determinación de los perfiles de temperatura

Se tomaron los perfiles de temperatura en el centro del tubérculo mediante termocuplas tipo k conectadas a un datalogger marca Center 309.

Modelo de transferencia de calor

La solución de la ecuación de transferencia de calor (1) se obtuvo mediante la discretización por el método implícito que es incondicionalmente estable, suponiendo que la energía involucrada en otros fenómenos (gelatinización de almidón, inactivación de enzimas, etc.) es despreciable. Las expresiones de los nodos se muestran en las ecuaciones (2), (3) y (4).

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Ecuación nodo externo

$$\frac{6k}{(\Delta r)^2} T_{F+1}^{P+1} - \left(\frac{6k}{(\Delta r)^2} + \frac{\rho C_p}{\Delta t} \right) T_F^{P+1} = -\frac{\rho C_p}{\Delta t} T_F^P \quad (2)$$

Ecuación nodo interno

$$T_{n+1}^{P+1} \left(\frac{2k}{r_n \Delta r} + \frac{k}{(\Delta r)^2} \right) + T_n^{P+1} \left(-\frac{2k}{r_n \Delta r} - \frac{\rho C_p}{\Delta t} \right) + T_{n-1}^{P+1} \left(\frac{k}{(\Delta r)^2} - \frac{2k}{(\Delta r)^2} \right) = -\frac{\rho C_p}{\Delta t} T_n^P \quad (3)$$

Ecuación nodo central

$$\frac{6k}{(\Delta r)^2} T_{F+1}^{P+1} - \left(\frac{6k}{(\Delta r)^2} + \frac{\rho C_p}{\Delta t} \right) T_F^{P+1} = -\frac{\rho C_p}{\Delta t} T_F^P \quad (4)$$

Donde el subíndice indica la superficie nodal, iniciando esta en cero (superficie) y finalizando en F (centro térmico). El superíndice indica el tiempo en el cual se están calculando las ecuaciones, siendo cero el periodo inicial, que aumenta dependiendo de la magnitud de Δt .

El ajuste del modelo se realizó mediante la minimización de la suma de cuadrados de las temperaturas calculadas con las temperaturas medidas cambiando el coeficiente de transferencia de calor h .

Modelo de cambio de textura

El cambio de textura se modela realizando una variación al modelo de primer orden, debido a que aún con tiempos de escaldado muy largos existe un valor de textura, por lo que el modelo propuesto se muestra en la ecuación (5).

$$-\frac{d(T_x)}{dt} = k(T_x - T_{XE}) \quad (5)$$

En donde k es la constante de la reacción, T_x es el valor de textura en función del tiempo y T_{XE} es el valor de la textura después del proceso de escaldado a un tiempo infinito.

El valor k depende de la temperatura y se modela de acuerdo con la ecuación de Arrhenius (6).

$$k(T) = k_{10} \exp\left(\frac{E_a}{RT_0} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)\right) \quad (6)$$

En donde k_{10} es la constante de reacción a la temperatura de referencia T_0 y E_a es la energía de activación.

Modelo de inactivación de la enzima peroxidasa.

La inactivación de la enzima peroxidasa se modeló de acuerdo con el mecanismo Lumry–Eyring (Polata *et al.*, 2009) para papas que supone un mecanismo como el planteado en las siguientes ecuaciones:



A partir de las ecuaciones (7a, 7b y 7c) se plantean las relaciones de cambio de la concentración de las formas de la peroxidasa.

$$\frac{dA_{E1}}{dt} = -k_1 A_{E1} + k_2 A_D \quad (8a)$$

$$\frac{dA_D}{dt} = k_1 A_{E1} - k_2 A_D - k_3 A_D \quad (8b)$$

$$\frac{dA_{E2}}{dt} = -k_4 A_{E2} \quad (8c)$$

Donde k_1 , k_2 , k_3 y k_4 son valores que dependen de la temperatura y se modelan de acuerdo con la ecuación de Arrhenius (6).

Modelo de cambio de color

El cambio de color observado se puede dividir en dos secciones. En la primera la polifenoloxidasas y los sustratos fenólicos, entran en contacto generándose las reacciones de pardeamiento. A medida que aumenta la temperatura, la reacción ocurre a una tasa mayor hasta alcanzar un máximo en la temperatura en donde inicia la inactivación de la enzima por calor. En la segunda, el cambio de color disminuye debido a que la enzima se está inactivando a consecuencia de su desnaturalización térmica, de manera que la gráfica en su totalidad tiene forma de campana con un máximo donde la enzima empieza a inactivarse.

Como el cambio de color responde a la reacción de pardeamiento enzimático, el modelado se hace con una ecuación tipo Michaelis-Menten como se muestra en la ecuación (9).

$$\frac{d(\Delta E)}{dt} = \frac{k_1 \Delta E}{k_2 + \Delta E} \quad (9)$$

Donde k_1 y k_2 son valores que dependen de la temperatura y se modelan de acuerdo con la ecuación de Arrhenius (6).

En la etapa de desactivación, el cambio de color se modeló con una ecuación similar a la ecuación (5).

Ajuste de los datos

Para el ajuste de los datos a partir de los datos experimentales se calcularon las derivadas de las variables con respecto al tiempo y se usó el método de mínimos cuadrados para hallar las constantes cinéticas y la ecuación de Arrhenius. Este método se formuló en la hoja de cálculo de Excel 2007. Las curvas de los modelos de ajuste se obtuvieron solucionando el sistema de ecuaciones diferenciales por medio del software Polymath 6.0. (Copyright © 2000, 2004, Mordechai Shacham, Michael B. Cutlip and Michael Elly).

RESULTADOS

Perfiles de temperatura

Los perfiles de temperatura obtenidos se muestran en la figura 1. El ajuste del modelo permitió calcular los coeficientes de transferencia de calor ($219.7 \text{ W } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para agua a 80°C , $223.6 \text{ W } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para agua a 90°C y $84.5 \text{ W } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para vapor saturado a 93°C). El coeficiente de transferencia de calor para escaldado en agua a 80°C es similar al observado en el tratamiento con agua a 90°C y difiere significativamente del escaldado en vapor que es menor, por eso el perfil de temperaturas de los tubérculos escaldados con vapor muestra un gradiente más bajo al inicio del tratamiento debido a que la resistencia a la transferencia por conducción es más relevante. El coeficiente de transferencia de calor con vapor es mayor si se compara con otro gas debido al fenómeno de condensación y por consiguiente a que se transfiere calor latente.

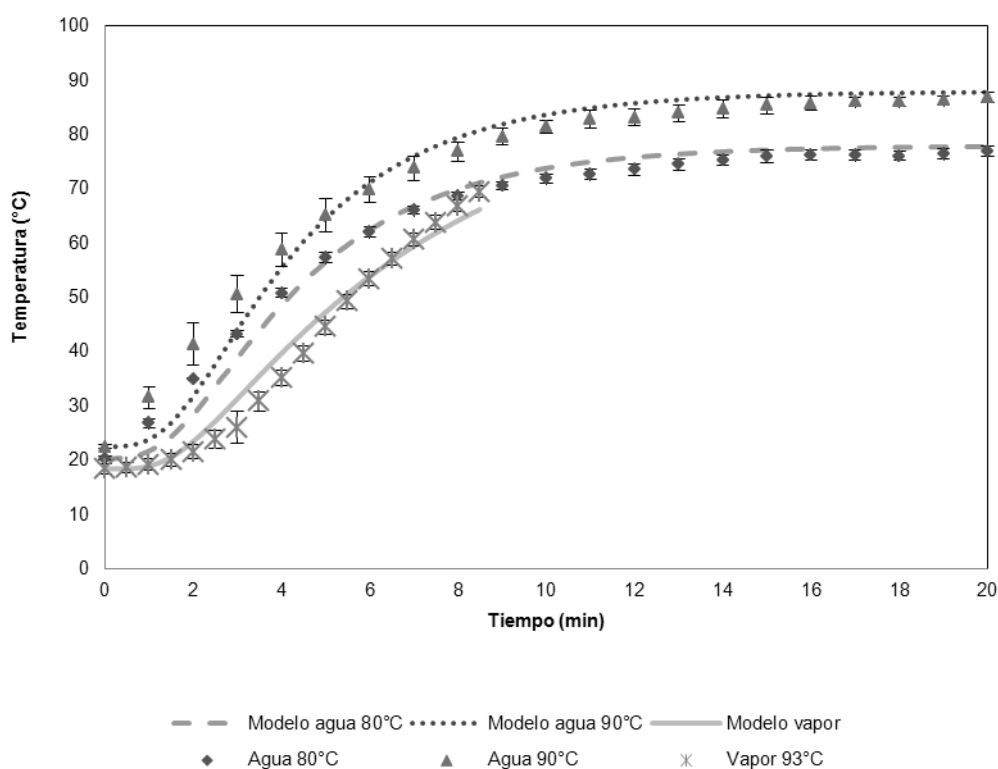


Fig 1: Perfiles de temperatura del centro del tubérculo en los tres tratamientos de escaldado.

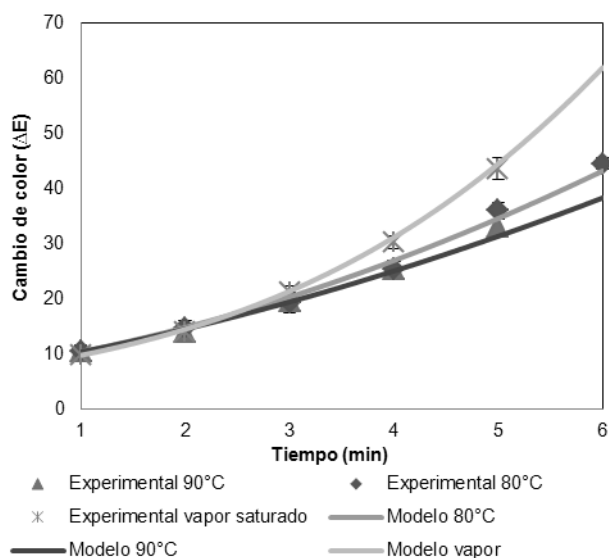


Fig 2: Cambio de color durante la etapa de activación

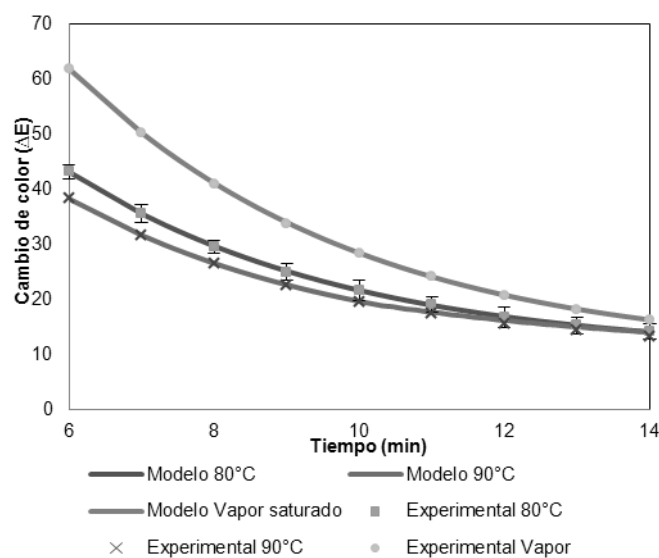


Fig 3: Cambio de color durante la etapa de inactivación

Cambio de color

El análisis del cambio de color se dividió en dos zonas: Una zona donde aumenta el cambio de color por pardeamiento enzimático (Fig 2) y otra zona en donde el cambio de color disminuye (Fig 3) debido a la inactivación térmica de las enzimas causantes del pardeamiento. Estos dos fenómenos se pueden analizar por separado. El cambio de color es una respuesta a las reacciones enzimáticas, por lo que se usó el mecanismo de Michaelis-Menten que mostró un alto ajuste de las curvas ($R^2 > 0.99$). La etapa de disminución del cambio de color también presentó un alto ajuste al modelo de primer orden ($R^2 > 0.99$) tendiente a un valor de 10.28 en el equilibrio, este corresponde al cambio de color inherente al proceso de escaldado. Se han reportado tiempos de inactivación de la enzima polifenoloxidasas entre 10 minutos y 11 minutos para papas papas de 70g a 80g (intervalo aproximado de 5 cm a 5.5 cm de diámetro) (Sotome *et al.*, 2009), lo que indica que la papa criolla presenta una desactivación más lenta de la enzima comparada con otras variedades de papa. Las constantes se pueden observar en la tabla 1.

Cambio de la textura

El cambio de textura (Fig 4) respondió a una cinética de primer orden con un factor de equilibrio de a 0.0121 kg debido a una fuerza residual inherente al escaldado, este comportamiento coincide con lo reportado por otros autores (Cunningham *et al.*, 2008; Nisha y Pandit, 2006) sin embargo, las constantes cinéticas reportadas oscilan entre 0.05 min^{-1} y 0.07 min^{-1} para temperaturas entre 50°C y 90°C , mientras que para papa criolla en el mismo rango de temperaturas oscilan entre 0.15 min^{-1} y 1.5 min^{-1} , lo cual indica el rápido ablandamiento de este tubérculo en comparación con las variedades de papa común (*Solanum tuberosum*). Los parámetros cinéticos se pueden observar en la tabla 2.

Inactivación térmica de la enzima peroxidasa

El comportamiento de la actividad enzimática durante el tratamiento de escaldado se adecuó al mecanismo de Lumry–Eyring. Inicialmente, la actividad de la enzima decrece a un ritmo rápido debido a la rápida inactivación de la isoforma E_1 . Sin embargo, la isoforma E_2 no presenta una inactivación rápida y es por eso que la actividad enzimática decrece más lentamente conforme avanza el tiempo de precocción. Por otra parte, la isoforma E_1 se encuentra en mayor cantidad que la isoforma E_2 por lo que la actividad enzimática relativa decrece rápidamente hasta niveles cercanos a 0.2 (Fig 5). La curva de inactivación de escaldado con vapor no presenta una inactivación rápida debido a que en la etapa inicial del tratamiento, las temperaturas son más bajas comparadas con las obtenidas en los tratamientos con agua. La forma del comportamiento

Tabla 1. Parámetros cinéticos del cambio de color y textura.

Parámetro	Color etapa de activación	Color inactivación	Textura
k_{10} (min^{-1})	24519,7	0.2027	0.0170
E_1/R (K^{-1})	0	420.55	6829.3
T_0 (K)	293.15	293.15	293.15
k_{20} (min^{-1})	66091,51	-----	-----
E_2/R (K^{-1})	1460,97	-----	-----
E_q	-----	10.28	0.0121

Tabla 2. Parámetros cinéticos de la inactivación térmica de la enzima peroxidasa.

Parámetro cinético	Valor
k_{10} (min^{-1})	54.26
k_{20} (min^{-1})	0.888
k_{30} (min^{-1})	4.87
k_{40} (min^{-1})	0.325
E_1 (kJ kmol^{-1})	123324
E_2 (kJ kmol^{-1})	14300
E_3 (kJ kmol^{-1})	24584
E_4 (kJ kmol^{-1})	20600
T_0 (K)	339.15
E_{10}/E_{20}	2.25

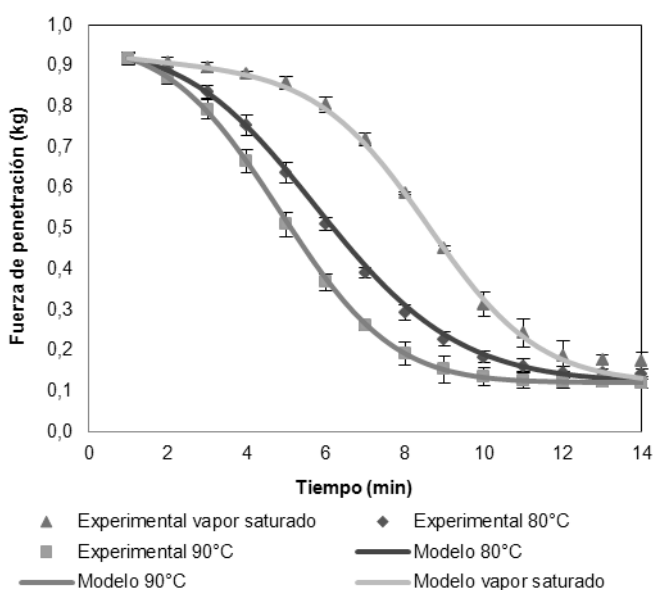


Fig 4. Cambios de textura durante la cocción

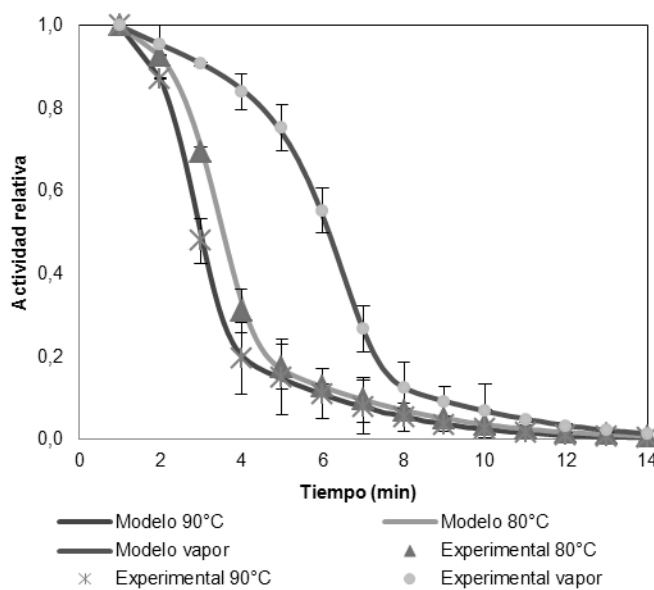


Fig 5. Inactivación térmica de la enzima peroxidasa

enzimático fue similar a la observada en otros materiales de papa (Polata *et al.*, 2009) sin embargo, la inactivación de la enzima fue más lenta. La cinética de inactivación puede mostrar un comportamiento de primer orden cuando el proceso de escaldado se realiza a temperaturas entre 100°C y 140°C (Yu *et al.*, 2010), esto es posible debido a la rápida inactivación de la primera isoforma por lo que se observa solamente la inactivación de la segunda isoforma y la expresión cinética queda reducida a la ecuación (8c). El comportamiento y las constantes cinéticas se pueden observar en la figura 5 y la tabla 2 respectivamente.

CONCLUSIONES

El modelo de transferencia de calor se ajustó a los perfiles de temperatura obtenidos experimentalmente. El cambio de color se ajustó a un modelo tipo Michaelis-Menten en la fase de activación y a un modelo de primer orden en la fase de desactivación, igual que el cambio de textura. La cinética de inactivación de la enzima peroxidasa se ajustó a un modelo de Lumry-Eyring. En general todos los procesos son fuertemente dependientes de la temperatura y el tiempo de tratamiento.

NOMENCLATURA

Símbolo	Significado
t	Tiempo (minutos)
k	Conductividad térmica ($W\ ^\circ C^{-1}\ cm^{-1}$)
C_p	Calor específico ($J\ g^{-1}\ K^{-1}$)
h	Coefficiente de transferencia de calor ($W\ ^\circ C^{-1}\ m^{-2}$)
r	Radio del tubérculo (cm)
T	Temperatura ($^\circ C$)
T_x	Parámetro de textura instrumental (kg)
ΔE	Cambio de color
A_{E1}	Actividad relativa de la isoforma de la peroxidasa E_1
A_{E2}	Actividad relativa de la isoforma de la peroxidasa E_2
k_n	Constante cinética de reacción n (min^{-1})
k_{no}	Constante de la ecuación de Arrhenius (min^{-1})
E_n	Energía de activación ($kJ\ kmol^{-1}$)
R	Constante universal de los gases ($8.314\ kJ\ kmol^{-1}\ K^{-1}$)

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y a la Asociación Hortofrutícola de Colombia (ASOHOFrucOL) por la financiación de este trabajo, a la Federación Colombiana de Productores de Papa (FEDEPAPA) por su apoyo, así como al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia por el uso de sus laboratorios.

REFERENCIAS

Abu-Ghannam, N. y Crowley, H. *The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes*. Journal of Food Engineering 74: 335-344 (2006).

Bonierbale, M., Amoros, W., Espinoza, J., Mihovilovich, E., Roca, W. y Gómez, R. *Recursos genéticos de la papa, don del pasado, legado para el futuro*. Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa: 3-14 (2004).

Bonilla, M., Cardozo, F. y Morales A. *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla*. Bogotá D.C.: Giro Editores (2009).

Cunningham, S.E., Mcminn, W. A. M., Magee, T.R.A. y Richardson, P. S. *Effect of processing conditions on the water absorption and texture kinetics of potato*. Journal of Food Engineering 84: 214–223 (2008).

Ghislain, M., Andrade, F., Rodriguez, F., Hijmans, R.J. y Spooner, D.M. *Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using RAPDs and nuclear SSRs*. Theor. Appl. Genet. 113: 1515-1527 (2006).

Huaman, Z. y Spooner, D. *Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*)*. Am. J. Bot. 89: 947-965 (2002).

Jebara, S., Jebara, M., Liman, F. y Aouano, M. E. *Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress*. Journal of Plant Physiology 162: 929 – 936 (2005).

- Limbo, S. y Piergiovanni, L. *Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning*. *Postharvest Biology and Technology* 39: 254–264 (2006).
- Lin, C.C. y Kao, C.H. *NaCl induced changes in ionically bound peroxidase activity in roots of rice seedlings*. *Plant and Soil* 216: 147-153 (1999).
- Liu, E. Z. y Scanlon, M. G. *Modeling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips*. *Journal of Food Engineering* 81: 292–297 (2007).
- Nisha, P., Singhal, R. S. y Pandit, A. B. *Kinetic modelling of texture development in potato cubes (Solanum tuberosum L.), green gram whole (Vigna radiate L.) and red gram splits (Cajanus cajan L.)*. *Journal of Food Engineering* 76: 524–530 (2006).
- Nourian, F., Ramaswamy H.S., Kushalappa, A.C. *Kinetic changes in cooking quality of potatoes stored at different temperatures*. *Journal of Food Engineering* 60: 257-266 (2003).
- Ormerod, A., Ralfs, J., Jobling, S. y Gidley, M. *The influence of starch swelling on the material properties of cooked potatoes*. *Journal Of Materials Science* 37: 1667-1673 (2002).
- Pérez, L., Rodríguez, L. y Gómez, M. *Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (Solanum phureja) variedad Criolla Colombia*. *Agronomía Colombiana* 26: 477-486 (2008).
- Polata, H., Wilinska, A., Bryjak, J. y Polakovic, M. *Thermal inactivation kinetics of vegetable peroxidases*. *Journal of Food Engineering* 91: 387–391 (2009).
- Rodríguez, L. E. y Moreno, L. P. *Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. Una revisión*. *Agronomía Colombiana* 28: 189-197 (2010).
- Rodríguez, L. E., Ñustez, C. E. y Estrada, N. *Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia)*. *Agronomía Colombiana* 27(3): 289-303 (2009).
- Sotome, I., Takenaka, M., Koseki, S., Ogasawara, Y., Nadachi, Y., Okadome, H., Isobe S. *Blanching of potato with superheated steam and hot water spray*. *LWT - Food Science and Technology* 42: 1035–1040 (2009).
- Spooner, D., Nuñez, J., Trujillo, G., Herrera, M del R., Guzmán, F y Ghislain, M. *Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification*. *PNAS*, 104, 49: 19398-19403 (2007).
- Troncoso, E. y Pedreschi, F. *Modeling of textural changes during drying of potato slices*. *Journal of Food Engineering* 82: 577–584 (2007).
- Yu, B., Jun, Z., Deng, L., Xu, X., He, L., Wang, J., Yaoqui, T. y Chen, H. *Kinetic study of thermal inactivation of potato peroxidase during high-temperature short-time processing*. *Journal Of Food Science and Technology* 47(1): 62-67 (2010).