

Determinación del tiempo de cocción en los procesos de freído y horneado de tres alimentos de consumo masivo en Colombia¹

Gina Carolina García* Hengie Johanna Duarte*

Lucila Gualdrón de Hernández** Luz Myriam Moncada***

RESUMEN

En este trabajo se optimizó un procedimiento para la preparación por freído y horneado de papa (*Solanum tuberosum*), plátano hartón (*Musa paradisiaca*) verde y maduro y yuca chirosa (*Manihot esculenta*), mediante la evaluación de las variables que influyen en los dos procesos. Se utilizaron los siguientes indicadores de cocción: temperatura interna del alimento, curva de ablandamiento, tamaño y forma del alimento. Mediante la utilización de información tabulada y aplicación de modelos matemáticos predictivos, se determinaron las propiedades termofísicas de estos alimentos y de los fluidos (aceite y aire). Con estos resultados se aplicaron los conceptos básicos de transferencia de calor para calcular el tiempo teórico de preparación de los alimentos. Los resultados del tiempo obtenidos teóricamente fueron comparables con los resultados experimentales, con valores entre 5 y 50 minutos para el freído y entre 20 y 60 minutos para el horneado, intervalos dependientes de las propiedades termofísicas, el tamaño y la forma de cada alimento. La transferencia de masa que se presentó en los dos procesos correspondió a la pérdida de agua por evaporación y también a la incorporación de grasa en el freído del alimento. En las características físicas y sensoriales de los alimentos preparados resaltan el color, el sabor y la textura crocante que los hace apetecibles. En la yuca y el plátano hartón verde, la deshidratación extrema y el daño térmico del almidón en la superficie de contacto con el fluido, ocasionaron endurecimiento excesivo del alimento, condición inconveniente para su consumo.

Palabras clave: freído, horneado, papa, yuca, plátano, propiedades termofísicas.

Determination of the cooking time in the frying and baking processes of three foods of massive consumption in colombia

ABSTRACT

In this work a procedure for cooking by deep fat frying and baking of potato (*Solanum tuberosum*), green and mature plantain (*Musa paradisiaca* L) and cassava (*Manihot esculenta*) was optimized by evaluating the variables that influence cooking in both processes. The following cooking indicators were utilized: internal temperature of the food, softening curve, size and form of the food. The thermophysical properties of foods and the fluids (oil and air) were determined by using data from tables and the application of predictive mathematical models. With these results the basic concepts of heat transference were applied in order to calculate the theoretical time of preparation of foods. The theoretical calculations were comparable with the experimental results, with values between 5 to 50 minutes for deep fat frying and between 20 to 60 minutes for baking, intervals dependent of the thermophysical properties, size and form of foods. The mass transference obtained in both processes corresponds to the loss of water by evaporation and also to the incorporation of fat to the food in deep fat frying. Color, flavor and crunchy texture are the outstanding physical and sensorial characteristics of prepared foods that make them tempting. In cassava and green plantain, the extreme dehydration and the thermal damage of the starch in the frying surface with the fluid caused excessive hardening of the food, which is an inconvenient condition for consumption.

Key words: cooking, deep fat frying, baking, potato, cassava, plantain, thermophysical properties.

¹ Trabajo de grado dirigido por Lucila Gualdrón de Hernández, que hace parte del proyecto de investigación "Evaluación de la pérdida de nutrientes por cocción, freído y horneado de tres alimentos de consumo masivo en Colombia", a cargo de Luz Myriam Moncada, financiado en su totalidad por la Universidad de La Salle con recursos de la Facultad de Ingeniería de Alimentos y del Departamento de Investigaciones.

* Este artículo es una reimpresión corregida de la versión publicada en el número anterior.

* Ingenieras de Alimentos de la Universidad de La Salle.

** Ingenieras de Alimentos de la Universidad de La Salle.

*** Ingeniera Química, MSc., Profesora Facultad Ingeniería de Alimentos Universidad de La Salle, Directora del trabajo del grado.

Química. Esp. Control de Calidad de Alimentos, Profesora Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle, Investigadora principal, línea de investigación de la Facultad "Optimización de procesos y Calidad Nutricional de Alimentos". Correo electrónico: lmoncada@lasalle.edu.co; ialimentos@lasalle.edu.co

Fecha de recepción: 20 de octubre de 2004

Fecha de aprobación: 29 de octubre de 2004

INTRODUCCIÓN

La dieta de gran parte de los colombianos se basa en el consumo de alimentos que hacen parte del grupo de los tubérculos, raíces y plátano. Estos alimentos generalmente se preparan de forma artesanal, afectando las características sensoriales y la estabilidad de los nutrientes. Partiendo de esta base se buscó optimizar la preparación de tres alimentos: papa variedad R-12 (*Solanum tuberosum*), yuca chirosa (*Manihot esculenta*) y plátano hartón (*Musa paradisiaca*) verde y maduro, siguiendo las variables de los procesos de cocción mediante freído y horneado. Actualmente el consumo de alimentos de fácil y rápida preparación, convierte al freído y horneado en los métodos de cocción más utilizados a nivel doméstico. El freído es una cocción a alta temperatura (140 a 200° C), en la cual el medio de transferencia de calor es el aceite que imparte al alimento buen sabor, excelente palatabilidad, color dorado y especialmente una textura crocante. El horneado es un proceso en el que el medio de transferencia de calor es el aire caliente (160 - 180° C) que genera en el alimento una corteza de color dorado y consistencia quebradiza, sin impregnación de grasa, lo cual es más saludable. Los mecanismos de transferencia de calor por los cuales se logra la cocción de los alimentos en estos dos procesos son: la "convección" desde el fluido de contacto –aceite o aire caliente– hasta la superficie del alimento y la "conducción" desde la superficie del alimento hacia su interior. La transferencia de calor por convección depende del coeficiente convectivo (h), el cual se expresa en función de números adimensionales como Nusselt (Nu), Prandtl (Pr) y Grashoff (Gr), mientras que la transferencia de calor por conducción en estado estacionario emplea las cartas de Heissler, para obtener el tiempo óptimo teórico del proceso. Además, en los procesos de freído y horneado se lleva a cabo una transferencia de masa por deshidratación del alimento, la cual tiene lugar cuando el vapor

de agua se desplaza a través del alimento hasta la superficie, donde ocurre la evaporación.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Para que exista transmisión de calor por convección, se considera que el calor fluirá a través de un medio cuyas moléculas o partículas presenten movimiento relativo, es decir, un medio líquido, gaseoso, o más genéricamente un medio fluido, tales como aire, agua, oxígeno o aceite; a una presión y temperatura en la que se encuentren en estado gaseoso, líquido o con una viscosidad suficiente para permitir el movimiento relativo de sus partículas (Holman, 1997). La transferencia de calor por convección natural se debe al gradiente térmico, y se justifica por: (a) la diferencia de densidad o de peso específico que aparece debido a las diferentes temperaturas, (b) las partículas del fluido tienen movimientos relativos continuos que aumentan en función de sus estados térmicos, fenómeno conocido como movimiento browniano y (c) el flujo de calor hacia el alimento a través del fluido involucra las leyes de la convección mediante el manejo de coeficientes que dependen en gran parte de las condiciones del proceso y especialmente de la forma y características del sólido o alimento expuesto al fluido.

El coeficiente convectivo, llamado también coeficiente de película, depende de las propiedades térmicas del fluido: (Dupas y Faria, 2001) densidad del fluido, calor específico, viscosidad y conductividad térmica, además de la forma geométrica y dimensiones del producto. El cálculo del coeficiente convectivo según Holman (1997) se expresa en función de números adimensionales:

Ecuación 1

$$h = Nu * (k / L)$$

Donde: k = coeficiente conductivo; L = longitud en placas o radios en cilindros o esferas.

El número de Nusselt (Nu) correlaciona los números de Prandtl (Pr) y de Grashoff (Gr) para la convección libre y su forma de cálculo varía dependiendo de la forma del alimento:

Ecuación 2

$$Nu = f (Pr, Gr)$$

Para geometrías planas y cilíndricas:

Ecuación 3

$$Nu = C (Gr * Pr)^m$$

Para geometrías esféricas:

Ecuación 4

$$Nu = 2 + 0.43 (Gr * Pr)^{1/4}$$

En el número de Prandtl (Pr) que incluye viscosidad del fluido (μ), capacidad calorífica (c_p) y coeficiente de conductividad térmica del fluido (k) está dado por la ecuación:

Ecuación 5

$$Pr = (\mu * c_p) / k$$

Así mismo, el número de Grashoff (Gr) que incluye la densidad del fluido (ρ), aceleración de la gravedad (g), coeficiente de dilatación volumétrica (ϵ), diferencia de temperatura entre la del sólido y la del fluido, en grados Kelvin (ΔT), dimensión característica (L), y viscosidad del fluido (μ) está dada por la ecuación:

Ecuación 6

$$Gr = (\rho^2 * g * \epsilon * \Delta T * L) / \mu^2$$

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Se define la conducción como la transferencia de calor que ocurre a través del medio en el cual existe una diferencia de temperatura. Puede tomar lugar en sólidos, líquidos y gases, por medio de la vibración

molecular. La transferencia de calor por conducción se realiza en estado estacionario cuando el tiempo no afecta las temperaturas dentro de la estructura del sólido o en estado no estacionario o inestable cuando las temperaturas en las capas que constituyen el sólido cambian con el tiempo. Se presenta en todos los procesos de conservación de alimentos como refrigeración, congelación, calentamiento y cocción. En los cálculos de transferencia de calor se introducen los números adimensionales Biot (Bi) y Fourier (Fo). El primero es un número adimensional que define el método que se debe aplicar en la obtención de temperaturas en función del tiempo. El segundo es observado en las cartas de Heissler que se fundamentan en la relación que existe entre Biot (Bi) y el cociente de las temperaturas θ_0 , calculados a partir de las ecuaciones y que es aplicable siempre que el valor (Bi) sea mayor que 0,1.

Ecuación 7

$$Bi = (h * L_c) / k$$

Ecuación 8

$$Fo = (\alpha * \tau) / L_c^2$$

El número de Biot, tomado como parámetro para calcular el número de Fourier, se calcula en forma diferente según la forma del alimento (Karlekar, 1994). Mediante las propiedades físicas del alimento como el coeficiente de conductividad térmica (k), la densidad (ρ) y el calor específico c_p se halla el valor del coeficiente de difusividad del sólido α , indispensable para el cálculo del tiempo.

Ecuación 9

$$\alpha = k / (\rho * c_p)$$

El tiempo óptimo (τ) obtenido a través de las cartas de Heissler, es hallado una vez se obtiene la lectura del número de Fourier. Despejando el tiempo de la ecuación 8 se observa que:

En placas planas

Ecuación 10

$$\tau = (Fo * Lc^2) / \alpha$$

En cilindros y esferas

Ecuación 11

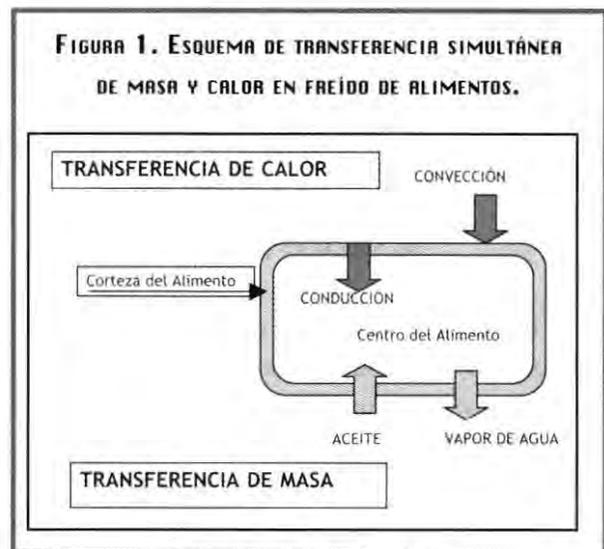
$$\tau = (Fo * r^2) / \alpha$$

La longitud característica es diferente para cada alimento y la forma física en que se encuentre (Karlekar, 1994).

OPERACIÓN DE FREÍDO

El proceso de freído es una forma de cocción de alimentos a alta temperatura, en el cual el medio de transferencia de calor es el aceite. Las características de esta operación frente a otros procesos de cocción son fundamentalmente: altas temperaturas con que se trabaja el aceite: 140° C a 200° C, tiempos cortos de cocción, deshidratación e incorporación de aceite al producto, condiciones que le imparten al alimento sabores y texturas únicas, buen sabor, excelente sensación de palatabilidad, color dorado o tostado y especialmente se obtienen productos crocantes. La transferencia de calor tiene lugar desde el aceite caliente hasta la superficie de la pieza por el mecanismo de "convección", y luego por "conducción" desde la superficie hasta el interior (Figura 1). Consecuentemente en el freído de alimentos se lleva a cabo un proceso de transferencia de masa que se caracteriza por la pérdida de humedad, ya que el agua abandona el alimento y el aceite se incorpora al producto, fenómenos que ocurren en contracorriente (Aguilera, 1997). Al tener contacto el alimento con el aceite caliente se presenta un proceso de transferencia de calor al encontrarse el aceite a temperatura superior al punto de ebullición del agua, razón por la cual se induce la aparición de burbujas cuando el producto entra en contacto con el aceite. Cuando el alimento se sumerge en el aceite caliente su temperatura aumenta rápidamente y el

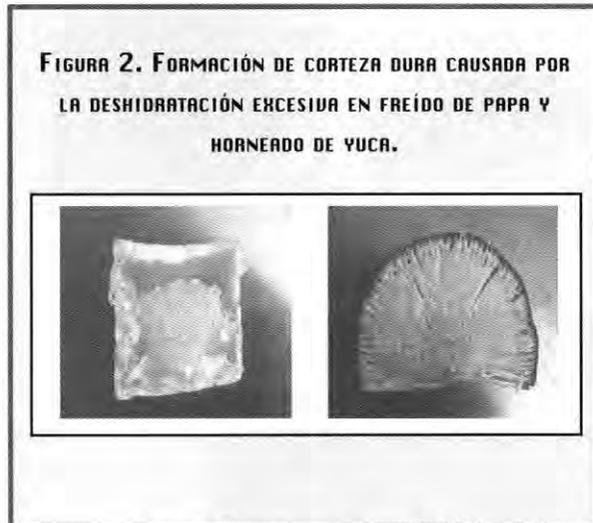
agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie se deshidrata, formando la corteza y el frente de evaporación se traslada hacia el interior del producto. La temperatura en la superficie del alimento alcanza la del aceite caliente y la interna aumenta lentamente hasta alcanzar el punto de cocción del alimento.



Fuente: Aguilera, 1997

La corteza superficial desarrollada por la fritura posee una estructura porosa constituida por conductos capilares de diámetro variable. Durante la fritura el agua y el vapor de agua que rellena los capilares de mayor tamaño, son desplazados por el aceite caliente. El agua se elimina en forma de vapor desde la capa superficial del alimento atravesando una fina película de aceite. El tiempo requerido para freír un alimento depende del tipo de alimento, la temperatura del aceite, el sistema de fritura, el grosor del alimento y los cambios que se pretende conseguir (Arias, 1999). En el proceso de freído también ocurre un fenómeno de deshidratación parcial localizado en la parte externa del producto, que se transforma progresivamente en una corteza dura como se observa en la papa en cubos (Figura 2). Este fenómeno se origina cuando el agua del alimento empieza a

evaporarse, reduciéndose la humedad a niveles muy bajos y la temperatura de la corteza se aproxima a la del aceite caliente.



Fuente: Duarte y García, 2003.

OPERACIÓN DE HORNEADO

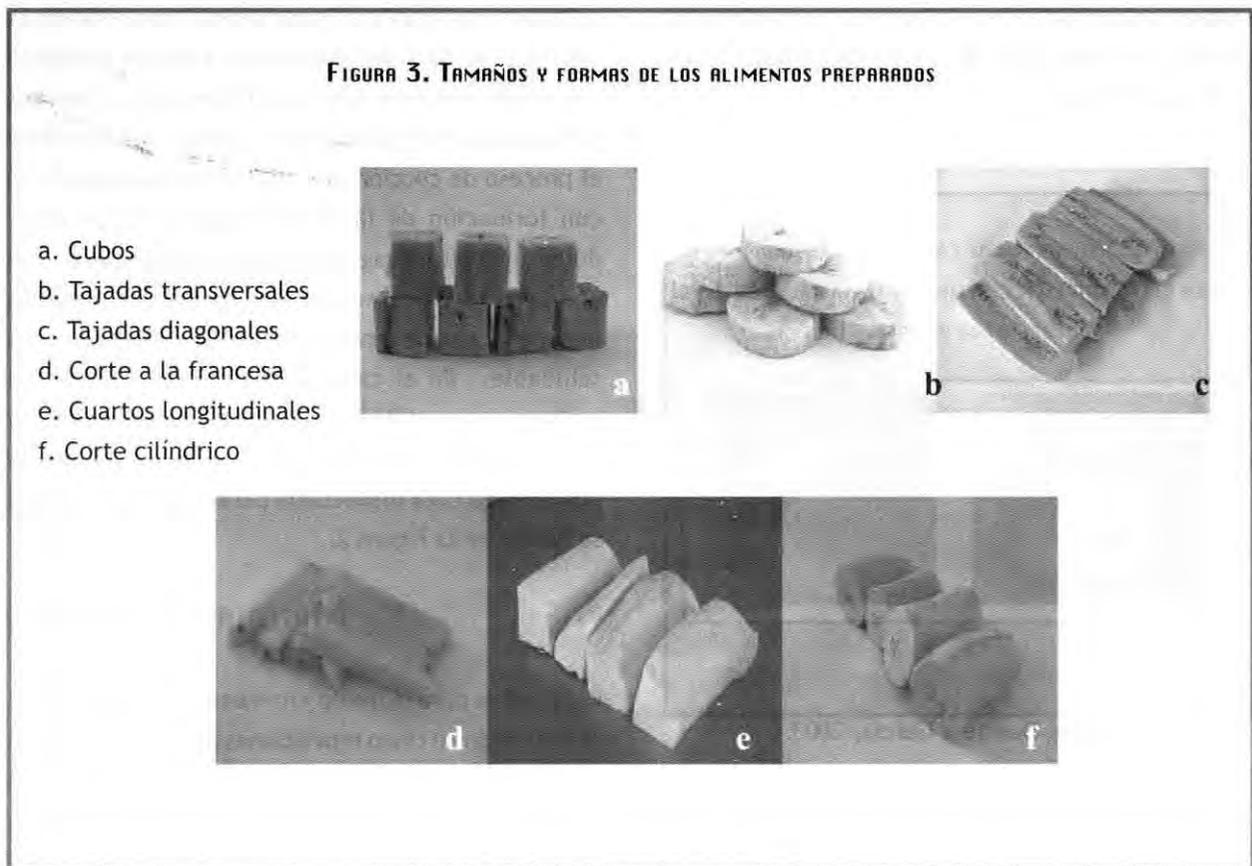
El horneado es semejante a la cocción al vapor en cuanto al empleo de aire a alta temperatura para transferir el calor. Curiosamente, aunque la temperatura del horno sea de 150 a 200° C, 80 grados más que la de ebullición del agua, el tiempo de horneado es mayor que la cocción en agua, ya que el coeficiente de conductividad térmica del aire es mucho menor que el del agua. Por otro lado, la corriente de convección del vapor de agua durante la cocción es mayor que la del aire en el horneado, pues el horno se mantiene cerrado, lo cual explica que hornear sea más lento que cocer.

Este procedimiento se lleva a cabo en hornos eléctricos de resistencias, en los que se genera calor haciendo pasar una corriente eléctrica por un elemento resistivo que rodea el horno, el horneado de los alimentos se realiza gracias a la transferencia de

calor por conducción. En el horneado, los coeficientes convectivos de transferencia de calor al producto son mucho menores que en el freído. Los alimentos horneados tienen buen sabor y desarrollan durante el proceso de cocción una deshidratación superficial con formación de la corteza que le da un color dorado o tostado agradable, muy apetecible, con una característica adicional y es que no presenta impregnación de grasas, virtud que lo hace más saludable. En el caso particular de la yuca, sin embargo, por el tiempo largo de preparación, la deshidratación de la superficie es excesiva y se genera una corteza dura inadecuada para el consumo, como se ilustró en la Figura 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas para el freído y horneado de los alimentos se evaluaron en cinco repeticiones para cada intervalo de tiempo, en baches conformados por muestras cuyo peso osciló entre 180 y 220 g. El número de unidades contenidas en este peso fue variable dependiendo del tamaño y la forma de cada alimento, como se ilustra en la Figura 3, fundamentada en las costumbres de preparación doméstica, utilizando adicionalmente cubos de 2 cm de lado como tamaño uniforme que permitieran establecer diferencias entre productos y procesos. Los tamaños y formas utilizadas fueron: papa entera pelada y en bastones de 1 cm. de lado utilizados para presentación a la francesa; yuca en porciones cilíndricas y en cuartos longitudinales; plátano verde en porciones cilíndricas y discos obtenidos por corte transversal de 1 cm de altura utilizados en la preparación de patacones; plátano maduro en porciones cilíndricas y en cortes diagonales de 1 cm de altura utilizadas para las tajadas de maduro. El volumen de aceite utilizado en la experimentación fue de 1.200 ml para el producto entero y 500 ml para el producto en cortes, de manera tal que el producto quedara completamente sumergido en el aceite.



Fuente: Duarte y García, 2003

Para el proceso de freído se utilizaron dos ollas freidoras eléctricas marca Universal, con capacidad para 5 litros. El aceite fue precalentado en condiciones de presión atmosférica de Bogotá (560 mmHg), a una temperatura de 180° C antes de introducir el alimento. Para el proceso de horneado se utilizó un horno eléctrico marca Caloric dotado con dos rejillas movibles. El horno se precalentó y estabilizó a una temperatura de 180° C antes de introducir el alimento.

Como indicadores de cocción se utilizaron la temperatura interna del alimento, tomada con un termómetro de aguja, y escala digital marca *Longtem*, con rango de escala de -19 a $199,9 \pm 0,1^{\circ}$ C; la temperatura del fluido de contacto, aire o aceite y las curvas de ablandamiento elaboradas al graficar el esfuerzo por unidad de área (kg/mm^2) necesaria para

inducir la penetración o deformación del alimento, utilizando un penetrómetro marca *Bertuzzi FT 327* de acción manual, adaptado con un soporte y una perilla giratoria que garantiza que el vástago se desplace uniformemente 1,7 mm en cada vuelta, penetrando la muestra con una fuerza que depende de la dureza de la misma. Esta penetración se mide en milímetros y la fuerza aplicada en kilogramos en una escala de 0 a $13 \pm 0,5$ Kg utilizando un punzón de punta redondeada y 1 cm. de diámetro. Las medidas se tomaron en intervalos de tiempo de 10 minutos, que fueron estrechados a 5 minutos en la zona de estabilización.

En una etapa preliminar se trabajó con un número de muestra igual a diez (10) y los resultados mostraron que no había diferencias significativas entre baches en las medidas de penetración, ni en las temperaturas

internas. Por lo tanto para la fase de experimentación se tomaron los siguientes criterios: número de muestras $n = 5$, tiempos de evaluación = 3, número de repeticiones = 3, se utilizaron productos en el mismo estado de madurez.

Para el procesamiento de los datos de la investigación se utilizó un diseño estadístico básico por cada variable independiente, con el fin de realizar una exploración de los datos obtenidos teniendo en cuenta que se trata de productos naturales no homogéneos.

A los datos obtenidos se aplicó un análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5%, para las series de datos menores de 10, mediante la prueba de Duncan y en las series mayores de 10 se aplicó la prueba de Tukey (Walpole, 1995 y Kwehl, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS FLUIDOS

Las propiedades termofísicas del aire y del aceite como fluidos de contacto, se evaluaron a temperatura de película (T_f) fundamentada en la temperatura

del fluido en el momento de entrar en contacto con el alimento (T_∞) y la temperatura inicial del mismo cuando se introducen al fluido (T_0). La temperatura del aceite y el aire fue 180°C y la de los productos 20°C .

$$T_f = (T_\infty + T_0) / 2$$

En el caso del aceite, la densidad (ρ), la viscosidad absoluta (M) y el coeficiente de dilatación volumétrica (ϵ) se obtuvieron experimentalmente, mientras que el coeficiente de conductividad térmica (k) y la capacidad calorífica (c_p) fueron calculados mediante la aplicación del modelo matemático predictivo (Negrete y Valdivia, 2002). Para el aire todos los valores fueron tomados de la tabla de propiedades del aire a presión atmosférica (Holman, 1997). Con base en los datos obtenidos previamente, se calculó el coeficiente convección natural (h). Los valores para las diferentes propiedades termofísicas de los fluidos de preparación se ilustran en la Tabla 1.

TABLA 1. PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS FLUIDOS DE CONTACTO A LA TEMPERATURA DE PÉLICULA. (ACEITE A 100°C Y AIRE A 100°C).

Propiedades termofísicas de los fluidos	Aceite ^(a)	Aire ^(b)
Densidad (ρ) kg/m^3	* 910	0,9503
Capacidad calorífica (c_p) $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$	2.018	1.011
Coefficiente de conductividad térmica (k) W/mK	0,1115	0,0315
Coefficiente dilatación volumétrica (ϵ) $1/\text{K}$	* $2,35 \cdot 10^{-4}$	$2,68 \cdot 10^{-3}$
Viscosidad absoluta (M) kg/ms	* 0,1784	$2,2 \cdot 10^{-5}$

Fuente: ^(a)Negrete y Valdivia, 2002 ^(b)Holman, 1997
 *Valores obtenidos experimentalmente por Duarte y García, 2003.

PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS ALIMENTOS

La densidad (ρ) de los alimentos se determinó experimentalmente a temperatura 20° C, mientras que las propiedades termofísicas de los tres alimentos preparados, como la capacidad calorífica (c_p) y el coeficiente de conductividad térmica (k) se obtuvieron mediante la aplicación del modelo matemático predictivo de la Universidad Politécnica de Valencia (Barat, *et al.* 2002), fundamentado en la composición química de cada alimento (Astiazarán, 2000). La difusividad térmica (α) fue calculada con base en la Ecuación 9. Las propiedades termofísicas de los tres alimentos se ilustran en la Tabla 2.

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PREPARACIÓN

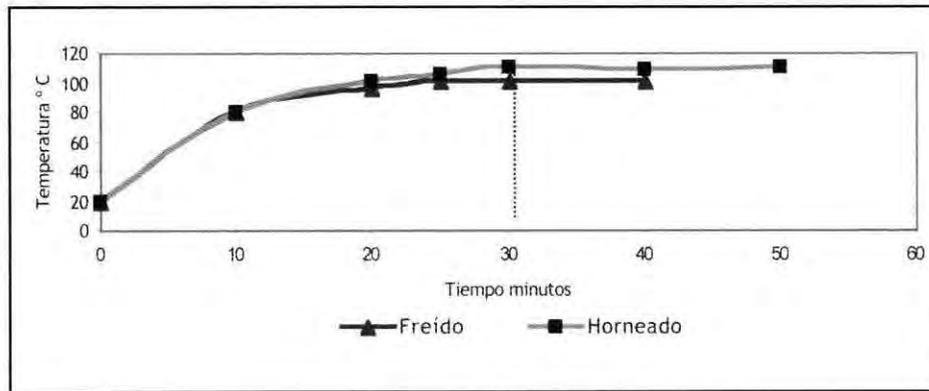
La temperatura interna del producto, uno de los indicadores de cocción utilizados, se midió desde el momento de entrar en contacto con los fluidos de preparación (aceite ó aire calientes) en intervalos de 10 minutos, hasta obtener dos lecturas sucesivas entre las cuales no existieran diferencias estadísticamente significativas. El tiempo necesario para alcanzar la temperatura estable corresponde al tiempo de cocción de cada alimento. En la Figura 4 se ilustra la variación de la temperatura interna de la papa entera freída y horneada en función del tiempo. En los dos casos se estabilizó la temperatura a partir de los 30 minutos en 105,5 a 105,6° C para el freído y 109,6 a 109,9° C para el horneado. Con estos resultados se estableció que el tiempo óptimo era de 30 minutos para la papa entera cocida por freído y por horneado. Para los demás productos y tamaños se procedió de la misma forma obteniendo los tiempos experimentales de preparación (Tabla 3).

TABLA 2. PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS ALIMENTOS A TEMPERATURA DE 20° C.

Propiedades termofísicas de los alimentos	Papa pelada	Yuca	Plátano verde	Plátano maduro
Densidad (ρ) Kg/m ³	866,6	1.153	1.041,62	722,22
Capacidad calorífica (c_p) J/Kg*°C	3.280,9	3.172,5	3.523.96	3.350
Coefficiente de Conductividad térmica (k) W/m*K	0.5085	0,4527	0,4438	0,4492
Difusividad térmica (α) m ² /s	1.789*10 ⁻⁷	1,238*10 ⁻⁷	1,814*10 ⁻⁷	1,857*10 ⁻⁷

Fuente: Duarte y García, 2003.

FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA INTERNA DE LA PAPA ENTERA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE PREPARACIÓN POR FREÍDO Y HORNEADO



Fuente: Duarte y García, 2003

TABLA 3. TIEMPOS DE PREPARACIÓN EN MINUTOS OBTENIDOS POR EXPERIMENTACIÓN (E) Y CALCULADOS (C) MEDIANTE CARTAS DE HEISLER.

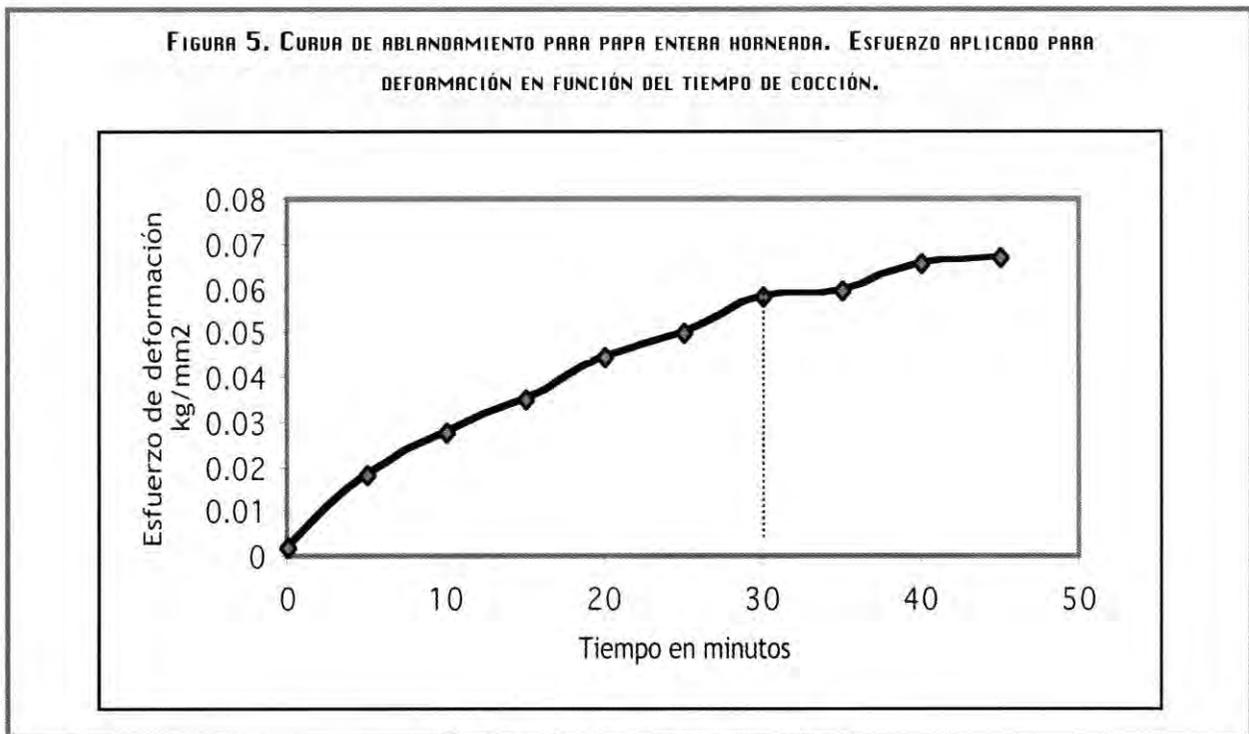
Productos	Freído		Horneado	
	E	C	E	C
Papa entera pelada	30	29,64	30	32,47
Papa a la francesa	10	10,19		
Papa en cubos	10	15,29	20	22,93
Plátano verde patacón	10	7,72		
Plátano verde en cubos	15	14,53		
Plátano maduro cilindros	15	18,59	20	21,25
Plátano maduro tajadas	7	6,83		
Plátano maduro cubos	5	16,34	20	22,92
Yuca cilindros	50	47,16	60	58,96
Yuca alargada	30	36,35	60	60,59
Yuca en cubos	15	18,85	50	45,78

Fuente: Duarte y García, 2003

CURVAS DE ABLANDAMIENTO

Con base en la medición del esfuerzo por unidad de área, necesario para inducir la deformación o ruptura del tejido del alimento a través de diferentes tiempos de preparación, se estableció el tiempo necesario para adecuar el alimento para consumo, tomando como criterio el cambio de pendiente de la gráfica en el punto de inflexión, a partir del cual los cambios en la fuerza aplicados por unidad de área no presentan diferencias estadísticas significativas (Figura 5). A partir de este punto de inflexión, la cocción ha terminado, el alimento empieza una etapa de sobre-cocción. De la misma forma, se realizaron las curvas de ablandamiento de los demás productos obteniendo correspondencia con los tiempos de preparación experimentales encontrados por temperatura interna para cada uno de ellos, tanto en el freído como en el horneado. Una vez alcanzado este tiempo, el producto se sobre-coce lo que se evidencia en muchos casos por el rompimiento completo del alimento

Independientemente, se procedió a calcular el tiempo teórico de preparación mediante ecuaciones fundamentales de transferencia de calor, haciendo uso de las Cartas de Heisler en cuya ordenada se localiza el valor de la relación adimensional de temperaturas $(T_c - T_\infty) / (T_0 - T_\infty)$, en la cual T_c es la temperatura interna del alimento, T_∞ temperatura del fluido, T_0 temperatura inicial del producto. Con este valor se busca el punto de corte sobre la gráfica $1/Bi$ y en forma perpendicular se lee en el eje de las abcisas el número de Fourier (Fo), valor con el cual se aplican las Ecuaciones 10 y 11 para obtener el tiempo teórico de preparación de cada alimento en los diferentes tamaños y para los procesos de freído y horneado. Los resultados obtenidos fueron comparables con los experimentales (Tabla 3).



Fuente: Duarte y García, 2003.

CONCLUSIONES

Se logró un procedimiento estandarizado para la determinación del tiempo de cocción por freído y horneado de plátano hartón (*Musa paradisiaca*) verde y maduro, papa R-12 (*Solanum tuberosum*) y yuca chirosa (*Manihot esculenta*), en diferentes tamaños y formas de uso frecuente en la dieta colombiana, con características organolépticas favorables para consumo.

Se encontró que el tiempo óptimo de cocción obtenido experimentalmente por temperatura interna del producto, por modelación matemática fundamentada en conceptos de transferencia de calor y mediante curvas de ablandamiento, fue comparable para todos los productos horneados. Por el contrario, en los alimentos freídos, se encontró que en varios casos los tiempos de preparación experimental fueron menores que los obtenidos por cálculo, debido a la formación de corteza en la superficie del alimento, lo que limitó la velocidad de evaporación del agua del interior del producto, favoreciendo la velocidad de cocción en el interior del alimento.

Se estableció que la operación unitaria principal que se presenta en los procesos de freído y horneado es la deshidratación, ocurrida por las altas temperaturas en

las cuales se trabaja, lo que induce la formación de una corteza crocante característica de estas formas de preparación.

El balance de materia realizado para establecer la migración de sustancias entre el fluido y el producto, permitió detectar que los productos freídos y horneados presentan una moderada pérdida de peso debido a la corteza que se forma durante la cocción que evita la deshidratación severa del alimento. Por su forma de cocción y el tipo de fluido que se maneja, los productos freídos pierden un poco más de humedad que los productos horneados. Esta deshidratación conduce a una impregnación de aceite que depende en gran medida del tipo de producto, la temperatura y el tiempo de proceso a que es sometido. La transferencia de masa se trabajó en función de balances de masa.

La evaluación y optimización de las variables de freído y horneado de papa, yuca y plátano, en sus diferentes formas son fundamentales, ya que este tipo de productos se consumen con frecuencia en la población colombiana y la aplicación adecuada del proceso contribuye a la calidad sensorial y nutricional del alimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J M. "Fritura de Alimentos". *Temas en Tecnología de Alimentos*. México: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CITED), Instituto Politécnico Nacional. 1997.
- Arias, Y. "Estudio Técnico-Financiero para el montaje de una línea de precocidos de plátano maduro". Trabajo de grado. Ingeniería de Alimentos. Universidad de La Salle. Bogotá. 1999.
- Astiazarán, I. Y. y Martínez, J. A. *Alimentos, composición y propiedades*. 6ª ed. Madrid, España: Mc Graw Hill, 2000.
- Barat, J.M. et al. *Predicción de las propiedades térmicas de un alimento sólido poroso y sus variaciones cuando se somete a un proceso de impregnación a vacío. Herramientas de cálculo en Ingeniería de Alimentos. III Taller CYTED*. Consultado agosto 2002. www.upv.es/dtalim/herraweb.htm. III taller.
- Duarte, H. y García G. "Evaluación y determinación de variables en los procesos de freído y horneado en alimentos de consumo masivo". Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Universidad de La Salle. Bogotá. 2003.
- Dupas, M. y Faria, A. *Propiedades Térmicas, Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, 2001.
- Holman, J.P. *Transferencia de calor*. 8ª ed. México: Editorial McGraw Hill, 1997.
- Karlekar, D. *Transferencia de calor*. 2ª ed. México: Editorial McGraw Hill, 1994.
- Kuehl, R. *Diseño de experimentos*. 4ª ed. Thomson Learning, 1999.
- Negrete, C.; Valdivia, C. y Zúñiga, R. *Programa para el cálculo de las propiedades termodinámicas de los alimentos chileno*. Diciembre 2002. Disponible: www.upv.es/dtalim/herraweb.htm. III taller.
- Walpole, M. 1995. *Probabilidad y Estadística*. 4ª ed. Editorial McGraw Hill.