

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y PARÁMETROS DE CALIDAD PARA USO INDUSTRIAL DE CUATRO VARIEDADES DE PAPA¹

*Jorge Hasbún**, *Patricia Esquivel^{2/}**, *Arturo Brenes***, *Ileana Alfaro**

Palabras clave: Almidón, azúcares reductores, frituras, grasa, sólidos totales, textura.

Keywords: Starch, reducing sugars, fried products fat, total solids, texture.

Recibido: 14/10/08

Aceptado: 12/01/09

RESUMEN

Se comparó el contenido de sólidos totales, almidón, azúcares reductores y la gravedad específica de 3 variedades promisorias de papa de reciente introducción en Costa Rica (MNF-41, MNF-72 y MNF-80) y de la tradicional Floresta mediante análisis gravimétricos y espectrofotométricos. El color y la textura en bastones de papa prefrita congelada, como producto terminado, y papa tostada, fueron evaluados instrumentalmente. Para el contenido de grasa se utilizó el método de Soxhlet. La MNF-80 mostró el contenido mayor de sólidos totales y almidón, con 23,1 y 20,8%, respectivamente; y Floresta los contenidos más bajos con 15,9% y 13,4%, respectivamente. Existe una correlación ($R^2=0,97$) del contenido de sólidos totales con la gravedad específica de los materiales. La MNF-80 presentó el porcentaje menor de azúcares reductores con 0,076%; mientras que MNF-41 y MNF-72 presentaron 1,142 y 1,384%, respectivamente. En los bastones de papa prefrita congelada, el porcentaje mayor de grasa se encontró en la MNF-80 y el menor en las MNF-72 y Floresta. No se observó diferencias en el oscurecimiento y textura entre variedades. En las papas tostadas la MNF-80 presentó un contenido menor de grasa y de grado de oscurecimiento. Las hojuelas elaboradas a partir de la MNF-72 y la MNF-80 mostraron valores de firmeza mayores. En la absorción de grasa, hubo un comportamiento distinto según el producto elaborado; en los

ABSTRACT

Physico-chemical properties and quality parameters for industrial use of four potato varieties. Total solids, starch, reducing sugars and the specific gravity of 3 promising potato varieties of recent introduction to Costa Rica (MNF-41, MNF-72 and MNF-80) and the most commonly cultivated variety Floresta, were compared using gravimetric and spectrophotometric analyses. In addition, fat content using the Soxhlet method, and instrumental color and texture parameters of the processed products (french fries prepared with pre-fried frozen sticks and potato chips) were determined. The variety MNF-80 showed the highest total solids and starch contents, with values of 23.1 and 20.8 %, respectively; while the variety Floresta showed the lowest contents with 15.9 and 13.4%, respectively. A correlation of the total solids content with the specific gravity of the materials under study was found ($R^2=0.97$). The variety MNF-80 showed the lowest content on reducing sugars with 0.076%, while varieties MNF-41 and MNF-72 showed the highest values of 1.142 and 1.384%, respectively. For french fries, the highest fat content was observed for the variety MNF-80 and the lowest for varieties MNF-72 and Floresta, but no difference among varieties was observed in respect to browning degree and firmness. In the case of potato chips, the variety MNF-80 showed the lowest fat content and browning. Lowest fat contents in the finished products of frozen-prefried potato sticks

1 Parte del Trabajo final de graduación del primer autor para optar al grado de Licenciatura. Financiado por la Vicerrectoría de Investigación (proyecto VI-735-A4-162).

2 Autor para correspondencia. Correo electrónico: patricia.esquivel@ucr.ac.cr

* Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Laboratorio de Biotecnología de Plantas, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

bastones de papa prefrita congelados de la MNF-72 y Floresta, la absorción de grasa en el producto terminado fue menor, mientras que en las papas tostadas los contenidos de grasa menores se obtuvieron con la MNF-80.

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de papa (*Solanum tuberosum*) está cambiando de papa fresca a productos procesados, como papas tostadas (hojuelas de papa fritas), prefritas, congeladas y deshidratadas (Moreno 2000). En Costa Rica, el consumo per cápita al año es alrededor de 19 kg, donde el 38% de este consumo se da en forma procesada como papa frita, tostada o deshidratada (Alvarado 2003). El mercado de papa prefrita congelada en Costa Rica es satisfecho mayoritariamente por la importación de producto terminado o variedades de papa que se adaptan al proceso y proporcionan un producto rentable, bueno y uniforme (CNP 2003). Las causas que justifican el reducido uso de papa nacional para procesamiento industrial son: alta variabilidad debida a condiciones climáticas y manejo agronómico, poca disponibilidad de variedades y falta de estudios sobre la calidad de los productos procesados de las variedades disponibles en el país (CNP 2003).

La variedad Floresta es la de mayor área de cultivo en Costa Rica. Esta variedad es de origen peruano y luego de estudios de mejoramiento en el Centro Internacional de la Papa (CIP), se introdujo en Costa Rica en la década de los 90s (MAG 1996). Con el fin de aumentar el número de genotipos disponibles en el mercado nacional, en el Laboratorio de Biotecnología de Plantas del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, se realizan estudios para evaluar la adaptación de materiales foráneos promisorios a las condiciones de cultivo de Costa Rica. Algunos de estos materiales son las variedades MNF-41, MNF-72 y MNF-80, las cuales

were observed when using varieties MNF-72 and Floresta. On the other hand, lower fat contents on potato chips were observed when using the variety MNF-80.

fueron obtenidas del Banco de germoplasma IPK Genbank Aussenstelle Nord de Gross Lüsewitz, Alemania. La variedad MNF-41 es de origen holandés y produce tubérculos ovalados largos con piel roja brillante y lisa; la pulpa del tubérculo es color crema y los ojos son superficiales. La variedad MNF-72 es un material de origen alemán con tubérculos ovalados, de cáscara ocre y muy lisa, ojos superficiales y de pulpa amarilla; esta posee un contenido medio de almidón en sus tubérculos y una alta consistencia después de la cocción. La variedad MNF-80 es un material de origen holandés que produce tubérculos ovalados de piel lisa de color ocre y pulpa color crema; los ojos son casi superficiales, los tubérculos presentan altos contenidos de almidón, se producen en gran número y tienen un tamaño medio (Geibel 2000).

Debido a la necesidad de estandarizar los productos industriales, se han establecido especificaciones para la materia prima a utilizar (Moreno 2000). En el caso de la papa, se debe considerar muchos factores, ya que la composición química puede variar sustancialmente, de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (CIP 1992, Andersson et al. 1994, Pritchard y Adam 1994, Borruet et al. 2000, Egusquiza 2000).

En cuanto a las características de calidad determinantes para el procesamiento de la papa, es necesario hacer una distinción entre la calidad externa del tubérculo y la calidad interna (Andrade 1997). La calidad interna de la papa

está definida por parámetros físico-químicos como el color de la pulpa, el contenido de materia seca, el porcentaje de azúcares reductores, la susceptibilidad al pardeamiento enzimático y a las manchas negras y la decoloración después del cocido. Todas estas características de calidad vienen determinadas por la variedad y las condiciones de crecimiento (Andrade 1997).

El contenido de sólidos en la papa es una de las características más importantes para el procesamiento industrial, ya que en la mayoría de procesos, contenidos altos son sinónimo de alto rendimiento; para los procesos industriales que involucren deshidratación como papa prefrita o papa tostada, se requiere un valor $>20\%$. El contenido de sólidos totales de la papa se suele correlacionar con la gravedad específica (Lisinska y Leszczyski 1989, CIP 1992).

Los sólidos totales están relacionados principalmente con un porcentaje de almidón alto. Debido a este contenido alto de almidón, las papas son una buena fuente de energía (Bu-Contreras y Rao 2002); donde después del agua, el almidón es el segundo componente más abundante en la papa, con alrededor de 60-80% de la materia seca (Talbur y Smith 1975, Freeman et al. 1992). El almidón además de ser una importante fuente de energía, tiene gran influencia en factores de calidad (Bu-Contreras y Rao 2002, Severini et al. 2005).

Otros de los componentes con gran influencia sobre la calidad de los productos procesados de papa son los azúcares reductores (Van der Plas 1987). Algunos autores describen contenidos de azúcares reductores en diferentes variedades de papa de 0,040%-1% en peso fresco (Rodríguez y Wrolstad 1997, Moreno 2000, Feltran et al. 2004).

La presencia de azúcares reductores es de gran importancia en la fritura, ya que el contenido de estos azúcares se correlaciona con el grado de oscurecimiento no enzimático que se desarrolla durante el calentamiento (Pritchard y Adam 1994, Moreno 2000). Para una buena calidad de papas prefritas congeladas y papa tostada se recomienda contenidos de azúcares reductores

$\leq 0,30\%$ y $0,20\%$ del peso fresco, respectivamente (Rodríguez y Wrolstad 1997, Feltran et al. 2004).

No todas las variedades tienen igual calidad de fritura (Borruey et al. 2000). En el caso de la papa prefrita, a nivel mundial se ha tratado de disminuir el aporte calórico debido a la absorción de aceite y una de las maneras más prácticas es el uso de materias primas de características industriales, en cuanto al contenido de sólidos totales y almidón se refiere. La calidad de estos productos está asociada al tipo de proceso que se suministra y a las características propias de cada variedad de papa. En general, la absorción de aceite se ve afectada por la gravedad específica de la materia prima, por el tamaño y forma de los trozos de papa y por el tiempo que permanece el producto en el aceite caliente (Guido y Mamani 2001). Además, en los procesos de fritura, el almidón sufre cambios estructurales en los cuales los cristales de la amilosa y de la amilopectina se reorganizan. Esta conformación promueve la formación de un gel que funciona como una barrera protectora contra la entrada del aceite a nivel de fritura (Severini et al. 2005).

Además del contenido de aceite, características como color y textura resultan de gran relevancia, siendo estos los parámetros de calidad más importantes en los productos procesados a partir de papa (Van Boekel 1998, Thybo et al. 2000, Thygesen et al. 2001, Lee y Park 2005).

Las reacciones de oscurecimiento son uno de los fenómenos de mayor importancia durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos. En el caso de productos fritos de papa las reacciones de oscurecimiento no enzimático determinan en gran medida el color de los productos; estas afectan la calidad de los productos y representan un área importante de investigación, debido a las implicaciones en la estabilidad de los alimentos, así como aspectos relacionados con nutrición y salud (Van Boekel 1998, Manzocco et al. 2001). Durante tratamientos térmicos como la fritura, se forman compuestos coloreados (melanoidinas) mediante reacciones de Maillard (Martins y Van Boekel 2003, Lee y Park 2005, Pedrecci et al. 2005, Senyuva y Gökmen 2005).

El color se puede evaluar fácilmente y puede ser un indicador de las reacciones de Maillard; las cuales han sido relacionadas con la producción de acrilamida en alimentos (Friedman 2003). Dos de los parámetros que se utiliza para la evaluación del color son L^* y h° . El valor L^* indica el grado de luminosidad, a medida que el valor aumenta se tiene un producto más claro, mientras que un $L^*=0$ representa el color negro. El valor h° indica el tono del producto, un $h^\circ=90^\circ$ corresponde al color amarillo, valores cercanos a 0° corresponden al color rojo (Papadakis et al. 2000).

Por otro lado, las propiedades reológicas de los alimentos son determinadas por su composición química, especialmente por los polímeros que condicionan los cambios estructurales durante el procesamiento. El estudio de la textura en productos a base de papa ha sido de mucho interés (Kaur et al. 2002a,b, Arvanitoyannis et al. 2008). Se considera que tanto el almidón como la pectina de la pared celular son los polímeros que determinan las propiedades estructurales en la papa (Burton 1989, Bu-Contreras y Rao 2002).

Considerando la importancia comercial de los productos procesados elaborados a partir de papa, el presente trabajo tubo como objetivo comparar las propiedades físico-químicas de variedades de papa promisorias de reciente introducción en el país (MNF-41, MNF-72 y MNF-80) y la variedad Floresta, así como evaluar parámetros de calidad de la papa prefrita congelada y la papa tostada elaborada a partir de estas variedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las variedades de papa evaluadas fueron la MNF-41, MNF-72, MNF-80 y Floresta. Los tubérculos de las variedades evaluadas fueron cosechados en San Juan de Chicué a 3050 msnm. Con el objetivo de poder evaluar el efecto varietal, el cultivo de las diferentes variedades se realizó bajo las mismas condiciones ambientales y con las mismas prácticas culturales: terreno,

siembra, fertilización (N 12,2%; P_2O_5 31%; K_2O 7,1%; MgO 5,4%; SO_4 7,1%), aporca (N 9,1%; P_2O_5 8,0%; K_2O 25,1%; MgO 2%; SO_4 10,6% CaO 4%), defoliación y cosecha. Se recolectó 20 kg de tubérculos al azar de cada variedad en las diferentes parcelas útiles previamente definidas y se almacenaron a $10^\circ C$, de acuerdo con Van der Plas (1987) y Cottrell et al. (1993).

Caracterización físico-química de los tubérculos

Sólidos totales

Para la determinación de sólidos totales, se utilizó 5 muestras por variedad; cada muestra estuvo compuesta por 3 tubérculos frescos, escogidos al azar. Los tubérculos se pelaron, se homogeneizaron con ayuda de una licuadora y luego se almacenaron a $4^\circ C$. Los sólidos totales fueron analizados mediante la pérdida de humedad hasta peso constante por secado a $50\pm 1^\circ C$ y a una presión de vacío de 20 ± 5 pulgadas de mercurio. Se utilizó el método descrito por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC) método oficial 934,01 para análisis de sólidos totales (Lois y Torres 2002).

Gravedad específica

Para determinar esta variable se utilizó el método de peso en aire y peso en agua comúnmente utilizado para la determinación de la gravedad específica en vegetales (Kleinkopf et al. 1987).

Almidón y azúcares reductores

Los tubérculos se lavaron, pelaron y trocearon en cubos de 0,5 cm de lado, se empacaron al vacío en bolsas de polietileno de alta densidad y se congelaron de forma rápida a una temperatura de $-27,9^\circ C$. Luego se liofilizó el material (liofilizador modelo Freezone 6 de Labconco), se empacó al vacío en bolsas de plástico de alta densidad y se almacenó en una cámara de

refrigeración de acuerdo al procedimiento citado por Liu et al. (1990). Para la determinación enzimática de azúcares reductores se realizó una extracción alcohólica y se utilizó el método descrito por Megazyme (2004). Para la determinación de almidón, se utilizó ácido perclórico para su gelatinización, y posterior a su dispersión en agua se realizó el análisis mediante yodometría, según el método descrito por Nielsen (1943).

Elaboración de la papa prefrita y tostada

La elaboración de bastones de papa prefrita se llevó a cabo siguiendo el esquema descrito en la figura 1. Las papas frescas se pelaron y se trocearon con una cuchilla manual en cuadrículas de 1,27 cm. Su oxidación se evitó mediante la inmersión en agua. Posterior al escaldado, el proceso de prefritura se controló mediante el uso de 4 termopares, en diferentes puntos del freidor y un registrador de temperatura. La congelación se realizó utilizando una carga total de muestra de aproximadamente 3 kg para un volumen de salmuera de cloruro de calcio al 20% de 0,65 m³ (-27,9°C) por un tiempo de congelación de 10 min. El producto se empacó en bolsas de plástico de polietileno de alta densidad.

Para la elaboración de la papa tostada se utilizó el procedimiento descrito por Añón (1984) (Figura 2). Para cada ensayo de fritura se utilizó 3,0 l de aceite tipo Dorofrit N.º 5 con una relación producto: aceite de 1:40. Se realizó 3 ensayos para cada variedad y de allí se tomaron las muestras pertinentes para el análisis de grasa, color y textura de acuerdo con Moreira et al. (1999).

Propiedades físico-químicas de las papas prefritas y las papas tostadas

Textura

Para evaluar la fracturabilidad de las papas tostadas se utilizó un texturómetro tipo Texture Analyser de MicroStable Systems. Se evaluó 3 lotes de fritura y para cada lote se analizó de 21-35 hojuelas. Para el análisis se utilizó una velocidad de penetración de 1 mm.s⁻¹, una distancia de penetración de 3 mm y un aditamento esférico

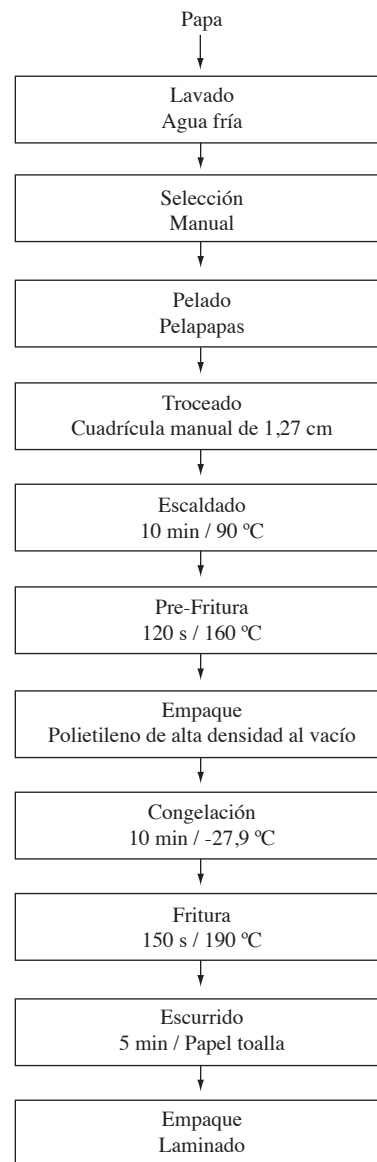


Fig. 1. Proceso de elaboración de papas prefritas congeladas a escala piloto.

para pruebas de fracturabilidad de 0,63 cm (¼ de pulgada). En cuanto a las papas prefritas se tomó de 11-16 bastones por variedad. Se utilizó bastones de los 3 lotes de fritura practicadas a cada

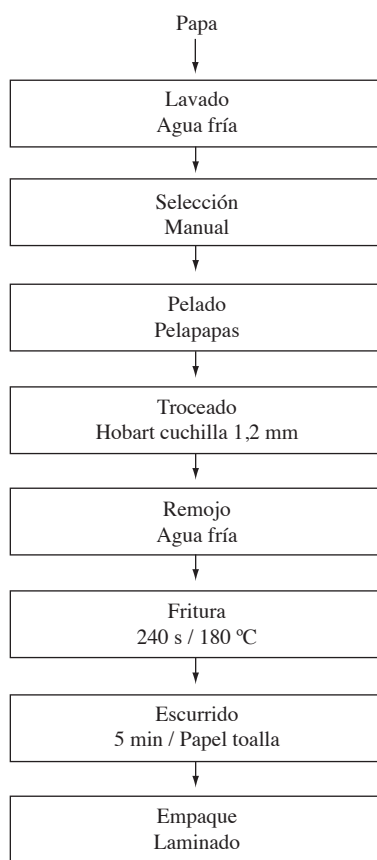


Fig. 2. Proceso de elaboración de papas tostadas a escala piloto, de acuerdo con Añon (1984).

variedad. A cada bastón se le hizo 4 mediciones a lo largo para tener un promedio más exacto del comportamiento de todo el bastón. Se utilizó una velocidad de penetración de $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, una distancia de penetración de 5 mm y un aditamento cilíndrico de 2 mm.

Análisis del color

El color de los productos procesados se determinó con un colorímetro HunterLab Colorflex, serie: CX1192 y con el software Universal Software Ver. 4.10. En el caso de las hojuelas de papa tostada, se molieron utilizando un mortero y un pistilo de cerámica.

Determinación de grasa cruda o de extracto etéreo

Se utilizó el método de la AOAC 920,85 para la determinación de grasa por extracto etéreo (AOAC 1990).

Análisis de datos

Para evaluar el efecto de la variedad sobre las diferentes propiedades estudiadas se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con 4 tratamientos, donde cada variedad se tomó como un tratamiento. En el caso de la caracterización físico-química para cada caso se procesaron al menos 5 muestras por variedad. Para el procesamiento de productos se procesaron 3 lotes para cada estudio. Se realizó un análisis de varianza y en los casos en que se presentaba un efecto significativo de la variedad, ($p \leq 0,05$), se realizó la comparación entre medias mediante un análisis de Tukey. Para lo anterior se utilizó el programa Statistica para Windows (Statsoft, Tulsa, OK, USA). La correlación entre el contenido de sólidos totales y la gravedad específica se determinó mediante una regresión lineal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1 se resume los resultados del análisis físico-químico de las diferentes variedades. Las variedades de reciente introducción muestran contenidos de sólidos totales superiores al contenido de la variedad Floresta. El contenido de sólidos totales a nivel industrial es de gran importancia económica ya que se correlaciona con el rendimiento de producción. La cosecha de estas variedades se realizó en la época lluviosa. En esta época el contenido de sólidos totales tiende a ser menor debido a un efecto de dilución por la cantidad de agua de precipitación. El hecho de que el contenido de sólidos sea superior a 20% en el caso de la variedad MNF-80, a pesar de ser una cosecha de la época lluviosa, es muy notorio y es una característica positiva de esta variedad. De igual forma es interesante resaltar el bajo contenido de sólidos observados en el caso de las variedades Floresta, MNF-41 y MNF-72.

Cuadro 1. Caracterización de las variedades de papa MNF-41, MNF-72, MNF-80 y Floresta en cuanto al contenido de sólidos totales, gravedad específica, almidón y azúcares reductores¹.

Variedad	Sólidos Totales (%)	Gravedad específica	Almidón (%)	Azúcares reductores (%)
MNF-41	18,7 ^b	1,0704 ^b	13,7 ^c	1,142 ^b
MNF-72	18,8 ^b	1,0708 ^b	16,9 ^b	1,384 ^a
MNF-80	23,1 ^a	1,0892 ^a	20,8 ^a	0,076 ^d
Floresta	15,9 ^c	1,0636 ^b	13,4 ^c	0,366 ^c

1 Los resultados se expresan como promedios, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

Los materiales en estudio se cultivaron en una parcela a 3050 msnm, la temperatura y la cantidad de luz que son inherentes a esta altura reducen la generación y transporte de metabolitos por la disminución de la actividad fotosintética (Soboh et al. 2000). Según Núñez (2002), a una altura alrededor de los 2500 msnm se puede tener efectos positivos sobre el rendimiento, la acumulación de materia seca y la menor acumulación de azúcares reductores. El cultivo de las variedades a menores alturas podría ser una alternativa para mejorar las propiedades de las variedades MNF-41 y MNF-72.

Se observó que existe una alta correlación ($R^2=0,97$) entre el contenido de sólidos totales y la gravedad específica, lo que permitiría relacionar el contenido de estos con un parámetro más sencillo de determinar a nivel industrial, debido a lo fácil y rápida que es la evaluación de la gravedad específica. Aún en la actualidad la mayoría de empresas utilizan el criterio de sólidos totales para definir la remuneración a los agricultores e igualmente es un parámetro para la aceptación o rechazo de la materia prima en las plantas procesadoras (Egusquiza 2000).

Se describe valores promedio para el contenido de almidón de 14,1%, pero valores mínimos para papas de uso industrial de 15% (Senser et al. 2004). El contenido de almidón de las variedades MNF-72 y MNF-80 cumple con los estándares establecidos para papa de uso industrial (Cuadro 1). Además, se observó que el contenido de almidón correlaciona directamente con el contenido de sólidos totales (Cuadro 1). A

partir de los valores de sólidos totales y almidón se puede determinar los porcentajes de almidón con respecto al contenido de sólidos totales. El porcentaje de almidón con base al contenido de sólidos totales varió entre 73% para la variedad MNF-41 y 90% para la variedad MNF-80.

En cuanto al contenido de azúcares reductores, se observa que este fue superior para las variedades MNF-41 y MNF-72, en comparación con las variedades MNF-80 y Floresta (Cuadro 1). Considerando que las variedades tuvieron las mismas condiciones de cultivo, se puede considerar que estas diferencias son de carácter varietal, siendo posible que las variedades presenten diferentes ciclos de desarrollo, lo cual podría afectar el nivel de azúcares reductores durante el momento de la cosecha (Bajaj 1987).

En el cuadro 2 se observa los resultados obtenidos del análisis de la papa prefrita como producto terminado. Los aspectos más importantes en cuanto a la calidad para este tipo de producto son el contenido de grasa, el color y la textura (Thygesen et al. 2001, Lee y Park 2005). Se observa que la papa prefrita elaborada a partir de la variedad MNF-80 presenta el mayor contenido de grasa, mientras que la papa prefrita terminada elaborada a partir de las variedades Floresta y MNF-72 presentan el menor. Como producto de estos resultados se observa que existe una relación aparente entre el contenido de sólidos totales y el contenido de grasa remanente en los productos terminados, donde a menor contenido de humedad mayor es el porcentaje de grasa en el producto terminado. En el caso de los productos

Cuadro 2. Caracterización de las propiedades físicas de la papa prefrita congelada elaborada con las variedades de papa MNF-41, MNF-72, MNF-80 y Floresta¹.

Variedad	Contenido de grasa ² (%)	Luminosidad (L*)	Tono (h°)	Textura (kg _f)
MNF-41	16,3 ^b	54,5 ^a	82,1 ^b	59,0 ^a
MNF-72	14,1 ^c	59,5 ^a	84,0 ^b	44,8 ^a
MNF-80	19,4 ^a	60,6 ^a	94,1 ^a	55,4 ^a
Floresta	15,8 ^{bc}	59,4 ^a	88,1 ^{ab}	52,4 ^a

1 Los resultados se expresan como promedios, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

2 Valor corregido considerando el contenido de humedad de la muestra.

de fritura es de esperar que a mayor contenido de humedad, mayor sea el contenido de grasa, debido al reemplazo del agua por aceite, pero en este caso se observa lo contrario (Blumenthal y Stier 1991). Durante el proceso de elaboración de la papa prefrita es necesaria la inactivación de enzimas mediante el escaldado (Sapers 1993). Es posible que durante el proceso de escaldado se desarrolle una superficie protectora debido a la gelatinización del almidón, que puede interferir en la absorción de grasa. El almidón requiere de la presencia de agua para su gelatinización (Andersson et al. 1994), por lo que a mayor contenido de humedad se esperaría un mayor grado de gelatinización del almidón superficial, limitando la absorción de grasa interna en el producto. Lo anterior podría explicar el alto contenido de grasa en los productos de baja humedad en el caso de la papa prefrita.

A nivel industrial es importante considerar aspectos económicos, como el alto costo del aceite al utilizar materiales con altos contenidos de humedad, ya que esto afecta los procesos industriales debido a que se presentan reacciones de hidrólisis generadas por el agua proveniente de la materia prima (Moreira et al. 1999).

El tono de la papa prefrita elaborada a partir de la variedad MNF-80 presentó diferencias con respecto a las variedades MNF-41 y MNF-72, pero no se observó diferencias en cuanto al grado de oscurecimiento (luminosidad) (Cuadro 2). Es importante recalcar que el

tono se ve afectado por las características de color de la pulpa de la papa. La variedad MNF-80 posee el único tono que sobrepasa 90°, esto indica un amarillo con leves matices verdes. Las variedades MNF-41 y MNF-72 presentan tonos amarillos pero con matices rojos. En ninguna de las muestras se logró determinar diferencias significativas con respecto a la luminosidad. Durante el procesamiento de los bastones de papa, el producto se somete a un tratamiento térmico menos riguroso, estas condiciones promueven que las reacciones características de los azúcares reductores no incidan significativamente en la luminosidad de los bastones prefritos (Moreira et al. 1999).

La textura es uno de los atributos sensoriales de mayor importancia para la aceptación de papa procesada. Se ha observado un efecto de variación importante entre los tubérculos, aspecto fundamental para la industria, ya que se espera establecer condiciones uniformes para el procesamiento de los productos a partir de papa (Thygesen et al. 2001). Las diferencias de textura en los productos de papa cocidos se asocian con el proceso de gelatinización y retrogradación del almidón (Kim et al. 1997, Jane et al. 1999, Martens y Thybo 2000, Kaur et al. 2002a, Lamberti et al. 2004). En esta investigación se evaluó la firmeza mediante la determinación de la fuerza máxima requerida para alcanzar una deformación preestablecida de la muestra (papa prefrita congelada terminada).

En cuanto al análisis de textura (Cuadro 2), no se observó diferencias entre variedades en los valores de firmeza de los bastones de papa prefrita, evaluados como producto terminado. En este caso y bajo las condiciones del estudio, el contenido de sólidos totales y almidón, no tiene un efecto importante sobre la textura de los productos elaborados a partir de papa prefrita congelada. Esto podría indicar que las diferencias de sólidos totales y contenido de almidón entre las variedades no son suficientes como para mostrar diferencias entre los valores de firmeza de los productos. Es posible que exista un efecto estructural debido a otros polímeros no considerados en este estudio como la pectina (Lamberti et al. 2004). Además del efecto del almidón sobre la textura, se considera que tanto las sustancias pécticas, como el efecto de tratamientos de escaldado para la inhibición de enzimas pueden tener un efecto positivo sobre la firmeza en productos a base de papa (Martens y Thybo 2000, Carbonell et al. 2006, Islam et al. 2007).

En cuanto a la papa tostada, se observa que la variedad que presenta las hojuelas con un mayor contenido graso fue Floresta (Cuadro 3), lo que se esperaba al tener un contenido de humedad mayor, contrario a lo observado en el caso de los bastones de papa prefrita congelada. Esto debido, a que como ya se ha mencionado, en los procesos de fritura el contenido de humedad es sustituido por el aceite de fritura, por lo que es de esperar que a mayor concentración de agua, mayor sea el reemplazo de agua por aceite (Blumenthal y Stier

1991). Al comparar el contenido de aceite entre la papa prefrita y la papa tostada (Cuadros 2 y 3) se observa que las hojuelas tostadas presentaron mayor contenido de aceite que las papas prefritas. Esto por la mayor superficie de contacto entre el medio de calentamiento (aceite) y el producto. La hojuela tiene mucho más área de contacto y por ende absorbe una mayor cantidad de aceite. Adicionalmente, en el caso de las papas prefritas, el almidón juega un papel importante como barrera de absorción de grasa. Como se mencionó anteriormente, al escaldarse la materia prima, en el caso de los bastones, el almidón se gelatiniza y forma una barrera física que disminuye la entrada de los lípidos (Severini et al. 2005).

En el cuadro 3 se presenta las características de color obtenidas de las diferentes variedades para las papas tostadas. La MNF-80 es la que presentó un menor oscurecimiento (valor de L^* más alto). Las variedades MNF-80 y Floresta mostraron una tonalidad más amarilla ($h^\circ \approx 90^\circ$) en comparación con las otras variedades que mostraron valores de tonalidad más cercanos al color anaranjado ($h^\circ \approx 45$ corresponde al color anaranjado) (Figura 3). El color que desarrolla la papa tostada en el proceso de fritura está relacionado con el contenido de azúcares reductores (Pritchard y Adam 1994). Según se observa en el cuadro 1 las variedades MNF-72 y MNF-41 poseen más del triple del contenido de azúcares reductores en comparación con las variedades Floresta y MNF-80. El alto contenido de azúcares reductores hace que las hojuelas presenten un alto

Cuadro 3. Caracterización de las propiedades físicas de la papa tostada elaborada con las variedades de papa MNF-41, MNF-72, MNF-80 y Floresta¹.

Variedad	Contenido de grasa ² (%)	Luminosidad (L^*)	Tono (h°)	Textura (kg_f)
MNF-41	44,5 ^b	41,7 ^c	62,7 ^c	299,3 ^{bc}
MNF-72	47,0 ^c	39,5 ^c	62,2 ^c	364,0 ^a
MNF-80	44,9 ^b	60,4 ^a	76,6 ^a	344,8 ^{ab}
Floresta	47,5 ^a	50,2 ^b	69,4 ^b	268,6 ^c

1 Los resultados se expresan como promedios, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre variedades.

2 Valor corregido considerando el contenido de humedad de la muestra.

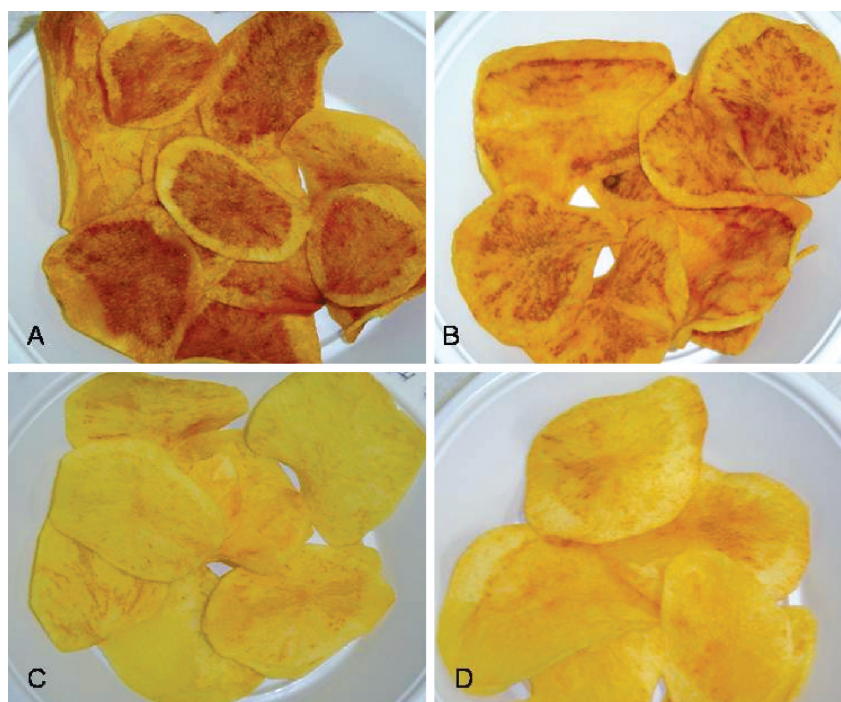


Fig. 3. Papas tostadas elaboradas a partir de las diferentes variedades: (A) MNF-41, (B) MNF-72, (C) MNF-80 y (D) Floresta.

grado de oscurecimiento. Para el consumidor, esta apariencia es inaceptable y además es importante recalcar que la intensidad de coloración se relaciona con el contenido de acrilamida en las frituras. La acrilamida se forma durante las reacciones de Maillard y se ha relacionado con un incremento en la incidencia de diferentes tipos de cáncer (Friedman 2003).

La textura es un atributo que puede denotar frescura y excelencia de un producto (Szczeniak 2002, Lamberti et al. 2004). En el caso de la papa tostada, la crujencia determina la frescura del producto (Kita 2002). El grado de crujencia se determina mediante la fracturabilidad, que es la fuerza necesaria para que el material se fracture, y aplica para productos con altos valores de fuerza y baja cohesividad (Szczeniak 2002). La crujencia esta relacionada con el contenido de sólidos totales; muestras con un contenido

de sólidos muy bajo y con alto contenido graso muestran un comportamiento diferente, siendo más pegajosas (Kita 2002). Se observó que las variedades MNF-80 y MNF-72, mostraron los valores más altos de firmeza como papa tostada. Considerando que la variedad MNF-80 contenía el mayor porcentaje de sólidos totales, mientras que la variedad MNF-72 uno de los menores, las diferencias en textura no son, en este caso, atribuibles al contenido de sólidos totales. Debido a lo anterior, se considera que existen otros factores que pueden tener un efecto estructural, al igual que en el caso de la papa prefrita congelada.

En general, se observó que las variedades que se desea introducir al país desarrollaron tubérculos con un contenido de sólidos totales superior a la variedad Floresta, lo que los convierte en materiales promisorios para la industria nacional. Es importante resaltar las propiedades

de las variedades MNF-72 y MNF-80, donde se observó un comportamiento distinto para cada producto elaborado, para la producción de bastones de papa prefrita congelada como producto terminado, se obtuvo los menores contenidos de grasa al utilizarse la variedad MNF-72, mientras que las hojuelas que presentaron los menores contenidos de grasa fueron las elaboradas a partir de la variedad MNF-80.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO E. 2003. Expectativas de paperos se derrumban. La Nación, San José. Abril 14:1 Economía.
- ANDERSSON A., GEKAS V., LIND I., OLIVEIRA F., ÖSTE R. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34:229-251.
- ANDRADE H.B. 1997. Requerimientos cualitativos para la industrialización de la papa. *Revista INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-Ecuador)* 9:21-23.
- AÑÓN M.C. 1984. Efectos del almacenamiento y pretratamientos en la industrialización de la papa pre-frita congelada. Refrigeración como medio para disminuir las pérdidas post-cosecha, pp. 145-178 In: Tomo II. Secretaria de Ciencia y Técnica (SECYT).
- AOAC 1990. Fat (crude) or ether extract in flour. *Official Method* 920.58. p. 1.
- ARVANITOYANNIS I.S., VAITSI O., MAVROMATIS A. 2008. Potato: A comparative study of the effect of cultivars and cultivation conditions and genetic modification on the physico-chemical properties of potato tubers in conjunction with multivariate analysis towards authenticity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48:799-823.
- BAJAJ S. 1987. Biotechnology of nutritional improvement of potato, pp. 143-145. In: *Biotechnology in agriculture and forestry 3: Potato*. Y.P.S. Bajaj (eds). Springer-Verlag, Berlin.
- BLUMENTHAL M., STIER R. 1991. Optimization of deep fat frying operations. *Journal of Food Science* 58:411-148.
- BORRUEY A., COTRINA F., MULA J., VEGA C. 2000. Calidad industrial y culinaria de las variedades de patata, pp. 1-15. In: *Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en Patata*. Patata 2000. 3-6 Julio, Vitoria-Gastéiz, España.
- BU-CONTRERAS R., RAO M.A. 2002. Review: Dynamic rheological behaviour of heated potatoes. *Food Science and Technology International* 8:3-10.
- BURTON W.G. 1989. *The potato*. 3 ed. New York: John-Wiley y Sons, Inc. 742 p.
- CARBONELL S., OLIVEIRA J.C., NELLY A.L. 2006. Effect of pretreatments and freezing rate on the firmness of potato tissue after a freeze-thaw cycle. *International Journal of Food Science and Technology* 41:757-767.
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). 1992. Annual report 1992- Program 6- postharvest management, marketing. Lima, Perú. p. 125-150.
- CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN (CNP). 2003. Censo de papa realizado en junio del 2003. Costa Rica.
- COTTRELL J.E., DUFFUS C.M., PATERSON L., MACKAY G.R., ALLISON M.S., BAIN H. 1993. The effect of storage temperature on reducing sugar concentration and the activities of three amylolytic enzymes in tubers of the cultivated potato, *Solanum tuberosum* L. *Potato Research* 36:107-117.
- EGUSQUIZA B.R. 2000. La papa: producción, transformación, comercialización. Cimagraf. SRL. Perú.
- FELTRAN J.C., BORGES-LEMO L., LOPES-VIEITIS R. 2004. Technological quality and utilization of potato tubers. *Scientia Agricola* 61:598-603.
- FREEMAN M., JARVIS M.C., DUNCAN H.J. 1992. The textural analysis of cooked potato. 3. Simple methods for determining texture. *Potato Research* 35:103-109.
- FRIEDMAN M. 2003. Chemistry, biochemistry and safety of acrylamide. A Review: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:4504-4526.
- GEIBEL M. 2000. The Groß Lüsewitz Potato Collection (GLKS). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK). Genebank Außenstelle Nord. Alemania.
- GUIDO A., MAMANI P. 2001. Características de la cadena agrolimentaria de la papa y su industrialización en Bolivia. Documento de Trabajo-Proyecto papa Andina. Cochabamba, Bolivia 86 p.

- ISLAM M.S., IGURA N., SHIMODA M., HAYAKAWA I. 2007. The synergistic effect of moderate heat and pressure on the physical properties and pectic substances of potato tissue. *International Journal of Food Science and Technology* 42:434-440.
- JANE J., CHEN Y.Y., LEE L.F., MCPHERSON A.E., WONG K.S., RADOSAVI-JEVIC M., KASEMSUWAN T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry* 78:629-637.
- KAUR L., SINGH N., SINGH-SODHI N., SINGH-GUJURAL H. 2002a. Some properties of potatoes and their starches. I. Cooking, textural and rheological properties of potatoes. *Food Chemistry* 79:177-181.
- KAUR L., SINGH N., SINGH-SODHI N. 2002b. Some properties of potatoes and their starches. II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chemistry* 79:183-192.
- KIM Y.S., WIESENBORN D.P., GRANT L.A. 1997. Pasting properties and thermal properties of potato and bean starches. *Starch* 49:97-102.
- KITA A. 2002. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chemistry* 76:173-179.
- KLEINKOPF G.E., WESTERMANN D.T., WILLE M.J., KLEINSCHMIDT G.D. 1987. Specific gravity of Russet Burbank potatoes. *American Potato Journal* 64:579-587.
- LAMBERTI M., GEISELMANN A., CONDE-PETIT B., ESCHERF. 2004. Starch transformation and structure development in production and reconstitution of potato flakes. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 37:417-427.
- LEE M.K., PARK I. 2005. Inhibition of potato polyphenol oxidase by Maillard reaction products. *Food Chemistry* 91:57-61.
- LISINSKA G., LESZCZYNSKI W. 1989. *Potato science and technology*. Elsevier Applied Science, London, 391 p.
- LIU M., CHEN R., TSAI M. 1990. Effect of low temperature storage, gamma irradiation, and iso-propyl-N-(3-chlorophenyl carbamate) treatment on the processing quality of potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 53:1-13.
- LOIS M., TORRES M.A. 2002. Humedad en estufa de vacío. 4ª emisión del AQCITA-M002. p. 1-10.
- MANZOCCO L., CALLIGARIS S., MASTROCOLA D., NICOLI M.C., LERICI C.R. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology* 11:340-346.
- MARTENS H.J., THYBO A.K. 2000. An integrated microstructural, sensory and instrumental approach to describe potato texture. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 33:471-482.
- MARTINS I.F.S., VANBOEKEL M.A.J.S. 2003. Melanoidins extinction coefficient in the glucose/glycine Maillard reaction. *Food Chemistry* 83:135-142.
- MEGAZYME. 2004. D-Fructose and D-Glucose: Assay procedure K-FRUGL 01/05. 12 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG). 1996. Floresta, nueva variedad de papa de gran productividad. *Boletín Informativo de Nuevas Variedades*. p. 1.
- MOREIRA R.G., CASTELL-PEREZ M.E., BARRUFET M.A. 1999. *Deep-fat frying: fundamentals and applications*. Aspen Publication. 335 p.
- MORENO J.D. 2000. Calidad de la papa para usos industriales. *Boletín de la papa* 2:1-7.
- NIELSEN J.P. 1943. Rapid determination of starch an index to maturity in starchy vegetables. *Industrial and Engineering Chemistry* 15:176-179.
- ÑÚSTEZ C.E. 2002. Estudio del efecto de la altura de producción de semilla, sobre el crecimiento, desarrollo y producción de las principales variedades de papa en Colombia. FASE II. Informe técnico, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 21 p.
- PAPADAKIS S.E., ABDUL-MALEK S., KAMDEM R.E., YAM K.L. 2000. A versatile and inexpensive technique for measuring colour of foods. *Food Technology* 54:48-51.
- PEDRECCI F., MOYANO P., KAACK K., GRANBY K. 2005. Colour changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International* 38:1-9.
- PRITCHARD M.K., ADAM L.R. 1994. Relationship between fry color and sugar concentration in stored Russet, Burbank and Shepody potatoes. *American Potato Journal* 71:59-66.
- RODRÍGUEZ L., WROLSTAD R. 1997. Influence of potato composition on chip colour quality. *American Potato Journal* 74:87-106.

- SAPERS G.M. 1993. Browning of foods—control by sulfites, antioxidants, and other means. *Food Technology* 47:75-84.
- SENER F., SCHERZ H., KIRCHHOFF E. 2004. *Lebensmitteltabelle für die Praxis: Kartoffel*. In: Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (eds.) *Der kleine Souci Fachmann Kraut*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart. 491 p.
- SENYUVA H.Z., GÖKMEN V. 2005. Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass-spectrometry method: investigation of colour and acrylamide formation in coffee during roasting. *Food Additives and Contaminants* 22:214-220.
- SEVERINI C., BAIANO A., PILLI T., CARBONE B., DEROSI A. 2005. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering* 68:289–296.
- SOBOH G.A., SULLY R., HOPKINS H. 2000. Ways to increase tuber number. In: *Australian Potato Research, Development and Technology Transfer Conference*, Adelaide, Australia. Agosto 2000.
- SZCZESNIAK A.S. 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference* 13:215-225.
- TALBURT W.F., SMITH O. 1975. *Potato processing*. 3 ed. Westport: The Avi Publishing Company.
- THYBO A.K., BECHMANN I.E., MARTENS M., ENGELSEN S.B. 2000. Prediction of sensory texture of cooked potatoes using uniaxial compression, near infrared spectroscopy and low field ¹H NMR spectroscopy. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 33:103-111.
- THYGESEN L.G., THYBO A.K., ENGELSEN S. B. 2001. Prediction of sensory texture quality of boiled potatoes from low-field ¹H NMR of raw potatoes. The role of chemical constituents. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 34:469-477.
- VAN BOEKEL M.A.J.S. 1998. Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry* 62:403-414.
- VAN DER PLAS L. 1987. Potato tuber storage: Biochemical and physiological changes, pp. 113-124. In Y.P.S. Bajaj (ed). *Biotechnology in Agriculture and Forestry* 3:Potato. Springer-Verlag, Berlin.