



**INFLUENCIA DE PRETRATAMIENTOS SOBRE LA REDUCCIÓN DE
ACRILAMIDA EN EL PROCESO DE FRITURA DE HOJUELAS DE PAPA
(VARIEDAD *DIACOL CAPIRO*).**

YURANY PINEDA MOLINA

Trabajo de investigación para optar al título de
Magister en Ingeniería de procesos y sistemas industriales

Directora: Martha Patricia Tarazona Díaz.Ph.D

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
BOGOTÁ
2021

INFLUENCIA DE PRETRATAMIENTOS SOBRE LA REDUCCIÓN DE ACRILAMIDA EN EL PROCESO DE FRITURA DE HOJUELAS DE PAPA (VARIEDAD *DIACOL CAPIRO*).

Resumen

La acrilamida (AA) se ha clasificado como un compuesto probablemente carcinogénico en estudios experimentales realizados en animales, diferentes investigadores reportan que la reacción de Maillard es responsable del color marrón de los alimentos procesados y de la formación de compuestos indeseables como la AA, presente en alimentos ricos en carbohidratos como lo son las papas fritas, las galletas y los panes, los cuales han pasado por procesos de horneado o de fritura. El objetivo de este estudio fué evaluar el efecto de diferentes pretratamientos en la formación de AA durante la fritura de hojuelas de papa variedad *Diacol Capiro*. Se empleó un proceso de fritura por inmersión convencional a 190 °C durante 5 min: espesor de la papa 2 mm, diámetro de 70 +/- 0,5mm, oleína de palma alto oleico con TBHQ en una proporción papa oleína (g/ g) 1:10. Se emplearon los siguientes pretratamientos: A30: Inmersión en agua:30 min, A60, inmersión en agua:60 min. AC-10-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 10 g/L:30 min, AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L: 60 min, AC-20-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L:30 min y AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L:60 min, hojuelas de papa lavadas en agua destilada durante 0 min corresponden al control. La determinación y cuantificación analítica de la AA en las hojuelas de papa se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), el contenido promedio de AA presente en las muestras pre-tratadas osciló entre los 276.25 µg*kg⁻¹ para A60 y 4292.51 µg*kg⁻¹ para AC-20-60, cuyos valores evidencian una disminución significativa (P< 0,05) en el contenido de AA entre un 94,96% y 21,63% respectivamente comparadas con el control.

Palabras Clave: Acrilamida, *Diacol Capiro*, fritura, oleína de palma, hojuelas de papa, pre-tratamientos, reacción de Maillard.

Abstract

The Acrylamide AA has been classified as a probable carcinogenic compound in experimental studies done in animals. Different researchers report that the Maillard reaction is responsible for the brown color of processed foods and the formation of undesirable compounds such as AA, present in carbohydrate-rich foods such as potato chips, cookies and bread, which have gone through baking or frying processes. The objective of this study was to evaluate the effect of different pretreatments on the formation of AA during the frying of potato flakes *Diacol Capiro variety*. A conventional frying process of immersion at 190C° was used during 5 min: flakes with 2mm thickness, 70+/- 0,5mm diameter, high oleic palm olein with TBHQ in a (g/g) 1:10 potato olein proportion. The following pretreatments were used before frying potato flakes: A30: Immersion in water: 30 min, A60, immersion in water: 60min. AC-10-30: Immersion in citric acid in a concentration of 10g / L: 30min, AC-10-60: Immersion in citric acid in a concentration of 20g / L: 60min,

AC-20-30: Immersion in citric acid in a concentration of 20g / L: 30min and AC-20-60: Immersion in citric acid at a concentration of 20g / L: 60min, potato flakes rinsed in distilled water for 0 min correspond to the control. The determination and analytical quantification of AA in potato chips was performed by high performance liquid chromatography (HPLC), the average content of AA present in the pretreated samples ranged between A:60: 276.25 and AC-20-60: 4292.51 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, whose values show a significant decrease ($P < 0.05$) in the AA content between 94.96% and 21.63% respectively compared to the control.

Keywords

Acrylamide, Diacol Capiro, frying, palm olein, potato flakes, pre-treatments, Maillard reaction.

1. Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L) es el sexto cultivo más importante a nivel mundial después de la caña de azúcar, los cereales como; el maíz, el trigo, el arroz y la palma para producción de aceite, con una producción de 370.436.581 toneladas en 2019 (FAO, 2019). Colombia presentó en el año 2019 una producción de 3.123.804 toneladas de papa, lo cual le permitió ocupar el quinto lugar en Suramérica dentro de los países productores, superada por Perú y Brasil (FAO, 2019).

Las papas fritas son el snack más popular a nivel mundial (Sushil Dhital, 2018) y tradicionalmente se preparan mediante freído por inmersión, a través del cual adquieren características sensoriales únicas de sabor, color, textura y aroma, que no es posible conseguir con otras técnicas de procesamiento de alimentos (Moreira, 2001; Saguy & Dana, 2003). Sin embargo, el empleo de altas temperaturas, en combinación con otros factores externos al alimento, puede dar lugar a la formación de algunos compuestos tóxicos que además de reducir el valor biológico, pueden ser perjudiciales para la salud (Go'kmen & Palazog'lu, 2008). Dentro de estas sustancias denominadas contaminantes químicos de procesamiento se encuentra la acrilamida (AA), un compuesto orgánico de bajo peso molecular que se produce durante la cocción a temperaturas mayores de 120 °C en alimentos ricos en carbohidratos. Los cambios químicos más importantes son llevados a cabo por la reacción del tipo Maillard, a través de una serie de reacciones no enzimáticas entre azúcares reductores como la glucosa y la fructosa y aminoácidos libres como la asparagina (Halford, 2011; Mottram, 2007; Nursten, 2005). Esta reacción influye en varios aspectos de la calidad de los alimentos tales como, sabor, color y formación de aroma (Medeiros et al., 2012).

El mecanismo principal de formación de AA implica la reacción de un compuesto de carbonilo (preferiblemente un α -hidroxicarbonilo) con asparagina, lo que resulta en la correspondiente conjugación de N-glicosilo y la formación de una base de Schiff descarboxilada (después de la deshidratación a altas temperaturas) (Stadler et al., 2004; Zyzak et al., 2003). La AA ha sido catalogada en el Grupo 2A por La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer, como un "posible agente cancerígeno para

los seres humanos” (EFSA, 2015). Los niveles de AA más altos han sido encontrados en papas fritas, papas chips, productos fritos y horneados, al igual que en panes, galletas y café (Qinqin H, 2015). El Comité Mixto FAO / OMS de Expertos informó a partir de estudios realizados entre 2004 y 2009 para productos alimenticios analizados para 31 países, concentraciones medias de AA entre 159 a 963 $\mu\text{g} / \text{kg}$ para papas a la francesa, 399 y 1202 $\mu\text{g} / \text{kg}$ para papas fritas en hojuela; de 169 a 518 $\mu\text{g} / \text{kg}$ para galletas; de 87 a 459 $\mu\text{g} / \text{kg}$ para pan crujiente y galletas saladas; y de 3 a 68 $\mu\text{g} / \text{kg}$ para café (listo para beber) (FAO / OMS, 2011). Diferentes estrategias han estado orientadas a limitar la generación de acrilamida, entre ellas se encuentra el pretratamiento a las materias primas, como el escaldado, el cual se realiza con el propósito de reducir el contenido de azúcares reductores (Kita, Bra^othen, et al., 2004; Pedreschi et al., 2007a), la inmersión en disoluciones de ácidos orgánicos antes del proceso de fritura (Amrein, et al., 2004) así como determinar las condiciones del proceso de elaboración y tratamiento térmico (Cheng, et al., 2013). Sin embargo, la aplicación de estos presenta en algunos casos ciertas limitaciones a nivel organoléptico.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, el presente trabajo tuvo como objeto evaluar la influencia de la aplicación combinada de diferentes pretratamientos ((i) inmersión en agua por 30 min y 60 min; (ii) inmersión en solución de ácido cítrico en proporción de 10 g/L y 20 g/L por 30 min y 60 min) y condiciones del proceso de fritura convencional, ($T^{\circ} = 190^{\circ}\text{C}$ durante 5 min), sobre la reducción de acrilamida en la producción de hojuelas de papa (variedad *Diacol Capiro*), considerando la estandarización del proceso de fritura, la aplicación de los diferentes pretratamientos y su cuantificación.

2. Materiales y Métodos

2.1 Reactivos

Acrilamida (99 % de pureza), acetonitrilo grado HPLC y etanol, obtenidos de Merck (Bogotá, Colombia), agua desionizada adquirida en Bioquigen (Bogotá, Colombia), ácido cítrico suministrado por Disaromas S.A (Bogotá, Colombia). Todos los reactivos y solventes fueron grado analítico.

2.2 Materia Prima

Papa variedad *Diacol Capiro* obtenida en un mercado local y oleína de palma suministrada por la empresa Del Llano® (Villavicencio, Colombia). La papa fue lavada y pelada manualmente. Se cortaron láminas (espesor 2.0 mm y diámetro de 70 +/- 0.5 mm) empleando una cortadora de papa en hojuelas.

2.3 Caracterización de las materias primas

Para la papa (*Solanum tuberosum*) se realizaron los análisis de humedad (termogravimetría, Mettler Toledo HB43-S, Bogotá, Colombia), sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) (Refractometría, ATAGO PAL-alpha, Bogotá, Colombia, 20°C), proteína Kjeldahl (ISO 1871), grasa (NTC

668), Cenizas (AACC 08-01), fibra cruda (NTC 668), Carbohidratos totales (NTC 512-2) y Azúcares reductores (AACC 80-68). Se determinó el calibre (NTC 341), para clasificar los tamaños de la papa de acuerdo con las características establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y AGROSAVIA.

Para la oleína se realizaron tomas de muestras después de cada 10 ciclos de fritura antes de realizar la renovación de aceite, en un total de 60 ciclos y se determinó el contenido de acidez (% en ácido palmítico), anisidina, humedad, índice de peróxidos, índice de yodo, escaneando las muestras de oleína recolectadas utilizando un Tango Bruker (Bruker Optics GmbH, Ettlingen, Alemania). Los espectros de reflectancia se registraron utilizando el software OPUS versión 8.5 proporcionado por Bruker Optics (Bruker Optics GmbH, Ettlingen, Alemania) con 64 interferogramas a una resolución de 4 cm^{-1} en el rango de número de onda de 11.550 a 3950 cm^{-1} . Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Para las hojuelas de papa sometidas a pretratamiento de fritura y una vez freídas se les realizó análisis de humedad (termogravimetría, Mettler Toledo HB43-S, Bogotá, Colombia) y diferencia de color (ΔE). El color fue medido utilizando un Colorímetro CIELab (Konica Minolta CR-400). Se midió el color de las hojuelas de papa fritas en unidades $L^* a^* b^*$, en donde L^* es el componente de luminosidad, que varía de 0 a 100, y los parámetros a^* (de verde a rojo) y b^* (de azul a amarillo) (Hunt, 1991).

2.4 Pre-tratamientos

Se tomaron 100 g de hojuelas de papa y fueron sometidas a los siguientes pre-tratamientos: A30: Inmersión en agua:30 min, A60, inmersión en agua:60 min. AC-10-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 10 g/L:30 min, AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L: 60min, AC-20-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L:30 min y AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L:60 min. Luego, se secaron con papel absorbente. Las hojuelas que solamente fueron enjuagadas en agua destilada (Bioquigen, Bogotá, Colombia), se consideraron el control. (Pedreschi *et al.*, 2004; Pedreschi *et al.*, 2007b). Todos los pre-tratamientos se realizaron por triplicado.

2.5 Condiciones del proceso de fritura

Se tomó una muestra de 100 g de hojuelas de papa para ser sometidas a fritura y la relación másica de papa y oleína de palma (g / g), fue de: 1:10. Las hojuelas de papa de cada muestra se sometieron a un proceso de fritura en una freidora eléctrica con termostato ajustable (RECCO RF-30A 1S2, Bogotá, Colombia) a 190 °C durante 5 min y una presión de 560 mm Hg. El tiempo y la temperatura de proceso fueron previamente establecidos tras haber realizado la evaluación del porcentaje de humedad, diferencia de color total (ΔE^*) y evaluación sensorial por triplicado.

Se realizaron 60 ciclos de fritura, con reposición del aceite cada 10 ciclos, para mantener siempre la proporción oleína de palma/alimento de 1:10 (Yali Yang, 2016), durante el proceso la temperatura de fritura se mantuvo constante a 190 °C, una vez transcurridos los 5 min de fritura, se eliminó el exceso de aceite de las hojuelas empleando una canastilla de acero inoxidable y se enfriaron hasta temperatura ambiente (18 °C).

Luego, las muestras fueron liofilizadas (Drycol, Bogotá, Colombia), empaçadas al vacío (Multivac Chamber, C200, Bogotá, Colombia) y congeladas (Haceb, Bogotá, Colombia) a $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta su utilización (Yali Yang, *et al.*,2016). Todos los análisis se hicieron por triplicado.

2.6 Evaluación Sensorial

El análisis sensorial se realizó de acuerdo con los estándares internacionales (Eggertj y Zook, 1986), en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de la empresa de snacks que colaboró con este estudio. Se contó con 10 panelistas semientrenados en las características de apariencia, textura y sabor de papas chips comerciales (edades comprendidas entre los 25 y 60 años), los productos se evaluaron a 18°C , y se utilizó una escala hedónica de 9 puntos. Los análisis se realizaron por triplicado y antes de realizar cada evaluación sensorial, se explicó la metodología a cada uno de los participantes.

2.7 Determinación y cuantificación de acrilamida.

El patrón de acrilamida ($>99\%$ de pureza) se obtuvo de Merck (Bogotá, Colombia). El agua utilizada fue agua MilliQ (Merk, Bogotá, Colombia). El acetonitrilo fue de grado HPLC de (Merk, Bogotá, Colombia).

Se extrajo 1 g de papa homogenizada con 100 mL de agua MiliQ con un Ultra-Turrax® (T-25 básico, Janke y Kunkel IKA, Alemania) con un vástago modelo S25KV-25F, a una velocidad de 6500 rpm durante 1 min. Las muestras se centrifugaron durante 30 min. a 4000 rpm (Hettich® Rotofix 32, Buckinghamshire, Inglaterra). Se limpiaron las muestras a través de membranas PVDF de 13 mm de diámetro y poro de $0,22\ \mu\text{m}$ (Whatman® Inc, Maidstone, Inglaterra). Se empleó un equipo HPLC Merck Hitachi con detector UV/VIS, con columna de C18, $4.6 \times 150\ \text{mm}$, $20\ \mu\text{L}$ fueron inyectados y eluidos con acetonitrilo:Agua (1:24 v/v), con un flujo de inyección de $1\ \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ durante 6 minutos a una temperatura de 30°C . La lectura espectral se realizó a 210 nm. Los análisis de acrilamida fueron realizados en el laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, sede Bogotá.

Se realizó la curva patrón de acrilamida con las siguientes concentraciones: 0.5, 1, 2, 6, 8 y $10\ \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, se utilizó acetonitrilo: agua (1:24 v/v) como solvente de fase móvil, a un flujo de $1\ \text{mL}/\text{min}$, el tiempo de retención de la muestra fue de 1,5 min y se obtuvo la curva de calibración $y = 116x$, $R^2 = 0.9995$.

20 microlitros de cada muestra se inyectaron al equipo por triplicado, posteriormente, se tomaron los datos reportados por el equipo de las áreas bajo la curva y de esta manera se interpoló en la ecuación de la recta patrón.

2.8 Determinación de color

Las mediciones de color se realizaron utilizando un colorímetro CIELab (Konica Minolta CR-400). Medidas independientes de a^* (enrojecimiento), b^* (amarillez) y los parámetros L^* (luminosidad) se llevaron a cabo en diferentes áreas de hojuelas de papa fritas. Se realizaron tres medidas independientes para tener en cuenta la distribución no homogénea del color dentro de la misma papa (Mesias, M., et al., 2018).

Se realizaron tres medidas independientes para tener en cuenta la distribución no homogénea del color dentro de la misma papa (Mesias, M., et al., 2018). Se calculó la diferencia de color total, Delta E (ΔE^*) de la siguiente manera:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

El equipo fue calibrado con una placa de BaSO₄ estándar (X 79.80, Y 84.97, Z 90.74).

3. Análisis Estadístico

Se trabajó bajo un diseño experimental, en donde se realizó la combinación de variables tiempo y temperatura, a dos factores, con tres niveles cada uno. Los datos informados fueron la mezcla de combinación de tratamientos independientes por triplicado. Las variaciones se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA) utilizando el software Infostat versión 2016 (Di Rienzo et al., 2016).

Las diferencias entre los valores medios se evaluaron mediante la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95%.

3. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de las materias primas

La **Tabla 1** presenta los resultados de la caracterización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad *Diacol* Capiro y los resultados del análisis físicoquímicos de la oleína de palma, expresados como el promedio del triplicado y su desviación estándar como g / 100 g de peso seco de papa común sin cáscara, cruda.

Los resultados obtenidos (**Tabla 1**), son similares a los reportados por el instituto colombiano de bienestar familiar (ICBF, 2015) con valores de humedad (75,40 g/ 100g), proteína (2,02 g/100g), grasa (0,1 g/ 100g), cenizas (1,0 g/100g) y fibra (0,42 ± 0,01 g/100g). Sin embargo, otros autores (Narváez - Cuenca et al., 2018), reportan valores superiores con valores de proteína (7.0 g/ 100g), grasa (0.02 g/100g), cenizas (2.3 g / 100 g), fibra (2.7 g/100g), seguramente tal y como lo menciona (Álvarez et al., 2009), debido a que la composición proximal de la papa depende y cambia según las variedades, prácticas del cultivo, historial de almacenamiento y análisis utilizados.

Tabla 1.
Caracterización de la papa (*Solanum tuberosum L.*) variedad Diacol Capiro y de la Oleína de Palma

Composición Proximal papa	
Humedad, g/ 100g	75.10 ± 0.02
°Brix, %	5.80 ± 0.00
Proteína, g/100g	2.02 ± 0.00
Grasa, g/ 100g	0.08 ± 0.02
Ceniza, g/100g	1.12 ± 0.03
Fibra, g/100g	0.42 ± 0.01
Carbohidratos, g/100g	17.16 ± 0.01
Análisis físicoquímico Oleína de Palma	
Acidez (% en ácido palmítico)	0.07± 0.01
Anisidina, meq O ₂ /Kg	3.80 ± 0.02
Humedad, g/100g	0.01 ± 0.00
Índice de Peróxidos, meqO ₂ /100g	0.01± 0.02
Índice de Yodo, g I ₂ /100 g	71.2± 0.00

Promedio de n=3 ±desviación estándar

Los resultados obtenidos en la oleína de palma (**Tabla 1**) se encontraron dentro de los rangos establecidos en la norma técnica colombiana (**NTC 5882., 2011**), (% Acidez: Máx. 0,1; % Humedad: Máx. 0,1; Índice de peróxidos Máx. 5; Índice de Yodo: 64-73 cg/g). **Ogan et al., 2015**, refieren que un % acidez < 0,1% indica que el aceite fue correctamente refinado, un índice de peróxidos < 1.0 meq O₂/kg, que el aceite es fresco y un contenido de humedad < 0,1% indica que el aceite para freír es grasa pura y que no se producirán salpicaduras cuando se use por primera vez, eso hace que la oleína de palma tenga excelentes resultados en los procesos de fritura a nivel doméstico e industrial. (**Edem, 2002, Lin, 2011, Sue, 2009**).

El contenido de anisidina el cual mide los compuestos de oxidación secundaria, principalmente 2-alquenes y 2,4-alcadienes generados debido a la descomposición del hidroperóxido, siendo más sensible a los aldehídos insaturados (**Gordon, 2001**), estuvo dentro del rango (0,6 – 4,65 mg KOH/g) reportado por **Chong (2012)**.

3.2 Proceso de fritura

La **Tabla 2** muestra la estandarización preliminar del proceso de fritura en cuanto a la determinación de humedad y diferencia de color (ΔE), teniendo como control una muestra sometida a un proceso de fritura de 180°C/3 min, siendo estas las condiciones de la industria.

Tabla 2. % Humedad y ΔE de la combinación de tratamientos de fritura

Combinación de Tratamientos		% Humedad	ΔE
Control / Muestra	180°C – 3min	2,48% \pm 0.00	19,72 \pm 0.01
a ₁ b ₁	170°C – 3min	34,58% \pm 0.00	18,51 \pm 0.02
a ₂ b ₁	180°C – 3min	22,22% \pm 0.01	19,21 \pm 0.01
a ₃ b ₁	190°C – 3 min	11,69% \pm 0.01	20,11 \pm 0.01
a ₁ b ₂	170°C – 4min	23,23% \pm 0.02	19,68 \pm 0.01
a ₂ b ₂	180°C – 4min	15,60% \pm 0.01	21,72 \pm 0.00
a ₃ b ₂	190°C – 4 min	4,36% \pm 0.01	22,35 \pm 0.02
a ₁ b ₃	170°C – 5min	19,34% \pm 0.01	19,94 \pm 0.02
a ₂ b ₃	180°C – 5min	12,02% \pm 0.02	20,45 \pm 0.00
a ₃ b ₃	190°C – 5 min	2,42% \pm 0.00	21,44 \pm 0.00

Promedio de n=3 \pm desviación estándar

El exceso de humedad es una característica poco apta para una hojuela de papa frita, las cuales una vez freidas deben alcanzar un contenido de humedad del 2% o menos (Baumann & Escher, 1995), motivo por el cual las hojuelas de papa que presentaron una humedad entre 12,02% y 34,58% no pueden ser consideradas de buena calidad (Tabla 2).

Las muestras tratadas a 170°C, fueron muestras que presentaban exceso de humedad entre 19,34 – 34,58% , por la baja temperatura de fritura lo cual coincide con estudios realizados por (Pedreschi y Moyano, 2005a), quienes concluyeron que la temperatura de fritura es una variable que tiene un efecto significativo ($P > 0.05$) sobre la textura final y la absorción de aceite, ya que en su estudio al freír a 120 °C, las hojuelas de papa eran más crujientes y contenían más aceite que las freidas a 180 °C, lo anterior se explica porque el aceite más caliente tiene una densidad más baja y no se adsorbe tan fácilmente, mientras que las temperaturas más bajas requieren tiempos de fritura más largos, lo que permite que la superficie de la hojuela absorba más aceite (Saguy et al., 1998).

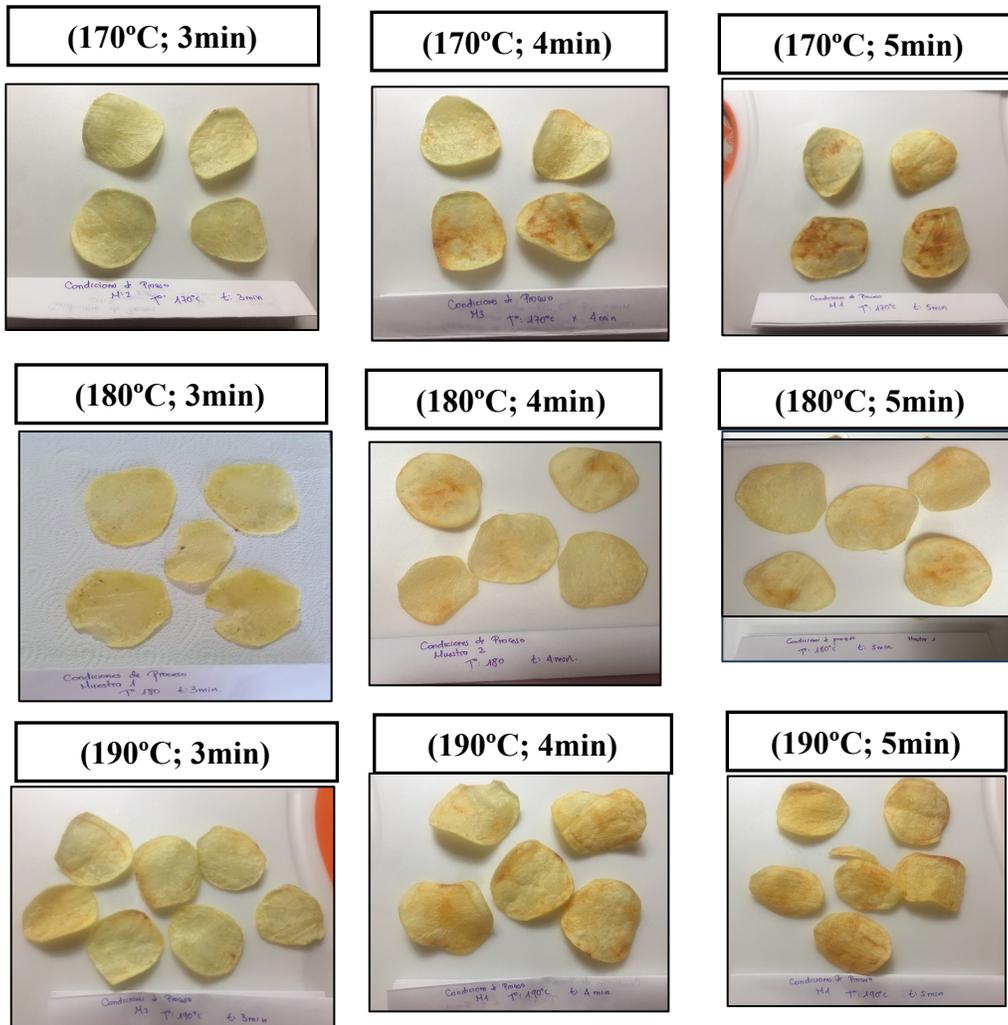


Figura 1. Hojuelas de papa sometidas a freído en diferentes combinaciones de Temperatura y tiempo.

De acuerdo a los valores obtenidos en ΔE se puede determinar que a mayor temperatura y mayor tiempo de fritura se obtuvo un mayor ΔE , obteniendo hojuelas de papa más oscuras (**Ver Figura 1**), esto se debe a que el color de las papas fritas es el resultado de la reacción de Maillard, reacción de pardeamiento no enzimático, que depende del contenido superficial de azúcares reductores (**Márquez & Añón, 1986**), de la presencia de aminoácidos libres como la asparagina presente en los niveles más altos en papas (93,9 mg/100g) (**Martin and Ames., 2001**). La reacción de Maillard es altamente dependiente de la temperatura del aceite y del tiempo de fritura (**Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. 2006**).

De acuerdo al % humedad y ΔE se seleccionaron las dos mejores muestras de papa freídas a 190 °C/4min y 190 °C/5min, debido a que se comportaron de manera similar al control, el cual corresponde a una muestra comercialmente aceptada por los consumidores, arrojando 4,36% y 2,42% de humedad y 22,35 y 21,44 ΔE respectivamente. Además, a estas dos muestras se les realizó panel sensorial, comparado con la muestra control (**Figura 2**).

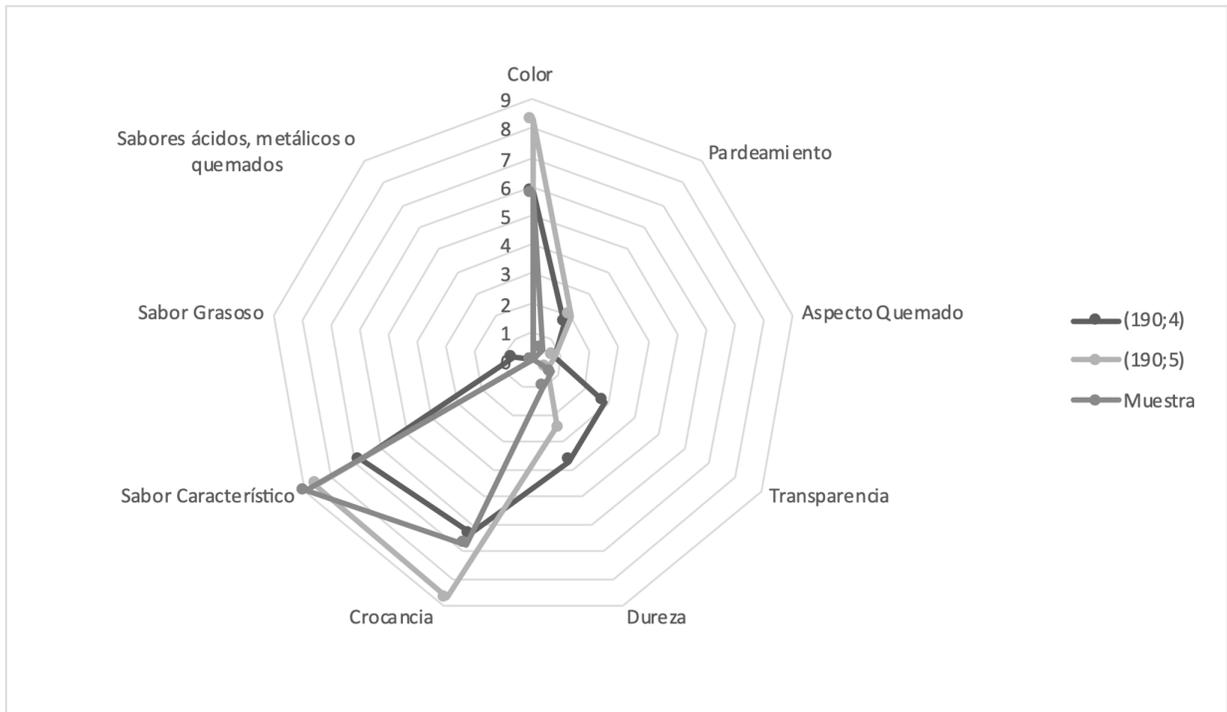


Figura 2. Promedio de evaluaciones sensoriales por atributos en hojuelas de papas fritas, de tres proceso de fritura convencionales.

Las muestras fueron percibidas por los panelistas como de colores intensos, bajos niveles de pardeamiento y aspecto quemado, con una baja transparencia y baja dureza (grado de fuerza para morder la hojuela). Los atributos mejor evaluados fueron el color, la crocancia, el sabor, siendo el tratamiento (190°C/5min) el que mejor los reflejó, sin embargo, fue mayor la dureza de la muestra tratada 190°C/4min, la cual fue percibida como baja en crocancia y a la cual se le debía ejercer mayor fuerza para masticar. Por ello, se seleccionó el tratamiento de fritura de 190°C/5min. A nivel industrial se reconoce que el aspecto y el color de la superficie de los alimentos es el primer parámetro de calidad evaluado por los consumidores y es crítico para su aceptación (Pedreschi, *et al.*, 2004).

Se obtuvo el glosario sensorial de atributos sensoriales para las hojuelas de papa fritas haciendo uso de un panel entrenado, el cual constó de: apariencia en donde se evaluó color amarillo, pardeamiento, aspecto quemado y transparencia; textura en donde se evaluó dureza y crocancia, sabor normal, sabor extraño “1” asociado a la sensación grasosa y sabor extraño “2” asociado a sabores ácidos, metálicos o quemados.

3.3 Efecto de la aplicación de pre-tratamientos utilizados en el proceso de fritura sobre la calidad de la hojuela.

3.3.1 Características de color de las hojuelas de papa

El color de la papa frita es el resultado de la reacción de Maillard y depende del contenido de azúcares reductores superficial, de la temperatura y tiempo de fritura (Márquez & Añón, 1986). Los parámetros de color (Tabla 3) mostraron que la luminosidad fue significativamente mayor para el pre-tratamiento A:30 ($p < 0,05$), lo que que significa que el tiempo de inmersión en agua no fue suficiente para favorecer la lixiviación de los azúcares reductores y de paso inhibir las reacciones de pardeamiento no enzimáticas, dando lugar a hojuelas más luminosas y menos rojas, coincidiendo con estudios de otros autores tanto para papa en hojuela como para papa en bastones (Pedreschi, 2007a).

A medida que las muestras se oscurecen durante la fritura, el valor L^* disminuyó y el valor a^* aumentó, lo que resulta en un aumento general de la diferencia total de colores. Los valores promedio de ΔE mostraron estadísticamente que el único pre-tratamiento que es diferente al blanco es A:60 con un ΔE de $27,55 \pm 9,9$, los demás pre-tratamientos no mostraron diferencias significativas.

Tabla 3
Características de color de las hojuelas de papa sometidas a diferentes pretratamientos de fritura

Muestras de hojuelas de papa	L^*	a^*	b^*	ΔE
Blanco	$79,03 \pm 8,26^b$	$6,59 \pm 0,27^a$	$12,72 \pm 5,41^{bc}$	$24,08 \pm 4,83^{ab}$
A30	$83,83 \pm 3,37^c$	$9,16 \pm 2,89^b$	$14,75 \pm 1,97^c$	$21,33 \pm 2,21^a$
A60	$75,87 \pm 11,35^{ab}$	$9,67 \pm 1,93^b$	$14,25 \pm 2,84^c$	$27,55 \pm 9,9^c$
AC-10-30	$73,68 \pm 1,45^a$	$9,19 \pm 0,83^b$	$4,15 \pm 0,94^a$	$25,86 \pm 1,49^{bc}$
AC-10-60	$77,19 \pm 6,61^{ab}$	$6,97 \pm 0,85^a$	$11,77 \pm 3,97^b$	$24,72 \pm 3,76^{bc}$
AC-20-30	$73,95 \pm 1,54^a$	$9,04 \pm 0,52^b$	$4,08 \pm 0,82^c$	$25,54 \pm 1,51^{bc}$
AC-20-60	$77,10 \pm 6,21^{ab}$	$7,56 \pm 1,85^a$	$11,86 \pm 3,33^b$	$24,89 \pm 3,59^{bc}$

Promedio de $n=3 \pm$ desviación estándar

Los valores medios listados en columnas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Pre-tratamientos: A30: Inmersión en agua:30 min, A60, inmersión en agua:60min. AC-10-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 10g/L:30min, AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20g/L: 60min, AC-20-30: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20g/L:30min y AC-20-60: Inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20g/L:60min.

3.3.2 Acrilamida en hojuelas de papa

En este estudio el blanco como era de esperarse tuvo un comportamiento significativamente diferente a las demás muestras, presentando el mayor contenido promedio de acrilamida $5477.47 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Los pre-tratamientos que mejor se desempeñaron por arrojar contenidos bajos de acrilamida fueron: A60, AC-20-30 y A30, con resultados promedio de 276.25, 1453.72 y $1554.57 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente, resultados similares a los reportados por [Pedreschi et al., 2004](#), quienes informaron el contenido promedio de $4724 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ para muestras de papa pre-tratadas y freidas a 190°C . La reducción de la formación de acrilamida en papas fritas se atribuye tanto a la reducción del pH con ácido cítrico antes de freír, como a la lixiviación de la asparagina libre y los azúcares reductores de la capa superficial de papa ([Jung et al., 2003](#)), precursores importantes en las reacciones inducidas por el calor, capaces de formar la acrilamida en los alimentos sometidos a fritura ([Pedreschi et al., 2007a](#)).

Tabla 4. Formación de Acrilamida de hojuelas de papa pre-tratadas: a 190°C durante 5 min.

Pre-Tratamiento	Acrilamida $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	% Reducción Acrilamida
A60	276.25 ^a	94,96%
AC-20-30	1453.72 ^a	73,46%
A30	1554.57 ^a	71,62%
AC-10-30	2119.72 ^{ab}	61,30%
AC-10-60	3940.56 ^{bc}	28,06%
AC-20-60	4292.51 ^{bc}	21,63%
BLANCO	5477.47 ^c	94,96%

Pre-tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Tratamientos: Agua destilada 0 min (Blanco), A30:Sumergidas en agua:30min, A:60: Sumergidas en agua:60min, AC-10-30: Sumergidas en ácido cítrico 10g/L:30min; AC-10-60: Sumergidas en ácido cítrico 10g/L:60min; AC-20-30: Sumergidas en ácido cítrico 20g/L:30min; AC-20-60: Sumergidas en ácido cítrico 20g/L:60min
DMS: 2260.57

Los pre-tratamientos en donde se empleó una solución de ácido cítrico, arrojaron contenidos menores de acrilamida comparados con el blanco, ([Pedreschi et al. 2007b](#)) ha referido en sus estudios que disminuir el pH de las papas reduce la formación de acrilamida; también han mencionado que en este caso no hay casi eliminación de precursores de acrilamida durante el remojo en solución de ácido cítrico (glucosa y asparagina), otro mecanismo diferente a la reacción de Maillard que probablemente opera para reducir la formación de acrilamida después del freído. Es posible que el ácido cítrico o aceites de fritura que lo contengan o se le adicione en niveles altos, induzcan la reducción del contenido de acrilamida en el alimento frito ([Gertz et al., 2003](#)).

Al comparar los resultados del % de acidez de la oleína de palma de los pre-tratamientos AC-10-30, AC-10-60 y AC-20-60 ([Ver Tabla 4](#)) vs contenido de acrilamida en las papas

para estos mismos pre-tratamientos (**Ver Tabla 4**), se pudo visualizar que tal y como lo han mencionado otros investigadores, existen vías adicionales de formación de acrilamida a partir de lípidos (**Becalski, et al.,2003; Gertz, et al., 2002; Weisshaar, 2004; Yasuhara, et al 2003**), estos pre-tratamientos no solo tuvieron un comportamiento muy similar al blanco respecto al % de acidez de la oleína de palma, sino también respecto al efecto en la disminución del contenido de acrilamida, lo anterior debido a que el aceite de palma es más sensible a la degradación lipolítica y los productos de hidrólisis del aceite, pueden crear glicerol como precursor de la acrilamida. (**Gertz, 2004; Gertz y Klostermann, 2002; Gertz et al.,2003**),

Los valores arrojados por este estudio, evidencian una disminución estadísticamente significativa ($P < 0,05$) en el contenido de acrilamida de las muestras tratadas de: 94,96%:A60, 73,46%:AC-20-30, 71,62%:A30; 61,30%:AC-10-30; 28,06% y AC-10-60; 21,63%: AC-20-60 comparadas con el control, coincidiendo con resultados de estudios anteriores en donde han citado la reducción de un 25% en la formación de acrilamida al sumergir tiras de papa en agua destilada durante 1 h y luego freír a 190°C (**Jung et al., 2003**), una reducción en un 60% de la formación de acrilamida utilizando pre-tratamientos de escaldado o remojo (**Pedreschi et al., 2004**) y la reducción de un 73.1% en tiras de papa sumergidas en una solución de ácido cítrico de 10 g / l y freidas a 190°C (**Jung et al., 2003**).

3.3.3 Comportamiento de la oleína de palma durante el proceso de fritura

3.3.3.1 Acidez.

El porcentaje de acidez de la oleína de palma extraída en la fritura del blanco y en los pre-tratamientos aumentaron gradualmente desde el ciclo de fritura 10 hasta el ciclo de fritura 60 (**Tabla 5**). Este aumento se debe a que a medida que los alimentos se fríen en aceite caliente, la humedad forma vapor, que se evapora con una acción de burbujeo y desaparece gradualmente a medida que se fríen los alimentos. El agua, al igual que el vapor y el oxígeno inician las reacciones químicas en el aceite y los alimentos para freír, pero esta al ser un nucleófilo débil, ataca el enlace éster de los triacilgliceroles y produce di y monoacilgliceroles, glicerol y ácidos grasos libres, haciendo que el contenido de ácidos grasos libres en el aceite aumenten con el número de frituras (**Chung J, et al., 2004**)

De acuerdo con la clasificación de Tukey el promedio entre los pre-tratamientos debe ser de por lo menos de 0,016 para que sean diferentes. El pre-tratamiento A30 produjo un menor índice de acidez estadísticamente diferente a los demás pre-tratamientos, tanto al inicio del proceso en el ciclo 10, así como en el deterioro sufrido durante el proceso degradativo en los siguientes 50 ciclos de fritura. Seguramente por el contenido de azúcar presente en las muestras. **Ishihara et al., 2006**, ha mencionado que cuando se realiza el lavado de hojuelas de papa sin freír, se presenta un efecto en la disminución de los azúcares reductores y en este pre-tratamiento en donde tan solo estuvieron inmersas por 30 minutos, quizás no se tuvo el tiempo suficiente para removerlos y esto incidió en un índice de acidez para la oleína de palma estadísticamente menor, en comparación con los demás pre-tratamientos.

Así mismo los pre-tratamientos A:60, AC-20-30 y AC-10-60 presentaron un comportamiento muy similar respecto a la variable de % de acidez.

AC-10-30 y AC-20-60 presentaron un mayor % de acidez con unas medias de 0,08 y 0,09 respectivamente, el aumento en el contenido de ácidos grasos libres también podría ser causada por una mayor oxidación de la productos secundarios formados durante la fritura (Kun *et al.*, 1990).

Los tratamientos AC-10-30 y AC-20-60 son significativamente diferentes a los demás pre-tratamientos pero similares en % de acidez al blanco, durante este estudio se esperaba visualizar algún efecto antioxidante del ácido cítrico de los pre-tratamientos sobre el % de aceite del aceite, pero los resultados demostraron que no. AC-10-30 y AC-20-60 arrojaron muestras con % de acidez promedio que excedieron el contenido máximo de 0,1% establecido por la NTC 5882., 2011.

Tabla 5. Comportamiento de la oleína de palma alto oleico con TBHQ (Del Llano) después del pre-tratamiento térmico aplicado a las hojuelas de papa pre-tratadas: a 190°C durante 5 min.

Característica de Calidad	Ciclo	Blanco ^{cd}	A30 ^a	A60 ^b	AC-10-30 ^d	AC-20-30 ^b	AC-10-60 ^{bc}	AC-20-60 ^d
Acidez (como ácido palmítico), en fracción expresada en (%)	10	0,041	0,020	0,031	0,048	0,032	0,033	0,048
	20	0,062	0,020	0,045	0,075	0,051	0,047	0,071
	30	0,072	0,023	0,045	0,088	0,049	0,057	0,069
	40	0,091	0,031	0,062	0,097	0,054	0,071	0,089
	50	0,102	0,038	0,062	0,098	0,059	0,087	0,124
	60	0,109	0,042	0,069	0,101	0,086	0,094	0,120
Anisidina mg KOH/g	Ciclo	Blanco ^d	A30 ^a	A60 ^b	AC-10-30 ^d	AC-20-30 ^c	AC-10-60 ^c	AC-20-60 ^d
	10	11,07	4,89	8,27	11,05	10,30	8,35	10,62
	20	15,47	4,78	10,47	14,37	11,52	12,28	15,87
	30	14,14	6,19	12,79	16,73	13,09	11,12	14,73
	40	16,58	7,73	14,04	17,76	14,89	16,14	17,83
	50	19,48	9,55	13,75	17,76	16,93	16,75	19,76
60	20,00	10,10	15,23	18,73	18,48	17,64	17,60	
Índice de Peróxido en meq O ₂ /kg grasa	Blanco ^c	A30 ^a	A60 ^b	AC-10-30 ^c	AC-20-30 ^b	AC-10-60 ^{bc}	AC-20-60 ^c	
	10	13,90	5,38	8,04	12,48	13,33	9,89	13,59
	20	10,93	5,37	8,65	12,46	5,45	10,06	12,09
	30	11,75	5,57	6,17	12,50	7,80	9,13	11,06
	40	13,01	4,43	6,97	12,06	6,35	9,92	11,40
	50	11,29	2,88	6,49	9,34	5,46	8,22	13,29
60	10,87	2,82	10,35	9,34	8,23	9,88	6,98	
	Blanco ^a	A30 ^c	A60 ^b	AC-10-	AC-20-	AC-10-	AC-20-	

					30 ^a	30 ^b	60 ^{ab}	60 ^a
Índice de Yodo g I₂ / 100	10	69,90	70,80	69,70	69,60	69,60	69,90	69,80
	20	68,50	70,60	69,20	68,20	69,80	69,20	68,40
	30	68,40	70,40	68,80	67,70	69,10	68,90	68,30
	40	67,70	70,00	68,30	67,50	68,30	67,80	67,30
	50	66,50	69,80	68,20	67,20	67,80	67,20	66,60
	60	66,50	69,30	68,40	67,10	67,50	67,10	66,20
Humedad (en fracción expresada en %)		Blanco^{ab}	A30^a	A60^{ab}	AC-10-30^b	AC-20-30^{ab}	AC-10-60^{ab}	AC-20-60^b
	10	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03
	20	0,01	0,02	0,07	0,07	0,01	0,05	0,03
	30	0,02	0,00	0,05	0,08	0,05	0,03	0,05
	40	0,05	0,00	0,09	0,14	0,09	0,08	0,10
	50	0,14	0,03	0,05	0,11	0,07	0,08	0,18
60	0,12	0,06	0,08	0,11	0,09	0,08	0,10	

Pre-Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tratamientos: Agua destilada 0 min (Blanco), A30:Sumergidas en agua:30min, A:60: Sumergidas en agua:60min, AC-10-30: Sumergidas en ácido cítrico 10g/L:30min; AC-10-60: Sumergidas en ácido cítrico 10g/L:60min; AC-20-30: Sumergidas en ácido cítrico 20g/L:30min; AC-20-60: Sumergidas en ácido cítrico 20g/L:60min

DMS: % Acidez: 0,01664; Anisidina: 1,93858; Índice de Peróxidos: 2.99649, Índice de Yodo: 0.73098; Humedad: 0,05380

3.3.3.2 Anisidina

A:30 se desempeñó estadísticamente mejor debido a que arrojó un contenido promedio menor de anisidina con un valor de 7,21 mg KOH/g en comparación con los demás pre-tratamientos. AC-20-30, AC-10-30 y AC-20-60 tuvieron un comportamiento muy similar, arrojando valores promedio de anisidina estadísticamente muy altos con valores promedios de 14.20, 16,07 y 16.07 mg KOH/g, de hecho, muy similares a los arrojados por el blanco con un valor promedio del 16.12 mg KOH/g. Y finalmente los A60, AC-10-60 y AC-20-30 se comportaron de manera similar, no obstante, el AC-20-30 se comportó de manera similar a AC-20-60, AC-10-30, AC-20-60 y al blanco. Los valores de anisidina representan el nivel de aldehídos no volátiles, principalmente 2-alquenos, presentes en la grasa (Daniali, 2016). El índice de peróxidos se empleó para medir el contenido de peróxido e hidroperóxido en las muestras de oleína de palma, mientras que el valor de anisidina determinó productos de oxidación secundaria (Daniali, 2016).

3.3.3.3 Índice de Peróxido

Una de las principales reacciones químicas que ocurren en el aceite durante el proceso de fritura es la oxidación de los lípidos, (Daniali, 2016). La medida de la cantidad de peróxidos formados en las grasas y los aceites a través de procesos de autooxidación y oxidación se realiza a través de la estimación del índice de peróxidos (Yaakob *et al.*, 2000). En la **Tabla 4** se puede visualizar que los valores de peróxidos estadísticamente más bajos, se presentaron en A30, AC-20-30 y A60, con valores promedio de: 4.41, 7.77 y 7.78

meq O₂/kg grasa y los valores promedio más altos de peróxidos se encontraron en AC-10-60, AC-10-30, AC-20-60 incluido el blanco con valores de: 9.52, 11.36, 11.40 y 11.96 meq O₂/kg grasa, respectivamente. Durante este estudio se esperaba visualizar que los pre-tratamientos en donde se empleó ácido cítrico, se evitara el deterioro de la oleína de palma durante la fritura debido a sus características antioxidantes, tal y como se ha podido visualizar en estudios realizados por **(Yaakob B., et al 2000)** en donde la adición de extractos de romero, en oleína de palma, retrasaban su deterioro, pero en este estudio no pudo ser observado este fenómeno.

3.3.3.4 Índice de Yodo:

El índice de yodo es una medida de la cantidad de insaturación en los ácidos grasos **(Kanayo J., et al., 2021)**. A30 se comportó significativamente diferente a los demás pre-tratamientos, arrojando un índice de yodo de 70.15 g I₂ / 100, resultado que también coincide con el mayor resultado promedio, en comparación con los demás.

El valor del índice de yodo presentó variaciones entre 67.77 g I₂ / 100 y 70.15 g I₂ / 100, pero a pesar de las fluctuaciones observadas en este estudio, no se encontró ningún efecto significativo sobre estos valores y los diferentes pre-tratamientos aplicados. Es probable tal y como lo refiere **Kanayo J., et al., 2021.**, que los bajos valores de yodo observados para la oleína de palma al ser calentada a una temperatura mayor a 185 ° C haya contribuido a su mayor estabilidad oxidativa

Coincidiendo con estudios realizados por **(Yaakob B. Che Man., 2000)**, que reportó una disminución significativa en el índice de yodo para Oleína de palma (RBD) tras aplicar 60 ciclos de fritura de 56.1 g I₂ / 100 g a 41.00 g I₂ / 100 g. Los resultados de las muestras de oleína de palma extraídas de los pre-tratamientos en los que se empleó ácido cítrico, demuestran que bajo las condiciones del proceso de este estudio, este antioxidante natural no reduce la oxidación del aceite.

3.3.3.5 Humedad

El agua es una de las impurezas más comunes en el aceite de palma y el control de su contenido es importante, ya que afectará la estabilidad hidrolítica del aceite si la presencia de agua es alta **(Chiew L.,2012)**.

El porcentaje de humedad de las muestras de oleína de palma presentaron variaciones entre 0 y 0,18%, pero a pesar de las fluctuaciones observadas, no se encontró ningún efecto significativo sobre estos valores y los diferentes pre-tratamientos aplicados.

4. Conclusiones

Se confirmó en esta investigación que siempre y cuando se realicen pre-tratamientos de inmersión en agua o en ácido cítrico se presentará una disminución significativa ($P < 0,05$) en el contenido de acrilamida del 94,96% : A60 (inmersión en agua: 60min.), 73,46%:AC-

20-30 (inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L: 30min), 71,62%:A30 (inmersión en agua: 30min); 61,30%:AC-10-30 (inmersión en ácido cítrico en una concentración de 10 g/L: 30min.); 28,06%:AC-10-60 (inmersión en ácido cítrico en una concentración de 10 g/L: 60min); 21,63%: AC-20-60 (inmersión en ácido cítrico en una concentración de 20 g/L: 60min), comparadas con el control.

A:60 fue el pre-tratamiento que mayor contenido de acrilamida redujo y también el único que tuvo una influencia significativa en el color desarrollado con un ΔE de $27,55 \pm 9,9$, lo que puede deberse a la reducción del contenido de azúcar tras aplicar el pre-tratamiento de inmersión en agua por 60min.

Las condiciones de fritura producen un efecto significativo sobre el nivel de acrilamida, así como sobre el desarrollo de pardeamiento, textura y sabor causado por la reacción de Maillard y el implementar cambios en los procesos productivos de elaboración de hojuelas de papa fritas, tiene como consecuencia la reducción y/o prevención de acrilamida y la obtención de un producto sensorialmente aceptado por los consumidores.

5. Agradecimientos

Este trabajo constituye un primer paso en la estimación del riesgo por la generación de acrilamida en un snack de papa y en el análisis de las posibles medidas de gestión para aplicar en pequeñas y medianas empresas, y así buscar reducir su presencia.

La autora agradece la colaboración de la empresa Aceites del Llano y Pasabocas Krumerchips S.A.S, quienes facilitaron el uso de sus instalaciones para correr diferentes pruebas y ensayos que hicieron posible este proyecto, el cual ha permitido de forma práctica reducir la formación y aparición de acrilamida en snacks de papa, no solo en Pasabocas Krumerchips S.A.S, sino en diferentes microempresas dedicadas a la elaboración de snacks de papa frita en la ciudad de Bogotá., D.C., Colombia.

6. Referencias Bibliográficas

Amrein, T., Schobachler, B., Escher, F., & Amado, R. (2004). Acrylamide in gingerbread: critical factors for formation and possible ways for reduction. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 4282–4288.

Baumann, B., & Escher, E. (1995). Mass and heat transfer during deep fat frying of potato slices. I. Rate of drying and oil uptake. *Lebensmittel- Wissenschaft und-Technologie*, 28, 395–403.

Becalski, A., Lau, B., Lewis, D., & Seaman, S. W. (2003). Acrylamide in foods: occurrence, sources and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 802–808.

Cheng., J; Xiaoqin W; Zhang,Y. (2013). Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review., *Food Res.Int.*, 51, 2, 611-620.

Chiew L. (2012) Measurement and Maintenance of Palm Oil Quality, Pages 431-470, ISBN 9780981893693,
<https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50018-6>.

Choe, E., & Min, D. B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 72, R77–R86.

Chong, C.L. (2012). Measurement and maintenance of palm oil quality. In O.-M.Lai, C.-P.Tan, & C.C. Akoh (Eds.), *Palm oil: Production, processing, characterization and uses* (pp. 433–470). Urbana, Illinois, USA : AOCS Press.

Chung J, Lee J, Choe E. 2004. Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. *J Food Sci* 69:574–8.

Daniali, S. Jinap, P. Hajeb, M. Sanny, C.P. (2016). Acrylamide formation in vegetable oils and animal fats during heat treatment, *Food Chemistry*, Volume 212, Pages 244-249, ISSN 0308-8146,

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, Y.C. Robledo., (2016)., *InfoStat Versión 2016 Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*

Edem, D. (2002). Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological and toxicological aspects: A review. *Plants Foods for Human Nutrition*, 57(3-4), 319-341.

Eggertj and Zook, (1986) J. Eggertj, K. Zook., *Special Technical Publication* (Ed.), *Physical Requirements Guidelines for Sensory Evaluation*, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia (1986)

European Commission. (2015). *Scientific Opinion on acrylamide in food; EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain; European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy.*

European Food Safety Authority (EFSA). (2011). *Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007- Abstract 2009 and exposure assessment1 european food safety authority, Parma, Italy*

Food and agriculture organization of the United Nations. FAO / World Health Organization. WHO, (2011). *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Evaluation of certain contaminants in food report from Seventy-second meeting (Rep. No. WHO technical report series; No. 959).*

Gertz, C., & Klostermann, S. (2002). Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104, 762–771.

Gertz, C. (2004). Optimising the baking and frying process using oilimproving agents. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 736–745.

Gertz, C., Klostermann, S., & Kochhar, S. P. (2003). Deep-frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oleagineux Corps Gras Lipides*, 10, 297–303.

Go˘kmen, V., Palazog˘lu, T.K., (2008). Acrylamide formation in foods during thermal processing with a focus on frying. *Food and Bioprocess Technology* 1, 35–42.

Gordon, M.H., 2001. 4-Measuring antioxidant activity. In: Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. (Eds), *Antioxidants in Food*. Woodhead Publishing, pp. 77-84.

Halford, N. G., Curtis, T. Y., Muttucumaru, N., Postles, J., & Mottram, D. S. (2011). Sugars in crop plants. *Annals of Applied Biology*, 158, 1–25.

Hunt, R. G. W. (1991). *Measuring color* (2nd ed.). Chichester: Ellis., Horwood Ltd., p. 313.

Instituto Colombiano De Bienestar Familiar ICBF (2015.), *Tabla de composición de alimentos colombianos*.

Ishihara K, Matsunaga A, Nakamura K, Sakuma K, Koga H. 2006. Examination of conditions inhibiting the formation of acrylamide in the model system of fried potato. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*70(7), 1616-1621.

Jung, D.S Choi, J.W Ju., (2003) A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries., *Journal of Food Science*, 68, pp. 1287-1290

Kanayo J, Oshiovue P, Evans O, Effect of heating time on the physicochemical properties of selected vegetable oils, *Arabian Journal of Chemistry*, Volume 14, Issue 4, 2021, 103063, ISSN 1878-5352, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103063>.

Kita, A., Brathen, E., Knutsen, S. H., & Wicklund, T. (2004). Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7011–7016.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D. (2001). Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 49, 347–354.

Kun, T. Y. (1990). Improvements in the frying quality of vegetable oil by blending with palm olein. *Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM)*. Bangi, Selangor, Malaysia: Palm oil development No. 15.

Lin, S.W. (2011). Palm oil. In F.D. Gunstone (Ed), *Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses* (2nd ed.), West Sussex, England: Blackwell Publishing Ltd. Pp. 59-97.

Márquez, G., & Añón, M. C. (1986). Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. *Journal of Food Science*, 51, 157–160.

Medeiros, V., Mestdagh, F., De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products – Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, Volume 133, Issue 4, Pages 1138-1154, ISSN 0308-8146,

Mesías, M., Delgado C., Holgado, F., Morales, F.J.,(2018) Acrylamide content in French fries prepared in households: A pilot study in Spanish homes, *Food Chemistry*, Volume 260, Pages 44-52, ISSN 0308-8146.

Moreira, R. G. (2001). Deep-Fat Frying of Foods. In: J. Irudayaraj, *Food Processing Operations Modeling* (pp. 115-146). New York: Marcel Dekker, Inc.

Mottram, D.S., (2007). The Maillard reaction: Source of flavour in thermally processed foods. In R. G. Berger (Ed.), *Flavours and fragrances: Chemistry, bioprocessing and sustainability* (pp. 269–284). Berlin: Springer-Verlag.

Narváez-Cuenca, C.E.; Parra, C.; Restrepo-Sánchez, L.P.; Kushalappa, A.; Mosquera, T. (2018). Macronutrient contents of potato genotype collections of *Solanum tuberosum* Group Phureja. *Journal of Food Composition and Analysis*, Volume 66, Pages 179-184, ISSN 0889-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.019>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157517302971>)

Norma Técnica Colombiana - NTC 5882. (2011). *Oleína de Aceite de Palma Alto Oleico.*, ICONTEC. Bogotá 201.

Nursten, H. E. (2005). *The Maillard reaction*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.

Ogan I. Mba, Marie-Josée Dumont, Michael Ngadi, (2015), Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review, *Food Bioscience*, Volume 10, Pages 26-41, ISSN 2212-4292, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.01.003>.

Pedreschi, F, Kaack, K, Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying, *LWT - Food Science and Technology*, Volume 37, Issue 6, Pages 679-685, ISSN 0023-6438,

Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K., Granby,K., (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices, *Food Research International*, Volume 38, Issue 1, Pages 1-9, ISSN 0963-9969,

Pedreschi F., Kaack,K., Granby, K., Troncoso,E. (2007a). Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries, *Journal of Food Engineering*, Volume 79, Issue 4, Pages 1287-1294, ISSN 0260-8774,

Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., et al. (2007b). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79, 786–793.

Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. (2006). Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Research International*, 39, 40–46.

Qinqin Hu, Xiahong Xu, Yingchun Fu, Yanbin Li. (2015). Rapid methods for detecting acrylamide in thermally processed foods: A review, *Food Control*, Volume 56, Pages 135-146, ISSN 0956-7135,

Saguy, I. S., Ufheil, G., & Livings, S. (1998). Oil uptake in deep-fat frying: a review. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 5, 30–35.

Saguy, I. S. & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56, 143-152.

Stadler, R. H., Robert, F., Riediker, S., Varga, N., Davidek, T., Devaud, S., et al. (2004). In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the Maillard reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5550–5558.

Stone, H & Sidel. (1993). CHAPTER 6 - DESCRIPTIVE ANALYSIS, Editor(s): Herbert Stone, Joel L. Sidel, In *Food Science and Technology, Sensory Evaluation Practices (Second Edition)*, Academic Press, Pages 202-242, ISBN 9780126724820, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-672482-0.50013-7>.

Sue, T.T. (2009). *Pocketbook of palm oil uses*. Kuala Lumpur, Malaysia: Malaysian Palm Oil Board.

Sushil, D., Stefan, K., Baier, Michael J., Gidley, Jason R., Stokes, (2018). Microstructural properties of potato chips, *Food Structure*, Volume 16, Pages 17-26, ISSN 2213-3291,

Vargas, L., Y. V. Talero Pérez., F. A. Trujillo Suárez., L. R. Camelo Caballero., et al., (2014). Acrylamide Determination in the Sugar Cane Juice Process by the Liquid - Chromatography Technique. *Revista Ciencia en Desarrollo*, Vol. 5 No. 2 ISSN 0121-7488 – Julio-Diciembre de 2014, pp. 99-105.

Weisshaar, R. (2004). Acrylamide in heated potato products – analytics and formation routes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 786–792.

Yaakob B. Che Man, Irwandi Jaswir. (2000). Effect of rosemary and sage extracts on frying performance of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying, *Food Chemistry*, Volume 69, Issue 3, Pages 301-307, ISSN 0308-8146,

Yali, Y., Achaerandio, I., Pujolá, M., (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries, *Food Control*, Volume 62, Pages 216-223, ISSN 0956-7135,

Yasuhara, A., Tanaka, Y., Hengel, M., & Shibamoto, T. (2003). Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3999–4003.

Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stojanovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D.K., et al. (2003). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4782–4787.