

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACEUTICAS



**“Manejo de los Factores Condicionantes de la Formación de
Acrilamida Durante la Elaboración de Papas Fritas tipo Chips”**

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos

Julia del Pilar Castro Saavedra

Directores de Tesis
Dra. Lilia Masson S.
Mag. Prof. Nalda Romero

SANTIAGO CHILE
2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACION

TESIS DE MAGISTER

Se informa a la Comisión de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la Tesis de Magíster presentada por la candidata:

JULIA DEL PILAR CASTRO SAAVEDRA

Ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito de Tesis para optar al Grado de *Magíster en Ciencia de los Alimentos*, en el Exámen de Defensa de Tesis rendido el

DIRECTORES DE TESIS

Dra. Lilia Masson S.

.....

Mag. Prof. Nalda Romero P.

.....

COMISIÓN INFORMANTE DE TESIS

Dra. Paz Robert

.....

Dra. Julia Araya

.....

Dra. Lilian Abugoch

.....

AGRADECIMIENTOS

- A la Dra.Lilia Masson por su permanente atención en la elaboración de esta tesis y por compartir su entusiasmo.
- A la Prof Nalda Romero por dedicar su tiempo a la revisión de este proyecto y por brindarme su amistad.
- A la Prof. Paz Robert por su dedicación, sugerencias e interés en lo realizado y por sus oportunas palabras de aliento.
- A los profesores que integraron mi comisión examinadora, por sus valiosos aportes para mejorar esta obra.
- A los panelistas que tuvieron la paciencia, entusiasmo y perseverancia en la evaluación de los productos obtenidos.
- A mi compañera de Magíster Mabel Araneda quién me prestó su colaboración y amistad permanente.
- A Juan Carlos Moreno por su oportuna asistencia y por su amistad.

Y a todos aquellos que en forma desinteresada y generosa colaboraron en hacer realidad este sueño..... mis recuerdos y agradecimientos.

Esta tesis forma parte del proyecto HEATOX, N°: 506820, cuyo título es:

“Heat – generated food toxicants, identification, characterization and risk minimization”.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	
SUMMARY.....	
INTRODUCCION.....	1
HIPOTESIS.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos.....	2
ANTECEDENTES GENERALES.....	3
Acrilamida.....	3
Características de la acrilamida.....	3
Posibles vías de formación de acrilamida.....	4
Factores que inciden en la formación de acrilamida.....	6
Temperatura.....	6
p H.....	9
PRECURSORES DE LA ACRILAMIDA.....	10
Asparragina.....	10
Azúcares.....	11
Determinación de propiedades físicas asociadas con la formación de acrilamida	13
Color.....	13
Textura.....	13
MATERIALES Y METODOS.....	13
MATERIALES.....	13
Materia Prima.....	13
METODOS.....	14
Pre-tratamientos.....	14
Condiciones de fritura.....	14
Envasado.....	15
Análisis realizados en la materia prima y en las papas chips	17
Humedad.....	17
Cenizas.....	17
Contenido graso.....	17
Materia grasa.....	17
Proteínas.....	17
Textura.....	17
Color.....	18
Estudio comparativo del lavado con agua potable y destilada	19
Determinación de precursores de la acrilamida.....	19
Asparragina.....	19
Azúcares reductores	20

Determinación de acrilamida.....	21
EVALUACION SENSORIAL.....	22
Aceptabilidad.....	23
Análisis Estadístico.....	24
RESULTADOS Y DISCUSION.....	23
Efecto del lavado de las papas con agua destilada	25
Análisis Proximal de la Materia Prima.....	26
Humedad.....	27
Materia Grasa.....	28
Contenido de Acrilamida.....	29
Medición del color en las papas chips.....	33
Comparación de la luminosidad (L*) obtenida.....	
a distintas temperaturas.....	33
Comparación de la luminosidad (L*) obtenida en las papas chips de los distintos pre-tratamientos estudiados.....	35
Comparación del parámetro rojizo (a*) obtenido a distintas temperaturas	36
Comparación del parámetro amarillento (b*) obtenido a distintas temperaturas.....	37
Efecto de los pre-tratamientos en el color rojizo de las papas chips.....	38
Efecto de los pre-tratamientos en el color amarillento de las papas chips	39
Textura.....	42
Efecto de los pre-tratamientos sobre la textura de las papas chips para cada temperatura de fritura.....	42
Efecto de la temperatura de fritura sobre la textura de las papas chips para cada pre-tratamiento.....	44
EVALUACION SENSORIAL.....	46
Tratamiento control.....	46
Pre-tratamiento ácido cítrico 1%.....	47
Pre- tratamiento escaldado.....	47
Pre-tratamiento escaldado /ácido cítrico 1%.....	48
Aceptabilidad.....	51
CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	54
ANEXO.....	58

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Rango del contenido de Acrilamida en diferentes alimentos y por grupos de productos alimenticios.....	5
Cuadro 2 Contenido de asparragina en algunos alimentos.....	10
Cuadro 3 Aminoácidos que forman acrilamida.....	11
Cuadro 4 Reacción aminoácido-glucosa y producción de acrilamida	12
Cuadro 5 Condiciones cromatográficas para la determinación de asparragina.....	20

Cuadro 6 Condiciones del análisis en HPLC- MS/MS	22
Cuadro 7 Orden de trabajo de acuerdo al diseño estadístico.....	24
Cuadro 8 Contenidos de asparragina y de azúcares reductores en la papa cruda y de acrilamida en las papas chips.....	24 25
Cuadro 9 Resultados del análisis proximal de la materia prima.....	26
Cuadro 10 Contenido de humedad en las papas chips a distintas temperaturas y distintos pre-tratamientos.....	27
Cuadro 11 Contenido de materia grasa en las papas chips a distintas temperaturas y distintos pre-tratamientos.....	28
Cuadro 12 Contenido de acrilamida en las papas chips obtenidas de los distintos pre-tratamientos y a distintas temperaturas de fritura..	29
Cuadro 13 Correlación de Pearson para la determinación sensorial e instrumental de la variable color.....	42
Cuadro 14 Respuestas del panel sensorial para distintos parámetros y del tratamiento control.....	46
Cuadro 15 Respuestas del panel sensorial para distintos parámetros y del pre-tratamiento ácido cítrico 1%.....	47
Cuadro 16 Respuestas del panel sensorial para distintos parámetros y del pre-tratamiento escaldado.....	47
Cuadro 17 Respuestas del panel sensorial para distintos parámetros y del pre-tratamiento escaldado / ácido cítrico 1%.....	48
Cuadro 18 Aceptabilidad según muestra.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la molécula de acrilamida.....	3
Figura 2 Esquema del mecanismo de formación de acrilamida.....	6
Figura 3 Vías posibles de formación de acrilamida.....	7
Figura 4 Contenido de acrilamida en función de la temperatura.....	8
Figura 5 Contenido de acrilamida formado en papas french sumergidas en diferentes concentraciones de ácido cítrico.....	9
Figura 6 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de papas chips	16
Figura 7 Texturómetro de la marca Lloyd LR 5K.....	18
Figura 8 Papas chips de la variedad Panda obtenidas en el laboratorio	18
Figura 9 Formación de compuesto coloreado en la determinación enzimática de glucosa.....	21
Figura 10 Efectos causados por el lavado con agua destilada en los contenidos de asparragina, azúcares reductores y acrilamida.....	26
Figura 11 Optimización de las variables que inciden en el contenido final de humedad.....	27
Figura 12 Optimización de las variables que inciden en el contenido final de materia grasa.....	28
Figura 13 Optimización del contenido de acrilamida en las papas chips,	

considerando las variables escaldado, temperatura y ácido cítrico.....	31
Figura 14 Principales efectos que incidirían en el contenido final de acrilamida.....	32
Figura 15 Contenido de acrilamida en papas chips a distintas temperaturas y distintos tiempos de escaldado y con una concentración de ácido cítrico 0,5%.....	32
Figura 16 Luminosidad medida en las papas chips obtenidas con las distintas temperaturas de fritura.....	34
Figura 17 Luminosidad medida en las papas chips obtenidas de distintos pre-tratamientos a 150° C.....	35
Figura 18 Luminosidad medida en las papas chips obtenidas de distintos pre-tratamientos a 180° C.....	36
Figura 19 Color amarillento de las papas chips a distintas temperaturas de fritura.....	37
Figura 20 Color rojizo obtenido cuando se empleó la temperatura de 120°C y distintos pre-tratamientos.....	38
Figura 21 Color rojizo obtenido cuando se empleó la temperatura de 150°C y distintos pre-tratamientos.....	39
Figura 22 Color amarillento medido en papas chips preparadas a la temperatura de 120°C y con distintos pre-tratamientos.....	40
Figura 23 Color amarillento medido en las papas chips preparadas a 150°C.....	41
Figura 24 Color amarillento medido en las papas chips preparadas a 180°C.....	41
Figura 25 Diferencias mínimas significativas entre los distintos pre-tratamientos a la temperatura de fritura de 150°C.....	43
Figura 26 Fuerza aplicada a las muestras sometidas al pre-tratamiento escaldado.....	45
Figura 27 Representación radial de los resultados de la evaluación sensorial de la muestra control.....	46
Figura 28 Representación radial de los resultados de la evaluación sensorial de la muestra pre-tratada con ácido cítrico.....	47
Figura 29 Representación radial de los resultados de la evaluación sensorial de la muestra escaldada.....	48
Figura 30 Representación radial de los resultados de la evaluación sensorial de la muestra pre-tratada con escaldado/ ácido cítrico 1%.....	49
Figura 31 Aceptabilidad de las muestras.....	52
Figura 32 Preferencias de los consumidores.....	52

RESUMEN

El consumo de papas fritas, que mundialmente crece generando grandes volúmenes de venta y que representa un negocio con perspectiva de seguir desarrollándose aún más, se ve violentamente amenazado a partir del momento en que las investigaciones científicas del área alimenticia, anuncian la presencia de fuertes cantidades de acrilamida (AA) en aquellos alimentos ricos en carbohidratos y sometidos a altas temperaturas como son el horneado y la fritura.

El presente estudio tuvo por tanto como finalidad ir en la búsqueda de menores valores de AA en papas fritas tipo chips. Se estudió por tanto, el efecto de diferentes tratamientos aplicados antes de la fritura, como también el provocado por distintas temperaturas de fritura empleadas. Las temperaturas estudiadas fueron de 120, 150 y 180° C; los pre-tratamientos fueron el escaldado, la inmersión en ácido cítrico 1% y un tratamiento combinado de éstos dos últimos. También se estudió la posible incidencia de incorporar en el flujo de trabajo, un lavado con agua destilada durante 1 min.

Los resultados indicaron que lavar con agua destilada, significó la reducción del aminoácido asparragina en un 42%, de los azúcares reductores en un 28% y de AA en papas fritas en un 15%.

Los pre-tratamientos también afectaron el contenido final de AA, siendo el más drástico de ellos, el pre-tratamiento escaldado/ácido cítrico 1%; es decir, aquel que condujo a un descenso mayor en la cantidad final de AA, que para la temperatura de 180° C fue un 48%, para 150° C un 94% y para 120° C se logró un descenso de un 71%.

Al comparar los resultados logrados por las distintas temperaturas, se apreció que en el pre-tratamiento control, el descenso de temperatura (desde 180 a 120°) significó una reducción del contenido de AA de un 78%; cuando se realizó escaldado, el descenso logrado fue un 89%; de un 94% cuando se aplicó la inmersión en ácido cítrico 1% y de un 88% en el pre-tratamiento combinado.

Por tanto, al comparar el efecto de los pre-tratamientos con el de bajar la temperatura el resultado es mucho menor con éste último factor. Ambos métodos juntos darían el óptimo esperado.

El test de aceptabilidad arrojó que la mayor aceptabilidad correspondió a las papas chips con más alto contenido de AA, por tratarse de un producto parecido a la oferta habitual del mercado y aquellas con menor contenido de AA obtuvieron la valoración “ni me gusta ni me disgusta”, lo cual indica que hay factores sensoriales que se podrían mejorar para modificar su aceptabilidad.

En esta tesis fue posible reducir tanto el nivel de precursores de la AA en la materia prima, como también el contenido de AA en las papas fritas tipo chips.

1. INTRODUCCION

En Abril del año 2002, científicos de la Universidad de Estocolmo y de la Agencia de Alimentos de Suecia, comunicaron los resultados de una investigación en la que habían encontrado altos niveles de acrilamida (AA), un potencial cancerígeno para humanos, en alimentos como pan, papas fritas y chips, consumidos por millones de personas en todo el mundo (1).

Demostraron que tanto durante el horneado como en el proceso de fritura de alimentos ricos en carbohidratos, tales como papas o cereales, se formaba AA, una sustancia clasificada como posible cancerígeno en humanos(1,2,3). La AA era ya conocida como neurotóxico que afecta el genoma (4,5).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), concluyeron que la AA causa cáncer en animales de laboratorio, en la actualidad, se investiga su efecto en los seres humanos (6,7). Hay sólidas investigaciones que muestran que la AA causa daños al sistema nervioso, tales como pérdida de sensaciones, pérdida del control muscular y temblores nerviosos (3) además la exposición permanente afecta el genoma (3, 6,7).

La investigación sueca y estudios posteriores en Noruega, Suiza, el Reino Unido y los Estados Unidos, han encontrado que los niveles de AA en ciertos alimentos en base a almidón, como las papas chips, papas french, galletas, cereales, pan, estaban muy por encima de los valores sugeridos por la OMS para el agua apta para bebida, es decir, 0,5 µg/l.

Las papas chips contenían 500 veces la cantidad máxima permitida de AA, y las papas french vendidas en cadenas de comida rápida contenían hasta 100 veces la cantidad máxima permitida. Las tortillas de maíz, los cereales para el desayuno, los panes, galletas y otros alimentos horneados contenían cantidades menores pero significativas de AA (8,9). Hay un grupo de moléculas que se forman cuando un azúcar reductor reacciona con un NH₂ de un amino ácido libre o de una proteína, esto ocurre cuando se cocinan alimentos como papas y granos en ausencia de agua a muy altas temperaturas y la AA no se forma cuando el alimento se cuece en agua; y en ausencia de agua cuando la temperatura de cocción es más alta, más AA se produce (8).

La reducción de la cantidad de AA formada en los alimentos, podría estar orientada hacia la disminución de la cantidad de reactantes, es decir, la asparragina y los azúcares reductores y/o hacer que las condiciones de la reacción sean desfavorables. De ese modo, el escaldado de las papas antes de la fritura, la disminución del pH y el incremento de la humedad son aspectos considerados de interés en la reducción de los niveles de AA (10, 11,12).

A partir de todos los antecedentes revisados y considerando que las papas chips tienen una gran importancia comercial tanto en Chile, como en muchos otros países y que son consumidas especialmente por los niños y adolescentes, surge la necesidad de determinar el manejo de las variables que incidirán en la formación de AA en éste producto.

El objetivo de esta tesis es estudiar diferentes tratamientos previos a la fritura, que permitan finalmente conseguir un contenido más bajo de AA en papas chips.

1.1 HIPÓTESIS

Se postula que al aplicar pre-tratamientos que disminuyan los reactantes asparragina y azúcares reductores, involucrados en la reacción de Maillard, asociado a menores temperaturas de fritura se minimice la formación de acrilamida en papas chips.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Disminuir el contenido de AA en papas chips controlando los precursores y las variables del proceso.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de la materia prima y determinación de la concentración de asparragina y de azúcares reductores presentes en ella.
- Modificar el pH para minimizar el efecto de la reacción de Maillard.
- Determinar la influencia de la temperatura de fritura en la formación de AA del producto final y los tiempos óptimos de fritura a distintas temperaturas.
- Definir por medio de una evaluación sensorial, la aceptabilidad del producto final.
- Correlacionar estadísticamente los resultados con los tratamientos realizados.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Acrilamida

La figura 1 muestra la estructura química de la acrilamida.

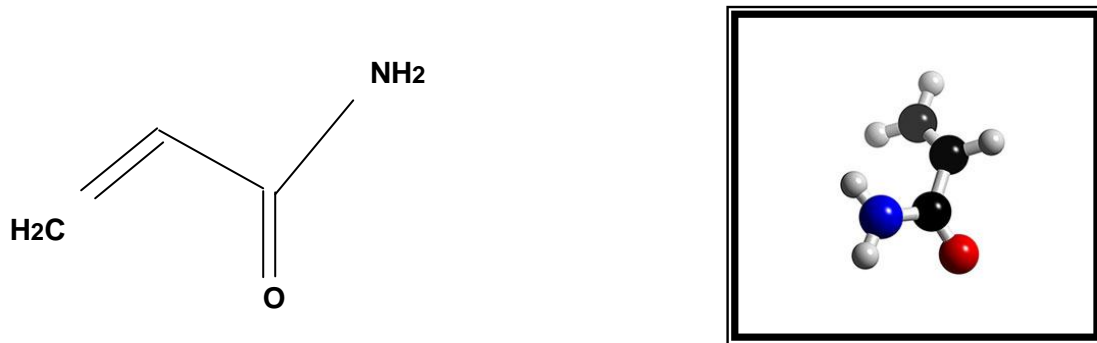


Figura 1 Estructura de la molécula de acrilamida.

2.1.1 Características de la acrilamida

- Amida del ácido propenoico, corresponde a las 2- propenamida.
- Molécula muy hidrofílica, alta volatilidad y de punto de ebullición alto (175-300 °C).
- Su aspecto es de cristales blancos de olor característico.
- Puede polimerizar violentamente debido al calentamiento intenso o bajo la influencia de la luz, produciendo gases tóxicos de óxido de nitrógeno.
- Reacciona violentamente con oxidantes.
- Capaz de absorberse por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

(13).

La AA pertenece a la clase de químicos que forman productos finales de glucosilación avanzada conocidos por sus primeras letras PFGA.

Los PFGA pueden dañar diversos tejidos del organismo, causando cáncer, envejecimiento y aterosclerosis, por incrementar el colesterol y favorecer la coagulación.

Están asociados con la pérdida de la función renal, enfermedad de Alzheimer, adelgazamiento, aparición de arrugas en la piel y cataratas (8).

Los efectos a largo plazo causados por la AA no son conocidos completamente. Los científicos han dedicado gran atención en comprender las etapas de formación del compuesto, mejorar los métodos analíticos, así como modificar las condiciones de procesamiento para reducir la formación de AA en alimentos (14).

La AA y otros productos de la reacción de Maillard se forman a temperaturas de procesamiento sobre los 120 °C (15,16, 17). Muchos de los productos formados en la reacción son visibles a simple vista por la coloración oscura de los alimentos fritos u horneados, como en el pan crujiente, productos procesados de la papa, galletas, café (18).

Una de las rutas principales para la formación de AA es la reacción entre la asparragina y el grupo carbonilo de un azúcar reductor como la fructosa o glucosa, (14,15, 18, 19, 20,21).

Por otra parte, se informó en el Encuentro y Exposición Anual N° 116, de la AOAC Internacional, la importancia de la asparragina en el mecanismo de formación de AA en alimentos.

La formación de AA parece ser un fenómeno de superficie y el contenido de agua también puede ser un factor importante (18), en aquellas papas cortadas tipo french, donde la altura es mayor, mantener la temperatura elevada en el centro de la papa puede ser más difícil de lograr que en la superficie, siendo en muchos casos insuficiente para formar una cantidad significativa de AA (22). Muchos de los productos formados en la reacción son visibles a simple vista por la coloración oscura de los alimentos fritos u horneados, como en el pan crujiente, productos procesados de la papa, galletas, café (19).

El cuadro 1 muestra los diferentes niveles de AA estudiados en distintos alimentos.

2.1.2 Posibles vías de formación de acrilamida

Una de las rutas principales para la formación de AA es la reacción entre la asparragina y el grupo carbonilo de un azúcar reductor como la fructosa o glucosa, (8, 10,15, 20, 21,23).

Por otra parte, se informó en el Encuentro y Exposición Anual N° 116, de la AOAC Internacional, la importancia de la asparragina en el mecanismo de formación de AA en alimentos. La figura 2 presenta el esquema del mecanismo de formación de AA.

Cuadro 1 Rango del contenido de acrilamida en diferentes alimentos y por grupos de productos alimenticios encontrados en Noruega, Suecia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos (24).

Alimento/ grupo de productos	Rango del contenido de acrilamida (ppb)	Número de muestras
Papas chips /camotes fritos en hojuelas	170 – 2.287	38
Papas french	< 50 – 3.500	39
Productos rebozados	< 30 - 42	2
Productos de panadería	< 50 - 450	19
Bizcochos, galletas, tostadas, rodajas de pan	< 30 -3.200	58
Cereales para el desayuno	< 30 -1.346	29
Copos de maíz	34 - 416	7
Pan blando	< 30 - 162	41
Pescados y productos con pescados y mariscos empanados, rebozados	30 - 39	4
Carnes blancas, animales de caza, empanados, rebozados	39 - 64	2
Bebidas de malta instantáneas	< 50 - 70	3
Chocolate en polvo	< 50 - 100	2
Café en polvo	170 - 230	3
cerveza	< 30	1

La figura 3 presenta otras vías de formación de AA. También se ha sugerido que la oxidación lipídica puede ser una vía menor de formación de AA, con el ácido acrílico como posible precursor formado vía acroleína por la degradación oxidativa de los lípidos (25).

2.2 Factores que inciden en la formación de acrilamida

2.2.1 Temperatura

Dependiendo de la naturaleza del alimento y las condiciones del proceso, el tratamiento térmico producirá diversos cambios químicos y físicos en todos los constituyentes del alimento. No sólo los diferentes nutrientes sufrirán reacciones de descomposición sino que también interactuarán entre ellos en forma extremadamente compleja y formando un gran número de nuevos compuestos (26).

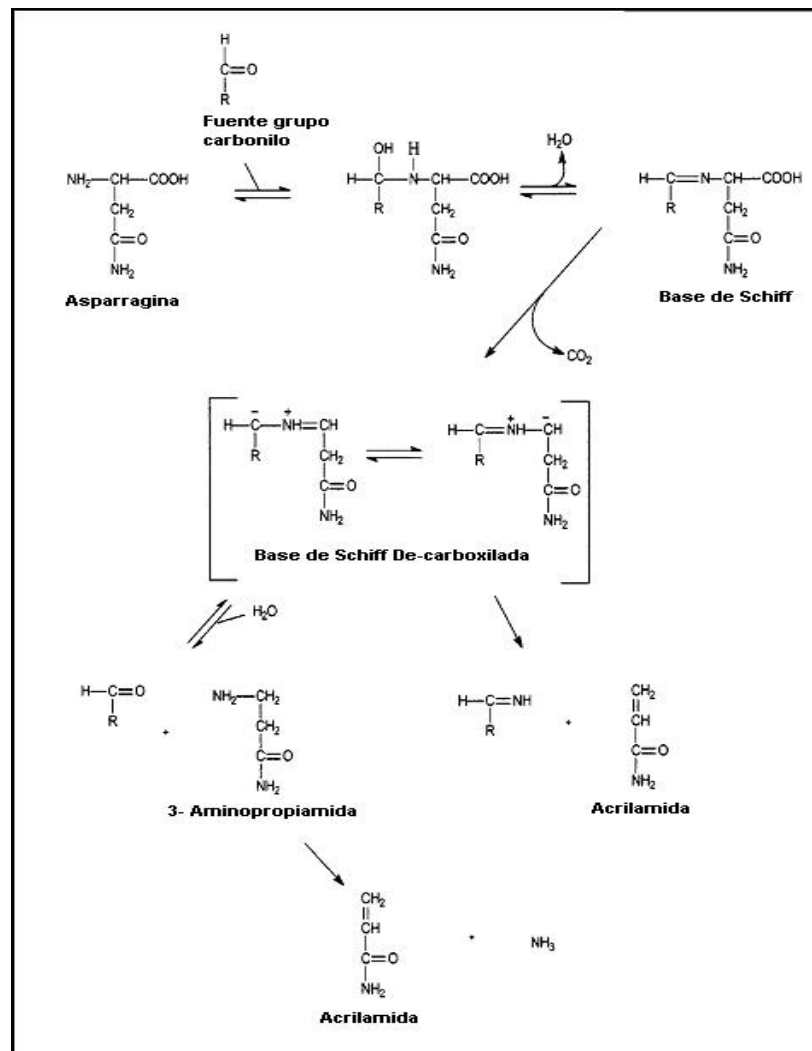


Figura 2: Esquema del mecanismo de formación de acrilamida (15).

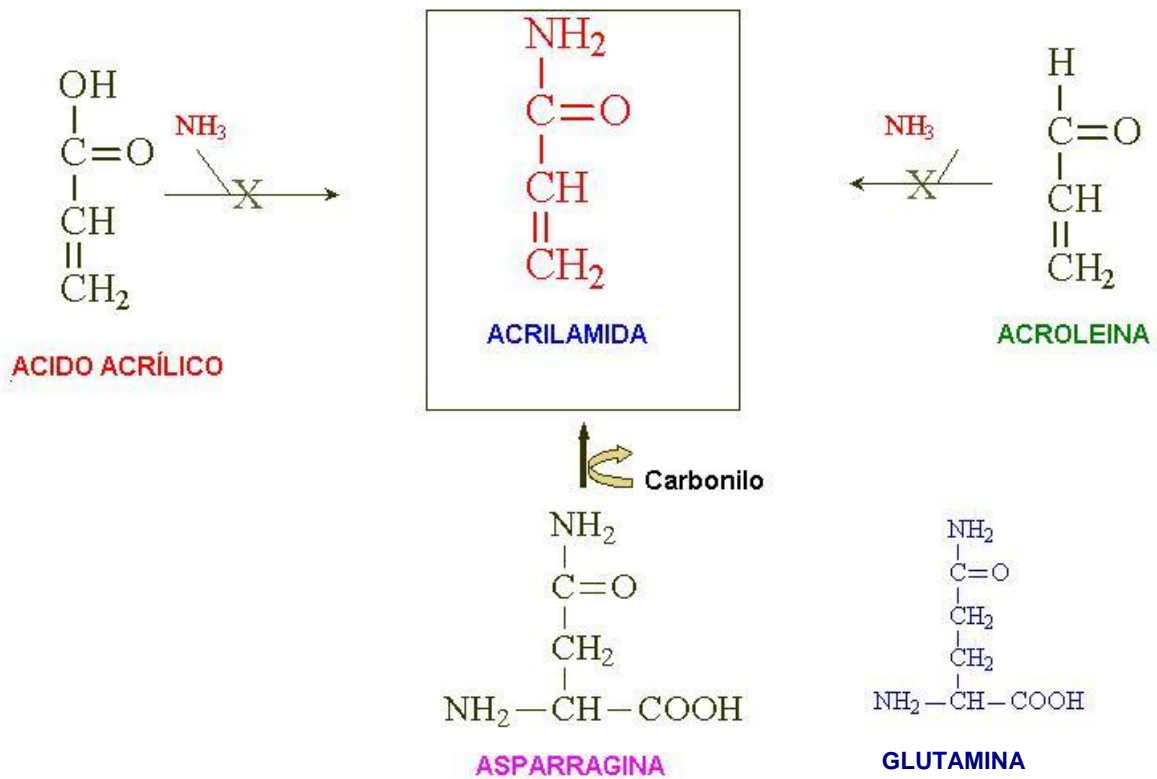


Figura 3 Vías posibles de formación de acrilamida (25).

Según la severidad del tratamiento térmico, las reacciones de las proteínas y componentes aminoacídicos variarán y pueden afectar otros constituyentes del alimento. La respuesta puede ir desde una simple desnaturación física de la proteína, la cual no involucra formación de enlaces covalentes, hasta una extensa pirólisis de los residuos de aminoácidos creando mutagénicos tóxicos (27).

En la literatura revisada se encuentra publicado un mecanismo de formación de AA en los alimentos calentados (15,20). Este mecanismo, tal como lo indica la figura 2, es a partir de la reacción entre el aminoácido asparragina y una fuente que proporciona un grupo carbonilo reductor, a temperatura de cocción normal. Este mecanismo conocido como la reacción de Strecker, involucra la formación de una base de Schiff seguida de descarboxilación y eliminación de amonio bajo calor para producir AA.

No se sabe exactamente cuál es la temperatura de formación de la AA en los alimentos (15). Sin embargo, no se ha encontrado su presencia en alimentos preparados

a temperaturas por debajo de los 120° C, (2,22) incluyendo los alimentos que experimentan cocción en agua. Ello se atribuyó al hecho de que las altas temperaturas requeridas para las reacciones de pardeamiento no enzimático de Maillard, son las necesarias para producir el color y aroma deseables (28).

Los alimentos no deberían ser cocinados excesivamente, por ejemplo a tiempos largos o a altas temperaturas. No obstante, todos los alimentos especialmente la carne debería ser cocinada lo suficiente para destruir bacterias que le son dañinas (18).

Recomendaciones recientes correlacionan concentraciones de AA en animales sujetos a la ingesta de alimentos fritos, permitiendo así la investigación de su presencia en alimentos. Estos estudios en laboratorio han indicado que la formación de AA en alimentos calentados es dependiente de la temperatura y que sólo se detectaron niveles moderados en alimentos ricos en proteínas, mientras que los alimentos ricos en carbohidratos mostraron niveles mucho más altos.

La figura 4 muestra la formación de AA a partir de la mezcla 1:1 asparragina /glucosa y su dependencia de la temperatura (15).

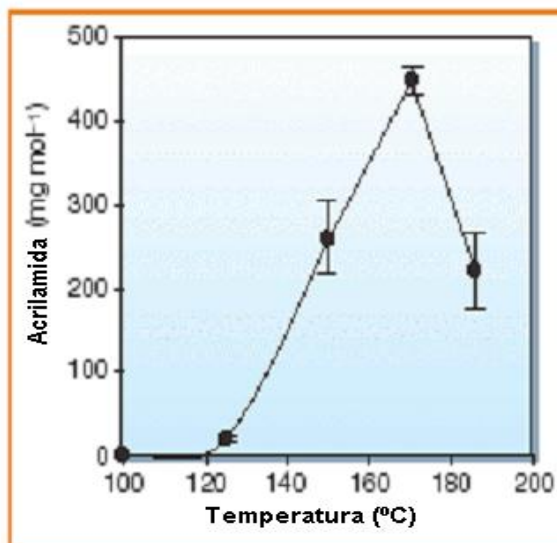


Figura 4 Contenido de acrilamida (mg/mol de aminoácido) en función de la temperatura (15).

2.2.2 pH

Investigadores estudiaron la formación de AA en papas french (10). A las papas después de ser cortadas, se les eliminó el almidón superficial lavándolas con agua destilada. Posteriormente, se sumergieron en soluciones de ácido cítrico al 1 y 2%, por una hora antes de la fritura, etapa en la que ocuparon aceite de maíz.

Estos investigadores demostraron que la inmersión en soluciones de ácido cítrico (AC) al 1 y 2 %, indujo el descenso del pH, además la reducción del contenido de AA en el producto final, en un 73,1 y 79,7 % respectivamente, (figura 5). Llegándose a concluir que la reducción en la formación de AA fue la consecuencia de bajar el pH antes de la fritura, y de extraer asparragina y azúcares reductores de las superficies de las distintas caras de la papa "french".

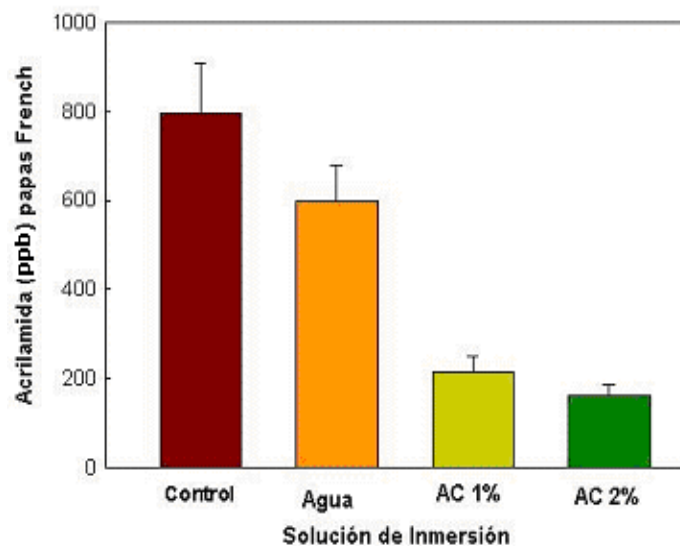


Figura 5 Contenido de acrilamida en papas french sumergidas en diferentes concentraciones de ácido cítrico (10).

2.3 Precursores de la acrilamida

2.3.1 Asparragina

Las papas son especialmente ricas tanto en asparragina como en glucosa, por lo tanto se producen altos niveles de AA, tanto en papas chips como french (28).

Por lo expuesto anteriormente, pareciera imprescindible poder contar con variedades de papas que estuvieran genéticamente mejoradas de modo de impedir o minimizar la producción de AA (22).

Hay estudios al respecto en Suiza realizados el año 2002, donde se analizaron 17 plantaciones de papas, de donde se extrajeron 74 muestras, en las que se analizaron los contenidos de glucosa, fructosa, sacarosa, asparragina libre y glutamina libre (29). A las papas se les midió el potencial para formar AA. Estos potenciales correlacionaron bien con el producto de las concentraciones de azúcares reductores y asparragina. Las prácticas agrícolas no influyeron en el contenido de azúcares, asparragina libre ni en el potencial de formación de AA.

Los contenidos de asparragina fueron altos, lo que explicaría por qué la glucosa y la fructosa, son los factores determinantes en la formación de AA en las papas.

El contenido de asparragina en las papas depende de factores como la variedad, la localización, fertilización, almacenamiento y procesamiento (30,31).

El cuadro 2 presenta el contenido de asparragina libre en alimentos de alto consumo. En el caso de las papas, las 940 ppm de asparragina equivalen al 40% del contenido total de aminoácidos libres; para la harina de trigo, la asparragina libre representa al 14% del contenido total de aminoácidos libres y en el caso del arroz, el contenido representa al 18% del total de aminoácidos libres presentes.

Cuadro 2: Contenido de asparragina libre en algunos alimentos (15).

Asparragina libre		
	ppm	%
Papas ●	940	40
Harina de trigo	167	14
Arroz ●●	173	18

- Variedad apta para chips.
- Variedad con alto contenido proteico.

Recientemente, otros estudios confirmaron que la asparragina es el aminoácido precursor de la AA (16, 21, 22, 32). (Cuadro 3) En otras investigaciones (16), se han proporcionado evidencias de que el N – glicosilasparragina es un precursor directo de la AA, indicando la participación de la reacción de Maillard.

Consideraciones estructurales indican que la asparragina por sí sola puede ser convertida térmicamente en AA a través de reacciones de descarboxilación y desaminación. Sin embargo, el producto principal de la descomposición térmica de la asparragina fue la maleimida, principalmente debido a la rápida reacción de ciclación intramolecular que previene la formación de AA. Por el contrario, la asparragina en presencia de azúcares reductores, fue capaz de generar AA además de maleimida (19,20).

Cuadro 3 Aminoácidos que forman acrilamida (33).

Aminoácido	Acrilamida (ppb)
Alanina	< 50
Ácido aspártico	< 50
Lisina	< 50
Treonina	< 50
Glutamina	150
Arginina	< 50
Cisteína	< 50
Metionina	< 50
Valina	< 50
Asparragina	9270

2.3.2 Azúcares

Los factores que inciden en el contenido de asparragina y de azúcares reductores son la variedad de la papa y las condiciones de almacenamiento (29).

Debido a que parece ser muy pequeña la posibilidad de variar el contenido de asparragina, puesto que es el principal aminoácido libre en papas y algunos cereales (29), los azúcares reductores se consideran los componentes a través de los cuales la

formación de AA puede reducirse más eficientemente. Ni los sistemas agrícolas ni la fertilización con nitrógeno influyeron en los componentes medidos ni en el potencial de formación de AA, lo cual significa que a futuro los esfuerzos deberían enfocarse en seleccionar un cultivo con menor concentración de azúcares (29). Se encontró que tanto la glucosa como la fructosa determinan la formación de AA. Las plantaciones mostraron grandes diferencias en su potencial para formar AA, lo cual se relacionó con el contenido de azúcares.

Sin embargo, la selección de un cultivo sólo alcanza la meta si al mismo tiempo se evitan las temperaturas de almacenamiento por debajo de 8 a 10° C, previniendo así la liberación de azúcares reductores. En la práctica, la optimización de los cultivos y las condiciones de almacenamiento son interdependientes y como además se deben unir otros criterios, se requieren estudios adicionales al respecto (29).

Se encontraron cantidades significativas de AA (221 mg/mol de aminoácido), cuando se hizo reaccionar una mezcla equimolar de asparragina y glucosa a 185°C en buffer fosfato, en un tubo de vidrio tapado. La dependencia de la temperatura en la formación de AA a partir de la asparragina indica que se ve favorecida la formación de AA sobre los 100°C.

Otros aminoácidos unidos a la glucosa pueden dar origen a la AA, sin embargo, según se aprecia en el cuadro 4 sólo la reacción asparragina -glucosa producirá el mayor formación de AA.

Cuadro 4 Reacción aminoácido – glucosa y producción de acrilamida (33).

Aminoácido - glucosa	mg acrilamida / mol de aminoácido
Asparragina + glucosa	221
Glicina + glucosa	< 0.5
Cisteína + glucosa	< 0.5
Metionina + glucosa	< 0.5
Glutamina + glucosa	0.5 – 1.0
Ácido aspártico + glucosa	0.5 – 1.0

2.4 Determinaciones de propiedades físicas asociadas con la formación de acrilamida.

2.4.1 Color

En la reacción de Maillard, las melanoidinas se conocen como el principal producto final de la reacción. Estos polímeros oscuros tienen un efecto significativo sobre la calidad del alimento, debido a que el color es un atributo de calidad importante y un factor clave en la aceptación del consumidor. El mecanismo de formación del color oscuro no es totalmente conocido y la estructura de las melanoidinas es desconocida (34). Debido a que el color puede medirse, este parámetro puede usarse como un indicador de la formación de productos de la reacción de Maillard, entre estos la AA (35).

2.4.2 Textura

En la literatura hay información de estudios sobre la textura de papas french (36), sin embargo, no los hay de papas chips y teniendo en cuenta los cambios texturales que ocurren en el período post fritura (37), se estimó conveniente la determinación instrumental además de la sensorial del parámetro textura, dureza, que se define reológicamente como la fuerza necesaria para obtener una deformación dada (38). Por otra parte, muchos autores han expuesto que la textura de productos fritos se afecta por el contenido de humedad, donde el agua debilita la matriz almidón-proteína, disminuyendo en la matriz las interacciones de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals y aumentando las interacciones del agua, fenómeno que otorga una pérdida de cristalinidad y aumento de plasticidad en el producto (39,40, 41).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Materia Prima: Se usó la variedad de papas PANDA, (*Solanum tuberosum L.*), provenientes de cultivos de Puerto Saavedra, IX región. Se escogió esta variedad por su bajo contenido en azúcares reductores (29) con respecto a las otras variedades empleadas para consumo y porque además se ocupa normalmente en la industria de snacks en Chile.

Las papas una vez limpias se cortaron en una multiprocesadora Sindelen, las rodajas obtenidas tenían un diámetro de 40 a 50 mm aproximadamente y 2 mm de espesor. La cantidad de papas a freír cada vez, fue alrededor de 50 ± 2 g.

Como medio de fritura se empleó aceite de maíz (donado por INDUCORN), por ser un aceite producido en Chile y que posee contenidos importantes de ácidos oleico y linoleico (42). La cantidad de aceite empleado fue de 2,7 lt aproximadamente.

La experiencia se realizó en una freidora doméstica de la marca TFAL, que contaba con un termostato programable y una termocupla para medir la temperatura en su interior.

3.2 Métodos

3.2.1 Pre-tratamientos : Se realizaron cuatro pre- tratamientos en las rodajas de papas antes de la fritura, estos fueron los siguientes: 1) Control, las rodajas de papas se sometieron a una ducha con agua destilada por 1 min, después se secaron y se frieron; 2) Escaldado, en este pre-tratamiento las rodajas de papas después de pasar por la ducha de agua destilada se escaldaron en agua destilada a 90° C por 1 min con agitación por medio de un magneto; 3) Ácido cítrico 1%, las rodajas de papas después de pasar por el agua destilada, se sumergieron en una solución de ácido cítrico al 1% por una hora, con agitación ocasional de 30 seg cada 10 min; 4) Escaldado / ácido cítrico 1%, este pre-tratamiento es una combinación de los dos últimos tratamientos mencionados antes, es decir, las rodajas de papas luego de recibir la ducha con agua destilada, se escaldaron en agua destilada a 90° C por 1 min y después se sumergieron en la solución de ácido cítrico al 1 % por 1 hora. Las rodajas de papas antes de entrar a la freidora se escurrieron y se secaron con papel absorbente en todos los casos antes mencionados.

La figura 6 muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración de papas chips.

3.2.2 Condiciones de fritura

Las temperaturas empleadas para freír fueron 120, 150 y 180° C y los tiempos de fritura fueron 19 min 40 seg; 8 min 42 seg y 6 min 11 seg., respectivamente. El tiempo de

precalentamiento del aceite fue alrededor de 2 horas, luego del cual se lograba la estabilización de la temperatura deseada (43). Se trabajó a presión atmosférica y los tiempos de fritura estuvieron relacionados con el contenido de humedad final esperado, entre un 2-3 %.

Se emplearon alrededor de 50 ± 2 g de rodajas de papas, se colocaron en la cesta correspondiente, una rodaja al lado de la otra, cuidando de que no se superpusieran unas con otras. Finalmente, las rodajas de papas se cubrieron con una malla de acero inoxidable, para evitar su flotación dentro de la freidora, la que permaneció tapada durante todo el tiempo de fritura para evitar la oscilación térmica. Después de la fritura las hojuelas de papas se secaron con papel absorbente para retirar el exceso de aceite superficial de las hojuelas.

El aceite se fue reponiendo cada tres frituras. Se determinó el índice de peróxidos para controlar el estado de oxidación del aceite después de la tercera fritura (44). Para todos los pre-tratamientos se trabajó con triplicados.

3.2.3 Envasado

Las papas fritas se envasaron en bolsas de polipropileno trilaminado que impedía el paso de la luz. El tiempo de conservación aproximado fue de dos semanas a temperatura ambiente.



Figura 6: Diagrama de flujo del Proceso de elaboración de Papas chips.

3.2.4 Análisis realizados en la Materia Prima y en las Papas Chips

3.2.4.1 Humedad (Método A.O.A.C. Ch 27 p29) (45)

Se realizó por método gravimétrico en estufa de aire forzado a 105°C. Se pesaron 2 a 3 g de la muestra homogeneizada en una cápsula de aluminio con una varilla de vidrio, previamente tarado. La muestra se llevó a la estufa hasta obtención de peso constante.

3.2.4.2 Cenizas (Método A.O.A.C.) (46)

Se obtuvieron por calcinación de la muestra en mufla a 550°C, hasta obtener cenizas blancas.

3.2.4.3 Contenido Graso Total (Método A.O.C.S. Ab 3-49) (47)

El contenido de materia grasa en las papas chips, se determinó por el método Soxhlet. 5-6 g de muestra seca y homogeneizada se colocaron en el extractor Soxhlet de acuerdo al procedimiento habitual y se extrajo envuelta en papel filtro y a reflujo con éter de petróleo por 4 a 5 horas hasta extraer totalmente la grasa.

El solvente se evaporó en rotavapor a 40°C y el contenido graso se determinó gravimétricamente, controlando el peso hasta que fue constante.

3.2.4.4 Materia Grasa (Método Bligh & Dyer) (48)

En las papas crudas (*Solanum tuberosum L.*), se determinó la materia grasa por el método Bligh & Dyer, por tratarse de un producto vegetal con alto contenido de humedad.

3.2.4.5 Proteínas (Método Kjeldahl) (49)

Se determinó el contenido proteico en las papas crudas (*Solanum tuberosum L.*), midiendo el nitrógeno total. La cantidad de nitrógeno multiplicada por el factor 6,25 entregó el equivalente en proteínas.

3.2.5 Textura

La textura de los alimentos tiene una importancia fundamental en la producción y aceptación del producto por el consumidor. El emplear distintos tratamientos antes de freír las rodajas de papas, podría llevar a suponer la necesidad de aplicar distintas magnitudes de fuerza, para lograr la ruptura de las hojuelas.

Para esta determinación, se colocaron aproximadamente, 5 a 6 g de hojuelas de papas chips en el texturómetro de la marca Lloyd Instrument LR 5K, en una superficie dispuesta para recibir el émbolo que aplicó la presión necesaria para romper las hojuelas. Los valores de las fuerzas necesarias para provocar la ruptura de hojuelas, se registraron y analizaron estadísticamente. Por cada pre- tratamiento se tomaron 3 muestras para el ensayo.

El equipo se presenta a continuación en la figura 7.

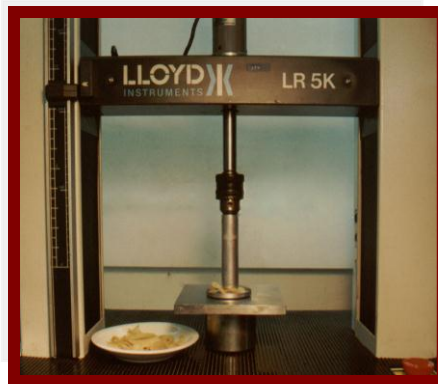


Figura 7 Texturómetro de la marca Lloyd LR 5K.

3.2.6 Color

Para esta determinación se utilizó una cámara digital CANON. Las condiciones necesarias para realizar la operación fueron las señaladas en la literatura (50).



Figura 8 Papas chips de la variedad Panda obtenidas en el laboratorio.

En el laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, se acondicionó un sector oscuro, de forma de simular un pequeño laboratorio fotográfico. Esta rigurosidad tenía como propósito impedir cualquier destello de luz adicional al objeto en sí. Las condiciones en cuanto a distancia y luz foco-objeto se mantuvieron constantes durante todo el proceso. Posteriormente las fotografías se analizaron empleando un software Adobe Photoshop.

Para la evaluación del color en las papas chips se emplearon los parámetros L^* , a^* y b^* , estándares internacionales para la medición de color, adoptados por la Comisión Internationale d'Eclairage (CEI) en 1976.

L^* es la luminosidad y se mide dentro de un rango que va de 0 a 100, (negro a blanco), el parámetro a^* (de verde a rojo) y b^* (del azul al amarillo), ambos componentes cromáticos van en un rango de -120 a 120 (50).

El color se ha asociado a productos de la reacción de Maillard, como lo es la AA (28).

La medida del color en las papas chips, se realizó sobre una superficie circular aproximada de 1 cm en su equivalente en píxeles.

3.2.7 Estudio comparativo del lavado con agua potable y destilada.

Control *: La papa pelada y cortada se lavó con una ducha de agua potable durante 1 min y después del secado se frió a 180° C, sin lavar con agua destilada.

Agua Destilada (AD): Como una manera de eliminar asparragina y azúcares reductores, se estudió el efecto de lavar bajo una ducha con agua destilada durante 1 min., las rodajas de papas, antes de ser sometidas al proceso de fritura.

El cuadro 8 presenta los valores de asparragina, azúcares y AA obtenidos después de realizada la experiencia mencionada.

3.2.8 Determinación de Precursores de la Acrilamida

3.2.8.1 Asparragina

Realizado en el laboratorio IADET, Santiago

Para la determinación de asparragina se empleó el método AccQ. Tag de Waters (51).

Preparación de la muestra: Se extrajo el jugo de la papa usando un sacajugo doméstico Sindelen, se filtró 3 veces, con papel filtro Whatman nº 1 y en el filtrado se hicieron las diluciones necesarias para medir por HPLC la cantidad de asparragina presente.

Derivatización de la muestra: La muestra de jugo de papa se derivatizó con 6-aminoquinolil-N-hidroxisuccinimidil carbamat (AQC) a temperatura ambiente en medio alcalino. La muestra derivatizada se inyectó al HPLC con detector de fluorescencia. Las condiciones de trabajo para esta determinación se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5: Condiciones cromatográficas para la determinación de asparragina.

Bomba	Sistema Waters ALLIANCE 2690
Detector	Detector Waters de Fluorescencia modelo 2474
Lamda de Excitación	250 nm
Lamda de Emisión	395 nm
Columna	AccQ Tag, 5 µm, 3.9 mm x 150 mm
Fase Móvil	Buffer Acetato ph 5.02 /Acetonitrilo /Agua
Velocidad de Flujo	1 ml / min
Volumen de Inyección	5.0 µl
Temperatura	37 °C

3.2.8.2 Azúcares Reductores

Se empleó un método enzimático, Glucose Assay Procedure (Megazyme), con la participación de las enzimas glucosa oxidasa y peroxidasa de alta pureza que se emplean para la determinación de glucosa en plantas.

Se utilizó un buffer compuesto por ortofosfato de potasio dihidrogenado 1 M / 200 mM ácido p-hidroxibenzoico / 0,4% azida de sodio. Se tomaron 50 ml del buffer y se llevó a 1 litro con agua destilada. En este buffer se disolvió un vial compuesto de glucosa oxidasa / peroxidasa / 0,4 m moles de 4- aminoantipirina.

Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: se colocaron 3 ml de reactivo cromógeno; 0,1 ml de jugo de papa y 0,1 ml de buffer. Se mezclaron y se incubó esta mezcla a una temperatura entre 40 a 50° C, el tiempo de incubación fue de 20 min. La longitud de onda 510 nm. El color obtenido fue estable a temperatura ambiente por lo menos dos horas después de haberse obtenido.

En la figura 9 se muestra la reacción de producción del compuesto coloreado.

Se leyó la absorbancia a 510 nm contra el blanco (52).

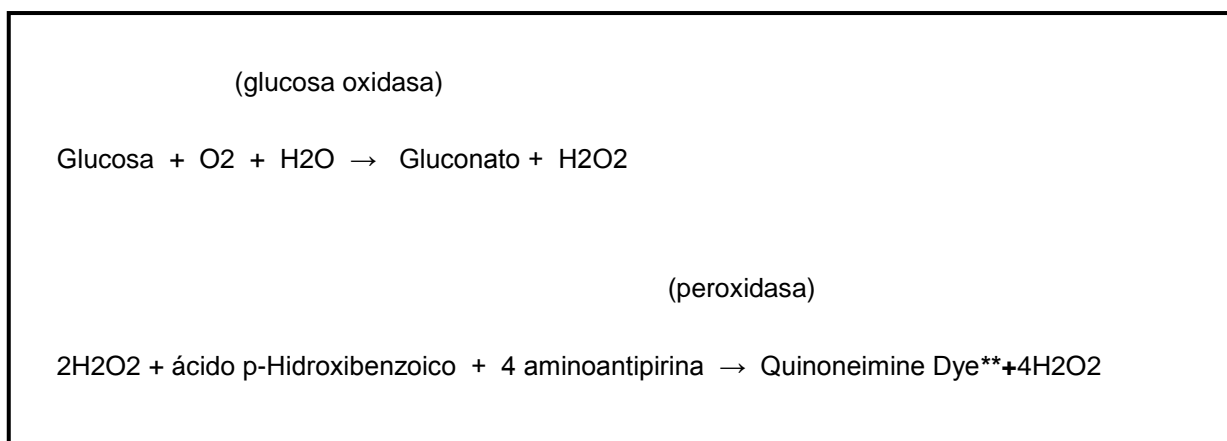


Figura 9 Formación del compuesto coloreado en la determinación enzimática de glucosa.

** Compuesto coloreado que se lee a 510 nm

3.2.9 Determinación de Acrilamida

Realizada en el Laboratorio del Ebro, Navarra, España

La determinación de AA se efectuó en las papas fritas, por cromatografía líquida y detección por masas (HPLC-MS/MS). Aplicable a alimentos con alto contenido de almidón y aminoácidos. Se realizó una extracción del analito en solución acuosa, eliminación de impurezas por extracción en fase sólida (SPE) y se mide por HPLC – MS/ MS (2, 53,54). Las condiciones del análisis se presentan en el cuadro 6.

Los resultados se obtienen después de la cuantificación de los patrones y a partir de la recta de calibrado, la que se acepta con un mínimo de 0,99 de R². La incertidumbre del método es de un 15%. De la recta se obtiene la concentración en µg/L y para su conversión en µg/kg se corrige la concentración obtenida del patrón interno.

Extracción

Pulverización y homogeneización: La muestra se lleva a un molino de laboratorio, para su molienda y homogeneización, luego se pesan 2 ±0,05 g de muestra, se llevan a dos

tubos FALCON a los que se les agrega agua ultrapura, diclorometano y AA 13 C₃ (Sigma) a uno de ellos.

Homogeneización: La mezcla obtenida anteriormente se lleva a un agitador orbital por 20 min hasta su completa homogeneización.

Centrifugación: La muestra ya preparada se centrifuga por 20 min, se trasvasan 5 ml del sobrenadante a un tubo filtrante de polivinilo difluorado (PVDF). Se colocó este tubo en la centrifuga hasta que aproximadamente 2 ml de la muestra inicial decanten.

Purificación:

Cartucho de extracción en fase sólida (SPE) (Oasis): en esta etapa se acondiciona la columna con 3,5 ml de metanol seguido de 3,5 ml de agua ultrapura. Se añaden 1,5 ml del filtrado y se lavan con 0,5 ml de agua ultrapura. La elución se realiza con 2,5 ml de agua ultrapura.

Cartucho de extracción en fase sólida (SPE) (Accucat): se acondiciona con 2,5 ml de metanol seguidos de 2,5 ml de agua ultrapura. Se añade el eluido del cartucho anterior y se eluye con 1,5 ml de agua ultrapura recogiendo todo y transfiriéndolo a un vial (al final se obtienen 4 ml).

Cuadro 6: Condiciones del Análisis en HPLC-MS/MS.

Muestra	10 µl
Flujo de la Fase Móvil	0,25 ml / min
Composición de la Fase Móvil	Agua ultrapura / Fórmico 0.25% / MeOH (99 :1)*
Columna	C18 Atlantis 100 x 0.25 x 5 µm

* 99% de solución de fórmico 0,25% y 1% de metanol.

La concentración de AA en el alimento se calcula por el área bajo el peak comparado con el estándar interno de AA.

3.2.10 Evaluación Sensorial

Las muestras de papas chips elaboradas con los distintos tratamientos fueron evaluadas por un panel constituido por 9 jueces, previamente entrenados en las características de apariencia, textura y sabor de papas chips comerciales.

El entrenamiento fue alcanzado cuando no hubo diferencias significativas en la apreciación de los diferentes atributos, causadas por los distintos jueces. Por lo tanto, se puede decir que el panel estaba correctamente entrenado cuando evaluó las muestras de papas chips.

Parámetros Evaluados

5.1 Apariencia: color amarillo, pardeamiento, aspecto quemado, transparencia.

5.2 Textura: dureza y crocancia.

5.3 Sabor: en este atributo de calidad se consideró relevante, estudiar por separado dos aspectos que podrían presentarse en el aceite como son un sabor acentuado, rancio o muy leve a aceite en las papas chips y un segundo aspecto que dice relación con la posible presencia de un sabor metálico, ácido, quemado u otro en las papas chips.

Sabor Normal: se consideró normal el sabor a aceite.

Sabor Extraño 1: se consideró extraño la ausencia de sabor aceite, o un sabor alterado de este.

Sabor Extraño 2: presencia de sabor ácido, metálico, quemado u otros.

Las respuestas fueron entregadas en una escala estructurada de 10 cm. La hoja de respuestas se presenta en el anexo.

3.2.11 Aceptabilidad

Este test se realizó con un grupo de 50 consumidores, de entre 18 a 22 años, por tratarse de un rango de edad con alto consumo en este tipo de productos. El objetivo era conocer la posible aceptación en el mercado de un producto con bajo contenido de AA. A cada consumidor se le entregaron 2 muestras, una muestra Control (R) preparada a la temperatura de 180° C y la otra muestra preparada a 120° C y sometida al pre-tratamiento Escaldado/ ácido Cítrico 1% (L).

La hoja de preguntas presentada a los consumidores se encuentra en el anexo.

3.2.12 Estadística

Para el diseño estadístico se utilizó el software Statgraphic Statistical Package (Statistical Graphics Corporation, Versión 4, Rockville, USA) y con los datos obtenidos se realizó una ANOVA y cuando se requirió, un Multiple Range Test ($p > 0,05$). En este estudio estadístico se consideraron las variables temperatura, tiempo y pre-tratamientos como independientes y las variables concentración porcentual de AA y grado de aceptabilidad por el consumidor como las dependientes.

El cuadro 7 señala el diseño estadístico, que a su vez entrega un orden de trabajo para la elaboración de papas chips con los distintos pre-tratamientos empleados.

La selección de la materia prima para ejecutar el diseño presentado en el cuadro 7, fue siempre al azar, logrando así que todas las unidades tuvieran el mismo tiempo de almacenamiento previo a la fritura.

Cuadro 7 Orden de trabajo de acuerdo al diseño estadístico.

Temperatura (°C)	Escaldado	Ácido cítrico 1%
120	-	si
120	si	si
150	si	si
120	-	-
120	si	-
180	-	si
180	si	-
150	-	-
150	-	si
180	si	si
150	si	-
180	-	-

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Efecto del lavado de las papas con agua destilada

Los resultados permitieron evaluar el efecto del lavado con agua destilada, sobre el contenido de asparragina y de azúcares reductores en la materia prima y de AA en las hojuelas de papas.

El cuadro 8 indica los resultados obtenidos en los contenidos de asparragina, azúcares y AA en las papas fritas a 180 °C, para las hojuelas de papas lavadas con agua potable y para aquellas lavadas previamente con agua destilada durante 1 min. La figura 10 permite apreciar claramente lo expuesto.

Cuadro 8: Contenidos de asparragina y de azúcares reductores en la papa cruda y de acrilamida en las papas fritas.

Tratamiento	Asparragina (ppb) Papa cruda	Azúcares reductores (ppm) Papa cruda	Acrilamida (ppb) Papa frita
Control* (lavado c/ agua potable)	367	169	2061
AD (lavado c/ agua destilada)	215	121	1751

Como consecuencia del lavado con agua destilada, se obtuvo una disminución en el contenido de asparragina de un 41,6%. De la misma manera, se logró una disminución del contenido de azúcares de un 28,4%. Finalmente la cantidad de AA de las papas fritas a 180°C se redujo en un 15%. Los resultados obtenidos fueron semejantes a los obtenidos en investigaciones anteriores realizadas en papas fritas tipo french (10). El lavar las hojuelas con agua destilada, favorece la eliminación tanto de la asparragina como de los azúcares, debido a que ambos componentes son solubles en agua y al estar la papa cortada finamente, queda una gran superficie expuesta al lavado, lo que facilitaría el arrastre de ambos componentes (10).

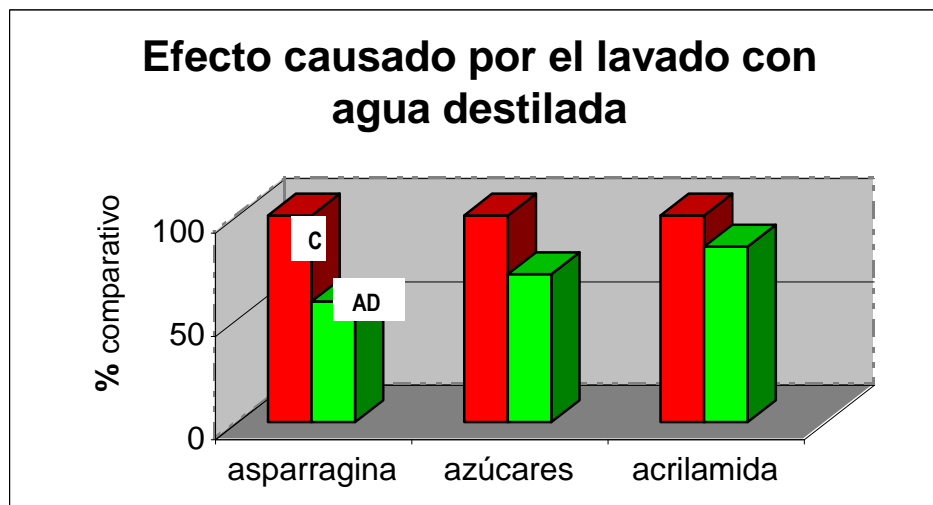


Figura 10: Efectos causados por el lavado con agua destilada en los contenidos de: asparagina, azúcares reductores en las papas crudas y de acrilamida después de la fritura, obtenidos en esta tesis.

4.2 Análisis Proximal de la Materia Prima.

Variedad de papas PANDA (*Solanum tuberosum* L.)

Cuadro 9: Resultados del análisis proximal de la materia prima.

Determinación	g /100 g
Humedad	73,5 ± 1,0
Proteínas N x 6,25	3,4 ± 0,2
Grasa	0,2 ± 0,0
Azúcares reductores	0,2 ± 0,0
Genizas	0,9 ± 0,0

Del cuadro 9 se observa que sus contenidos de proteínas y grasas están dentro del rango presentado por variedades chilenas (55). Cabe destacar el bajo contenido de azúcares reductores, muy por debajo del promedio presentado por otras variedades (29). Esto hace a esta variedad apropiada para la producción de papas chips.

4.2.1 Humedad

Cuadro 10: Contenido de Humedad (g/100g) en las papas chips a distintos pre-tratamientos y fritas a las temperaturas de 120, 150 y 180° C.

Pre-tratamientos (g/100g)				
Temperatura (°C)	Control	Escaldado	Ác. cítrico (1%)	Escaldado/ Ác. cítrico (1%)
120	4,26 ± 0,1	3,99 ± 0,2	4,45 ± 0,2	1,79 ± 0,0
150	2,65 ± 0,1	4,17 ± 0,2	3,13 ± 0,4	2,34 ± 0,6
180	1,14 ± 0,2	2,83 ± 0,0	1,81 ± 0,1	1,47 ± 0,1

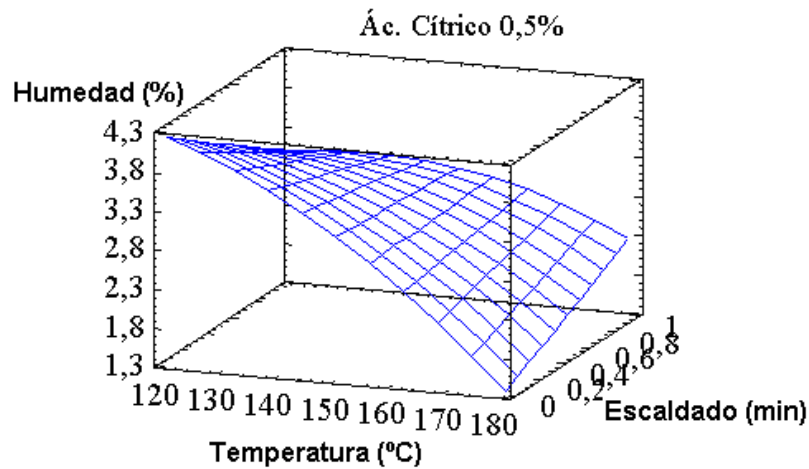


Figura 11: Optimización de las variables que inciden en el contenido final de humedad.

En la figura 11 se puede apreciar que manteniendo constante la concentración de ácido cítrico en 0,5%, si la temperatura aumenta y si disminuye el tiempo de escaldado, la humedad alcanzada es más baja.

Al estudiar separadamente las posibles variables que inciden en el contenido final de humedad en las papas chips, se tiene que tanto el escaldado, la concentración de ácido cítrico y la temperatura ocupada, influyen en el contenido de humedad de la siguiente manera: a mayor tiempo de escaldado menor contenido de humedad, lo mismo sucede si se aumenta la temperatura y si se aumenta la concentración de ácido cítrico.

4.2.2 Materia Grasa

Cuadro 11: Contenido de materia grasa (g/100g) en las muestras con distintos pre-tratamientos y distintas temperaturas de fritura.

Pre-tratamientos (g/100g)				
Temperatura (°C)	Control	Escaldado	Ác. cítrico (1%)	Escaldado /Ác. cítrico (1%)
120	30,06 ± 3,4	29,49 ± 2,7	36,45 ± 0,3	36,40 ± 0,1
150	32,47 ± 0,4	33,34 ± 2,6	34,30 ± 0,8	37,93 ± 0,0
180	27,44 ± 1,4	33,71 ± 1,9	28,40 ± 0,4	34,56 ± 0,8

Durante el escaldado se pierden carbohidratos solubles, quedando un espacio celular que es ocupado por agua y que se espera sea reemplazada por aceite después de la fritura de la hojuela (56).

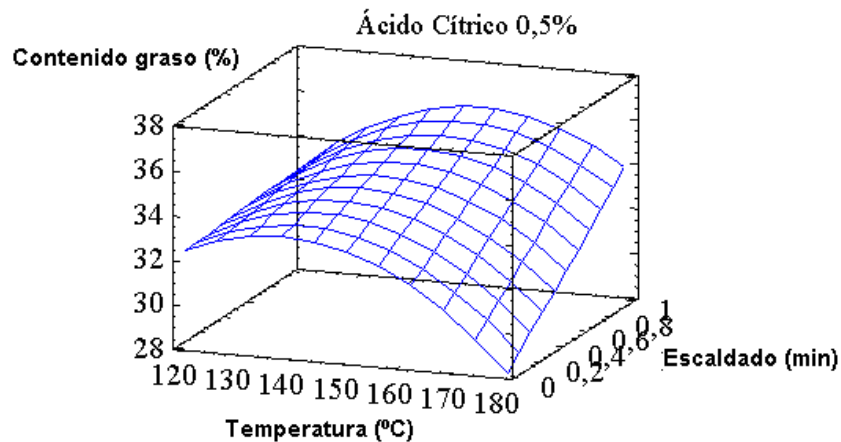


Figura 12: Optimización de las variables que inciden en el contenido final de materia grasa.

De acuerdo a la figura 12, si se mantuviera la concentración de ácido cítrico en 0,5% como sugiere el análisis estadístico, el menor contenido graso se obtendría friendo las hojuelas de papas a una mayor temperatura y empleando el menor tiempo de escaldado. Esto podría explicarse debido a que al aumentar la temperatura de fritura disminuye el tiempo de permanencia de la hojuela en el aceite y por consiguiente disminuye el intercambio de agua por aceite en la papa.

4.3 Contenido de Acrilamida

El cuadro 12 presenta los contenidos de AA alcanzados cuando se aplicaron en esta tesis, los diferentes pre-tratamientos propuestos y con todas las temperaturas de fritura estudiadas.

Cuadro 12: Contenido de acrilamida (ppb) en las papas chips obtenidas de los distintos pre-tratamientos y a distintas temperaturas de fritura.

Pre-tratamientos (ppb)				
Temperatura (°C)	Control	Escaldado	Acido Cítrico (1%)	Escaldado/ác.cítrico (1%)
120	386 ±0,15	283 ± 0,15	149 ±0,15	110 ±0,15
150	3850 ±0,15	1655 ± 0,15	1347 ±0,15	234 ±0,15
180	1751 ±0,15	2546 ±0,15	2509 ±0,15	907 ±0,15

Investigadores (57) mostraron que la AA se forma rápidamente a altas temperaturas de fritura, especialmente sobre 160 °C, donde la cantidad producida sería proporcional a la duración del calentamiento y la temperatura empleada.

También hay estudios que sugieren que la temperatura de fritura debería ser menor a 175 °C y que el tiempo de fritura debería ser tan corto como sea posible para obtener productos fritos de buena calidad.

En otros estudios, (15) se observó que la formación de AA es dependiente de la temperatura entre 120 y 180 °C. Al observar el cuadro 12, se puede inferir que también en esta oportunidad, la disminución de la temperatura de fritura tuvo una incidencia importante en el descenso de los niveles de AA, disminuyendo entre un 78 y un 94%, en cada uno de los pre-tratamientos empleados.

Al comparar los resultados del contenido de AA obtenidos de freír a 150 °C, con los obtenidos a 120 °C, se presentó también una disminución que varió entre el 53 y el 90% para los pre-tratamientos Control y Escaldado/ácido cítrico 1% respectivamente.

Por otra parte, si se comparan los distintos resultados logrados cuando se aplicaron tratamientos, antes de la fritura de las hojuelas de papas, se tuvo que para la temperatura de fritura de 120 °C, el escaldado provocó un descenso igual al 26,7% y de un 57%, para la temperatura de 150 °C, estos resultados son consistentes con otras investigaciones realizadas anteriormente (58).

El escaldado extrae mucha más glucosa y asparragina de las hojuelas de papas que la inmersión en agua, lo que producirá una menor formación de AA en las papas fritas (59).

Otros investigadores (23) han informado también que una reducción en el contenido de azúcar debido al escaldado, podría reducir la concentración de AA hasta en un 60%, de acuerdo a la materia prima y a las variables de producción empleadas.

Cuando se empleó la inmersión de las hojuelas de papas en ácido cítrico 1%, como pre-tratamiento, se pudo observar que el contenido de AA disminuyó en un 61,4% y en 65% para las temperaturas de 120 y 150 ° C respectivamente. Estos resultados fueron consistentes con investigaciones anteriores (10, 11), se podría decir por tanto, que la disminución del pH como la inmersión en ácido cítrico 1%, por una hora, permitieron estos resultados más favorables.

A la temperatura de 180 ° C los valores de AA alcanzados con el escaldado y con la inmersión en ácido cítrico fueron muy semejantes. Por otra parte, el contenido de AA en las papas chips fritas a 180° C, para el tratamiento Control; es menor a aquel obtenido cuando las papas se frieron a 150° C.

Considerando el mecanismo de la reacción química, en la cual la AA se forma como un compuesto intermediario, el cambio del nivel de AA en los alimentos durante el tiempo de calentamiento, no puede ser explicado por modelos de una regresión lineal simple (35). En estudios del contenido de AA en papas chips realizados por el mismo investigador, este encontró que para tiempos de calentamiento semejantes y a las temperaturas de 150,170, 190 y 210° C, el contenido de AA llegó a ser menor a 210° C, y el mayor se logró a 190°C. Durante el calentamiento a temperaturas relativamente altas, la cinética sigue una reacción característica, como es el incremento inicial hasta un máximo, seguido de una disminución. También es conveniente tener en cuenta que el contenido de AA aumenta con el tiempo de fritura (58), estas pudieron ser algunas de las variables que influyeron en el menor valor de AA a 180° C. Otras investigaciones revelaron que el contenido de AA alcanzado tiene más relación con el tiempo de fritura que con la temperatura (23).

Al ensayar un método combinado, es decir, primero escaldado y después inmersión en ácido cítrico 1%, a la temperatura de fritura de 120° C, se logró una disminución del 71,4% comparado con el pre-tratamiento de duchar con agua destilada; a los 150 ° C el descenso fue de un 93,9% y de un 48% cuando se empleó la temperatura de fritura de

180° C, comparando siempre con el pre-tratamiento de la ducha bajo agua destilada. De acuerdo a los resultados, este último pre-tratamiento ensayado fue mucho más drástico y también más efectivo, especialmente a la temperatura de 150 °C.

El análisis estadístico permite decir, que hay diferencias significativas en el contenido de AA, de las distintas muestras al 95% de confianza.

La figura 13 indica que el óptimo valor de AA se presentaría, cuando se escalda durante 1 min, con posterior inmersión en ácido cítrico al 0,5%, para finalmente freír a 120 °C, luego éste sería el valor teórico más bajo de AA que se obtendría con las condiciones planteadas.

De acuerdo al presente estudio sería conveniente la consideración de una temperatura de fritura cercana a los 120 ° C, un tiempo de escaldado próximo a 1 min y una inmersión en ácido cítrico 1%. La figura 13 permitiría concluir que el óptimo de AA ya se lograría con una concentración de ácido cítrico del 0,5%.

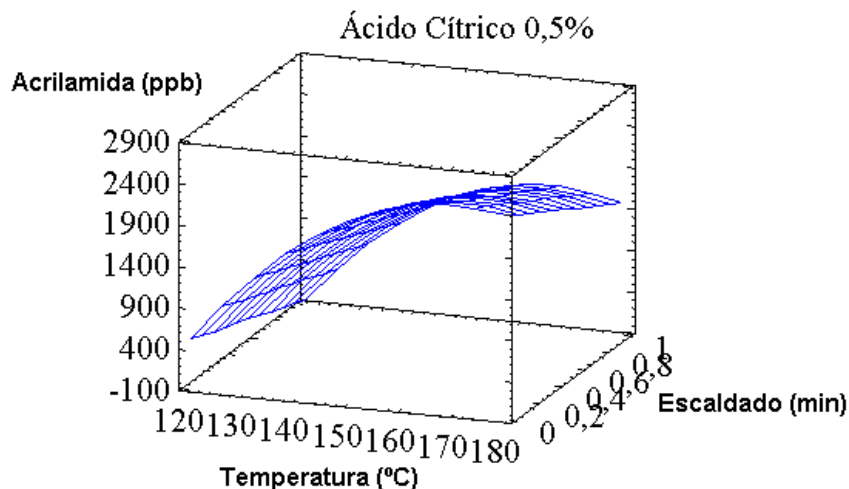


Figura 13: Optimización del contenido de acrilamida en las papas chips, considerando las variables escaldado, temperatura y ácido cítrico.

Según la figura 13 es posible estimar con mayor precisión, la conveniencia de freír entre 120 a 128 ° C, con un tiempo de escaldado que va desde 0,7 a 1 min y con una concentración de ácido cítrico de 0,5%, ya que es en este rango donde se obtienen los valores más bajos de AA.

La figura 14 permite apreciar los efectos que ejercen las distintas temperaturas de fritura empleadas, los distintos tiempos de escaldado y las distintas concentraciones de ácido cítrico, sobre la formación de AA en las papas chips.

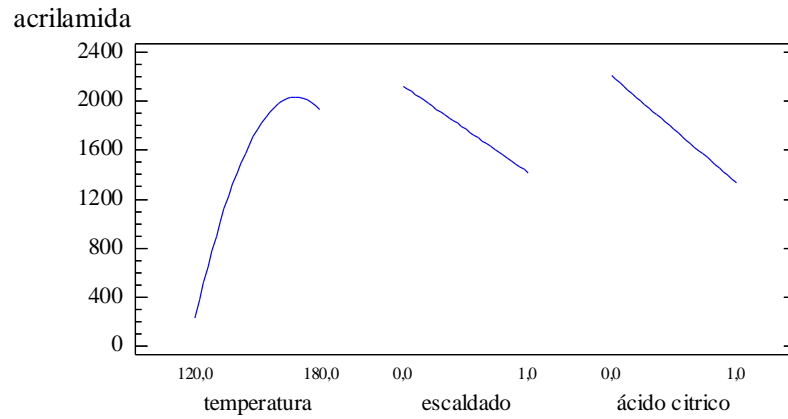


Figura 14: Principales efectos que incidirían en el contenido final de acrilamida en las papas chips.

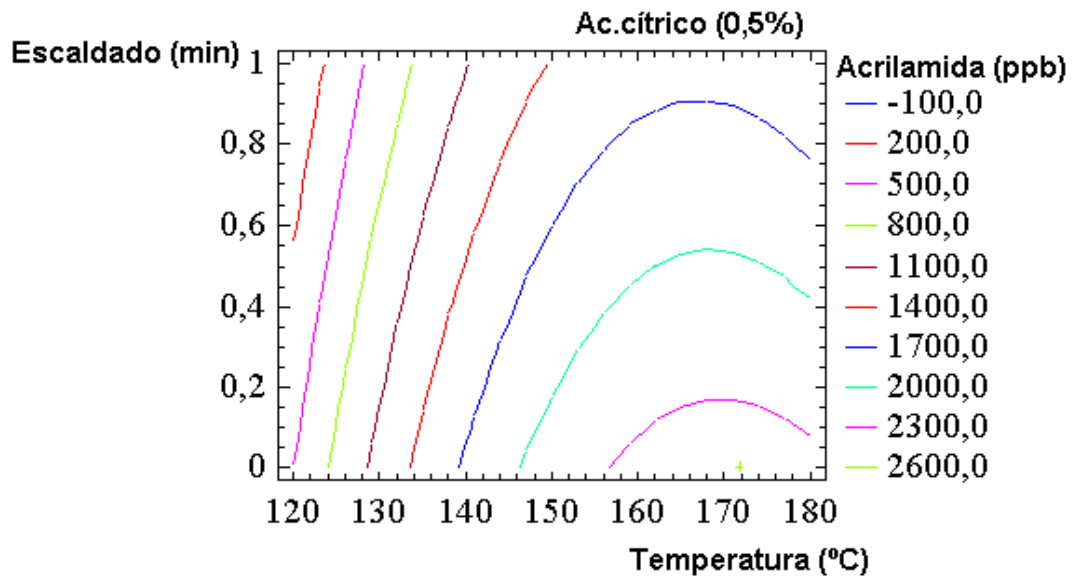


Figura 15: Contenido de acrilamida en papas chips, logrado a distintas temperatura y distintos tiempos de escaldado y con una concentración de ácido cítrico de 0.5%.

4.4 Medición del color en las papas chips

Los productos derivados de la reacción de Maillard contribuyen al color y sabor de los alimentos, sin embargo científicos del Reino Unido encontraron que una reacción entre la asparragina, aminoácido presente en las papas y cereales y un azúcar reductor podrían generar AA (17). El mecanismo de formación del color oscuro no es totalmente conocido y la estructura de las melanoidinas es desconocida (35). Debido a que el color puede medirse, este parámetro puede usarse como un indicador de productos de la reacción de Maillard, entre los que está la AA (35).

El cambio en el nivel de AA en los alimentos, durante el calentamiento, no puede ser explicado por un modelo de regresión lineal simple, algunos investigadores plantean una ecuación diferencial, donde hay parámetros que deben ser obtenidos experimentalmente. Investigaciones recientes han demostrado la relación entre la generación de color, representado por el componente a^* (rojizo) y el nivel de AA que se forma durante el calentamiento (34).

En otras investigaciones (57) se encontró una relación lineal entre la superficie pardeada y la concentración de AA de papas French. Los mismos investigadores informaron que una correlación estrecha podría obtenerse en una superficie pequeña de material a estudiar. Sin embargo, esta relación no se observó en superficies de mayor tamaño.

4.4.1 Comparación de la luminosidad (L^*) obtenida a distintas temperaturas.

El p-value igual a 0,000 indicaría que hay diferencias significativas del parámetro L^* entre las muestras, causadas por la temperatura. El Test de Rango Múltiple permitió distinguir que la temperatura de 120° C es la que permite la luminosidad diferente en las hojuelas.

Esto se visualiza en la figura16. Claramente, se aprecia que hay diferencias en la luminosidad, provocadas por la temperatura, se nota que la temperatura de 120° C es la que entrega la luminosidad diferente.

Los resultados entregados por el panel sensorial mostraron concordancia en la evaluación del parámetro transparencia con la luminosidad, medida instrumentalmente

detectándose siempre las diferencias al nivel del 95% de confianza. Hay investigaciones que concluyen que a un mayor tiempo de calentamiento el valor de L^* disminuye (35), sin emplear un tratamiento previo la fritura.

En esta tesis se pudo notar también la disminución de L^* pero con la temperatura, coincidentemente la temperatura menor es la que tiene el mayor tiempo de fritura, lo que queda en evidencia en la figura 16.

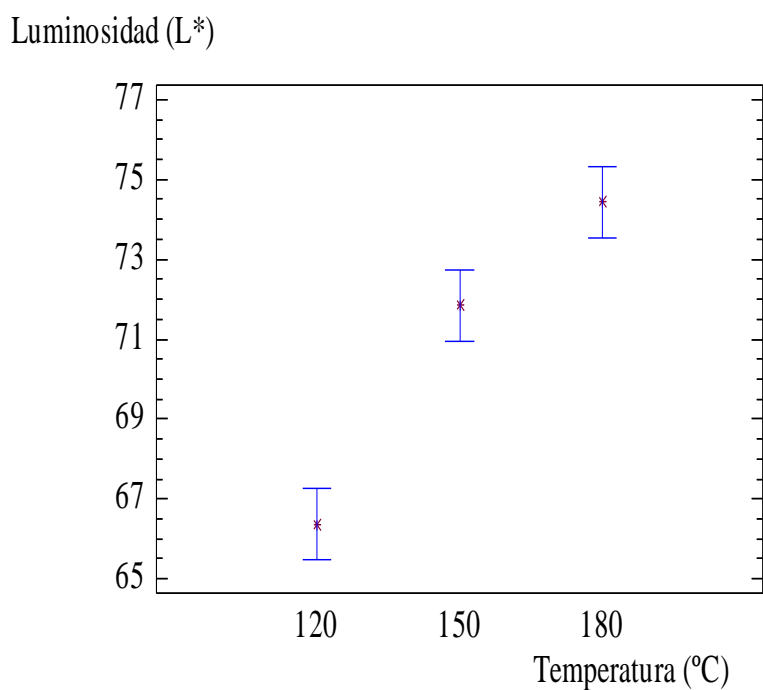


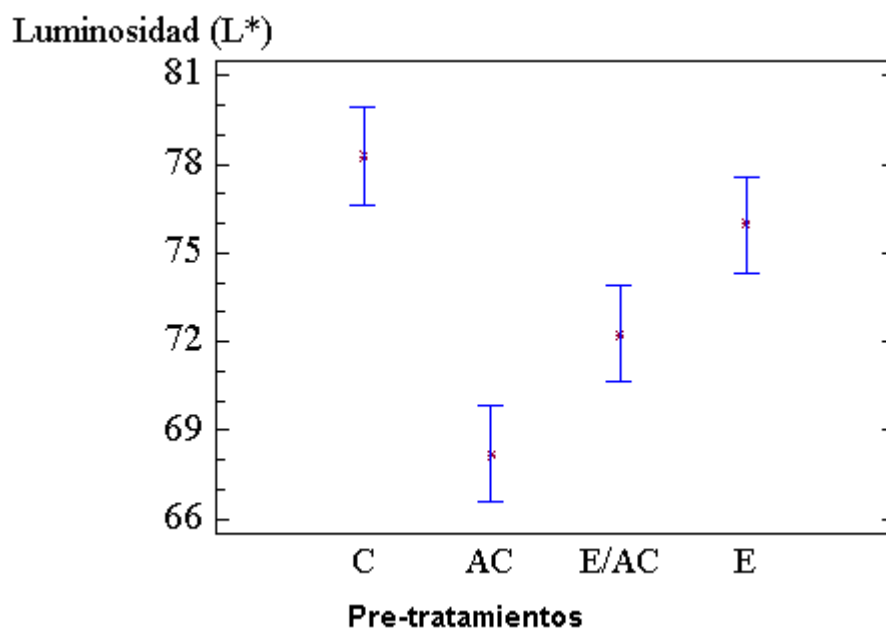
Figura 16: Luminosidad (L^*) medida en las papas chips obtenidas con las distintas temperaturas de fritura.

Otros investigadores (58) demostraron que el componente del color luminosidad tiende a disminuir con una menor temperatura de fritura.

4.4.2 Comparación de la luminosidad (L*) obtenida en las papas chips de los distintos pre-tratamientos estudiados.

A la temperatura de fritura igual a 120° C, el valor del p-value fue igual a 0,2784; por tanto no hay diferencias significativas en la luminosidad, al 95% de confianza, de las papas chips obtenidas de los distintos pre-tratamientos.

Cuando la temperatura de fritura empleada fue de 150° C, el p-value fue igual a 0,0001, luego hay diferencias significativas al 95% de confianza, provocada por los distintos pre-tratamientos.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado / Ácido Cítrico

Figura 17: Luminosidad medida en las papas chips obtenidas de distintos pre-tratamientos con la temperatura de fritura de 150° C.

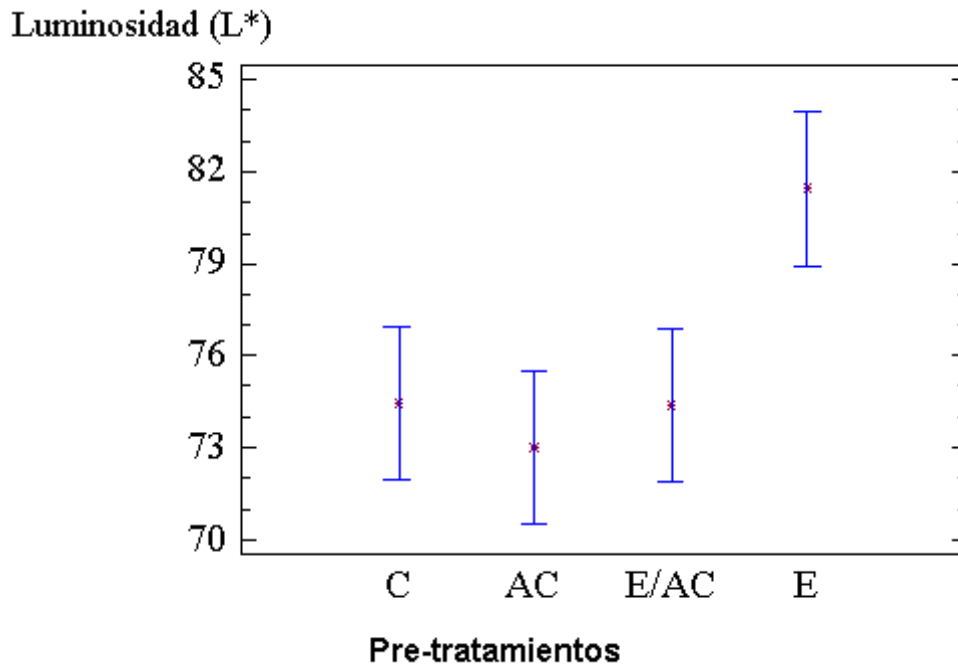
Las únicas muestras que no difieren entre sí son la escaldada y la control, las demás son distintas.

Cuando se midió la luminosidad a 180° C se obtuvo un valor del p-value igual a 0,0127; indicando que hay diferencias significativas en cuanto a éste parámetro, al nivel del 95% de confianza, provocadas por los distintos pre-tratamientos empleados.

4.4.3 Comparación del parámetro rojizo (a^*) obtenido a distintas temperaturas.

El p-value obtenido fue de 0,0853, mayor a 0,05, por lo tanto no hay diferencias significativas en el parámetro a^* , causado por las distintas temperaturas empleadas. Este resultado fue diferente al entregado en otras investigaciones (35) donde el valor de a^* se incrementaba en proporción directa al tiempo de calentamiento a las distintas temperaturas estudiadas. En esta tesis la aplicación de pre-tratamientos sería la causa de la ausencia de pardeamiento en las papas chips.

Una investigación reciente (58), mostraría que hay un incremento de a^* con el aumento en el contenido de AA. En el presente estudio, los menores valores de AA se encontraron a la temperatura de 120° C y con pre-tratamientos drásticos, las cifras alcanzadas fueron siempre bajas al punto de no detectarse diferencias, esto sí concuerda con la investigación mencionada, donde a valores bajos de AA, la pendiente de la curva a^* vs AA casi no se detectó.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado/ Ácido Cítrico

Figura 18: Luminosidad medida en las papas chips, cuando la temperatura de fritura fue de 180° C en los diferentes pre-tratamientos empleados.

4.4.4 Comparación del parámetro amarillento (b^*) obtenido a distintas temperaturas.

El p-value obtenido fue de 0,0005, menor que 0,05, por lo tanto hay diferencias significativas en este parámetro, provocadas por las distintas temperaturas empleadas.

El Test de Rango Múltiple identificó que la muestra preparada a 120° C, presentó diferencias.

En la figura 19 se aprecia que la temperatura de 120° C, es la que entrega las papas de color diferente del resto. Las investigaciones anteriores (35) mostraron que el valor del parámetro b^* disminuye a medida que aumenta el tiempo de calentamiento, sin embargo el estudio no considera la realización de un tratamiento previo a la fritura. En este estudio los pre-tratamientos serían la causa de la obtención de un valor de b^* más alto cuando el tiempo es mayor, como por ejemplo el empleado para freír a 120° C.

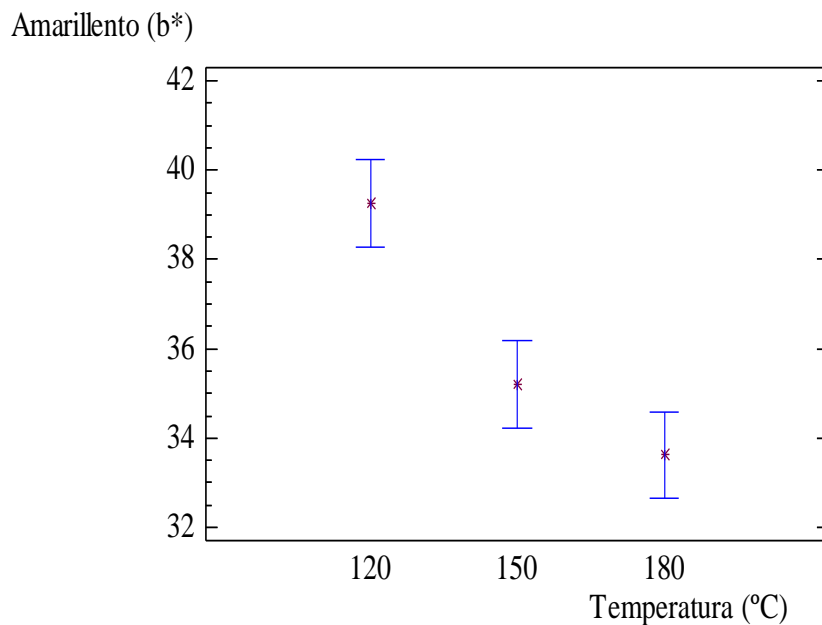
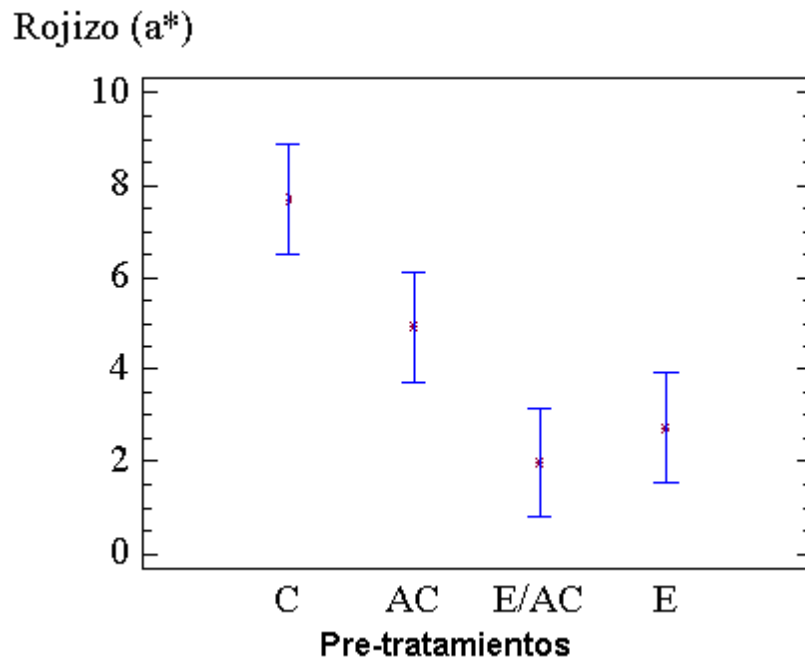


Figura 19: Color amarillento (b^*) medido en las papas chips a distintas temperaturas de fritura. En este caso el color más amarillo corresponde a un b^* más alto.

4.4.5 Efecto de los pre-tratamientos en el color rojizo de las papas chips

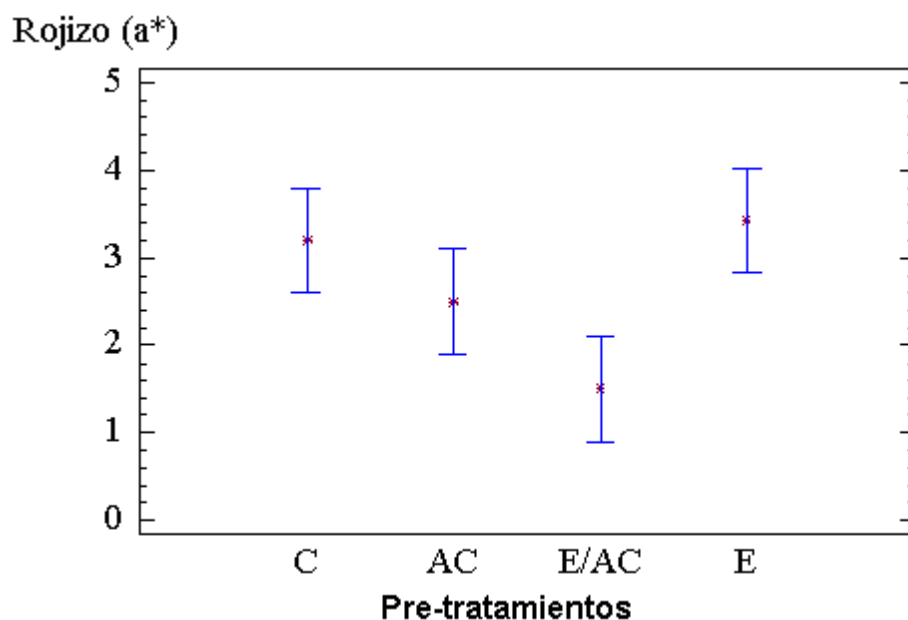
Al medir el color rojizo (a^*) cuando la temperatura de fritura fue de 120°C , el valor del p-value alcanzado fue igual a 0,0009, por tanto hay diferencias significativas entre las muestras de papas chips obtenidas de los distintos pre-tratamientos. Ver figura 20. Los resultados obtenidos estarían más de acuerdo con aquellos de investigaciones anteriores (10) que sí emplearon pre-tratamientos y no detectaron diferencias significativas en pardeamiento o color rojizo, como sucedió en este estudio.

Al comparar el color rojizo (a^*) obtenido de las papas chips provenientes de los distintos pre-tratamientos y a la temperatura de fritura de 150°C se obtuvo un p-value igual a 0,0002, por tanto se puede concluir que hay diferencias significativas al 95% de confianza en cuanto a éste color estudiado, en las papas chips, provocadas por los diferentes pre-tratamientos.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado /Ácido Cítrico

Figura 20: Color rojizo obtenido cuando se empleó la temperatura de fritura de 120°C , y con distintos pre-tratamientos.



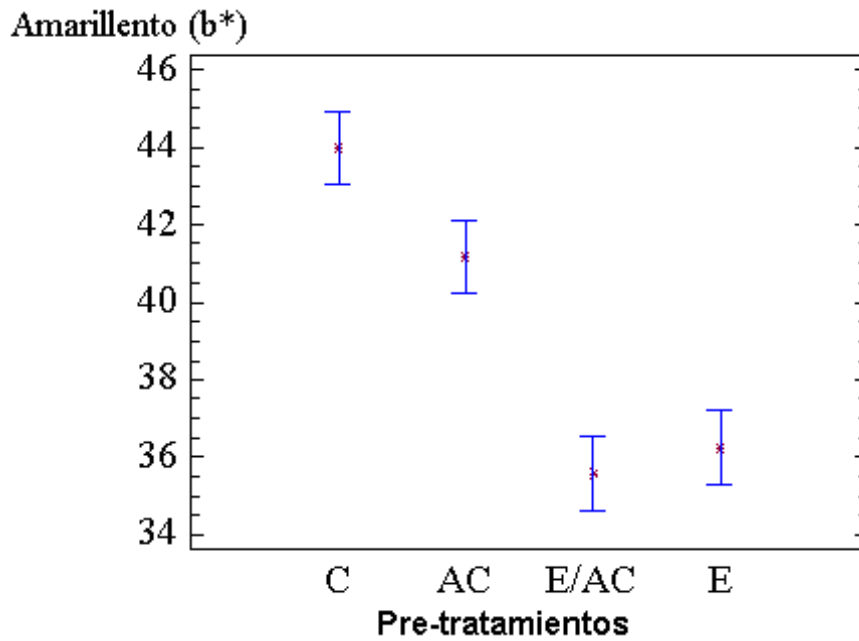
C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/ AC: Escaldado / Ácido Cítrico

Figura 21: Color rojizo medido cuando se empleó la temperatura de fritura de 150° C, en los distintos pre-tratamientos.

Cuando se midió el parámetro color rojizo en las muestras obtenidas a 180° C, no hubo diferencias significativas al 95% de confianza.

4.4.6. Efecto de los pre-tratamientos en el color amarillento (b*) de las papas chips

Cuando la temperatura de fritura fue de 120° C, el p-value obtenido fue menor a 0,05 lo que indica que hay diferencias significativas al 95% de confianza.

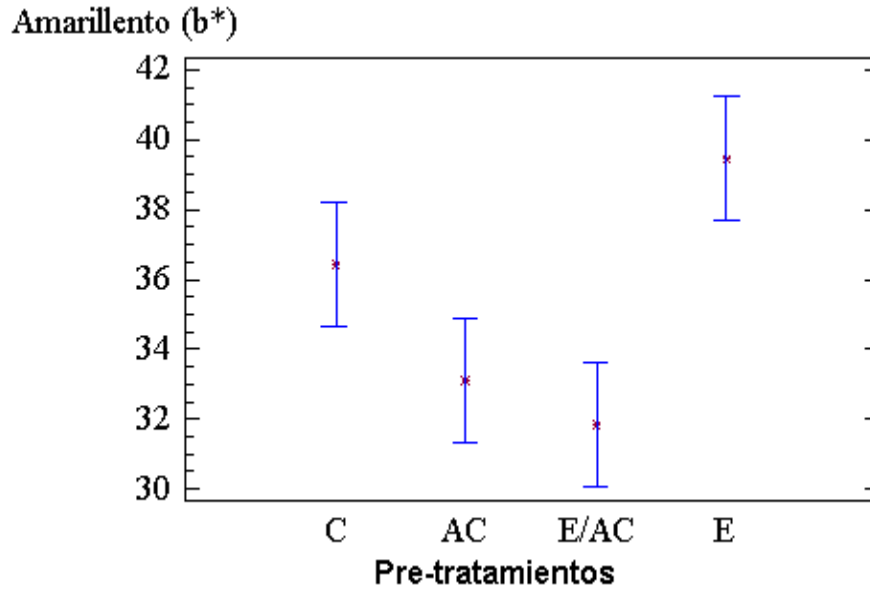


C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado/ Ácido Cítrico

Figura 22: Color amarillento medido en papas chips preparadas a la temperatura de 120° C y con distintos pre-tratamientos.

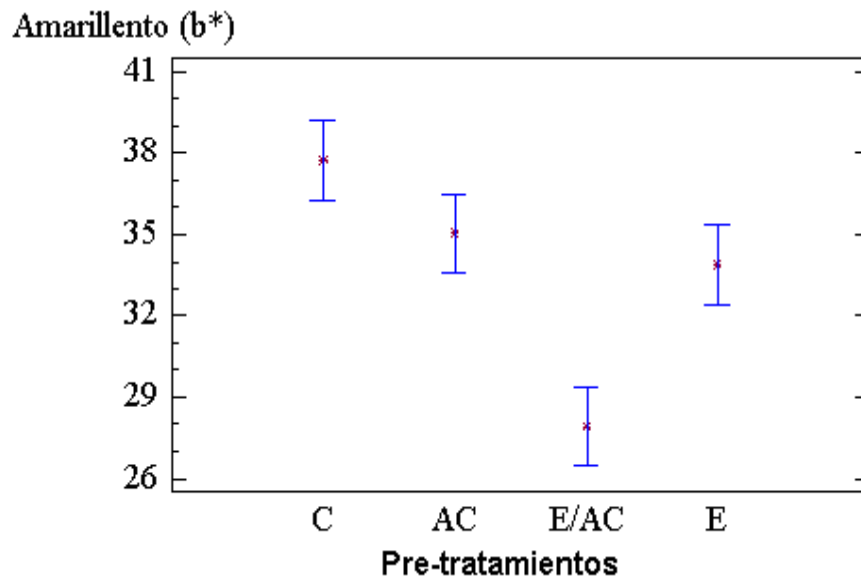
A la temperatura de fritura de 150° C, el color amarillento medido en las papas chips provenientes de los distintos pre-tratamientos, arrojó diferencias significativas al 95% de confianza, con un valor de p-value de 0,0023.

La medición del parámetro amarillento (b*) en las papas chips, obtenidas a 180° C y provenientes de distintos pre-tratamientos, arrojó diferencias significativas al 95% de confianza, con un valor de p-value igual a 0,0001.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado / Ácido Cítrico

Figura 23: Color amarillento medido en las papas chips preparadas a 150° C.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E /AC: Escaldado / Ácido Cítrico

Figura 24: Color amarillento obtenido en papas chips provenientes de los distintos pre-tratamientos, cuando la temperatura de fritura fue de 180° C.

Del factor de calidad color se puede decir que, la luminosidad L^* fue siempre diferente, en función de la temperatura, dando un valor promedio más bajo a los 120° C, valor que es consecuentemente detectado por los panelistas, quienes percibieron las muestras de 120° C como las más transparentes.

Tanto el tono rojizo (a^*) como el amarillento (b^*) que normalmente se aprecian en una papa frita, estuvieron suficientemente equilibrados y en todas las situaciones fue siempre más amarillo que rojizo, siendo éste último tono el que daría cuenta del pardeamiento. La razón a/b siempre fue menor a 1 e incrementó a medida que la temperatura aumentaba.

Cuadro 13 Correlación de Pearson para la determinación sensorial e instrumental de la variable color.

Variable sensorial	L^*	a^*	b^*
Color amarillo	- 0,2449	0,5346	0,5235 •
Pardeamiento	- 0,1203	0,6321 •	0,6074
Transparencia	- 0,7323 •	-0 2675	- 0,0934

• p-value < 0,05

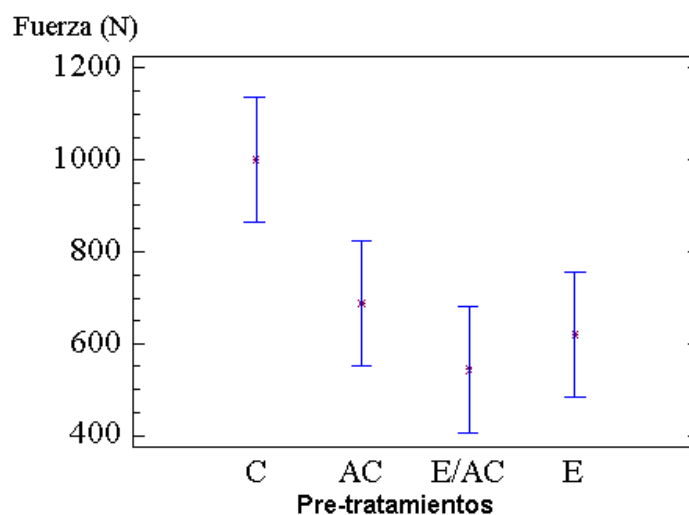
El cuadro 13 muestra la correlación estadística al 95% de significancia, entre las variables pardeamiento – rojizo (a^*), color amarillo – amarillento (b^*) y una correlación inversa, para las variables transparencia – luminosidad (L^*).

4.5 Textura

4.5.1 Efecto de los pre-tratamientos sobre la textura (dureza) de las papas chips para cada temperatura de fritura.

Tanto en lo que se refiere a la fuerza aplicada como a la deformación obtenida, no se observó diferencias significativas entre los pre-tratamientos al 95% de confianza, cuando la temperatura de fritura empleada fue 120° C.

Cuando la temperatura de trabajo fue de 150° C, si hubo diferencias significativas, al 95% de confianza, en cuanto a la fuerza necesaria para la ruptura de la hojuela, causada por los distintos pre-tratamientos. Esto se vio reflejado en el valor del p-value que fue menor de 0,05. Ver figura 25.



C: Control AC: Ácido Cítrico E: Escaldado E/AC: Escaldado / Ácido Cítrico

Figura 25: Diferencias Mínimas Significativas entre los distintos pre-tratamientos a la temperatura de fritura de 150° C.

En la figura 25 de las diferencias mínimas significativas (LSD), se hace notoria la diferencia de la muestra Control (C) con respecto a los otros pre-tratamientos.

Al estudiar el parámetro deformación, no hubo diferencias significativas entre las distintas muestras preparadas a 150 ° C, con un nivel de 95% de confianza.

Al aplicar una fuerza sobre las hojuelas de papas preparadas a 180 ° C, no hubo diferencias significativas entre las muestras al 95% de confianza.

Al estudiar la deformación de la hojuela obtenida a 180° C, el p-value fue mayor a 0,05, por lo tanto, no hubo diferencias significativas en las muestras estudiadas al 95% de confianza.

4.5.2 Efecto de la temperatura de fritura sobre la textura (dureza) de las papas chips para cada pre-tratamiento.

Se estudió el efecto que causó en la dureza de las hojuelas de papas chips, el cambio de temperatura usada para freír.

Tratamiento Control

Cuando se aplicó el pre-tratamiento Control, no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) al 95% de confianza, para las distintas temperaturas empleadas.

Pre-tratamiento Ác.cítrico 1%

Al estudiar el efecto del pre-tratamiento ác. cítrico 1%, sobre la variable dureza, se apreció que el valor del p-value fue mayor de 0.05, luego no hubo diferencias significativas entre los pre-tratamientos, a las diferentes temperaturas, esto al nivel del 95% de confianza.

Pre-tratamiento Escaldado

El efecto que las distintas temperaturas provocaron sobre la fuerza de ruptura, se ve representado por el p-value menor de 0.05, mostrando que hubo diferencias significativas entre las fuerzas aplicadas a las distintas temperaturas sometidas al pre-tratamiento escaldado, al nivel del 95% de confianza.

Se realizó un Test de Rango Múltiple para detectar la diferencia y este mostró que las hojuelas producidas a 180° C requirieron una fuerza distinta para conseguir la ruptura.

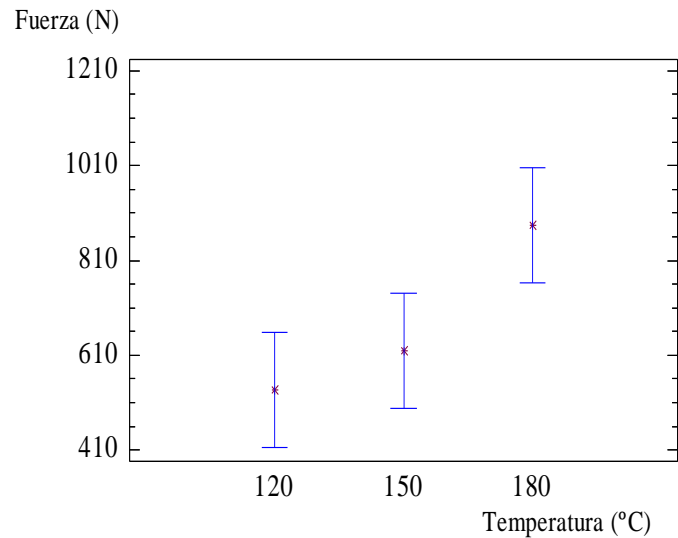


Figura 26: Fuerza aplicada a las muestras sometidas al pre-tratamiento escaldado.

La figura 26 permite apreciar las diferencias mínimas significativas entre las muestras.

El p-value mayor a 0.05 indicaría que no hay diferencias estadísticas significativas, causada por la temperatura, en cuanto a la deformación al nivel del 95% de confianza.

Pre-tratamiento Escaldado / ác. cítrico 1%

Debido a que el valor del p-value supera a 0.05, se puede decir que no hay diferencias estadísticas significativas en la dureza, causadas por la temperatura al nivel del 95% de confianza.

El valor del p-value fue menor a 0.05, luego hay diferencias estadísticas significativas en cuanto a la deformación, causada por las distintas temperaturas. Esto se determinó con un 95% de confianza.

La correlación de Pearson entre las determinaciones medidas sensorial e instrumentalmente, para la variable textura fue igual a 0,7862 con un p-value de 0,0024, lo que indica que hay correlación estadísticamente significativa al 95% de confianza, entre las determinaciones sensorial e instrumental de textura en las hojuelas de papas chips.

4.6 Evaluación Sensorial

Respuestas entregadas por el Panel Sensorial entrenado

4.6.1 Tratamiento Control

Cuadro 14: Respuestas del panel sensorial para los parámetros indicados, a las distintas temperaturas de fritura.

temperatura	color	pardeamiento	aspecto quemado	transparencia	dureza	crocancia	sabor
120	2,90±0,6	2,98±0,6	0,20±0,2	6,58±0,7	6,80±1,1	6,13±1,5	4,96±1,0
150	2,49±1,0	2,39±0,9	0,53±0,4	5,01±1,6	4,41±1,5	6,40±1,5	7,53±0,7
180	3,48±0,4	3,73±0,7	0,39±0,3	4,40±0,9	4,50±1,1	6,65±1,1	7,16±0,7

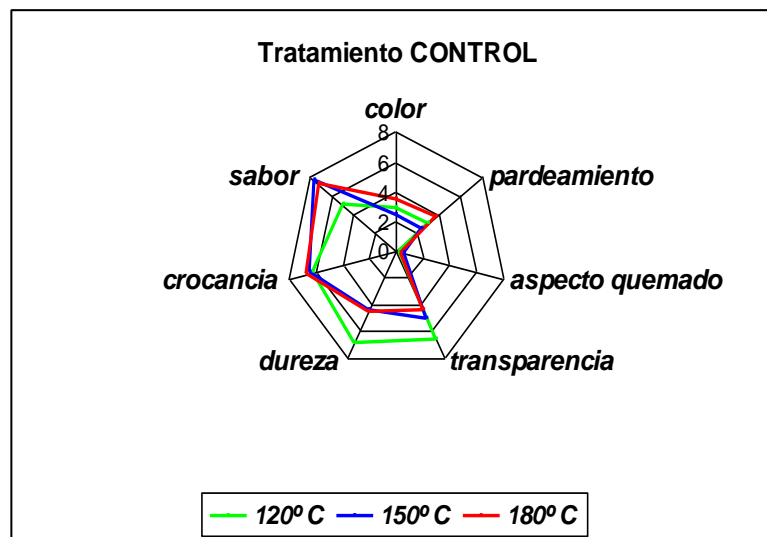


Figura 27: Representación radial de los resultados de la evaluación de la muestra Control.

4.6.2 Pre-tratamiento: Ácido cítrico 1%

Cuadro 15: Respuestas del panel sensorial para los parámetros indicados, a las distintas temperaturas de fritura.

temperatura	color	pardeamiento	aspecto quemado	transparencia	dureza	crocancia	sabor
120	2,24±0,6	2,46±1,6	0,13±0,2	6,85±1,0	7,04±1,0	7,54±0,7	4,52±1,5
150	2,14±0,7	2,80±1,6	0,14±0,2	6,54±1,3	5,63±1,5	7,04±1,2	5,92±1,5
180	3,25±0,3	4,18±0,6	0,48±0,3	5,44±0,7	4,19±0,7	6,28±0,9	6,72±1,2

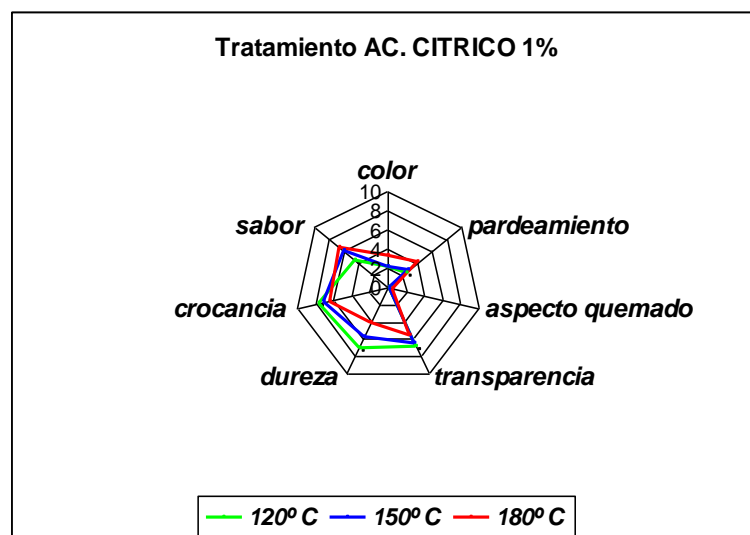


Figura 28: Representación radial de los resultados de la evaluación de la muestra pre-tratada con ácido cítrico 1%, antes de la fritura.

4.6.3 Pre-tratamiento: Escaldado

Cuadro 16: Respuestas del panel sensorial para los parámetros indicados, a las distintas temperaturas de fritura.

temperatura	color	pardeamiento	aspecto quemado	transparencia	dureza	crocancia	sabor
120	4,08±1,2	2,66±0,7	0,29±1,2	7,15±1,0	7,21±0,8	8,13±1,1	4,66±1,8
150	3,0±0,4	3,82±1,1	1,26±0,4	4,6±1,3	5,15±1,1	6,73±1,0	6,53±1,3
180	1,62±0,7	1,28±1,3	0,00±0,0	4,14±1,0	5,80±1,2	7,43±1,1	7,13±0,9

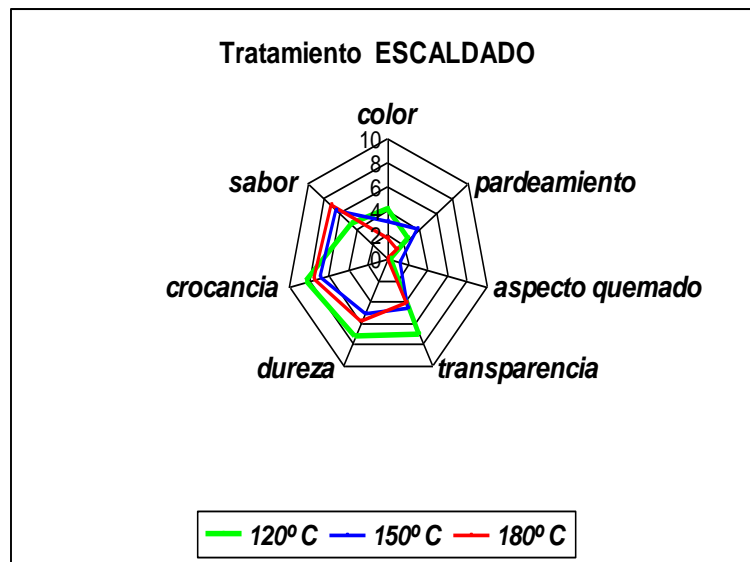


Figura 29: Representación radial de los resultados de la evaluación de la muestra escaldada antes de la fritura.

4.6.4 Pre-Tratamiento: Escaldado/ Ácido cítrico 1%

Cuadro 17: Respuestas del panel sensorial para los parámetros indicados, a las distintas temperaturas de fritura.

temperatura	color	pardeamiento	aspecto quemado	transparencia	dureza	crocancia	sabor
120	1,51±0,6	1,03±0,9	0,55±0,8	8,75±0,6	7,11±1,0	7,55±1,3	4,51±1,9
150	0,83±0,4	0,16±0,2	0,15±0,3	7,25±0,9	4,81±1,3	7,45±1,0	5,99±2,0
180	0,59±0,5	0,19±0,5	0,01±0,0	7,14±0,8	5,08±0,9	6,55±0,9	5,15±1,1

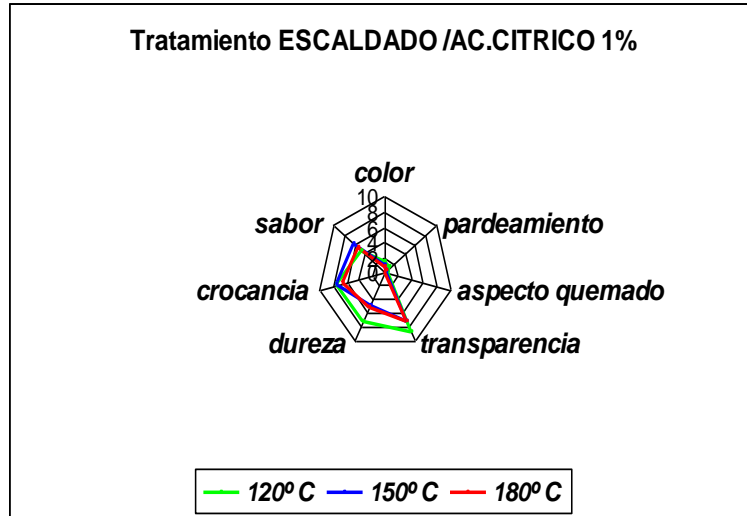


Figura 30: Representación radial de los resultados de la muestra sometida al pre-tratamiento combinado Escaldado/ Ácido Cítrico 1%, antes de la fritura.

Pre-tratamiento 1: Control

El ANOVA realizado con los resultados entregados por el panel sensorial, (cuadro 14) no mostró diferencias significativas al 95% de confianza, para los atributos aspecto quemado y crocancia. Los demás atributos, color, pardeamiento, transparencia, dureza y sabor si mostraron diferencias significativas al nivel del 95% de confianza.

La figura 22 muestra con claridad la evaluación de las muestras Control por los panelistas entrenados. Se aprecia que a cualquier temperatura empleada para freír (120, 150 o 180° C), nunca se observó un aspecto quemado. También se puede ver que la crocancia no se vio dañada por el cambio de temperatura. Sin embargo, la transparencia y la dureza si fueron detectadas notablemente a las temperaturas de 120 y 150° C.

Cuando se realizó la determinación de textura instrumentalmente para la muestra Control, el ANOVA indicó que no hubo diferencias significativas entre las muestras al 95% de confianza a cualquier temperatura estudiada.

Pre-tratamiento 2: Ácido cítrico 1%.

El ANOVA realizado mostró diferencias significativas al 95% de confianza, para todos los atributos estudiados, excepto para el aspecto quemado.

La figura 23 muestra que el aspecto quemado tiene el valor más bajo entregado por los panelistas, a cualquier temperatura empleada.

El ANOVA realizado con los resultados de la medición instrumental de la textura, no mostró diferencias significativas al nivel del 95% de confianza, para las muestras pre-tratadas con ácido cítrico al 1% y fritas a las temperaturas de 120, 150 o 180 °C respectivamente. Investigaciones publicadas anteriormente (10) mostraron que las hojuelas sometidas a inmersión en ácido cítrico sobre el 2% presentaron sabor ácido y una textura más dura.

Pre-tratamiento 3: Escaldado

El ANOVA realizado mostró diferencias significativas al nivel del 95% de confianza para todos los atributos estudiados. El pre-tratamiento consistente en escaldar en agua destilada por 1 min. a 90° C, si provocó diferencias significativas al 95% de confianza cuando se midió instrumentalmente la fuerza necesaria para provocar la ruptura de la papa chip. El Test Rango Múltiple mostró que la diferencia se produjo para la muestra preparada a 180° C.

Pre-tratamiento 4: Escaldado / Ácido cítrico 1%

El ANOVA realizado no mostró diferencias significativas al nivel del 95% de confianza para el aspecto quemado, la crocancia y el sabor. Los demás atributos si mostraron una diferencia significativa al 95% de confianza.

Al medir instrumentalmente la fuerza necesaria para la ruptura de la muestra del pre-tratamiento mencionado, no hubo diferencias significativas al 95% de confianza, a cualquier temperatura de fritura empleada.

Sabor: En este atributo de calidad se consideró relevante, estudiar por separado dos aspectos que podrían presentarse en el aceite como son un sabor acentuado, rancio o muy leve a aceite en las papas chips y un segundo aspecto que dice relación con la

posible presencia de un sabor metálico, ácido, quemado u otro en las papas fritas; a estos se les llamó respectivamente: sabor extraño 1 y sabor extraño 2.

El análisis estadístico dio como resultado la siguiente información: para las muestras del tratamiento Control y de los pre-tratamientos Ácido Cítrico y Escaldado/ ácido cítrico no hubo diferencias significativas en cuanto al sabor extraño 1(sabor extraño a aceite), para todas las temperaturas estudiadas. Sin embargo, cuando se realizó el pre-tratamiento Escaldado si hubo diferencias significativas, y la muestra distinta fue aquella preparada a 120° C.

En el caso del sabor extraño 2 (sabor metálico, ácido, quemado u otro), no hubo diferencias significativas entre las muestras al 95% de confianza, para las muestras provenientes de todos los pre-tratamientos y a cualquier temperatura estudiada.

Este resultado coincide con el obtenido en investigaciones anteriores (10) donde no se detectó el sabor ácido cuando la concentración de ácido cítrico fue igual o menor al 1%.

4.7 Aceptabilidad

Respuestas entregadas por los consumidores. La hoja de respuestas se encuentra en el anexo.

En el cuadro 18 se señala la media de aceptabilidad y la nomenclatura que se empleará en el test.

Cuadro 18: Aceptabilidad según muestra.

Muestra	Pre-tratamiento	Temperatura	media \pm desviación estándar
L	Escaldado / ácido cítrico 1%	120° C	5,06 \pm 1,8
R	Control	180° C	7,04 \pm 1,6

Debido a que el p-value del F-test es menor de 0,05, hay una diferencia significativa entre la aceptabilidad media de un nivel de la muestra al 95% de confianza.

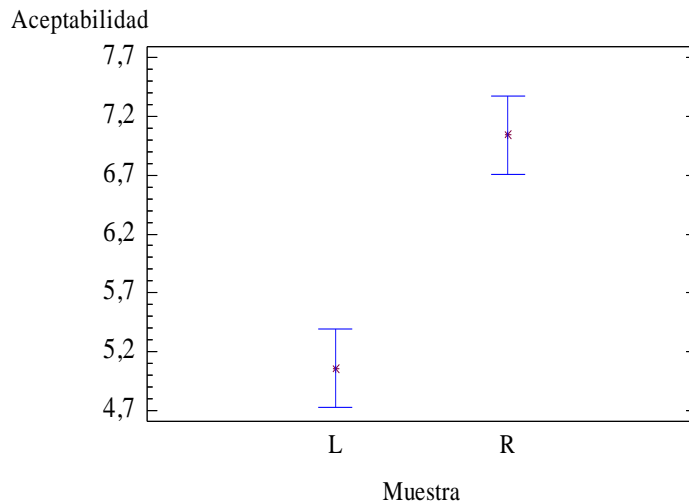


Figura 31: Aceptabilidad de las Muestras.

La figura 31 muestra las diferencias mínimas significativas (LSD). Se observa la falta de similitud entre ambas muestras presentadas a los consumidores.

De acuerdo a las medias obtenidas se puede decir que la muestra L (Escaldado/ácido cítrico) estaría en el límite entre las evaluaciones positivas y las negativas, ya que le correspondería la opinión de indiferencia: Ni me gusta ni me disgusta.

A la muestra R (control) le correspondió la opinión general de: Me gusta moderadamente. Frente a la pregunta respecto a la decisión de compra por alguna de las muestras, la figura 32 muestra la siguiente respuesta.

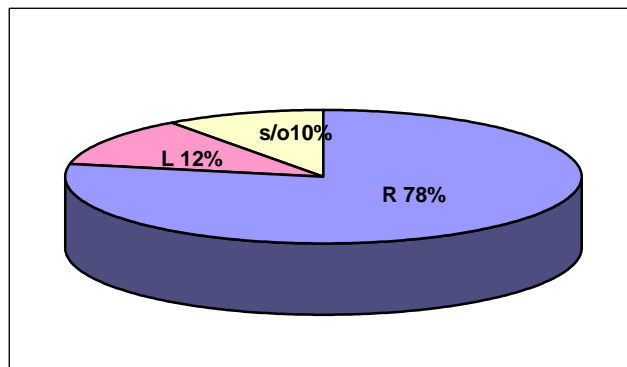


Figura 32: Preferencias de los Consumidores.

R: Control L: Escaldado / Ácido cítrico s/o: sin opinión

Un 78% de los encuestados escogió la muestra R como favorita para una posible compra, un 12% escogió la muestra L y un 10% no tuvo opinión.

5. CONCLUSIONES

1. Es posible disminuir (en 42 y en 28% respectivamente) la concentración de asparragina y de azúcares reductores presentes en la papa cruda, lavando con agua destilada las hojuelas de papa, debido a la solubilidad en agua de ambos componentes, y a la gran superficie expuesta en agua que hace posible fácilmente su disminución por lixiviación.

2. El descenso de las concentraciones de asparragina y de azúcares reductores permitió una disminución del 15% en el contenido de AA en papas chips.

3. El descenso de la temperatura de fritura (de 180 a 120° C) permitió una disminución del contenido de AA en las papas chips, del 78, 89, 94 y 88%; cuando se emplearon los pre-tratamientos Control, Escaldado, Ácido cítrico 1% y Escaldado/ácido cítrico 1% respectivamente.

4. Se confirmó una vez más, que el lavado con agua destilada es importante para alcanzar valores reducidos de AA; también que una menor temperatura de fritura significa bajar el contenido de AA en el producto final.

5. El escaldado y la inmersión en ácido cítrico, fueron métodos efectivos para reducir el contenido de AA en las papas chips y la combinación de ambos métodos arrojó los valores más bajos de AA en las hojuelas de papas fritas.

6. Se puede concluir que las papas chips con mayor contenido de AA, tuvieron una aceptación superior, por tratarse de un producto que responde mejor a las expectativas sensoriales del consumidor, y por asemejarse en mayor grado a la oferta corriente del mercado.

7. Las papas chips con menor contenido de AA no fueron rechazadas sino que permanecieron en el límite de la indiferencia, lo que alienta la idea de mejorar aspectos sensoriales de manera de conseguir la aceptación de un producto con menor contenido de AA.

6. Referencias

1. Giese J. **2003** Acrylamide in foods. *Food Technology*, 56, 10, 71-72.
2. Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P. **2002** Analysis of Acrylamide, a Carcinogen Formed in Heated Foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* 51, 4998-06.
3. Kelly C. **2003** Acrylamide – hot off the frying pan. *British Nutrition Foundation. Bulletin* 28, 5-6.
4. Bergmark, E. **1997** Hemoglobin adducts of acrylamide and acrylonitrile in laboratory workers, smokers, and nonsmokers. *Chem. Res. Toxicol.*, 10, 78-84.
5. Hagmar, L. Törnqvist, M., Nordander, C. **2001** Health effects of occupational exposure to acrylamide using hemoglobin adducts as biomarkers of internal dose. *Scand. J. Environ. Health* 27, 219-226.
6. Friedman M. **2003** Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *J. Agric Food Chem* 51, 4504-26.
7. Dybing E, Farmer PB, Andersen M. et al. **2005** Human Exposure and Internal Dose Assessments of Acrylamide in Foods. *Food Chem Toxicol* 43, 365-410.
8. Raj D Choudhury, TC Welbourne, Levi. **2000** Advanced glycation end products: A nephrologist's perspective. *American Journal of Kidney Diseases*, Vol 35, Iss 3, 365-380.
9. Mirkin G. M.D. **2003** <http://www.drmirkin.com/index.html>
10. Jung MY; Choi DS; Ju JW, **2003** A Novel Technique for Limitation of Acrylamide Formation in Fried and Baked Corn Chips and in French Fries. *J Food Sci* 68, 1287 -90.
11. Kita A.; Bråthen E.; Knutsen SH.; Wicklund T., **2005** Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Res Int* 38, 1-9.
12. Pedreschi, F.; Moyano, P.; Kaack, K.; Grandby, K. **2005** Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Res Int* 38, 1-9.
13. Comité Internacional de Expertos del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS).

14. Taeymans D., Wood J., Ashby P et al. **2004** A review of acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Crit Rev Food Sci Nutr* 44, 323-47.
15. Mottram, Wedzicha & Dodson. **2002** Acrylamide is formed in the Maillard Reaction. *Nature* 419, 448 -449.
16. Stadler R.; Blank I. **2002** Acrylamide from Maillard Reaction Products. *Nature* 19, 449-450.
17. Sharp, D. **2003** Acrylamide in Food. *The Lancet*. Feb.1, 361.
18. Svensson K., Abramsson L., Becker W, et al. **2003** Dietary intake of acrylamide in Sweden. *Food Chem Toxicol* 41, 1581-6.
19. Yaylayan V., Wnorowski A. **2003** Why Asparagine Needs Carbohydrates to Generate Acrylamide. *J. Agric Food Chem* 51, 1753-1757.
20. Zyzak D.V.; Sanders R.A. **2003** Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51, 4782-7.
21. Pollien Ph.; Lindinger Ch. **2003** Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry, a Tool for on-line Monitoring of Acrylamide Formation in the Headspace of Maillard Reaction Systems and Processed Food. *Anal Chem* 75, 5488 -94.
22. Taubert, D; Harlfinger, S; Henkes, L.; Berkels, R.; & Schoming, E. **2004** Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 2735-39.
23. Becalski A.; Lau B. **2004** Acrylamide in French Fries: Influence of Free Amino Acids and Sugars. *J. Agric Food Chem* 52, 3801-6.
24. Informe de la Consulta Conjunta de FAO/OMS **2002**. Sede central de la OMS, Ginebra, Suiza.
25. Zyzak, D. Ph.D. **2003** Acrylamide: Mechanism of formation in Heated Foods. Charla presentada en la Procter & Gambler.
26. Nawar W. **1984** Chemical changes in lipids produced by thermal processing. *Journal of Chemical Education*. 61, 4, 299 -02.
27. Richardson T., Kester J. **1984** Chemical Modifications that affect nutritional and functional properties of proteins. *Journal of Chemical Education* .61, 4, 325 -31.
28. Coughlin, J.R.; **2003** Acrylamide: What we have learned so far. *Food Technology*, 57, 2,100.

- 29.** Amrein Th.; Bachman S. **2003** Potential of Acrylamide Formation, Sugars, and Free Asparagine in Potatoes: A Comparison of Cultivars and Farming Systems. *J Agric Food Chem* 51, 5556 -60.
- 30.** Davies A.M.C. **1977** The free amino acids of tuber varieties grown in England and Ireland. *Potato Research*, 20, 9 -21.
- 31.** Hippe J. **1988** HPLC- analysis of the concentration of free asparagines and glutamine in potato tubers grown in varying amounts of nitrogen. *Potato Research*, 31, 535 -540.
- 32.** **2002**<http://www.foodstandards.gov.uk/>
- 33.** Yung, M.Y.; Choi, D.S.; Ju, J.W. **2003** Acrylamide Formation in Starchy Foods. Presentación efectuada en Woosuk University por el Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
- 34.** Martins, S.I. F.S.; van Boekel, M.A.J.S. **2003** Melanoidins extinction coefficient in the glucose / glycine Maillard reaction. *Food Chem* 83,1 135- 42.
- 35.** Gökmen, V.; Şenyuva, H.Z.; **2006** Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*, 99, Issue 2, 238-43.
- 36.** Lamberg I.; Hallstrom B.; Olsson H. **1990** Fat uptake in a potato frying / drying process. *Lembemsm Wiso-u- Technol* 23, 295 -300.
- 37.** Beriestain C. **2002** Cambios texturales de papas fritas durante el período de post-fritura. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago.
- 38.** Steffe J.F. **1996** Rheological Method's in Food Process Engineering. Freeman Press, Second Edition. East Lansing. Michigan, USA.
- 39.** Katz E.E.; Labuza T.P. **1981** Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. *J Food Sci* 46,403 – 9.
- 40.** Nicholls R.J.; Appelqvist A.M., Davies .P. et al. **1995** Glass transition and the fracture behaviour of gluten and starches within the glassy state. *J Cereal Sci* 21, 25 -36.
- 41.** Li Y.; Kloeppel K.M.; Hsieh F. **1998** Texture of glassy corn flakes as a function of moisture content. *J Food Sci* 63, 5, 869 -72.
- 42.** Masson L.; Mella M.A. **1985** Materias Grasas de Consumo Habitual y Potencial en Chile. Composición en ácidos grasos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Pág.24.
- 43.** Blumenthal M.M. **1991** A new look at the chemistry and Physics of deep fat frying. *Food Technol* 45, 2 68 -94.
- 44.** A.O.C.S. Official Method CD 8-53 Peroxide value.

45. AOAC Official Method 984.25 Moisture in Frozen French- Fried Potatoes. Vol II.
46. AOAC Official Method 945.46 Ash of Milk. Gravimetric Method. Vol II.
47. AOAC Official Method 983.23 Fat in Foods. Chloroform- Methanol Extraction Method 45.402 Vol II.
48. Bligh, E.G., and Dyer, W.J. **1959** A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 911-917.
49. AOAC Official Method 955.04 Kjeldahl Method Vol I.
50. Papadakis S.E.; Abdul – Malek; Kamdem R.E. & Yam K.L. **2000** A versatile and inexpensive technique for measuring colour of foods. Food Technology, 54, 12, 48 -51.
51. Alaiz M.; Navarro J. **1992** Amino acid Análisis by High Performance Liquid Chromatography After Derivatization with Diethyl Ethoximethylenemalonato. Journal of Chromatography. 591, 181 -6.
52. Mc Cleary B.; Codd R. **1991** Measurements of (1→3), (1→4)-β-D-Glucan in Barley and Oats: A Streamlined Enzymic Procedure. J Sci Food Agric 55, 303-312.
53. Tareke M.; Rydberg P.; Karlsson P.; Eriksson and Törnqvist M. **2000** Acrylamide: A Cooking Carcinogen? Chem Toxicology 13, 517 -22.
54. Castel L.; Campos M.J.; Gilbert J. **1993** Determination of Acrylamide Monomer in Hydroponically Grown Fruits by Capillary gas Chromatography Mass Spectrometry. J Sci Food Agri 54, 549 – 55.
55. Schmidt- Hebbel H.; Pennacchiotti I. **1985** Tabla de Composición Química de Alimentos Chilenos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Pág.23.
56. Cheong Tae Kim; Eun – Hwang and Joo Lee. **2005** Reducing Acrylamide in Fried Snack Products by Adding Amino Acids. Journal of Food Science, 70, 5, 354 -8.
57. Pedreschi F.; Kaack K. & Granby K. **2004** Reduction of acrylamide formation in fried potato slices. Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie, 37, 679 – 85.
58. Viklund G.; Mendoza F. **2006** An experimental set-up for studying acrylamide formation in potato crisp. LWT doi:10.1016/j.lwt.2006.07.012
59. Haase N.U.; Matthäus B.; & Vosmann K. **2003** Minimierungsansätze zur Acrylamid – Bildung pflanzlichen Lebensmittel-Rundschau, 99, 87 -90.

ANEXO

Hoja presentada a los panelistas:

EVALUACIÓN DE PAPAS FRITAS TIPO CHIPS

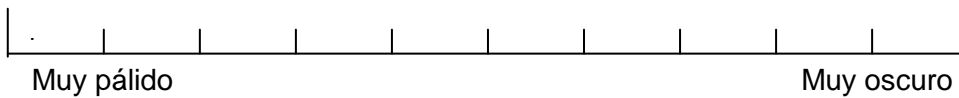
Nombre.....

Fecha.....

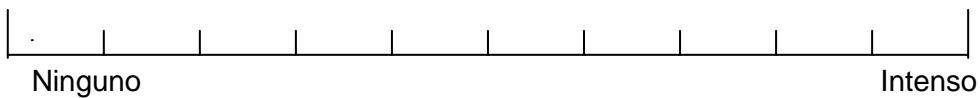
Evalúe las muestras en cuanto a intensidad de los descriptores, marcando con una línea vertical sobre la línea horizontal.

Apariencia

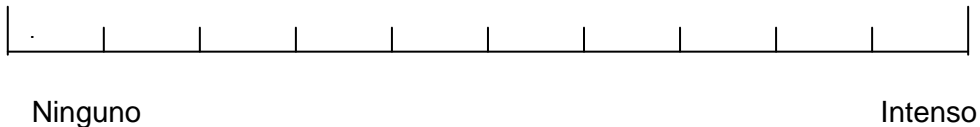
Color amarillo: Intensidad de color amarillo en las hojuelas.



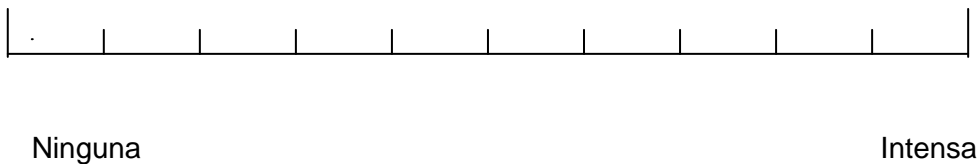
Pardeamiento : Presencia de color café sobre la superficie de las hojuelas.



Aspecto quemado: presencia de color muy oscuro o negro sobre la superficie o en el borde de las hojuelas.

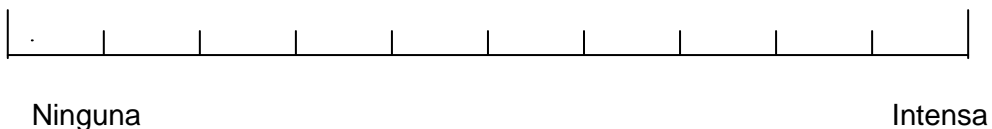


Transparencia: claridad de la hojuela.

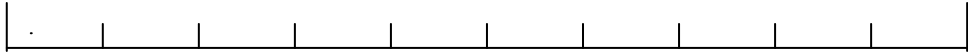


Textura

Dureza: Grado de fuerza necesario para morder la hojuela.



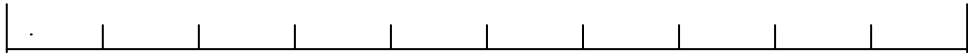
Crocancia: Grado de “crunch”, sonido pronunciado cuando es mordida la hojuela.



Ninguna

Intensa

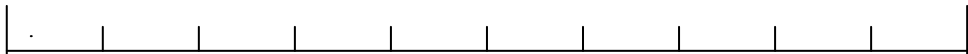
SABOR



Sin sabor

Intenso

Sabor extraño 1: Referido exclusivamente al aceite.

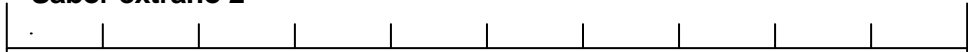


Ausencia

Presencia

Si el sabor extraño corresponde a un sabor ácido, metálico o quemado, indíquelo en la siguiente barra.

Sabor extraño 2



Hoja de evaluación presentada a los consumidores:

TEST DE ACEPTABILIDAD

Producto: PAPAS FRITAS tipo CHISP

NOMBRE.....

FECHA.....

EDAD.....

Marca con una X tu opinión, en el cuadro respectivo:

Muestra.....

- Me gusta extremadamente
- Me gusta mucho
- Me gusta moderadamente
- Me gusta levemente
- Ni me gusta ni me disgusta
- Me disgusta levemente
- Me disgusta moderadamente
- Me disgusta mucho
- Me disgusta extremadamente

Muestra.....

- Me gusta extremadamente
- Me gusta mucho
- Me gusta moderadamente
- Me gusta levemente
- Ni me gusta ni me disgusta
- Me disgusta levemente
- Me disgusta moderadamente
- Me disgusta mucho
- Me disgusta extremadamente

Observaciones.....
.....

Si estas papitas fritas estuvieran disponibles en el mercado, ¿las comprarías para tu consumo?

SI NO

¿Cuál de ellas comprarías?

R L

A la escala de opiniones presentada en el test de aceptabilidad se le dio la siguiente ponderación:

Me gusta extremadamente.....	9
Me gusta mucho.....	8
Me gusta moderadamente.....	7
Me gusta levemente.....	6
Ni me gusta ni me disgusta.....	5
Me disgusta levemente.....	4
Me disgusta moderadamente.....	3
Me disgusta mucho.....	2
Me disgusta extremadamente.....	1