



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA

QUÍMICA

LABORATORIO DE QUÍMICA DE ALIMENTOS Y MATERIAS GRASAS

**REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE ACRILAMIDA EN PAPAS
CHIPS MEDIANTE EMPLEO DE PRETRATAMIENTO Y FRITURA
A PRESIÓN REDUCIDA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

CRISTIÁN RODRIGO ENCINA ACOSTA

Profesor Patrocinante: Prof. Lilia Masson Salaue

Directores de Memoria: Prof. Lilia Masson Salaue

Prof. Nalda Romero Palacios

Santiago, Chile

2008

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL PROYECTO CONICYT DE APOYO COMPLEMENTARIO DE CONTRAPARTE DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL, APROBADOS POR LA UNIÓN EUROPEA RUE-01 Y EL PROYECTO UE HEATOX N°506820 “HEAT-GENERATED FOOD TOXICANTS, IDENTIFICATION, CHARACTERISATION AND RISK MINIMISATION”

DEDICATORIA

“Con mucho cariño a
Mi Familia”

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios, por su amor y porque al momento de mi nacimiento, eligió a Elsa y a Manuel como mis padres.

Agradezco infinitamente a mi Madre, mujer admirable, dulce y tierna palabra de aliento. Gracias por tu amor incondicional en estos años de vida. Tantos sacrificios y postergaciones para que mis hermanos y yo tuviéramos una vida plena. Me diste la vida sin nada a cambio y hoy quisiera darte, en parte, el fruto de tu bendito trabajo.

A mi Padre, hombre de compromiso y valentía, que gracias a tu amor y esfuerzo, hoy doy un paso más en la vida.

Gracias a mis hermanos, por su apoyo fraternal e intelectual y a mis abuelitos, quienes siempre están preocupados de mi persona.

A mi Profesora, Lilia Masson, patrocinante y directora de esta memoria, de quien siento una gran admiración. Su sabiduría, conocimientos y vocación, no sólo formaron en mí a un profesional, sino también, a una persona más humana.

A los académicos del Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, que ayudaron en mi formación profesional.

Quiero agradecer a Conrado Camilo, mi gran amigo y compañero de laboratorio, por la amistad de todos estos años y porque, sin duda, fue un apoyo constante en el desarrollo de esta memoria.

A mis compañeros, partícipes de este proyecto, Luis Hernández y José Muñoz.

Además, quiero agradecer a tantos amigos que hicieron que el paso por la Universidad sea algo inolvidable. Alejandra, Silvana, Verónica, Beatriz, María Cristina, Vanessa, Paula J., Paula G., Johanna, Guibeth, Álvaro, Julio, Pablo, Jorge, Arturo, Andrés, Francisco, Juan Carlos, Gerald, Juvenal y Luis. Gracias por su amistad.

A todos los funcionarios de la Universidad que me brindaron gran ayuda, Graciela Cáceres, Juan Carlos Moreno, Marta Argomedo, Javier Ubilla, Carlos Zamora, Manuel Fonseca, Eduardo Ibáñez, Oscar Vega, Manuel Díaz, Amador Valencia, Luis González y Sergio Marconi.

Finalmente agradecer a la empresa Frutisa S.A. y a la empresa Cornproduct Chile-Inducorn S.A por donar la materia prima necesaria para la realización de esta memoria.

ÍNDICE GENERAL

	Págs.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Acrilamida.....	2
1.2 Mecanismo de formación.	2
1.3 Acrilamida, potencial agente carcinogénico.	4
1.4 Acrilamida en alimentos.	5
1.5 Situación actual.	6
1.6 Situación actual a nivel nacional.	7
1.7 Acrilamida en papas fritas.	8
1.8 Fritura a presión reducida.....	8
1.9 Características de la papa variedad Panda.....	10
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	11
2.1 Objetivo general.	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Materiales.....	12
3.1.1 Materia prima.....	12
3.1.2 Insumos y reactivos.....	12
3.1.2.1 Proceso de fritura a presión reducida.....	12
3.1.2.2 Determinación de materia grasa.....	13
3.1.2.3 Determinación de azúcares directamente reductores.	13
3.1.2.4 Determinación de asparragina.....	13

3.1.2.5 Determinación de acrilamida.....	13
3.1.2.6 Determinación de pH.....	14
3.1.3 Equipos.....	14
3.1.3.1 Proceso de fritura a presión reducida.....	14
3.1.3.2 Determinación de humedad.....	14
3.1.3.3 Determinación de materia grasa.....	15
3.1.3.4 Determinación de azúcares directamente reductores.....	15
3.1.3.5 Determinación de asparragina.....	15
3.1.3.6 Determinación de acrilamida.....	15
3.1.3.7 Determinación de pH.....	16
3.1.4 Lugar de trabajo	16
3.2 Métodos.....	17
3.2.1 Proceso	17
3.2.1.1 Etapa Inicial.....	18
3.2.1.2 Etapa Pretratamiento.....	18
3.2.1.3 Etapa tratamiento.....	20
3.2.2 Métodos analíticos.....	23
3.2.2.1 Humedad y materias volátiles.....	23
3.2.2.2 Materia grasa.....	23
3.2.2.3 Azúcares directamente reductores.....	23
3.2.2.4 Determinación de pH.....	23
3.2.2.5 Determinación de asparragina.....	23
3.2.2.6 Determinación de acrilamida.....	24
3.2.3 Evaluación sensorial.....	24
3.2.4 Análisis estadístico.....	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Efecto de las etapas inicial y de pretratamiento sobre la disminución de los precursores de la formación de acrilamida previo al proceso de fritura.....	26
4.2 Etapa de tratamiento: fritura a presión reducida	32
4.3 Caracterización química de las papas chips	36
4.4 Evaluación sensorial de las papas chips.....	43
5. CONCLUSIONES.....	46

6. BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXO 1.....	55
ANEXO 2.....	66
ANEXO 3.....	70
ANEXO 4.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1: Matriz de ensayos experimentales	22
Tabla 2: Escala hedónica de 7 puntos.	25
Tabla 3: Humedad, azúcares directamente reductores y asparragina libre en las rodajas de papa cruda sometidas a las etapas inicial y pretratamiento. Lote 1 y Lote 2.	26
Tabla 4: Azúcares directamente reductores y asparragina libre expresados por 100 g de papa seca y valor de pH, en las etapas inicial y pretratamiento.	28
Tabla 5: Humedad de los distintos procesos de fritura a presión reducida y muestras comerciales.....	37
Tabla 6: Contenido de materia grasa y acrilamida expresado por 100 g de papa seca y pH de las papas chips y muestras controles comerciales	38
Tabla 7: Valor promedio de aceptabilidad por muestras.	43
Tabla 8: Nivel de agrado de los consumidores según la aceptabilidad.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1: Estructura de la acrilamida.....	2
Figura 2: Mecanismo de formación de la acrilamida en alimentos tratados térmicamente.....	3
Figura 3. Metabolismo de la acrilamida a glicidamida.....	5
Figura 4: Fenómenos ocurridos en el proceso de fritura en profundidad.....	8
Figura 5: Papas variedad Panda.....	12
Figura 6: Diagrama de bloques de elaboración de las papas chips MB y MT.	17
Figura 7: (a) escaldado; (b) enfriado	19
Figura 8: Inmersión en solución de ácido cítrico al 0,25%	19
Figura 9: (a) canastillo de acero inoxidable; (b) canastillo enganchado a la tapa de la freidora con las rodajas de papas previo a la fritura.....	20
Figura 10: Esquema general del equipo para fritura a presión reducida.....	21
Figura 11: Fotografía del equipo utilizado para fritura.....	21
a presión reducida.....	21
Figura 12: Porcentaje de reducción de precursores y pH en la etapa inicial.	28
Figura 13: Porcentaje de reducción de precursores y pH en la etapa de pretratamiento.	30
Figura 14: Azúcares directamente reductores. Diferencias significativas entre etapas y entre muestras.....	32
Figura 15: Asparragina libre. Diferencias significativas entre etapas y entre muestras.....	32
Figura 16: Variación del tiempo y temperatura en los seis tratamientos de fritura. (A) 150 MB; (B) 150 MT; (C) 160 MB; (D) 160 MT; (E) 170 MB y (F) 170 MT.....	33
Figura 17: Variación del tiempo y presión en los tratamientos de fritura. (A) MB; (B) MT	34
Figura 18: Influencia de la temperatura en los tiempos de fritura a presión reducida...	36
Figura 19: Contenido de acrilamida de papas chips Lote 1.	40
Figura 20: Contenido de acrilamida de papas chips Lote 2	41
Figura 21: Reducción de acrilamida de papas chips Lote 1.....	42
Figura 22: Reducción de acrilamida de papas chips Lote 2.....	42

RESUMEN

Investigadores de la Universidad de Estocolmo, Suecia, informaron en el 2002 que la acrilamida se formaba durante el calentamiento a altas temperaturas en alimentos ricos en almidón a través de la reacción de Maillard. Efectivamente se comprobó su presencia en un número importante de alimentos, entre ellos las papas chips. De esta evidencia se desencadenó un número importante de investigaciones a nivel mundial ya que la Agencia Internacional para Investigación en Cáncer ha clasificado a la acrilamida como un probable carcinogénico para los humanos.

El objetivo de esta investigación se centró en obtener papas *chips* con bajo contenido de acrilamida a partir de papas variedad Panda. Para ello, se disminuyeron y modificaron los precursores (azúcares directamente reductores y asparragina libre) mediante empleo de una etapa inicial de lavado y una etapa de pretratamiento consistente en un escaldado a 90°C, seguido de una inmersión en ácido cítrico al 0,25%. Además, se empleó fritura a presión reducida con el fin de bajar las temperaturas de fritura (150°C, 160°C y 170°C) y disminuir los tiempos de proceso.

Para evaluar los efectos de las variables empleadas, se trabajó con un grupo de papas chips blanco (MB) y con un grupo de papas chips ensayo (MT). Ambos grupos fueron sometidos a fritura a presión reducida (48 mm Hg absolutos) a tres temperaturas distintas (150°C, 160°C y 170°C). Además, se realizó una evaluación sensorial para saber que muestra tuvo una mejor aceptabilidad según un panel de consumidores.

Los resultados de esta investigación determinaron que el empleo secuencial y complementario de la etapa inicial seguida de la etapa de pretratamiento disminuyeron significativamente el contenido de precursores de la formación de acrilamida en las papas *chips*, produciendo papas chips prácticamente libres de acrilamida. La muestra 150 MT tuvo los mejores parámetros químicos evaluados (<5 ppb de acrilamida, 33,9% materia grasa y cerca de un 2% de humedad), mientras que la muestra 160 MB, tuvo una aceptabilidad promedio de 5,33 con un 79% de agrado de los consumidores, superando incluso a una muestra comercial.

SUMMARY

REDUCTION OF ACRYLAMIDE CONTENT IN POTATO CHIPS BY PRE-TREATMENT USING AND REDUCED PRESSURE FRYING.

In April 2002, researchers from Stockholm University, Sweden, informed that acrylamide is formed in high starch foods, when they were heated at high temperatures as frying, baking. Maillard reaction is the mayor mechanism involved in acrylamide formation. The presence of acrylamide was confirmed in a large number of common foods as french fries and potato chips, which normally presented the highest content compared with other foods. As a consequence of this finding, a great deal of research started in Europe, USA, Canada, because The Cancer International Research Agency, clasified acrylamide as probable carcinogenic for humans.

The aim of this study was to minimize the acrylamide formation in potato chips Panda variety. For accomplishing this objective, the reactants involved in Maillard reaction, which are the acrylamide precursors present in raw sliced potato (asparagine and reducing sugars) were diminished using an initial washing step, followed by a pre-treatment of blanching and then immersion in citric acid solution 0.25%. In addition, reduced pressure frying process was assayed at three t° 150, 160 and 170°C, with the purpose to decrease frying t° and frying time.

To evaluate the effect of the selected variables, batches of Blank samples (MB) submitted only to the washing step, and Test samples (MT) submitted to the same washing step, followed by the blanching and citric acid immersion procedures, were prepared. Samples of both groups were fried at reduced pressure (48 mm Hg) at the three selected t°, 150, 160 and 170°C. The potato chips samples were sensory evaluated by a consumer panel in order to establish which samples obtained the best acceptability preference.

The results obtained showed that applying the sequential two steps, washing followed by a pre-treatment, had a significant decrease of both acrylamide precursors, producing practically free acrylamide potato chips. According to the chemical

parameters evaluated, the best potato chips sample corresponded to 150 MT with < 5 mg/kg acrylamide, 33,9% fat, and close to 2% moisture. By the other hand, the best potato chips sample sensory evaluated was 160 MB with a mean of 5,33 acceptability which means a 79% agreeable by the consumer panel, higher than the score obtained by the commercial potato chips sample.

1. INTRODUCCIÓN

En Abril del año 2002, investigadores de la Universidad de Estocolmo y de la Administración Nacional de Alimentos de Suecia (SFA) comunicaron a la comunidad científica que un grupo de investigadores de dicha Universidad, liderados por la Dra. Margareta Tornqvist, habían descubierto que la acrilamida se formaba durante el calentamiento a altas temperaturas en alimentos ricos en almidón (Rosén y Hellenäs, 2002).

Este hallazgo, fue más, bien producto de la casualidad cuando se estaba realizando un estudio sobre los riesgos de salud de trabajadores suecos, quienes habían estado expuestos a la acrilamida en su trabajo de construcción de túneles. El estudio no tenía ninguna relación con los alimentos consumidos. El grupo control que no había estado expuesto mostró evidencia de niveles inesperadamente altos de acrilamida en la sangre (Tareke *et al.*, 2000).

Los investigadores suecos decidieron estudiar si la acrilamida estaba presente en los alimentos, situación que no había sido considerada previamente y en efecto, comprobaron su presencia en un número importante de ellos.

La Administración Nacional de Alimentos de Suecia (SFA) reaccionó rápidamente frente a estos hallazgos, iniciando un estudio del contenido de acrilamida en diversos grupos de alimentos, corroborando los resultados de los investigadores suecos.

Estas investigaciones han atraído la atención mundial y existe hoy día un gran interés por generar información, tanto en el desarrollo de procesos tecnológicos para disminuir la presencia de acrilamida en alimentos fritos y horneados, como desde el punto de vista analítico en el desarrollo de metodologías que permitan determinar y cuantificar la acrilamida a nivel de ppb ($\mu\text{g/kg}$), como lo son la GLC MS/MS y HPLC MS/MS (Rosén y Hellenäs, 2002).

1.1 Acrilamida.

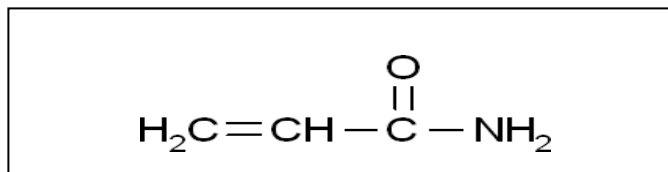


Figura 1: Estructura de la acrilamida

Sinónimos: 2-Propenamida, etilén carboxamida, amida acrílica, amida vinílica.

Fórmula : CH₂CHCONH₂

Peso molecular : 71,09

Punto de ebullición : 125°C

Punto de fusión : 87,5°C

La acrilamida (Figura1) es un monómero intermediario usado en la síntesis de poliacrilamidas. Es un polvo blanco cristalino soluble en agua, etanol, metanol, dimetiléter y acetona. Insoluble en heptano y benceno. Es estable a temperatura ambiente, pero puede polimerizar violentamente cuando se funde o se expone a agentes oxidantes (Hernández, 2007).

Los usos principales de la poliacrilamida son para la producción de plásticos, como agente floculante en el tratamiento de agua de bebida y en el procesamiento de pulpa de celulosa y papel. También se emplea para retirar sólidos suspendidos de aguas industriales de desecho antes de la descarga, reuso o descarte (Castle, 1993).

Otras aplicaciones son como aditivo en cosmética, agente para el acondicionamiento de suelos y en la formulación de mezclas para encementado de túneles (Taeymans *et al.*, 2004).

1.2 Mecanismo de formación.

Recientemente, los investigadores han focalizado sus estudios sobre los posibles mecanismos de formación en los alimentos (Zyzak *et al.*, 2003). Algunos grupos han confirmado que la mejor vía de síntesis en alimentos fritos y horneados se genera por la conocida Reacción de Maillard (Coughlin, 2003; Mottram *et al.*, 2002), en que

interviene un azúcar reductor y un grupo NH_2 de un aminoácido libre o disponible. La Figura 2 ilustra este mecanismo de formación.

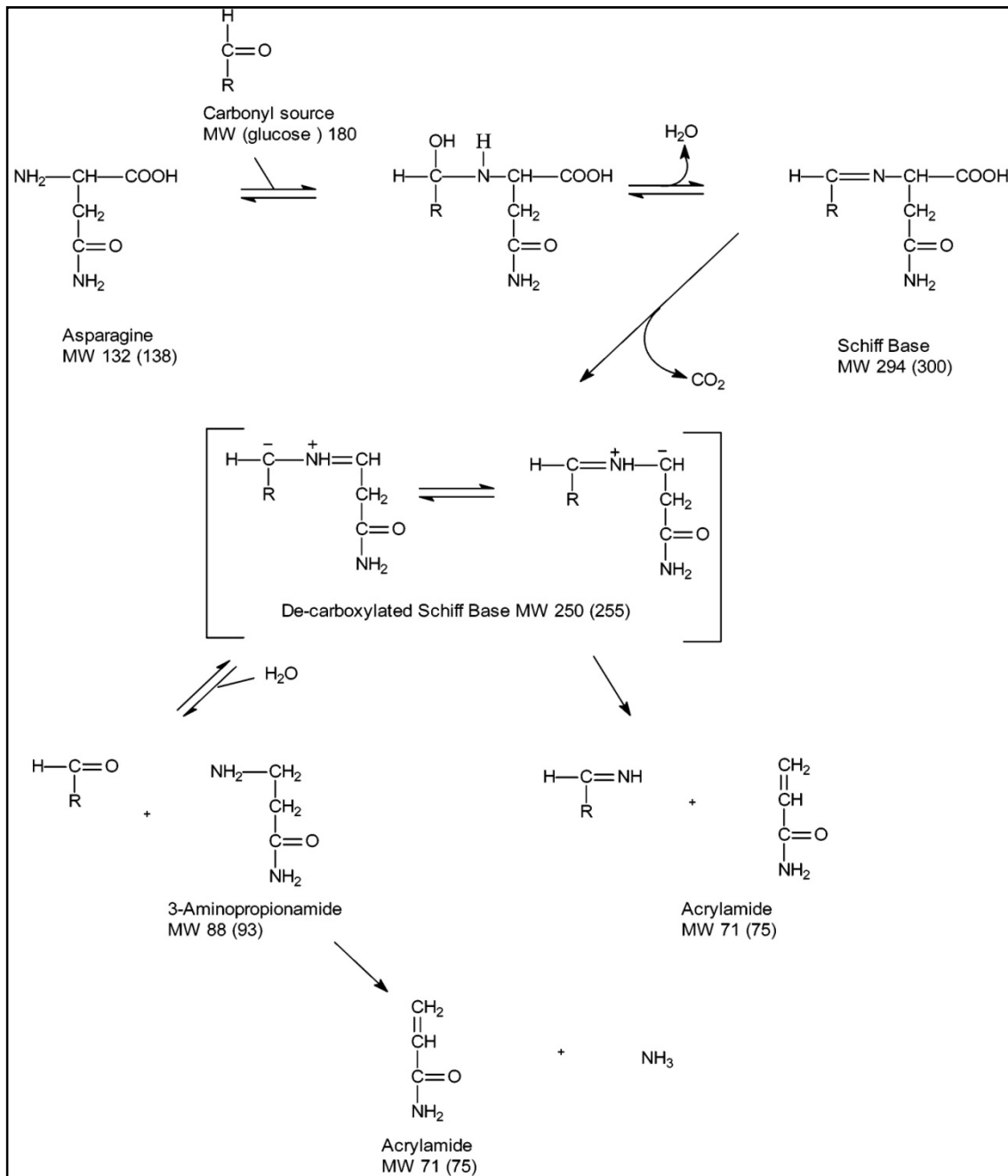


Figura 2: Mecanismo de formación de la acrilamida en alimentos tratados térmicamente (Zyzak et al., 2003).

En el caso de las papas *chips* y *french* donde se han encontrado los niveles más altos de acrilamida, se ha postulado que el aminoácido reaccionante es la asparragina presente en cantidad importante en estos alimentos (Mottram *et al.*, 2002).

Se ha confirmado por estudios de espectro de masas que los tres átomos de carbono y el átomo de nitrógeno presentes en la acrilamida se derivan de la asparragina. El grupo α -NH₂ de la asparragina reacciona por adición nucleofílica con el grupo aldehído de la glucosa formando la base de Schiff. Sufre el reordenamiento de Amadori, originando un derivado glucosa-asparragina (N glicósido), luego sigue una serie de otras reacciones que finalmente por descarboxilación, originan la acrilamida (Taeymans *et al.*, 2004).

Stadler (2002) informó que al calentar cantidades equimoleculares de asparragina y glucosa a 180°C por 30 minutos se formaron 368 μ mol de acrilamida por mol de asparragina.

Otros aminoácidos que producen cantidades menores de acrilamida son: alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina (Stadler *et al.*, 2002).

1.3 Acrilamida, potencial agente carcinogénico.

La exposición a la acrilamida causa daño al sistema nervioso en seres humanos y animales (Lopachin y Lehning, 1994; Tilson, 1981). Se considera un tóxico para células germinales por lo que tiene una actividad antireproductiva (Costa *et al.*, 1992; Dearfield *et al.*, 1988) con características mutágenas y carcinogénicas en sistemas experimentales *in-vitro* e *in-vivo* (Dearfield *et al.*, 1995). Además, mostraron que la acrilamida y su principal metabolito, la glicidamida (Figura 3), son genotóxicos en altos niveles. En estudios celulares, estos dos compuestos indujeron una ruptura cromosomal y puntos de mutación (Rice, 2005). Por esto, se asume que la exposición incluso a dosis muy bajas aumenta el riesgo de mutación y cáncer.

En humanos expuestos a altas dosis de acrilamida, se han detectado daños neurológicos como es el caso de los trabajadores involucrados en la construcción de

túneles. Este nivel es varias veces más alto que el promedio de ingesta de acrilamida proveniente de los alimentos (Tareke *et al.*, 2000).

La Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer ha clasificado a la acrilamida en el grupo 2A, “probable carcinogénico para los humanos” (IARC, 1994).

Debe señalarse que los estudios genotóxicos han indicado que no hay un valor umbral para el riesgo de cáncer inducido por acrilamida, por lo que no es posible identificar hasta ahora un nivel seguro de exposición (Tareke *et al.*, 2000).

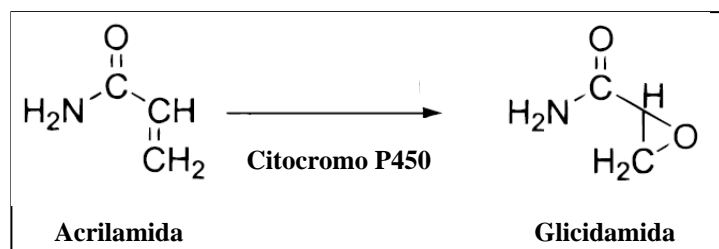


Figura 3. Metabolismo de la acrilamida a glicidamida.

1.4 Acrilamida en alimentos.

Diferentes alimentos se analizaron por la Agencia Nacional de Alimentos de Suecia (SFA). Se encontró que algunos de ellos contenían niveles relativamente altos de acrilamida. Principalmente, se trataba de alimentos calentados a altas temperaturas y ricos en almidón (Rosén y Hellenäs, 2002).

Se analizaron más de 100 muestras entre pan, pastas, arroz, pescado, embutidos, carne de vacuno y cerdo, diferentes tipos de galletas, cereales para el desayuno, cerveza, productos en base a papa, maíz y harina de trigo, alimentos preparados como pizza, etc.

Los niveles de acrilamida variaron considerablemente entre las diferentes muestras analizadas, e incluso, dentro del mismo grupo de alimentos. En papas fritas tipo *chips* y *french* se encontraron generalmente los valores más altos, comparados con otros grupos de alimentos.

El contenido, expresado en µg/kg para los alimentos analizados fue el siguiente:

- Papas fritas *chips*, rango entre 330-2300
- Papas fritas *french*, rango 300-1100
- Panes crujientes, rangos entre 30-1900
- Alimentos tipo *snack* como *chips* de maíz, entre 120-180
- Panes blandos, entre 30-160,
- Alimentos varios como pizzas, panqueques, waffles, bolitas de carne, trocitos de pollo, pescado frito, platos vegetarianos, dieron los rangos más bajos, entre 30-60 (Rosén y Hellenäs, 2002; Tareke *et al.*, 2002).

1.5 Situación actual.

Las investigaciones están en pleno progreso, el objetivo es disponer de una cantidad suficiente de datos que permita, en los diferentes países, estimar la ingesta de acrilamida a partir de los alimentos e identificar los tipos de alimentos más importantes.

En Suecia, de acuerdo a la encuesta de alimentación realizada los años 97-98, la ingesta de acrilamida es del orden de 35 a 40 microgramos por día, de acuerdo al desglose siguiente:

Un 60% de la ingesta provienen de diferentes tipos de papas fritas, pan, diferentes tipos de galletas, masas y cereales para el desayuno. El 40% restante provienen del consumo de otros grupos de alimentos todavía no investigados.

Un medio alternativo para estimar la ingesta de acrilamida es la medición del aducto que forma con la hemoglobina. Datos de esta medición, en la población sueca, indican cifras de ingesta basal del orden de 100 microgramos por día, sin considerar a fumadores cuyo nivel de este aducto es de 2 a 3 veces el nivel basal (Tareke *et al.*, 2002).

Se han producido esfuerzos internacionales para contribuir al conocimiento de la presencia de acrilamida y sus niveles en los diferentes grupos de alimentos. Los Comités Científicos de la Comunidad Europea y OMS están en alerta, ya que es un problema global que afecta a toda la población por el alto consumo de los alimentos horneados, extruídos y fritos en que se forma.

1.6 Situación actual a nivel nacional.

Chile, no está ajeno a todas estas investigaciones, pues está inserto en el proyecto Internacional de la Unión Europea (Proyecto Heatox N°506820) en que juega un papel importante, pues es el único país latinoamericano que participa como socio. Uno de los objetivos de este proyecto es dilucidar el rol de la composición de las materias primas (precursores, promotores potenciales e inhibidores) en la formación de compuestos peligrosos, especialmente la acrilamida, en algunos alimentos específicos. Además, de investigar los medios para modificar el contenido de los mismos.

Es así, como el grupo de trabajo liderado por la Profesora Lilia Masson del Laboratorio de Química de Alimentos y Materias Grasas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, investigó los niveles de acrilamida que se forman en las hojuelas de papas *chips*, fritas a distintas temperaturas (120°C, 150°C y 180°C) y con distintos pretratamientos (escaldado, inmersión en ácido cítrico y mezcla de ellos) de modo de reducir la reacción de Maillard en papas variedad Panda (Masson, 2005).

Como resultados de esta investigación, se confirmó la participación de los reactantes en la formación de acrilamida por medio de la reacción de Maillard.

La mayor disminución en el contenido de acrilamida en este estudio se obtuvo aplicando un pre-tratamiento combinado de escaldado y acidificación (1% ác. cítrico) a la t° de fritura de 150°C, pues se redujo de 3850 ppb de acrilamida (tratamiento control) a 234 ppb (Masson, 2005).

1.7 Acrilamida en papas fritas.

Los factores más importantes que determinan la cinética de formación de acrilamida son la composición de la papa y las variables de proceso. La papa, aporta los precursores en una concentración dependiente de su variedad, las condiciones del suelo, periodo de cosecha y las condiciones de almacenamiento postcosecha (Low *et al.*, 2006). Las variables de proceso fundamentales son la temperatura del aceite y el tiempo de fritura (Surdyk *et al.*, 2004; Gertz *et al.*, 2003).

1.8 Fritura a presión reducida.

El proceso de fritura en profundidad es una operación unitaria única en la elaboración de alimentos y un singular ejemplo de transferencia simultánea de calor y masa, juntos con una deshidratación superficial (Singh, 1995; Fan *et al.*, 2005). La fritura en profundidad es un estado inestable, donde la transferencia de calor, se expresa por el calor que se traspasa por convección desde el aceite a las rodajas de papa y que una vez en su interior calienta por conducción. A su vez, la transferencia de masa corresponde a la salida de agua, en forma de vapor, desde las rodajas de papa, provocando una deshidratación y una posterior captura del medio de fritura (aceite). Ambos hechos originan una fina costra exterior en las rodajas (Aguilera y Stanley, 1999; Gertz *et al.*, 2003; Moreira, 2007). La Figura 4 esquematiza los fenómenos de transferencia de calor y de masa ocurridos en la fritura en profundidad.

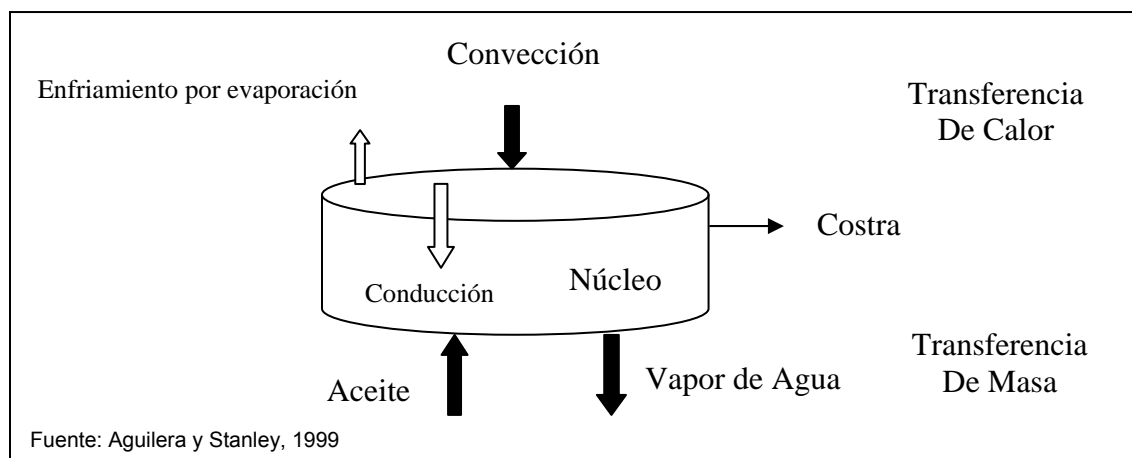


Figura 4: Fenómenos ocurridos en el proceso de fritura en profundidad.

El control de los parámetros del proceso de fritura, como la temperatura y tiempo, indican el comportamiento que sufren las rodajas de papa y el aceite (Mittelman *et al.*, 1984).

La información generada en Suecia, promovió el desarrollo de nuevas investigaciones en este campo a nivel de instituciones oficiales y de la industria de alimentos en todo el mundo, dando información sobre modificaciones a los procesos de elaboración de productos fritos y horneados, que sirvan como una alternativa para obtener alimentos con un bajo nivel de acrilamida (Garayo y Moreira, 2002; Perez-Tinoco *et al.*, 2008).

Dentro de las modificaciones al proceso de fritura de papas fritas se encuentra la fritura a presión reducida (Fan *et al.*, 2005) de la cual existe aún poca información.

Este proceso es definido como el proceso de fritura que se realiza con presiones inferiores a la presión atmosférica, preferentemente bajo 50 torr (50 mm Hg), debido a que en esta baja de presión, el punto de ebullición del agua contenida en los alimentos también baja (Garayo y Moreira, 2002; Fan *et al.*, 2005; Perez-Tinoco *et al.*, 2008), por lo que el tiempo de fritura se reduce y hay un efecto menos adverso en la calidad del aceite y el alimento, ya que se emplean temperaturas más bajas y con un bajo contenido de oxígeno en el aceite durante el proceso (Xu, 1996; Shyu *et al.*, 1998; Gao y Liang, 1999). Además, este tipo de fritura puede ser una buena opción para elaborar frutas y verduras con bajo contenido en aceite mejorando su textura y características del sabor y olor (Garayo y Moreira, 2002).

Granda (2004), informó el nivel de acrilamida formado en la fritura en profundidad en varios cultivares de papas, utilizando presión atmosférica y presión reducida. En la fritura a presión atmosférica se utilizaron tres temperaturas (150°C, 165°C y 180°C) mientras que en la presión reducida (10 torr) fueron a 118°C, 125°C y 140°C. Las papas se cortaron en rodajas con un espesor de 1,5 mm y se frieron a distintos tiempos de fritura. En el caso de las papas fritas a 165°C en condiciones atmosférica, el tiempo de fritura fue de 4 minutos y el contenido de acrilamida fue de 5021 ppb para la variedad White- Rose, 552 ppb para la variedad Innovator, y 646 ppb para la variedad

Atlantic, mientras que en condiciones de presión reducida (118°C y 8 minutos) el contenido de acrilamida fue de 437 ppb para la variedad White- Rose, 35 ppb para la variedad Innovator, y 75 ppb para la variedad Atlantic, logrando siempre un menor contenido de acrilamida en comparación con la fritura tradicional con un porcentaje de reducción entre 85% y 99%. Además, se determinó que al disminuir la temperatura de fritura a presión atmosférica de 180°C a 165°C se obtenía una reducción de acrilamida del 51%, mientras que a presión reducida y se disminuyendo de 140°C a 125°C, la reducción fue de 63%. Dado todos estos resultados, se concluyó que tanto el cultivar de papa que se utilice, como el sistema de fritura que se emplee juega un papel importante en la reducción del contenido de acrilamida (Granda, Moreira y Tichy, 2004).

1.9 Características de la papa variedad Panda.

Variedad de origen Alemán, introducida en Chile desde 1988. Se caracteriza por su excelente rendimiento y su buena aptitud para el procesamiento industrial. Sus tubérculos son de forma oval-redonda, algo achatados con una leve depresión en la zona apical. Su piel es color crema, lisa, con ojos de profundidad media (apicales) a superficiales y su pulpa es crema. Bajo condiciones de estrés hídrico tiende a formar una segunda piel dándole una característica de reticulado. Su latencia es intermedia (4-5 meses) bajo condiciones de temperatura de 6°C, lo que confiere una muy buena capacidad de almacenamiento. Contenido de azúcares reductores buenos, pero muy inestable con temperatura bajo los 10°C. Su contenido de materia seca es de 24% y es muy sensible al daño mecánico. Su uso principal es como materia prima para el procesamiento de papas *chips* y para la elaboración del almidón (ACHIPA A.G., 2008)

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Al modificar las condiciones que favorecen la reacción de Maillard en las rodajas de papa cruda, se deberá obtener papas *chips* con un bajo contenido de acrilamida. Esta modificación se postula a tres niveles:

- Disminución de los precursores, asparragina y azúcares directamente reductores por manejo de parámetros físicos y químicos.
- Disminución del tiempo de fritura por empleo de presión reducida.
- Disminución de la temperatura de fritura

2.1 Objetivo general.

Obtener papas *chips* con bajo contenido de acrilamida y con buenas características organolépticas, a partir de papas variedad Panda.

2.2 Objetivos específicos.

- Evaluar la disminución de los precursores (glucosa y asparragina libre) en la materia prima (papas variedad Panda) por aplicación de lavado y el empleo de un pretratamiento consistente en escaldado y acidificación.
- Determinar la influencia de tres temperaturas de fritura (150°C, 160°C y 170°C) empleando presión reducida (48 mm Hg absolutos o 48 Torr) en la reducción de la formación de acrilamida en las papas chips elaboradas. Se comparará con una muestra control comercial.
- Realizar una evaluación sensorial por un panel de consumidores en las papas chips obtenidas en los ensayos experimentales y en una muestra comercial, para identificar la mejor, a través de un test de aceptabilidad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales.

3.1.1 Materia prima.

Se trabajó con dos lotes de papas, variedad Panda usadas en la elaboración industrial de papas chips, adquiridas a la empresa Frutisa S.A. El lote 1 correspondió a la cosecha de Abril del año 2006 proveniente de Temuco, IX Región y el lote 2 correspondió a las papas de guarda, utilizadas en Agosto del mismo año proveniente de Osorno, X Región. Cada lote constó de dos sacos de 50 kg cada uno. Las papas se ventilaron y se colocaron en bandejas de plástico de tipo enrejado para favorecer la circulación de aire entre las papas, las que se mantuvieron en un cuarto oscuro, a temperatura ambiente para retrasar el proceso de brotación hasta su uso. En la Figura 5 se observa la papa utilizada.



Figura 5: Papas variedad Panda

Como medio de fritura, se utilizó aceite de maíz refinado donado por la empresa Cornproduct Chile-Inducorn S.A. Se seleccionó este aceite, pues se produce en Chile y su homogeneidad y parámetros de calidad son conocidos y garantizados por la empresa.

3.1.2 Insumos y reactivos.

3.1.2.1 Proceso de fritura a presión reducida.

- Agua destilada
- Solución de ácido cítrico 0,25%
- Cloruro de sodio p.a.

- Canastillo y recipiente de acero inoxidable
- Material de vidrio de laboratorio

3.1.2.2 Determinación de materia grasa.

- Éter de petróleo p.a
- Sulfato de sodio anhidro p.a
- Nitrógeno gaseoso
- Material de vidrio de laboratorio

3.1.2.3 Determinación de azúcares directamente reductores.

- Ácido sulfúrico 76% p.a
- Reactivo de antrona p.a
- Patrón de glucosa
- Material de vidrio de laboratorio

3.1.2.4 Determinación de asparragina.

- Acetato de sodio trihidratado grado HPLC
- Acetonitrilo grado HPLC
- Agua grado HPLC
- Reactivo de AccQ-Fluor TM Waters (6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamatos)
- Buffer borato
- Patrón L-asparragina (98% pureza) adquirida a Sigma- Aldrich Corp.
- Trietilamina p.a
- Material de vidrio de laboratorio

3.1.2.5 Determinación de acrilamida.

- Acetonitrilo grado HPLC
- Ácido acético glacial p.a.
- Agua grado HPLC
- Acrilamida 99% adquirida a Sigma- Aldrich Corp.

- Acrilamida-2,3,3-d₃ 98% átomo D como estándar interno adquirida a Sigma-Aldrich Corp.
- Columna de extracción fase sólida (SPE) ENV+1g de IST (Mid Glamorgan, UK)
- Columna de extracción fase sólida (SPE) MultiMode 1 g de IST (Mid Glamorgan, UK)
- Tubos Falcon de 15 y 50 mL
- Metanol p.a
- Material de vidrio de laboratorio.

3.1.2.6 Determinación de pH.

- Solución tampón pH 4 p.a
- Solución tampón pH 7 p.a
- Material de vidrio de laboratorio

3.1.3 Equipos.

3.1.3.1 Proceso de fritura a presión reducida.

- Freidora al vacío elaborada de acero inoxidable con sistema de condensación de vapor de agua y con cierre hermético, diseñada específicamente para esta investigación.
- Bomba de vacío marca Fast Vac, modelo DV-85N-250, U.S.A
- Bomba de vacío marca Franklin Electric, modelo 1102685402, U.S.A
- Baño termorregulado marca Haake modelo FK, Alemania
- Balanza granataria marca Scaltec Instruments, modelo SPO 51, Alemania
- Procesador de alimentos marca Bon Appetit Somela, modelo FP-600, Chile
- Hervidor de agua marca Nex, modelo KP-4700, Chile
- Termocupla digital marca Digital Thermometer, modelo 305, Taiwan
- Sistema de vasos de doble camisa Schott Duran de 5 y 3 Lts.
- Agitador magnético marca Nuova, modelo SP 18420-26, USA.

3.1.3.2 Determinación de humedad.

- Estufa 105°C marca WTC Binder, modelo 1924030000200, Alemania
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón

- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile

3.1.3.3 Determinación de materia grasa.

- Extractor soxhlet marca Gerhardt, modelo SR2, USA
- Rotavapor marca Büchi, modelo R-205, Suiza
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón
- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile

3.1.3.4 Determinación de azúcares directamente reductores.

- Baño termorregulado marca Büchi, modelo B-465, Suiza
- Espectrofotómetro UV/Vis marca Unicam, modelo UV3-200, Inglaterra
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón
- Vortex marca Cenco Instruments, n° 34525-200, Holanda
- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile

3.1.3.5 Determinación de asparragina.

- HPLC:
Bomba de gradiente marca Hitachi, modelo L-6200, Japón
Detector espectrofotómetro de fluorescencia marca Hitachi, modelo F1050, Japón.
Columna Waters Nova Pack 4 μm C₁₈ 3.9 μm x 150mm (Waters Corp., Milford, MA, USA) operada a un flujo de 1,0 mL/min
Interfase Clarity™, Chromatographic Station para Windows™
- Vortex marca Cenco Instruments, n° 34525-200, Holanda
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón
- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile

3.1.3.6 Determinación de acrilamida.

- HPLC MS/MS (Waters Ltda, Watford, Hertfordshire, UK):
Bomba isocrática capaz de mantener un flujo de fase móvil de 0,4 mL/min.
Detector de espectrómetro de masa triple cuadrupole que funciona en electrospray positivo con modo de monitoreo de reacción múltiple, sistema para obtener resolución de la unidad (Micromass UK Ltda., Altrincham, Cheshire, UK).

Columna Hypercarb, 5 μ m, 50x2.1 mm, con pre-columna 5 μ m, 10x2.1 (Hypersil-Keystone, Runcorn, UK)

Interfase de colección de datos con software “masslynx” de evaluación específica.

- Dispositivo con sistema de vacío para extracción en fase sólida Vacuum manifold
- Agitador marca Precision Scientific CO., n° 1579, USA
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón
- Centrífuga marca Sorvall, modelo RC2-B, USA
- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile

3.1.3.7 Determinación de pH.

- pH-metro marca Corning modelo pH-meter 320, USA.
- Balanza analítica marca Chyo Balance Corp., modelo 305896, Japón
- Homogenizador marca Moulinex, modelo La Moulinette, Chile.

3.1.4 Lugar de trabajo

Todo el desarrollo experimental se realizó en el Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos y Materia Grasa del Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéutica de la Universidad de Chile. La evaluación sensorial de las papas *chips* por el panel de consumidores se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial de este mismo Departamento. La determinación y cuantificación de acrilamida en las papas chips, se realizó en el equipo HPLC MS/MS del Laboratorio de Farmacología Veterinaria de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, facilitado por la Dra. Betty San Martín y en el equipo HPLC MS/MS del Laboratorio de Química de Alimentos de la Agencia de la Administración Nacional de Alimentos de Suecia, Uppsala, Suecia, facilitado por el Dr. Johan Rosén.

3.2 Métodos

3.2.1 Proceso

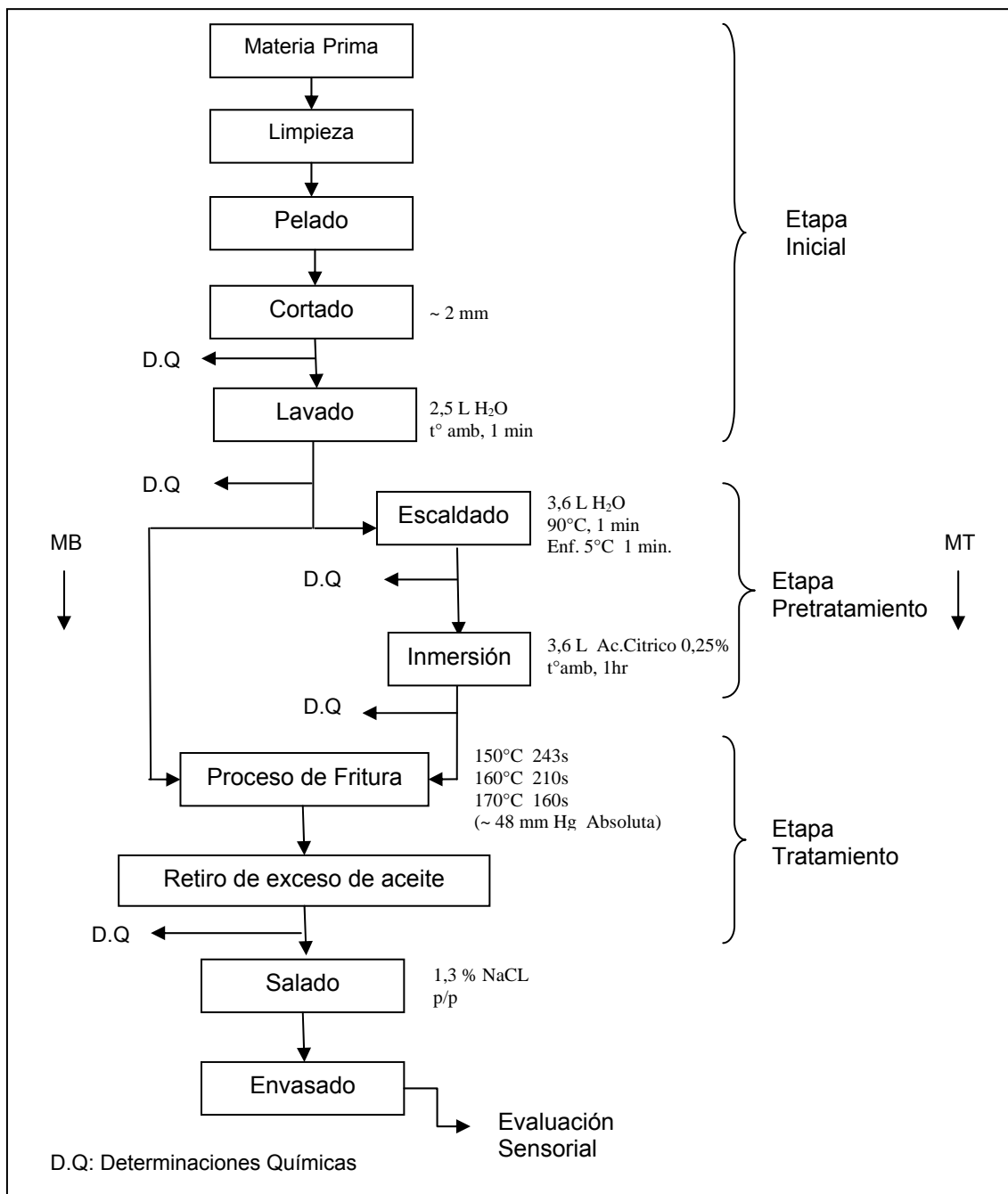


Figura 6: Diagrama de bloques de elaboración de las papas *chips* MB y MT.

3.2.1.1 Etapa Inicial.

Limpieza: El objetivo fue retirar restos de tierra adherida. Se tomó, al azar, desde las bandejas, entre 7 y 10 papas. Se frotaron con una esponja porosa húmeda y se secaron con un paño antes de proceder a pelarlas.

Pelado: Se realizó manualmente utilizando un pelador de papas.

Cortado: Se utilizó un procesador de alimentos. La velocidad de corte ocupada en el procesador de alimentos fue baja para obtener rodajas con un grosor uniforme de 2 mm aproximadamente. Una muestra de estas rodajas se utilizó para determinar el contenido de humedad, azúcares directamente reductores, asparragina libre y pH en la papa cruda inicial.

Lavado: 200 g de rodajas de papa se colocaron en un colador y fueron sometidas a una ducha de agua destilada (2,5 L) durante un minuto, moviendo manualmente las rodajas con el objeto de que el proceso de lavado alcanzara a la totalidad de la muestra. Una porción de estas rodajas se utilizó para determinar el contenido de humedad, azúcares directamente reductores, asparragina libre y pH.

3.2.1.2 Etapa Pretratamiento.

Escaldado: 200 g de rodajas de papas, que provienen de la etapa inicial, se colocaron en un canastillo de acero inoxidable y se sumergieron en 3,6 L de agua destilada a una temperatura de 90°C, durante 1 minuto. El medio fue mantenido a temperatura mediante un baño termorregulado de doble camisa, (Figura 7a). Se empleó, además, un agitador magnético para homogeneizar la temperatura del medio una vez sumergidas las rodajas de papa. Transcurrido el tiempo de calentamiento, las rodajas fueron sumergidas en un recipiente de acero inoxidable con agua (3,6 L) a 5°C por un minuto (Figura 7b).

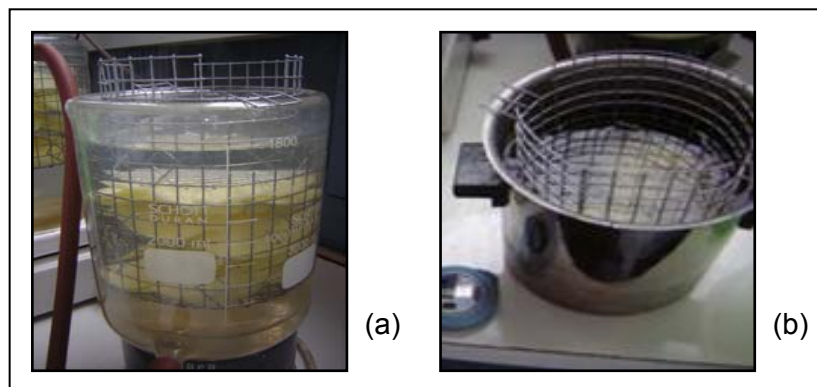


Figura 7: (a) calentado; (b) enfriado

Una muestra de papa calentada se utilizó para efectuar las determinaciones señaladas anteriormente y evaluar la disminución de precursores producidos en el proceso de calentado.

Inmersión en ácido cítrico: Las rodajas de papas calentadas se sumergieron en un recipiente de acero inoxidable que contenía 3,6 L de ácido cítrico al 0.25%, durante una hora a temperatura ambiente con agitación manual cada 5 minutos, como se observa en la Figura 8. Posteriormente las rodajas fueron escurridas en un colador y se secaron por ambos lados con papel absorbente para retirar el exceso de solución ácida. Al igual que en el calentado se tomó una muestra y se efectuaron las determinaciones químicas para seguir la secuencia de disminución de los precursores.



Figura 8: Inmersión en solución de ácido cítrico al 0,25%

3.2.1.3 Etapa tratamiento.

Fritura a Presión Reducida: Consistió en calentar el aceite a presión atmosférica hasta la temperatura requerida para los ensayos experimentales, es decir, 150°C, 160°C y 170°C. Alcanzada la temperatura respectiva, se colocaron 100 g de rodajas de papas en un canastillo de acero inoxidable de dos niveles, donde se distribuyeron las rodajas uniformemente de modo de tener un proceso de fritura homogéneo, como se muestra en la Figura 9(a). El canastillo se enganchó en un soporte movable colocado en la tapa de la freidora, procediéndose a cerrarla herméticamente con seis tuercas de presión, que se distribuyen en forma equidistante por todo el perímetro superior de la freidora. La Figura 9(b) ilustra este hecho.

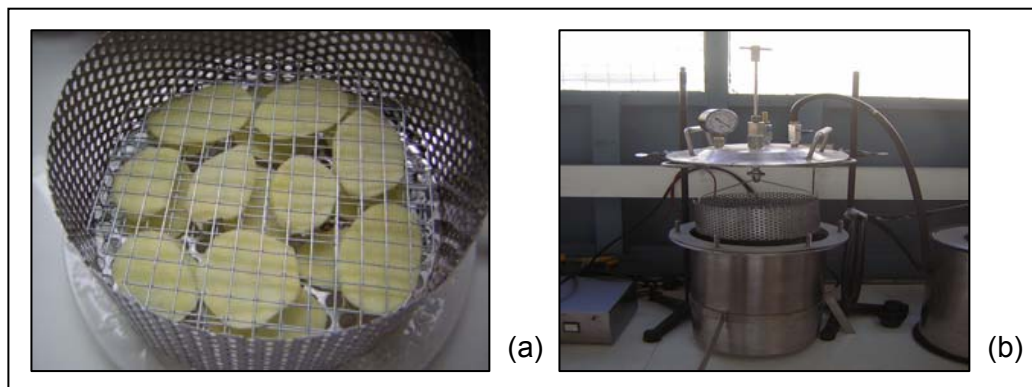


Figura 9: (a) canastillo de acero inoxidable; (b) canastillo enganchado a la tapa de la freidora con las rodajas de papas previo a la fritura

Una vez cerrada la freidora se inició la reducción de la presión mediante dos bombas generadoras de vacío conectadas a la freidora.

Las Figuras 10 y 11 ilustran el sistema completo de fritura a presión reducida.

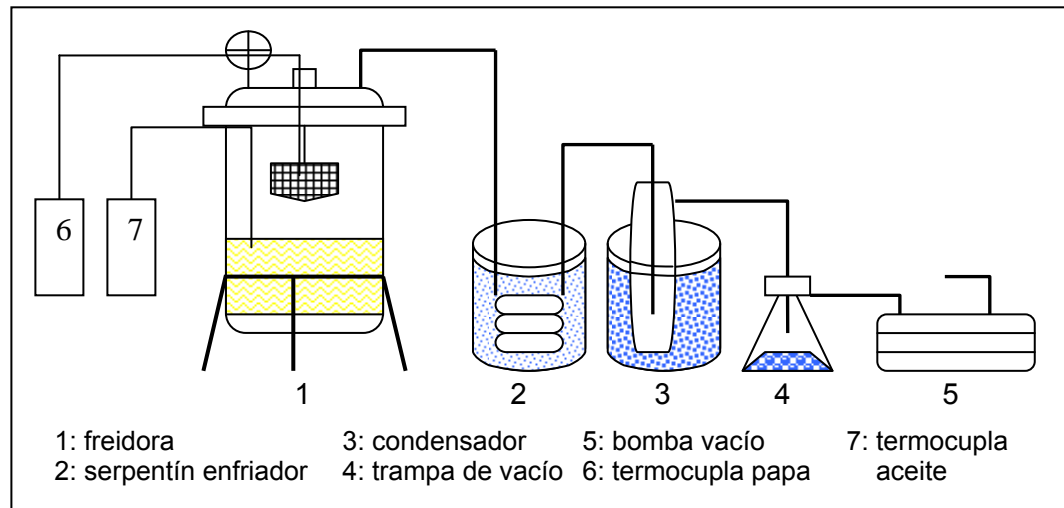


Figura 10: Esquema general del equipo para fritura a presión reducida



Figura 11: Fotografía del equipo utilizado para fritura a presión reducida

La mínima presión absoluta del sistema fue de 48 mm Hg (48 Torr). Alcanzado este valor, se bajó cuidadosamente el canastillo enganchado al soporte movable de la tapa, hasta quedar completamente sumergido en el aceite, en ese instante se midió con cronómetro el tiempo de fritura determinado en ensayos preliminares. Para el proceso de fritura a 150°C, el tiempo de fritura fue 243 segundos; para 160°C fue 210 segundos; y para 170°C 160 segundos. Una vez finalizado estos tiempos, se procedió a subir el canastillo, desconectar las bombas, abrir la freidora y retirar las papas chips.

El control de la temperatura de fritura tanto del aceite como de la rodaja de papa se controló con dos termocuplas colocadas en cada medio, tal como se indica en la Figura 10 (puntos 6 y 7).

Retiro del exceso de aceite: Se utilizó papel absorbente mientras las papas *chips* estaban aún calientes. Una muestra representativa fue tomada para determinar el contenido de humedad, materia grasa, pH y acrilamida.

Finalizada la etapa de tratamiento se adicionó manualmente cloruro de sodio en un 1,3% y se envasó en un envase trilaminado hasta la realización de la evaluación sensorial.

Muestras blanco (MB): estas muestras corresponden a las papas sometidas a la etapa inicial (limpieza, pelado, corte y lavado) y la etapa de tratamiento (fritura a presión reducida a las tres temperaturas). Como se aprecia en la Figura 6.

Muestras ensayo (MT): estas muestras corresponden a las papas sometidas a la etapa inicial (limpieza, pelado, corte y lavado), etapa de pretratamiento (escaldado e inmersión en ácido cítrico) y la etapa de tratamiento (fritura a presión reducida a las tres temperaturas). Como se observa en la Figura 6.

Las condiciones del proceso completo (Tabla 1) de obtención de papas *chips* (MB y MT) se repitieron 15 veces para contar con cantidad suficiente de muestra para los análisis químicos y de evaluación sensorial.

Tabla 1: Matriz de ensayos experimentales

Muestras	Tratamiento Térmico (máx. 48 mm Hg)	Papas Chips
Muestras Blanco (MB)	150°C	150 MB lote 1
	150°C	150 MB lote 2
	160°C	160 MB lote 1
	160°C	160 MB lote 2
	170°C	170 MB lote 1
	170°C	170 MB lote 2
Muestras Ensayo (MT)	150°C	150 MT lote 1
	150°C	150 MT lote 2
	160°C	160 MT lote 1
	160°C	160 MT lote 2
	170°C	170 MT lote 1
	170°C	170 MT lote 2

Lote 1: Abril 2006 , Lote 2: Agosto 2006

3.2.2 Métodos analíticos.

3.2.2.1 Humedad y materias volátiles.

Según método gravimétrico oficial AOCS, Ai 2-75 (1993) en estufa con aire forzado a una temperatura de 105°C hasta obtener peso constante.

3.2.2.2 Materia grasa.

El contenido de materia grasa se determinó por extracción con solvente (éter de petróleo 40-60°C) sobre las papas *chips* secas y molidas, empleando el extractor Soxhlet, de acuerdo al método AOCS Ai 3 75 (1993).

3.2.2.3 Azúcares directamente reductores.

Los azúcares directamente reductores se determinaron colorimétricamente por método de antrona (Osborne y Voogt, 1986). El resultado fue expresado como glucosa.

3.2.2.4 Determinación de pH.

Se empleó el equipo CORNING modelo pH-meter 320, USA. La calibración de los electrodos se realizó con solución tampón pH 4 y 7 a 20°C, según la especificación del equipo. Se diluyó la muestra en agua destilada en relación 9:1.

3.2.2.5 Determinación de asparragina.

Fue determinado por HPLC de acuerdo al método desarrollado por Steven Cohen y Dennis Michaud (1993). 1 g de muestra de papa cruda homogeneizada fue diluida a 50 mL de agua destilada y agitada por 30 minutos para lograr la extracción del aminoácido. Para la derivatización, se tomó 20 µL de la solución anterior y se le adicionó 20 µL reactivo de AccQ-Fluor TM Waters (6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamato) y 60 µL de buffer de borato (pH 9,5). La mezcla se agitó (mezclador vortex) durante 30 segundos y se dejó reposar 5 minutos. Posteriormente se adicionó 100 µL de buffer de borato y se mezcló en vortex. Para el análisis, se inyectó 20 µL de esta solución en el HPLC y se utilizó como estándar L-asparagina (98% pureza, TLC, Sigma, St. Louis, USA).

3.2.2.6 Determinación de acrilamida.

El método usado para la determinación de acrilamida fue cromatografía líquida y espectrometría de masas (LC-MS/MS) con el equipo Quattro Ultima de Micromass, basado en el método desarrollado por Petersson *et al.* (2006).

Una porción de muestra (4 g de papas chips) se extrajo con agua y se le agregó acrilamida deuterada. El extracto se centrifugó y al sobrenadante se le realizó una purificación con dos columnas de extracción de fase sólida (SPE).

La primera columna SPE (Isolute Multimode), contuvo una base de sílica con grupos C-18, que actuaron como intercambiadores de aniones y cationes, la acrilamida no fue retenida por la columna de extracción y pasó a través de ella para ser colectada. Esta columna actuó como filtro químico ya que ayudó a retener posibles componentes de la matriz de la papa chips.

La segunda columna SPE (ENV+), contuvo un polímero con alta capacidad de captar acrilamida. El extracto se pasó a través de la columna, se lavó con agua y se eluyó con metanol al 60%. Además, de aumentar la limpieza del extracto, se concentró, logrando obtener bajos límites de cuantificación en la cromatografía HPLC MS/MS (Hernández, 2007).

3.2.3 Evaluación sensorial.

El panel de consumidores fue integrado por 50 personas recluidas entre empleados y estudiantes de la Universidad de Chile. Aproximadamente 30 g de cada muestra de papas chips obtenida de los ensayos experimentales, incluida una muestra comercial CC, fue presentada a cada consumidor en un platillo de vidrio codificado con tres números randomizados siguiendo un diseño de bloque completamente al azar (Tomlins *et al.*, 2007). Los panelistas fueron invitados a evaluar la aceptabilidad usando una escala hedónica estructurada de 7 puntos, señalada en la Tabla 2.

La evaluación sensorial se aplicó a ambos lotes por separado.

Tabla 2: Escala hedónica de 7 puntos.

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta modera- damente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta modera - damente	Me gusta mucho

3.2.4 Análisis estadístico.

Los resultados de las determinaciones químicas y de evaluación sensorial fueron analizados aplicando análisis de comparación de promedio con un nivel de significancia del 95%, para detectar diferencias estadística entre lotes y análisis de varianza y *test* de comparación múltiple de Turkey o Duncan ($p\text{-value}<0,05$) para la comparación entre muestras, usando el programa computacional *Statgraphics Plus 5.1* (2001 *Statdistical Graphics Corp.* USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efecto de las etapas inicial y de pretratamiento sobre la disminución de los precursores de la formación de acrilamida previo al proceso de fritura.

La Tabla 3 presenta los valores de humedad, azúcares directamente reductores (ADR), asparragina libre y pH en las rodajas de papa cruda sometidas a las etapas inicial y pretratamiento.

Tabla 3: Humedad, azúcares directamente reductores y asparragina libre en las rodajas de papa cruda sometidas a las etapas inicial y pretratamiento. Lote 1 y Lote 2.

Análisis	Lote 1				Lote 2			
	Etapa Inicial		Pretratamiento		Etapa Inicial		Pretratamiento	
	Inicial	Lavado	Escaldado	Ác. Cítrico	Inicial	Lavado	Escaldado	Ác. Cítrico
Humedad (g%) *	69,4±1,1	72,5 ±1,0	73,8 ±0,6	75,8 ±0,1	72,3 ±18	76,2±1,1	77,2 ±1,4	78,8 ±0,6
A.D.R. expresados como glucosa (g%)	0,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0
Asparragina Libre (mg/kg)	2.152 ± 76	1.989 ± 43	1.627 ± 130	576 ± 94	2.159 ± 39	1.980 ± 64	1.432 ± 38	645 ± 133

A.D.R. azúcares directamente reductores

* Diferencia significativa (*p-value* <0,05) entre lotes (Anexo 1)

De los resultados obtenidos se desprende que en ambos lotes se produjo un aumento del contenido de humedad en las rodajas de papa sometidas a las etapas inicial y pretratamiento previas al proceso de fritura a presión reducida. Se explica, por el contacto con el agua en estas etapas, las que produjeron pérdida de sólidos solubles. El aumento en el contenido de agua de las rodajas de papa, 75,8% en el Lote 1 y 78,8% en el Lote 2, antes de ingresar al medio de fritura, es favorable, ya que puede ayudar a disminuir la formación de acrilamida en el producto final (Ishihara *et al.*, 2006; Gökmen *et al.*, 2006; Dunovska *et al.*, 2004).

Según referencia de papa cruda chilena sin especificar variedad (Schmid-Hebbel *et al.*, 1992) el valor promedio de humedad es de 77,8%. Este contenido de agua más alto que el encontrado en la variedad Panda, entre 69,4 y 72,3% (Lote 1 y 2) se explica porque a las variedades de papa de uso industrial, normalmente se les exige un

contenido de sólidos más alto, lo que se refleja en humedades menores. En cambio valores obtenidos para esta misma variedad Panda año 2005, indicaron un 73,5% de agua (Masson, 2005), el cual está más cercano a los valores encontrados en este trabajo.

El valor obtenido para azúcares directamente reductores fue de 0,5 g%. Referencias sobre esta misma variedad, indican 0,1 g% (Masson, 2005). Este valor más bajo se explica porque el contenido de azúcares directamente reductores en las papas es muy variable y depende de numerosos factores, entre ellos tiempo de cosecha y condiciones de almacenamiento (Low *et al.*, 2006). En cuanto al contenido de asparragina libre, entre 2.152- 2.159 mg/kg de papa cruda (Lote 1 y 2) estos valores son algo superiores al encontrado para la misma variedad de la cosecha año 2005 que fue de 1710 mg/kg de papa cruda, lo cual está dentro de lo esperado (Masson, 2005). La asparragina es el aminoácido libre presente en mayor cantidad en papas. Martin y Ames (2001) informaron un contenido promedio de 939 mg/kg. Esta cantidad depende de diferentes factores, entre ellos la variedad de la papa, localización del cultivo, prácticas de fertilización, temporada de cosecha, almacenamiento y procesamiento (Davies, 1977; Hippe, 1988).

Con el objeto de evaluar los porcentajes de reducción de estos precursores en las etapas inicial y pretratamiento, se ha efectuado el cálculo por 100 g de papa seca, los que se presentan en la Tabla 4, Figuras 12 y 13.

Tabla 4: Azúcares directamente reductores y asparragina libre expresados por 100 g de papa seca y valor de pH, en las etapas inicial y pretratamiento.

Etapas	Muestras	Azúcares Directamente Reductores (g glucosa/ 100g papa seca)			Asparragina Libre (mg/100g papa seca)			pH		
		Lote 1 ^a	Lote 2 ^a	$\bar{x} \pm s$	Lote 1 ^a	Lote 2 ^a	$\bar{x} \pm s$	Lote 1 ^a	Lote 2 ^a	$\bar{x} \pm s$
Inicial	Cruda	1,5	1,7	1,6 ± 0,1	7.033	7.794	7.414 ± 538	6,03	6,03	6,03 ± 0,0
	Lavada	1,3	1,3	1,3 ± 0,0	7.234	8.319	7.776 ± 767	6,01	6,01	6,01 ± 0,0
Pre trata - miento	Escaldada	1,1	1,1	1,1 ± 0,0	6.210	6.281	6.246 ± 50	6,01	6,00	6,01 ± 0,0
	Ác. Cítrico	0,9	1,0	1,0 ± 0,1	2.380	3.042	2.711 ± 468	3,99	4,00	4,00 ± 0,0

Letras distintas en las columnas de los lotes indica diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) entre lotes (Anexo 1 y 2).

La Tabla 4 muestra las disminuciones obtenidas tanto para azúcares directamente reductores como asparragina libre en la etapa inicial y seguidamente para la etapa de pretratamiento en ambos lotes. En la etapa inicial, al analizar el promedio de ambos lotes para azúcares directamente reductores, se observó una disminución de 0,3g%. En cuanto a la asparragina libre se obtuvo un ligero aumento entre el valor promedio para papa cruda y lavada, 7.414 y 7.776 respectivamente, que no fueron significativamente diferentes (Anexo 1). Estos resultados se expresaron como porcentaje de reducción en la Figura 12.

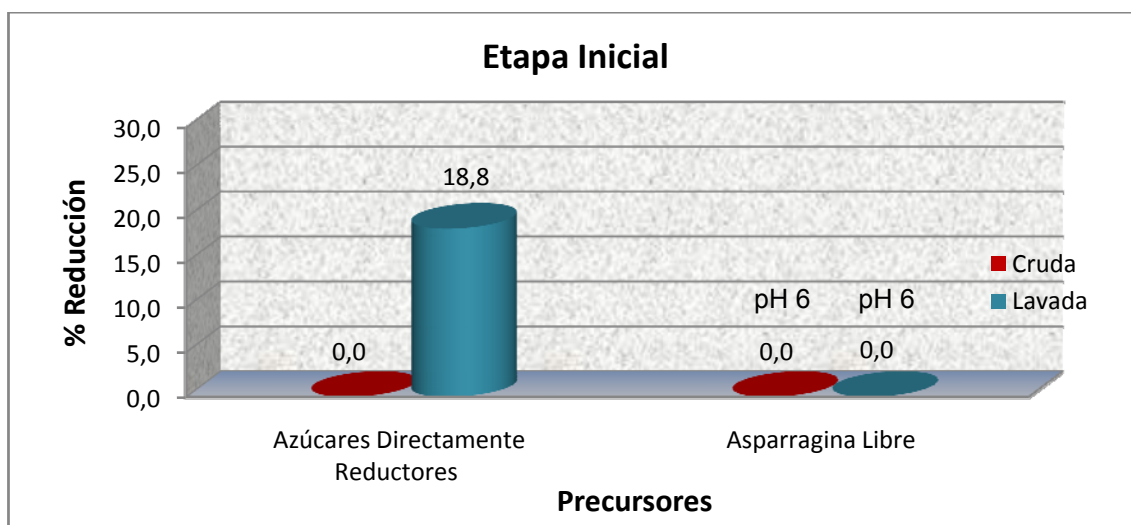


Figura 12: Porcentaje de reducción de precursores y pH en la etapa inicial.

Se observa claramente la influencia del proceso inicial de lavado en la reducción de los azúcares directamente reductores, al obtenerse un 18,8% de reducción. Esta disminución se debió principalmente a una lixiviación de los azúcares directamente reductores por acción del agua de lavado (Masson *et al.*, 2007; Ishihara *et al.*, 2006).

Cabe destacar que la temperatura del agua de lavado (17°C-25°C) empleada, contribuyó a evitar reacciones secundarias de gelatinización del almidón, que se produce a temperaturas superiores a 60°C y a la intervención de enzimas hidrolíticas nativas de la papa que pudieran incrementar el contenido de azúcares directamente reductores (Ishihara *et al.*, 2006).

Este importante descenso, debería reflejarse en una disminución del contenido de acrilamida en las papas chips blanco (MB) en relación a una papa chips comercial (Haase *et al.*, 2003).

En relación a la asparragina libre, en la etapa inicial de lavado se observa que no hubo porcentaje de reducción.

En la etapa de pretratamiento, al analizar el promedio de ambos lotes para azúcares directamente reductores, se observó una disminución de 0,2g% entre el proceso de lavado de la etapa inicial y el proceso de escaldado de la etapa de pretratamiento, Figura 13. Entre el proceso de escaldado e inmersión en ácido cítrico, ambos perteneciente a la etapa de pretratamiento, se obtuvo una disminución no significativa del 0,1g% (Anexo 1). En cuanto a la asparragina libre, se obtuvo una disminución del valor promedio entre el proceso de lavado de la etapa inicial y el proceso de escaldado de la etapa de pretratamiento correspondiente a 1.530 mg/kg de papa seca. Entre el proceso de escaldado e inmersión en ácido cítrico, se obtuvo una disminución, estadísticamente significativa ($p\text{-value} < 0,05$, Anexo 1) de 3535 mg/kg de papa seca. Estos resultados se expresaron como porcentaje de reducción en la Figura 13.

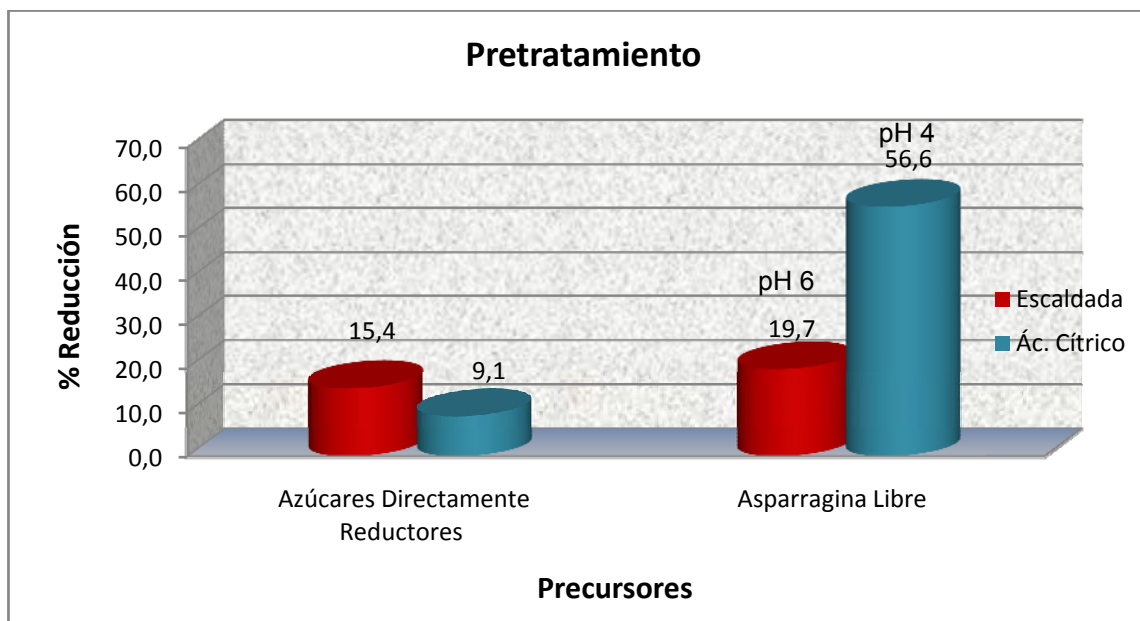


Figura 13: Porcentaje de reducción de precursores y pH en la etapa de pretratamiento.

El escaldado, cuyo objetivo es mejorar el color final de las papas chips evitando el pardeamiento enzimático (Núñez, 2001), produjo un menor porcentaje de reducción del contenido de azúcares directamente reductores, 15,4%, en relación a la etapa inicial. Esta menor influencia se explica porque gran parte los azúcares directamente reductores se lixiviaron significativamente en la etapa inicial de lavado. Sin embargo, el agua al estar en contacto con la papa y bajo agitación continua, arrastró una fracción adicional de los azúcares directamente reductores presentes. Otros estudios realizados han comprobado que el proceso de escaldado remueve más azúcares directamente reductores, como la glucosa y fructosa, que los no reductores como la sacarosa (Haase *et al.*, 2003).

La inmersión secuencial de las rodajas de papas después del escaldado, en la solución de ácido cítrico, tuvo una mínima influencia en la reducción del contenido de azúcares directamente reductores, obteniéndose solo un 9,1%.

En relación a la disminución de la asparragina libre, Tabla 4 y Figura 13, el proceso de escaldado produjo un 19,7%. Según Ishihara *et al.* (2006) el uso de agua a altas temperaturas antes de freír afecta el contenido de aminoácidos a favor de la

disminución del contenido de acrilamida en el producto final. Sin embargo, el mayor porcentaje de reducción de asparragina libre se obtuvo en la inmersión en solución de ácido cítrico, alcanzando un 56,6%.

Esta solución ácida disminuyó el pH de las rodajas de papa de 6,0 a 4,0 (Tabla 4). Este cambio es importante, ya que en medio ácido, el grupo α -amino nucleofílico libre desprotonado de la asparragina se convierte a un grupo amino no nucleofílico protonado, perdiendo notablemente su velocidad de reacción con los azúcares directamente reductores, lo que afecta la etapa inicial de la reacción de Maillard y por lo mismo, la formación posterior de acrilamida (Namiki *et al.*, 1988; Mlotkiewicz, 1998; Jung *et al.*, 2003 y Gertz *et al.*, 2003).

La asparragina es considerada como la fuente de nitrógeno para la formación de la acrilamida; el calentamiento de este aminoácido solo, no produce acrilamida eficientemente, pero al reaccionar con azúcares directamente reductores como la glucosa o la fructosa, acelera su formación. La asparragina presente en las papas, no se ve afectada por la conservación de las papas en ambientes a bajas temperaturas, menores a 10°C, antes de su procesamiento industrial (Olsson *et al.*, 2004). La alta temperatura y la baja condición de humedad, son necesarias para la formación de la acrilamida siguiendo la ruta de la reacción de Maillard (Dunovska *et al.*, 2004), de aquí la importancia del empleo de pretratamiento a las rodajas de papa antes de ser sometidas al proceso de fritura con el objeto de minimizar los precursores.

Cabe destacar, que la etapa inicial y la etapa de pretratamiento son secuenciales y complementarias, ya que la primera reduce significativamente los azúcares reductores, sin afectar mayoritariamente el contenido de asparragina libre (Figura 12), mientras que la etapa de pretratamiento, reduce en menor proporción el contenido de azúcares directamente reductores, pero si lo hace significativamente, con el contenido de asparragina libre (Figura 13). El resultado comparativo entre la etapa inicial y la etapa de pretratamiento fue significativamente diferente (Figura 14 y 15), lo que confirma la aplicación secuencial de ambas etapas para obtener la máxima disminución de precursores, lo que se debería traducir en una menor formación de acrilamida en las papas chips obtenidas después del proceso de fritura.

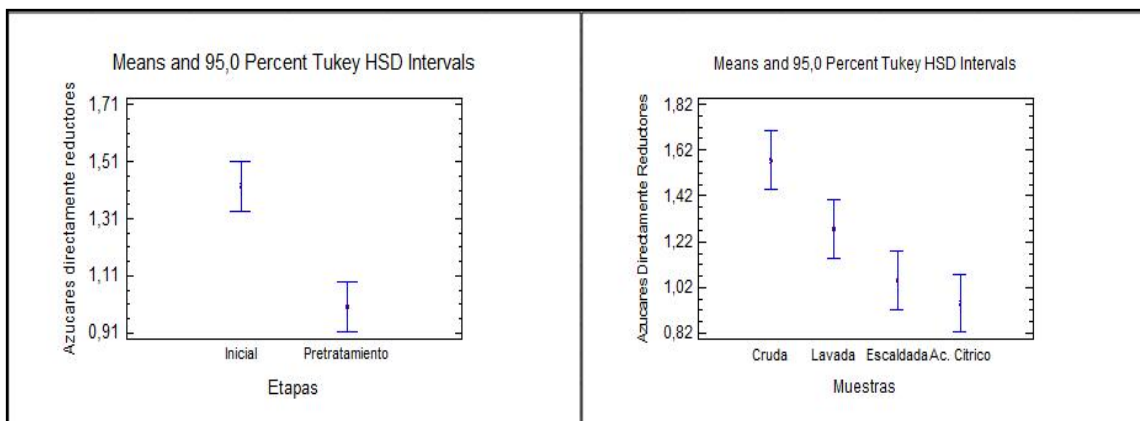


Figura 14: Azúcares directamente reductores. Diferencias significativas entre etapas y entre muestras.

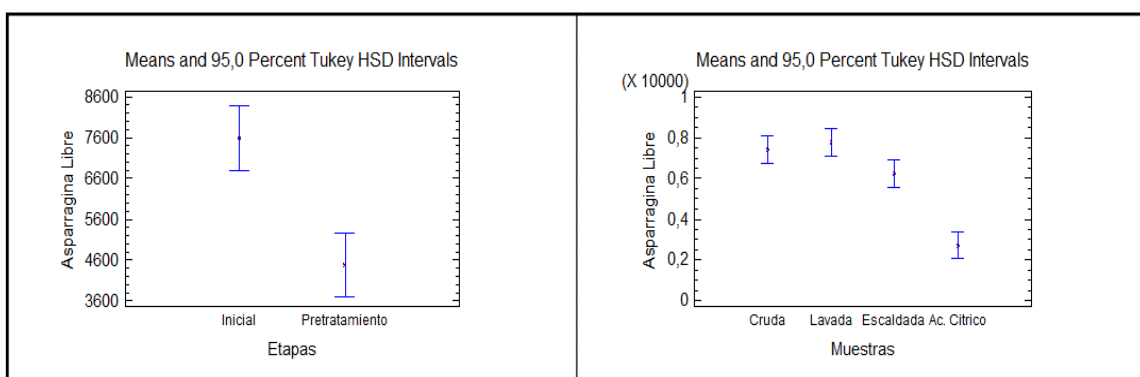
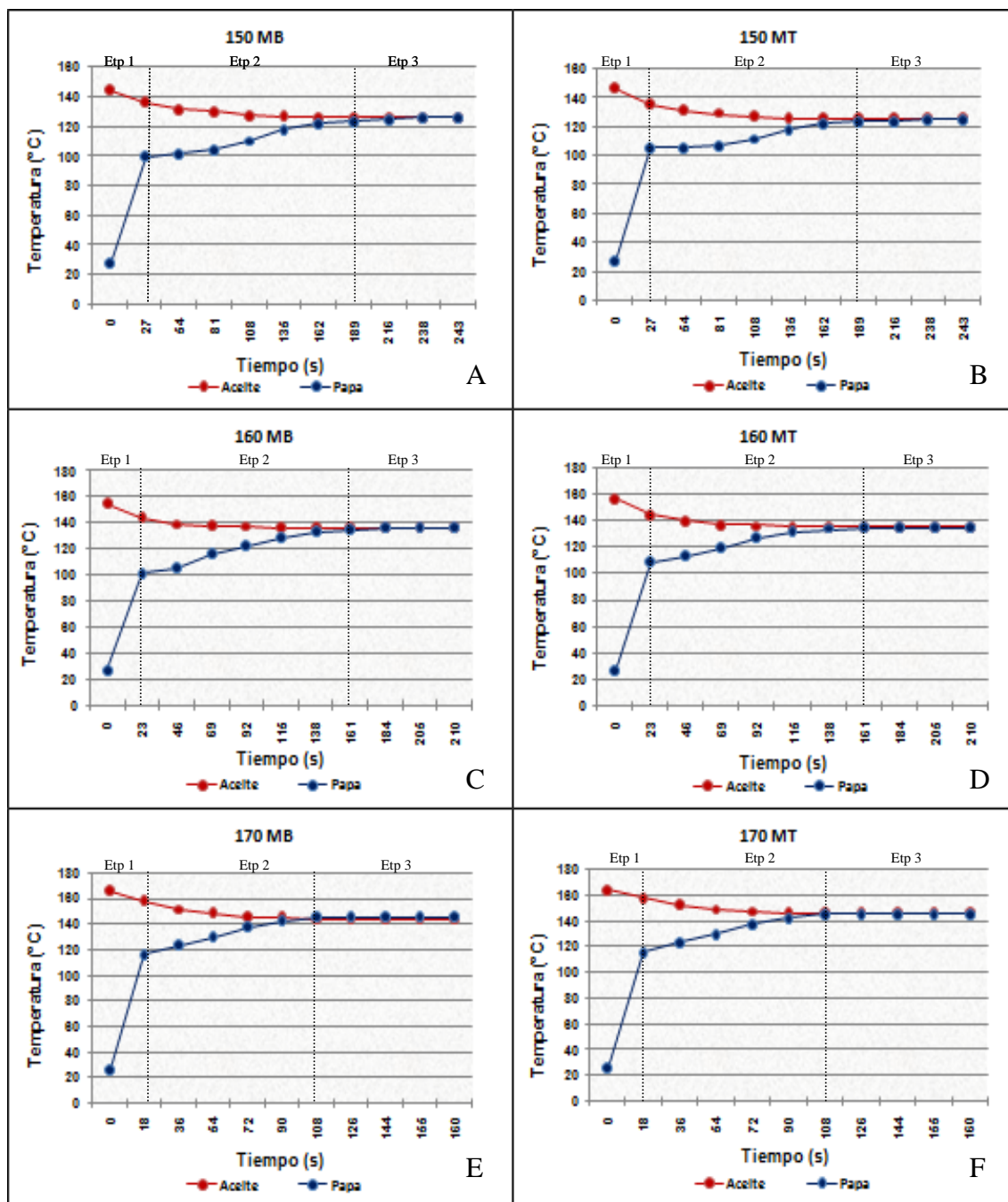


Figura 15: Asparragina libre. Diferencias significativas entre etapas y entre muestras.

4.2 Etapa de tratamiento: fritura a presión reducida

Los parámetros controlados, temperatura del aceite y temperatura de la papa se registraron con termocuplas colocadas en las rodajas y en el aceite. Un vacuómetro registró el descenso de la presión (mm Hg) durante el tiempo de fritura que se controló con cronómetro (Anexo 2). La Figura 16 grafica estas variaciones.



MB: Muestra blanco; MT: Muestra ensayo; Etp: Etapa.

Figura 16: Variación del tiempo y temperatura en los seis tratamientos de fritura. (A) 150 MB; (B) 150 MT; (C) 160 MB; (D) 160 MT; (E) 170 MB y (F) 170 MT.

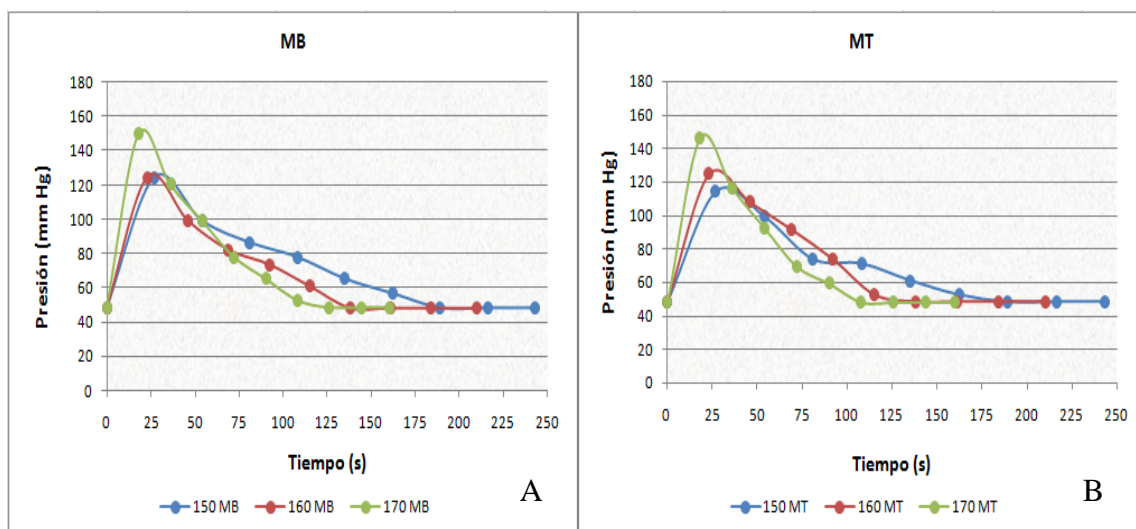


Figura 17: Variación del tiempo y presión en los tratamientos de fritura. (A) MB; (B) MT

En la Figura 16 (A-F) y 17 (A-B), se aprecia el comportamiento de los parámetros de tiempo, temperaturas y presión reducida en los seis tratamientos de fritura. En todos ellos, la temperatura inicial de la rodaja de papa fue levemente superior a la temperatura ambiente, 27°C (Anexo 2). Esta temperatura fue la que se alcanzó en el espacio de cabeza de la freidora, a los pocos segundos de haber sido cerrada herméticamente.

En el momento en que las rodajas de papa se sumergieron en el aceite (etapa 1), se observaron los siguientes cambios para los parámetros controlados en cada tratamiento, seis en total. La temperatura de la papa subió hasta 100 - 116°C, la presión absoluta aumentó de 48 mm Hg a 124 - 150 mm Hg y la temperatura del aceite disminuyó entre 7 y 13°C. Estos cambios se produjeron entre 18-27 segundos y se explican porque simultáneamente se produjeron fenómenos de transferencia de masa y de calor (Singh, 1995; Fan *et al.*, 2005). El agua contenida en las rodajas de papa alcanzó rápidamente su punto de ebullición, que estuvo disminuido por el efecto de la presión reducida (Garayo y Moreira, 2002; Fan *et al.*, 2005) y se desprendió en forma de vapor produciéndose la deshidratación (Aguilera y Stanley, 1999; Gertz *et al.*, 2003;

Moreira, 2007). Esta transferencia de masa generó mucho vapor en poco tiempo, haciendo que la presión del sistema aumente. El fenómeno de transferencia de calor correspondió, en este caso, al calor que se traspasó por convección desde el aceite a las rodajas de papa y en su interior (núcleo) calentó el agua por conducción generándose el vapor y como consecuencia disminuyó la temperatura del aceite.

A continuación, la presión del sistema disminuyó en forma gradual hasta alcanzar nuevamente los 48 mm Hg debido a que se generó cada vez menos vapor de agua proveniente de las rodajas de papa. La temperatura del interior de las rodajas de papa (núcleo) aumentó lentamente y la temperatura del aceite de fritura descendió gradualmente. Los tiempos parciales transcurridos para esta etapa 2 fueron de 162, 138 y 90 segundos respectivamente para las temperaturas de 150°C, 160°C y 170°C.

Este ascenso de temperatura en la papa y descenso de temperatura en el aceite finalizó cuando ambas temperaturas se igualaron permaneciendo constante, hasta terminar los procesos de fritura que demoraron entre 49 y 54 segundos para las tres temperaturas ensayadas (etapa 3).

De acuerdo a los valores comentados, de las Figuras 16 y 17, se desprende que la transferencia de calor se produjo en distintos tiempos según el tratamiento empleado. A medida que aumentó la temperatura de proceso, disminuyó el tiempo necesario para que este fenómeno ocurriera. Es así como en los tratamientos a 150°C, 160°C y 170°C, los tiempos fueron de 189, 161 y 108 segundos respectivamente (etapa 1+2).

Se observó que el tiempo total de fritura (etapa 1+2+3) estuvo influenciado fuertemente por la etapa 2 que está directamente relacionada con la temperatura de fritura, ya que los tiempos totales fueron de 243, 210 y 160 segundos respectivamente para las temperaturas de 150°C, 160°C y 170°C. La Figura 18 muestra gráficamente la influencia de la temperatura en los tiempos de fritura a presión reducida.

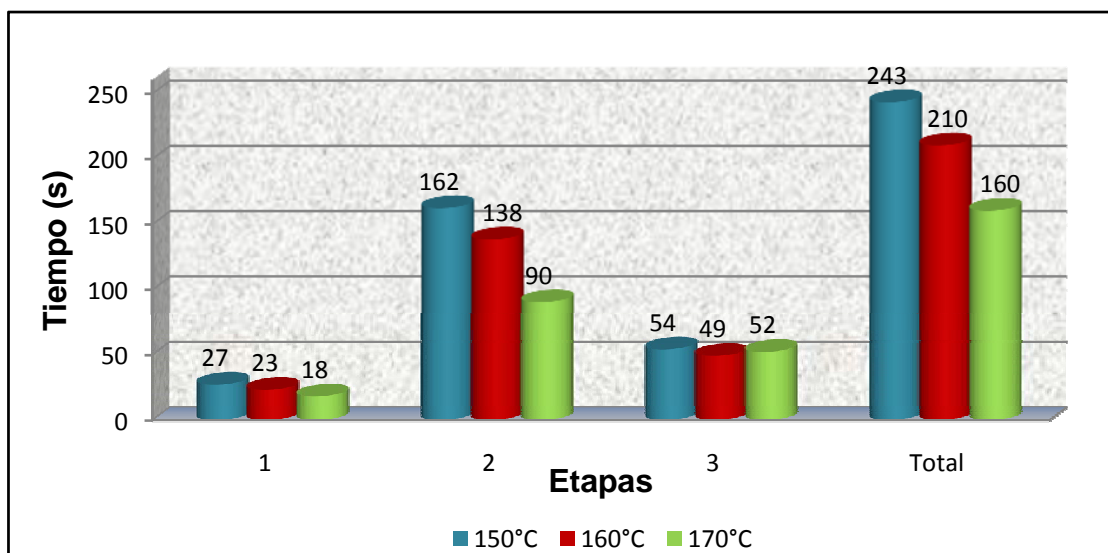


Figura 18: Influencia de la temperatura en los tiempos de fritura a presión reducida

De la Figura 18 se observa claramente que la etapa 2 contribuye mayoritariamente a la diferencia entre los tiempos totales de fritura. El procedimiento industrial de fritura de papa se realiza a presión atmosférica y a temperatura del orden de los 180°C demorando tiempos entre 90 y 180 segundos (Moyano y Pedreschi, 2006). En ensayos de laboratorio realizados con la misma variedad de papa Panda, sometidas a proceso de fritura a presión atmosférica y a 150°C, 160°C y 170°C (Muñoz, 2007), los tiempos fueron de 480, 420 y 300 segundos respectivamente, los que prácticamente fueron el doble de los obtenidos en este estudio, los cuales fueron estadísticamente significativos (Anexo 2). Esto demuestra el efecto favorable del empleo de presión reducida en el tratamiento de fritura de papas chips.

4.3 Caracterización química de las papas chips

La Tabla 5 presenta los valores promedios de humedad efectuados a las muestras de papas chips obtenidas de los distintos procesos de fritura a presión reducida y a dos muestras comerciales.

Tabla 5: Humedad de los distintos procesos de fritura a presión reducida y muestras comerciales.

Muestra	Humedad (g%)		
	Lote 1 ^b	Lote 2 ^a	Lote Control ^{ab}
150 MB	5,5	1,3	--
160 MB	1,0	1,3	--
170 MB	1,0	0,6	--
150 MT	3,8	1,3	--
160 MT	2,5	0,5	--
170 MT	3,3	0,4	--
CC1	--	--	1,2
CC2	--	--	1,5
$\bar{x} \pm s$	2,8 \pm 1,7	0,9 \pm 0,4	1,3 \pm 0,2

MB: Muestras blanco; MT: Muestras ensayo; CC: Muestras comerciales
 Letras distintas en la columna indica diferencias significativas ($p\text{-value} < 0,05$) entre lotes (Anexo 3).

De la Tabla 5 y Anexo 3 se deduce que hay diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) entre las humedades del lote 1 (2,8 g%) con el lote 2 (0,9 g%). El valor esperado era de 2 g%. Las desviaciones obtenidas se explicarían por las dificultades que se presentaron durante la puesta en práctica de los tratamientos de fritura a presión reducida. No se encontró diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) entre las humedades de cada lote con las muestras comerciales (1,3 g%, lote control). Esto indica que los valores encontrados en este trabajo están dentro de lo que industrialmente se maneja para este producto.

Dado que se encontró diferencia significativa en las humedades entre ambos lotes, se decidió, para efecto de comparar contenido de materia grasa y acrilamida, la expresión de los respectivos valores en base seca, indicados en la Tabla 6 y Anexo 3.

Tabla 6: Contenido de materia grasa y acrilamida expresado por 100 g de papa seca y pH de las papas chips y muestras controles comerciales

Muestras	Materia Grasa (g/100g papa seca)			Acrilamida ($\mu\text{g/kg}$ papa seca)			pH	
	Lote 1	Lote 2	Lote Control	Lote 1	Lote 2	Lote Control	Lote 1	Lote 2
150 MB	36,0	39,0	--	ND	89	--	6,1	6,1
160 MB	35,6	36,0	--	45	224	--	6,0	6,1
170 MB	34,8	36,5	--	56	271	--	6,0	6,1
150 MT	35,3	32,5	--	ND	<2 *	--	4,3	4,3
160 MT	36,1	41,6	--	ND	2 *	--	4,0	4,0
170 MT	35,7	39,2	--	ND	4 *	--	4,0	4,1
CC1	--	--	31,5	--	--	2189 \pm 33	--	--
CC2	--	--	30,1	--	--	537 \pm 15	--	--
$\bar{x} \pm s$	36,6 \pm 0,5	37,5 \pm 3,1	30,8 \pm 1,0	--	--	--	--	--

* Límite de cuantificación = 2

ND: No detectado

El contenido promedio de materia grasa de las papas chips del lote 1 y 2 fue 36,6 y 37,5 g% respectivamente que fueron estadísticamente iguales ($p\text{-value} > 0,05$) (Anexo 3). Ellos son significativamente más altos que el encontrado para las dos muestras comerciales que fue de 30,8 g%. Esta diferencia se puede explicar debido a que la absorción del aceite en las papas chips aumenta notablemente después que la hojuela se retira de la freidora. El aceite que se encuentra en la superficie de las papas chips, es succionado, debido a que se produce un diferencial de presión (vacío) provocado por la condensación de vapor en los espacios internos de la papa aumentando el contenido graso (Moreira *et al.*, 1997; Ufheil y Escher, 1996). En la práctica industrial se trata de obtener las papas chips con el menor contenido graso, que normalmente para este producto se maneja en un valor del orden del 30%. Para lograr este objetivo se recomienda usar aire caliente. Otra alternativa tecnológica es centrifugar al vacío al finalizar el proceso de fritura de las hojuelas (Moreira, 2007). En este trabajo no se contó con los medios tecnológicos para aplicar estos procedimientos. Para futuros ensayos se recomienda implementar algunas de estas tecnologías.

La Tabla 6 muestra los valores del contenido de acrilamida de las papas chips de los seis procesos de fritura a presión reducida y sus respectivos pH, se incluye el valor de acrilamida para dos muestras de papas chips comerciales.

En relación al Lote 1, papas chips MB provenientes de las hojuelas sometidas sólo a la etapa inicial de lavado y fritas a las tres temperaturas programadas, los valores obtenidos para acrilamida fueron no detectado, 45 y 56 µg/kg para las frituras a 150°C, 160°C y 170°C respectivamente. Estos resultados no fueron significativamente diferentes, a excepción de la muestra 150 MB que tuvo diferencia significativa con 160 MB y 170 MB (Anexo 3). Las papas chips MT provenientes de las hojuelas sometidas a la etapa inicial de lavado seguida de la etapa de pretratamiento y fritas a las tres temperaturas programadas señalaron ausencia de acrilamida y el resultado se informó como no detectado (ND). Al comparar las muestras blanco (MB) con las muestras ensayo (MT) se obtuvo diferencia significativa entre ellas, indicando que el pretratamiento influyó significativamente en la reducción de acrilamida, excepto para la muestra 150 MB (Anexo 3).

En relación al Lote 2, los valores obtenidos para acrilamida, en las papas chips MB, fueron 89, 224 y 271 µg/kg para 150°C, 160°C y 170°C respectivamente. Estos resultados fueron significativamente diferentes (Anexo 3), lo que indica que a mayor temperatura mayor formación de acrilamida (Dunovská *et al.*, 2004; Haase *et al.*, 2003). Las papas chips MT mostraron valores entre <2 y 4 µg/kg de acrilamida los cuales son muy bajos ya que 150 MT y 160 MT prácticamente están en el límite de detección de 2 µg/kg (Rosén, 2006). Al comparar las muestras blanco (MB) con las muestras ensayo (MT) se obtuvo diferencia significativa entre ellas, indicando que el pretratamiento influyó significativamente en la reducción de acrilamida (Anexo 3). Este efecto es, en parte, consecuencia del cambio de pH (ya explicado en el punto 4.1) que se obtuvo para todas las muestras MB del Lote 1 y 2 (pH 6) comparado con el pH 4 de todas las muestras MT del lote 1 y 2 (Tabla 6).

Aunque los valores individuales para ambos lotes fueron distintos, se obtuvo diferencia significativa entre las muestras blanco y las muestras ensayo en relación a la disminución del contenido de acrilamida cuando se aplicó la etapa de pretratamiento.

En ensayos de laboratorio realizados con la misma variedad de papa Panda, sometidas a la etapa inicial de lavado seguido de fritura a presión atmosférica a 150°C, 160°C y 170°C, los contenidos de acrilamida fueron de 496, 521 y 808 µg/kg respectivamente (Muñoz, 2007), los cuales fueron superiores a los valores obtenidos en este trabajo. Este hecho, explica el efecto favorable que tiene el empleo de presión reducida sobre la reducción del contenido de acrilamida (Garayo y Moreira, 2002; Fan *et al.*, 2005).

Las Figuras 19 y 20 grafican los contenidos de acrilamida de los 6 tratamientos de fritura a presión reducida (Lote 1 y 2, por separado) y para efecto de comparación se han incluido los valores de acrilamida de las dos muestras comerciales CC1 y CC2. Cabe destacar que el valor más alto (2189 µg/kg) correspondió a la misma variedad Panda empleada en este estudio, frita a 180°C y a presión atmosférica.

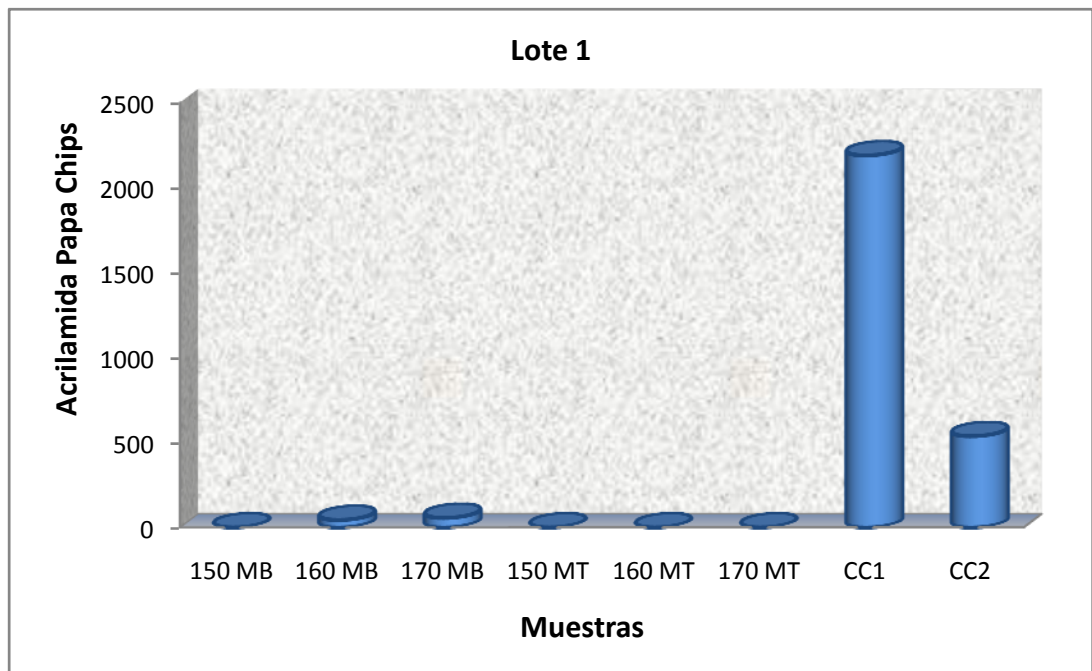


Figura 19: Contenido de acrilamida de papas *chips* Lote 1.

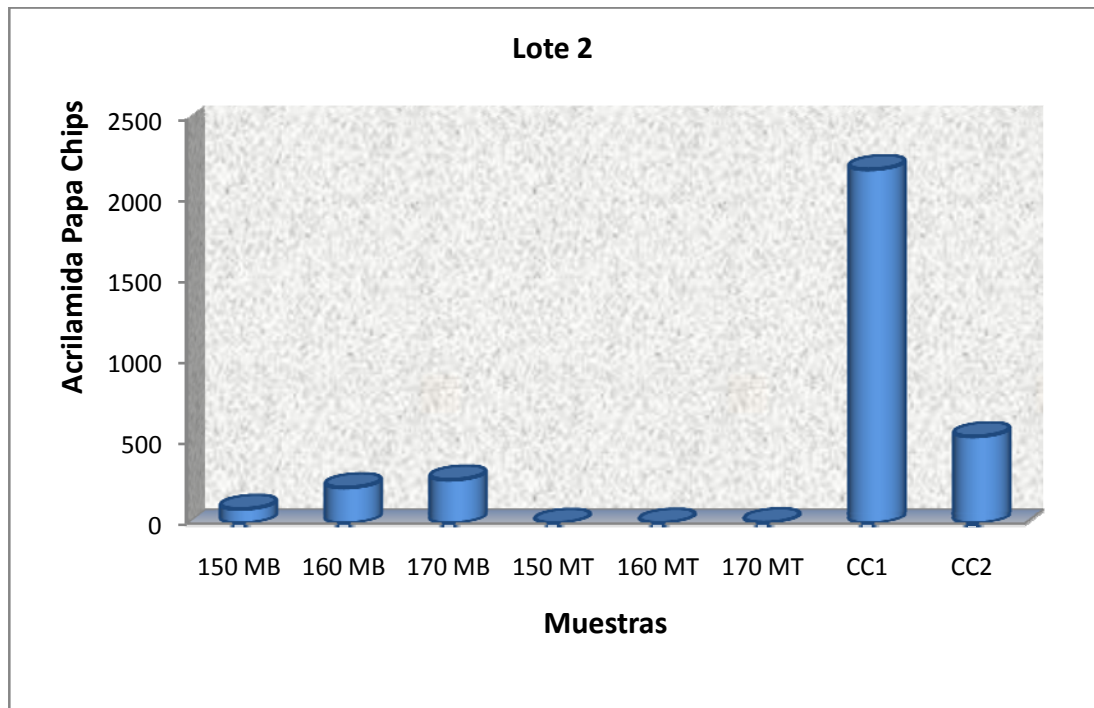


Figura 20: Contenido de acrilamida de papas *chips* Lote 2

El objetivo principal de esta investigación fue reducir el contenido de acrilamida de papas *chips*. Este efecto se corroboró, ya que todas las muestras sometidas al proceso de fritura a presión reducida presentaron valores significativamente más bajos que las muestras comerciales frita a presión atmosférica (Anexo 3).

Se calculó el porcentaje de reducción del contenido de acrilamida utilizando como referencia la muestra control comercial CC1, ya que es la marca que emplea la misma variedad de papa (variedad Panda) que se ocupó en esta investigación. Las Figuras 21 y 22 grafican estos porcentajes de reducción.

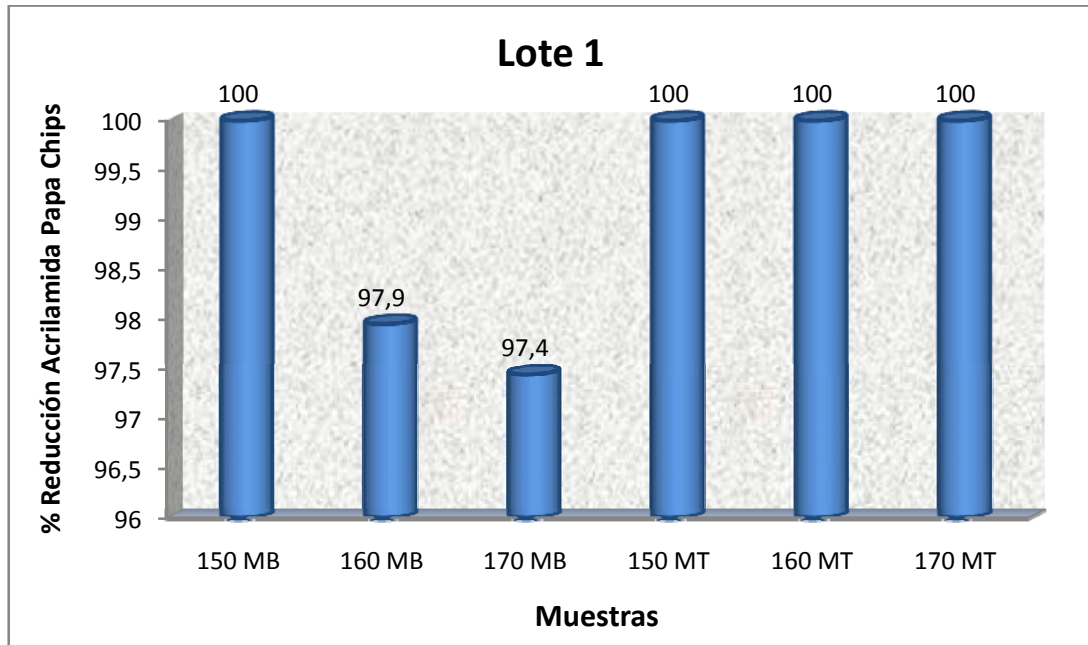


Figura 21: Reducción de acrilamida de papas *chips* Lote 1

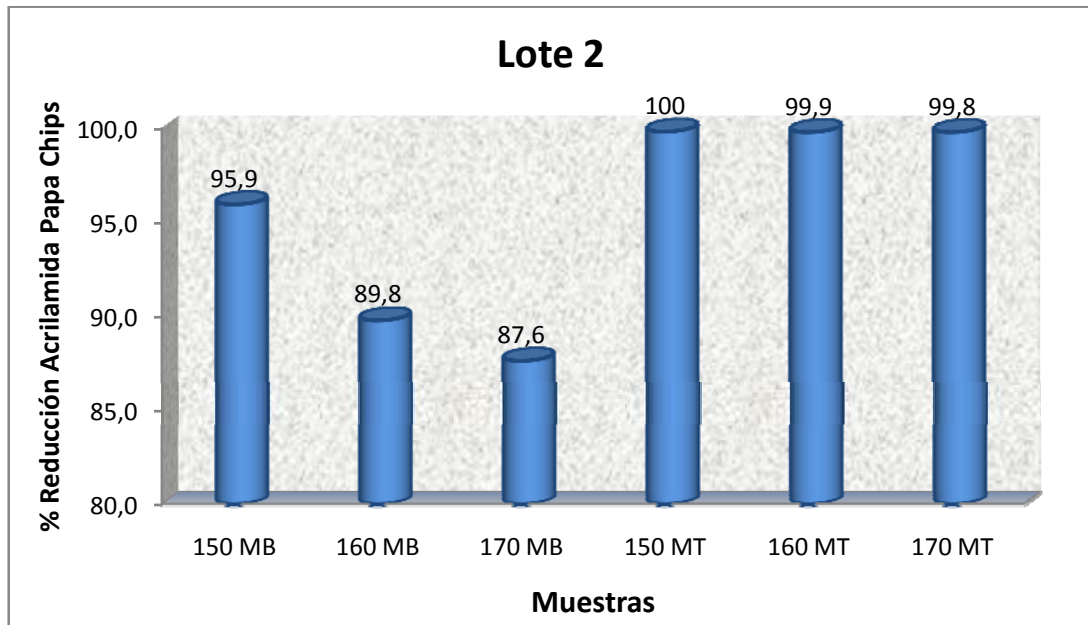


Figura 22: Reducción de acrilamida de papas *chips* Lote 2

En la Figura 21 y 22 se observan los porcentajes de reducción entre las papas sometidas a pretratamiento y las papas blanco, en ellas puede apreciarse que todas

las muestras (Lote 1 y 2) sometidas a las etapas inicial, pretratamiento y tratamiento (MT) redujeron prácticamente en un 100% el contenido de acrilamida de las papas chips, mientras que las muestras sometidas a las etapas inicial y tratamiento (MB) redujeron la acrilamida en menor proporción, con una reducción entre 100% y 87,6%. Es importante señalar que en ambos lotes, a medida que se aumentó la temperatura el porcentaje de reducción de la acrilamida fue menor.

Al evaluar y analizar cuál es la mejor papa chips con respecto a sus parámetros químicos, se concluye que la muestra 150MT es la papa chips con menor contenido de acrilamida (ND), menor porcentaje de aceite, 33,9% (Anexo 3) y un porcentaje de humedad cercana al 2% (Anexo 3).

4.4 Evaluación sensorial de las papas chips.

Las Tablas 7 y 8 resumen los valores de aceptabilidad promedio y el nivel de agrado de los consumidores de las muestras de papas chips sometidas a los distintos procesos de fritura a presión reducida y una muestra comercial. El detalle de estos valores, considerando resultados parciales, promedios y desviaciones estándar, además, de los análisis estadísticos para determinar las existencias de diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre ambos lotes y entre muestras, son detallados en el Anexo 4.

Tabla 7: Valor promedio de aceptabilidad por muestras.

Muestra	Aceptabilidad			
	Lote 1	Lote 2	$\bar{x} \pm s$	Dif. Significativas
150 MB	4,28 ¹	4,82 ¹	4,55 \pm 0,38	b
160 MB	5,18 ¹	5,48 ¹	5,33 \pm 0,21	a
170 MB	4,58 ¹	5,54 ²	5,06 \pm 0,68	ab
150 MT	3,10 ¹	3,48 ¹	3,29 \pm 0,27	c
160 MT	4,00 ¹	3,02 ²	3,51 \pm 0,69	c
170 MT	3,74 ¹	3,20 ¹	3,47 \pm 0,38	c
CC	5,08 ¹	4,58 ¹	4,83 \pm 0,35	ab

Números distintos en la fila indica diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) entre lotes.

Letra distinta en la columna indica diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) entre muestras.

CC: muestra control comercial.

Tabla 8: Nivel de agrado de los consumidores según la aceptabilidad

Muestras	% Agrado	% Desagrado	% Ni desagrado ni Agrado	%Total
150 MB	56	29	15	100
160 MB	79	16	5	100
170 MB	65	23	12	100
150 MT	22	56	22	100
160 MT	34	54	12	100
170 MT	30	52	18	100
CC	59	21	20	100

Los resultados de las Tablas 8 y 9 muestran que la muestra mejor evaluada es la 160 MB con un promedio de aceptabilidad de 5,33. El 79% de los consumidores la encontró agradable, 5% no le desagradó ni le agradó y sólo un 16 % indicó desagrado. Es importante destacar que esta muestra no presentó diferencia significativa ($p\text{-value} < 0,05$) con la muestra control comercial, incluso fue mejor evaluada, ya que ésta, sólo obtuvo 4,83 como promedio de aceptabilidad y 59% de agrado según los consumidores. Según observaciones de los consumidores, encontraron a la muestra 160 MB más pálida (menos quemada) que la muestra comercial.

Le siguen en orden decreciente de aceptabilidad, la muestra 170 MB con un promedio de 5,06 y 65% de agrado, la muestra 150 MB con un promedio de 4,55 y 56% de agrado. Cabe destacar que las muestras blanco MB fueron las mejores evaluadas sin mostrar diferencia significativas con la muestra comercial, mientras que las muestras que obtuvieron menor aceptabilidad correspondieron a las muestras ensayo MT. Según observaciones de los consumidores, las muestras MT presentaron un sabor levemente ácido. La muestra 150 MT obtuvo el puntaje más bajo (3,29), presentando un 56% de desagrado. Para futuros ensayos se recomienda utilizar otras concentraciones u otra solución ácida.

El valor de aceptabilidad no presentó diferencia significativa entre los lotes en la mayoría de las muestras salvo las muestras 170 MB y 160 MT, lo que se explicaría por variaciones inherente a los juicios emitidos por un panel no entrenado de consumidores (Anexo 4).

5. CONCLUSIONES

- Se comprobó la hipótesis al obtener papas *chips* prácticamente libres de acrilamida al modificar las condiciones que favorecen la reacción de Maillard.
- El empleo secuencial y complementario de la etapa inicial seguida de la etapa de pretratamiento disminuyeron significativamente el contenido de precursores de la formación de acrilamida en las papas *chips*.
- El empleo de presión reducida en la fritura de papas *chips*, permitió disminuir considerablemente los tiempos de fritura, debido a que disminuye el punto de ebullición del agua que está contenida en las rodajas de papa cruda.
- Se comprobó que a mayor temperatura de fritura, mayor es el contenido de acrilamida en las papas *chips*.
- La mejor muestra obtenida de papa *chips* con respecto a su contenido de acrilamida fue la muestra 150 MT, mientras que la mejor muestra obtenida con respecto a su aceptabilidad fue la muestra 160 MB.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- ACHIPA A.G., Asociación Chilena de la Papa A.G. Panda. [en línea] <http://www.achipa.cl/Html/ficha_tecnica/panda.html> [consulta: 27 Septiembre 2008].
- AGUILERA, J., Stanley, D. Simultaneous Heat and Mass Transfer: Dehydration. En su: Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. 2ª ed. Gaithersburg, Maryland. Aspen Publishers, Inc. pp. 373-407, 1999.
- A.O.A.C. "Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists International", 16th Edition, Gaithersburg, USA, 1993.
- CASTLE, L. Determination of acrylamide monomer in mushrooms grown on polyacrylamide gel. J. Agric. Food Chem. 41: 1261–1263, 1993.
- COHEN, S., Michaud, D. Synthesis of a Fluorescent Derivatizing Reagent, 6-Aminoquinolyl-N-Hydroxysuccinimidyl Carbamate, and Its Application for the Analysis of Hydrolysate Amino Acids via High-Performance Liquid Chromatography. Analytical Biochemistry. 211: 279-287, 1993.
- COSTA, L., Deng, H., Greggotti, C., Manzo, L., Faustman, E., Bergmark, E., Calleman, C. Comparative studies on the neuro and reproductive toxicity of acrylamide and its epoxide metabolite glycidamide in the rat. Neurotoxicology. 13: 219–224, 1992.
- COUGHLIN, J. Acrylamide: What we have learned so far. Food Technology. 57(2): 100, 2003.
- DAVIES, A. The free amino acids of tuber varieties grown in England and Ireland. Potato Research, 20: 9–21, 1977.
- DEARFIELD, K., Abernathy, C., Ottley, M., Brantner, J., Hayes, P. Acrylamide: Its metabolism, developmental and reproductive effects, genotoxicity, and carcinogenicity. Mutation Research. 195: 45–77, 1988.

- DEARFIELD, K., Douglas, G., Ehling, U., Moore, M., Sega, G., Brusick, D. Acrylamide: A review of its genotoxicity and an assessment of heritable genetic risk. Mutation Research. 330: 71–99, 1995.
- DUNOVSKÁ, L., Hajšlová, J., Čajka, T., Holadová, K., Hájková, K. Changes of acrylamide levels in food products during technological processing. Czech J. Food Sci. 22, Special Issue, 283-286, 2004.
- FAN, L., Zhang, M., Xiao, G., Sun, J., Tao, Q. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International J. of Food Science and Technology. 40, 911-919, 2005.
- GAO, J., Liang, Y. Study on vacuum frying sweet potato chips. Science and Technology of the Food Industry. 20: 30-33, 1999.
- GARAYO, J., Moreira, R. Vacuum frying of potato crisps. J. Food Engineering. 55 (2): 181–191, 2002.
- GERTZ, C., Klostermann, S., Kochhar, P. Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. Oléagineux Corps Gras Lipides. 10(4): 297-303, 2003.
- GÖKMEN V, Palazoğlu T, Şenyuva H. Relation between the acrylamide formation and time–temperature history of surface and core regions of French fries. Journal of Food Engineering. 77: 972–976, 2006.
- GRANDA, C., Moreira, R., Tichy, S. Reduction of acrylamide formation in potato crisps by low-temperature vacuum frying. Journal of Food Science. 69 (8): 405-411, 2004.

- HAASE, U., Matthaus, B., Vosmann, K. Acrylamide formation in foodstuffs - Minimising strategies for potato crisps. Deutsche Lebensm. Rund. 99 (3): 87-90, 2003.
- HERNANDEZ, L. Implementación de una metodología analítica para la cuantificación de acrilamida en papas chips por HPLC MS/MS. Memoria (Químico Farmacéutico). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, 2007.
- HIPPE, J. HPLC-analysis of the concentrations of free asparagine and glutamine in potato tubers grown in varying amounts of nitrogen. Potato Research, 31: 535–540, 1988.
- IARC. Acrylamide. In IARC monograph on the evaluation of carcinogen risk to humans: some industrial chemical. International Agency for Research on Cancer. Lyon, Francia. 60: 389-433, 1994.
- ISHIHARA, K., Matsunaga, A., Nakamura, K., Sakuma, K., Koga, H. Examination of conditions inhibiting the formation of acrylamide in the model system of fried potato. Biosci. Biotechnol. Biochem. 70(7), 1616-1621, 2006.
- JUNG, M., Choi, J., Ju, J. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fries and baked corn crisps and in French fries. Journal of Food Science. 68(4): 1287-1290, 2003.
- LOPACHIN, R., Lehning, E. Acrylamide induced distal axon degeneration. A proposed mechanism of action. Neurotoxicology. 15: 247–260, 1994.

- LOW, M., Koutsidis, G., Parker, J., Elmore., Dodson. A., Mottram. D. Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. J. Agric. Food Chem. 52: 7011-7016, 2006.
- MARTIN, F., Ames, J. Formation of Strecker aldehydes and pyrazines in a fried potato model system. J. Agric. Food Chem. 49: 3885-3892, 2001.
- MASSON, L., Romero, N., Castro, J., Robert, P. Informe de avance Proyecto HEATOX 506820. Wageningen, Holanda, 2005.
- MASSON, L., Muñoz, J., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. Acrilamida en papatata fritas: revisión actualizada. Grasas y Aceites. 58: 185-193, 2007.
- MITTELMAN, N., Mizrahi, S., Berk, Z. Heat and mass transfer in frying. Engineering and Food. 109-116, 1984.
- MLOTKIEWICZ, J. The Role of the Maillard Reaction in the Food Industry. In: O'Brien J et al. The Maillard Reaction in Foods and Medicine. Ed. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, U.K: 19-27, 1998.
- MOREIRA, R., Sun, X., Chen, Y. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. Journal of Food Engineering. 31: 485-498, 1997.
- MOREIRA, R. Vacuum frying & acrylamide reduction in potato chips. En: Taller de articulación internacional: Acrilamida en alimentos térmicamente procesados, una visión actual de la investigación en su formación, reducción, análisis y riesgo para la salud: 24-26 Abril del 2007. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de

Ciencias Químicas y Farmacéuticas y Centreo de Investigación & Desarrollo en Grasa y Aceites. pp. s.p

- MOTTRAM, D., Wedzicha, B., Dodson, A. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. Nature. 419: 448–449, 2002.
- MOYANO, P., Pedreschi, F. Cinética de absorción de aceite en chips de papa frita bajo diferentes pre-tratamientos [en línea] <<http://www.nestle.cl/Revista%20NSB-10/p26.htm>> [consultado el 7 de Septiembre del 2008].
- MUÑOZ, J. Reducción del contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas por aplicación de pretratamientos y diferentes temperaturas de fritura. Tesis (Magíster en Ciencias Agropecuarias Mención Producción Agroindustrial). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2007.
- NAMIKI, M. Chemistry of Maillard reactions: Recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens. Adv. Food Res. 32: 115-84, 1988.
- NÚÑEZ, H. Calidad en la producción de papas fritas. En: Hurtado ML. Presente y perspectivas de la industria de snacks en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 50. Santiago, Chile. 41-48, 2001.
- OLSSON, K., Svensson, R., Roslund, C. Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. Journal of the Science of Food Agriculture. 84: 447–458, 2004.

- OSBORNE, D., Voogt, P. Análisis de los nutrientes de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 136-137, 1986.
- PEREZ-TINOCO, M., Perez, A., Salgado-Cervantes, M., Reynes, M., Vaillant, F. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. Journal of the Science of Food and Agriculture. 88: 945-953, 2008.
- PETERSSON, E., Rosén, J., Turner, C., Danielsson, R., Hellenäs, K. Critical factors and pitfalls affecting the extraction of acrylamide from foods: An optimisation study. Analytica Chimica Acta. 557: 287–295, 2006.
- RICE, J. The carcinogenicity of acrylamide. Mutation Research. 580: 3–20, 2005.
- ROSÉN, J., Hellenäs, KE. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. Analyst. 127: 880-882, 2002.
- ROSÉN, J. Acrylamide samples [en línea] En: <Imasson@ciq.uchile.cl> Jueves 23 Noviembre del 2006 <johan.rosen@slv.se> [consulta: 6 Septiembre del 2008]
- SCHMIDT-HEBBEL, H., Pennacchiotti, I., Masson, L. y Mella, M. En su: Tabla de composición química de los alimentos chilenos. 8^{va} Ed. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. pp. 21, 1992.
- SHYU, S., Hau, L., Hwang, L. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. Journal of American Oil Chemical Society. 75: 1393–1398, 1998.
- SINGH, R. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. Food Technology. 49(4): 134-137, 1995

- STADLER, R., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P., Robert, M., Riediker, S. Acrylamide from Maillard reaction products. Nature. 419: 449-450, 2002.
- SURDYK, N., Rose  n, J., Andersson, R., Aman, P. Effects of Asparagine, Fructose, and Baking. Conditions on Acrylamide Content in Yeast-Leavened Wheat Bread. J. Agric. Food Chem. 52: 2047-2051, 2004.
- TAEYMANS, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R., Gond  , P., Van Eijck, P., Lalljie, S., Lingnert, H., Lindblom, M., Matissek, R., M  ller, D., Tallmadge, D., O'brien, J., Thompson, S., Silvani, D., Whitmore, T. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation, and control. Food Science and Nutrition. 44: 323–347, 2004.
- TAREKE, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., T  rnqvist, M. Acrylamide: A cooking carcinogen? Chemistry Research Toxicology. 13: 517-522, 2000.
- TAREKE, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., T  rnqvist, M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. J. Agric. Food Chemistry. 50: 4998–5006, 2002.
- TILSON, H. The neurotoxicity of acrylamide: An overview. Neurobehavioral Toxicol Teratol. 3: 445–461, 1981.
- TOMLINS, K., Manful, J., Gayin, J., Kudjawu, B and Tamakloe, I. Study of sensory evaluation, consumer acceptability, affordability and market Price of rice. J. Sci Food Agric. 87: 1564-1575. 2007

- UFHEIL, G., Escher, F. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. 29: 640-644, 1996.
- XU, M. Study on the main parameter of the processing of the vacuum frying potato chips. Journal of the Northwest Institute of Light Industry. 14: 93-96, 1996.
- ZYZAK, D., Sanders, R., Stojanovic, M., Tallmadge, D., Ebehart, L., Ewald, D., Gruber, D., Morsch, T., Strothers, M., Rizzi, G., Villagran, M. Acrylamide formation mechanism in heated foods. J. Agric. Food Chemistry. 51: 4782–4787, 2003.

ANEXO 1

Humedad, análisis estadístico y cálculo del porcentaje de reducción de precursores de la acrilamida en las etapas inicial y pretratamiento.

Análisis estadístico y cálculo porcentaje de reducción.

Se comparó promedios entre lotes, entre muestras y entre etapas para determinar si existen diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$).

Para evaluar el efecto de las sub-etapas (cruda, lavada, escaldada y ác. cítrico), se consideró el contenido de precursores de la sub-etapa previa como 100% y se determinó el porcentaje de reducción a partir de este valor.

Humedad

La siguiente tabla muestra los valores de humedad (g%) de las distintas muestras (etapas) previas al proceso de fritura a presión reducida de cada lote.

Muestras (Etapas)	Lote 1			Lote 2		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
Cruda	70,2	68,6	$69,4 \pm 1,1$	72,0	72,6	$72,3 \pm 0,4$
Lavada	73,2	71,8	$72,5 \pm 1,0$	76,3	76,1	$76,2 \pm 0,1$
Escaldad	74,2	73,3	$73,8 \pm 0,6$	77,2	77,1	$77,2 \pm 0,1$
Ác. Cítrico	75,9	75,7	$75,8 \pm 0,1$	79,3	78,3	$78,8 \pm 0,7$

Etapas Cruda

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MI Lote 1: $69,4 \pm 10,165$ [59,235,79,565]
95,0% confidence interval for mean of MI Lote 2: $72,3 \pm 3,81186$ [68,4881,76,1119]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: $-2,9 \pm 3,67619$ [-6,57619,0,776188]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: $t = -3,39419$ **P-value = 0,0769198**

Etapas Lavada

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MIL Lote 1: 72,5 +/- 8,89434 [63,6057,81,3943]
95,0% confidence interval for mean of MIL Lote 2: 76,2 +/- 1,27062 [74,9294,77,4706]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -3,7 +/- 3,04243 [-6,74243,-0,657565]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -5,23259 P-value = 0,0346366

Etapas Escaldada

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MILE Lote 1: 73,75 +/- 5,71779[68,0322,79,4678]
95,0% confidence interval for mean of MILE Lote 2: 77,15 +/- 0,63531[76,5147,77,7853]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -3,4 +/- 1,94811 [-5,34811,-1,45189]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -7,50934 P-value = 0,0172754

Etapas Ác. Cítrico

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MILEAc Lote 1: 75,8 +/- 1,27062 [74,5294,77,0706]
95,0% confidence interval for mean of MILEAc Lote 2: 78,8 +/- 6,3531 [72,4469,85,1531]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -3,0 +/- 2,19393 [-5,19393,-0,806069]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -5,88348 P-value = 0,0276944.

En resumen.

Etapas	Lote 1	Lote 2	p-value	Observación
Cruda	69,4	72,3	0,0769	No existe diferencia significativa
Lavada	72,5	76,2	0,0346	Existe diferencia significativa
Escaldada	73,8	77,2	0,0173	Existe diferencia significativa
Ác. Cítrico	75,8	78,8	0,0277	Existe diferencia significativa

Diferencia significativa p-value $\leq 0,05$

1.- Etapa inicial.

1.1.- Azúcares Directamente Reductores.

La siguiente tabla muestra los valores de azúcares directamente reductores (por 100g de papa seca, expresados en glucosa) de las distintas muestras de cada lote.

Muestra	Lote 1			Lote 2		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
Cruda	1,5	1,4	1,5 \pm 0,1	1,8	1,6	1,7 \pm 0,1
Lavada	1,2	1,4	1,3 \pm 0,1	1,3	1,2	1,3 \pm 0,1

Diferencia entre lotes.

Muestra Cruda

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MC Lote 1: 1,45 +/- 0,63531 [0,81469,2,08531]

95,0% confidence interval for mean of MC Lote 2: 1,7 +/- 1,27062 [0,42938,2,97062]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: -0,25 +/- 0,481051 [-0,731051,0,231051]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -2,23607 P-value = 0,154846

Muestra Lavada

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of ML Lote 1: 1,3 +/- 1,27062 [0,0293795,2,57062]

95,0% confidence interval for mean of ML Lote 2: 1,25 +/- 0,63531 [0,61469,1,88531]

95,0% confidence interval for the difference between the means

assuming equal variances: 0,05 +/- 0,481051 [-0,431051,0,531051]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 0,447214 P-value = 0,698489

Al no existir diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$), se considera que ambos lotes son homogéneos y se informará el promedio de éstos.

Diferencia entre muestras cruda y lavada.

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MC: 1,575 +/- 0,271753 [1,30325,1,84675]
 95,0% confidence interval for mean of ML: 1,275 +/- 0,152348 [1,12265,1,42735]
 95,0% confidence interval for the difference between the means
 assuming equal variances: 0,3 +/- 0,23954 [0,0604602,0,53954]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = 3,06452 P-value = 0,0220965

Existe diferencia significativa ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre muestras.

Cálculo del Porcentaje de Reducción.

Muestra	g/100g de papa seca	% Azúcares directamente reductores	% Reducción A.D.R.
Cruda	1,6	100	0,0
Lavada	1,3	81,3	18,8

A.D.R: Azúcares Directamente Reductores

1.2.- Asparragina libre.

La siguiente tabla muestra los valores de asparragina (mg/kg de papa seca) de las distintas muestras de cada lote.

Muestra	Lote 1			Lote 2		
	Muestra1	Muestra2	$\bar{x} \pm s$	Muestra1	Muestra2	$\bar{x} \pm s$
Cruda	7391	6674	7033 \pm 507	7343	8245	7794 \pm 638
Lavada	6938	7529	7234 \pm 418	8771	7866	8319 \pm 640

Diferencia entre lotes.

Muestra Cruda

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MC Lote 1: 7032,5 +/- 4555,17 [2477,33,11587,7]
 95,0% confidence interval for mean of MC Lote 2: 7794,0 +/- 5730,5 [2063,5,13524,5]
 95,0% confidence interval for the difference between the means
 assuming equal variances: -761,5 +/- 2478,88 [-3240,38,1717,38]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -1,32176 P-value = 0,317179

Muestra Lavada

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of ML Lote 1: 7233,5 +/- 3754,68 [3478,82,10988,2]
95,0% confidence interval for mean of ML Lote 2: 8318,5 +/- 5749,56 [2568,94,14068,1]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -1085,0 +/- 2325,33 [-3410,33,1240,33]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -2,00762 P-value = 0,18247

Al no existir diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$), se considera que ambos lotes son homogéneos y se informará el promedio de éstos.

Diferencia entre muestras cruda y lavada.

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MC: 7413,25 +/- 1024,55 [6388,7,8437,8]
95,0% confidence interval for mean of ML: 7776,0 +/- 1219,26 [6556,74,8995,26]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -362,75 +/- 1224,5 [-1587,25,861,75]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2

Alt. hypothesis: mean1 NE mean2

assuming equal variances: t = -0,724883 P-value = 0,495809

No existe diferencia significativa ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre muestras.

Cálculo del Porcentaje de Reducción.

Muestra	mg/kg papa seca	% Asparragina	% Reducción Asparragina
Cruda	7413	100	0,0
Lavada	7776	104,9	0,0

2.- Etapa Pretratamiento.

2.1.- Azúcares directamente reductores.

La siguiente tabla muestra los valores de azúcares directamente reductores (por 100g de papa seca, expresados en glucosa) de las distintas muestras de cada lote.

Muestra	Lote 1			Lote 2		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
Escaldada	1,1	1,0	1,1 \pm 0,1	1,0	1,1	1,1 \pm 0,1
Ác. Cítrico	0,8	1,0	0,9 \pm 0,1	0,9	1,1	1,0 \pm 0,1

Diferencia entre lotes

Muestra Escaldada

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of ME Lote 1: 1,05 +/- 0,63531 [0,41469,1,68531]
95,0% confidence interval for mean of ME Lote 2: 1,05 +/- 0,63531 [0,41469,1,68531]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 0,0 +/- 0,304243 [-0,304243,0,304243]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 0,0 P-value = 1,0

Muestra Ácido Cítrico

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MAC Lote 1: 0,9 +/- 1,270 [-0,37062,2,17062]
95,0% confidence interval for mean of MAC Lote 2: 1,0 +/- 1,270 [-0,27062,2,27062]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -0,1 +/- 0,608487 [-0,708487,0,508487]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = -0,707107 P-value = 0,552786

Al no existir diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$), se considera que ambos lotes son homogéneos y se informará el promedio de éstos.

Diferencia entre muestra escaldada y ácido cítrico.

Comparison of Means

```
-----
95,0% confidence interval for mean of ME: 1,05 +/- 0,0918694 [0,958131,1,14187]
95,0% confidence interval for mean of MAc: 0,95 +/- 0,205426 [0,744574,1,15543]
95,0% confidence interval for the difference between the means
    assuming equal variances: 0,1 +/- 0,173023 [-0,0730232,0,273023]
```

t test to compare means

```
Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
    assuming equal variances: t = 1,41421    P-value = 0,207031
```

No existe diferencia significativa ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre muestras.

Cálculo del porcentaje de reducción.

Muestra	g/100g de papa seca	% Reducción Azúcares Directamente Reductores
Lavada	1,3	--
Escaldada	1,1	15,4
Ác. Cítrico	1,0	9,1

2.2.- Asparragina libre.

La siguiente tabla muestra los valores de asparragina (mg/kg de papa seca) de las distintas muestras de cada lote.

Muestra	Lote 1			Lote 2		
	Muestra1	Muestra2	$\bar{x} \pm s$	Muestra1	Muestra2	$\bar{x} \pm s$
Escaldada	6675	5745	6210 \pm 658	6675	5887	6281 \pm 557
Ác. Cítrico	2094	2665	2380 \pm 404	2663	3421	3042 \pm 536

Diferencia entre lotes

Muestra Escaldada

Comparison of Means

```
-----
95,0% confidence interval for mean of ME Lote 1: 6210,0 +/- 5908,39 [301,615,12118,4]
95,0% confidence interval for mean of ME Lote 2: 6281,0 +/- 5006,24 [1274,76,11287,2]
95,0% confidence interval for the difference between the means
    assuming equal variances: -71,0 +/- 2622,36 [-2693,36,2551,36]
```

t test to compare means

```
Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
    assuming equal variances: t = -0,116494    P-value = 0,917905
```

Muestra Ác. Cítrico

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of MILEAc Lote 1: 2379,5 +/- 3627,62
[-1248,12,6007,12]
95,0% confidence interval for mean of MILEAc Lote 2: 3042,0 +/- 4815,65
[-1773,65,7857,65]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -662,5 +/- 2041,61 [-2704,11,1379,11]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = -1,3962 P-value = 0,297439

Al no existir diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$), se considera que ambos lotes son homogéneos y se informará el promedio de éstos.

Diferencia entre muestra escaldada y ácido cítrico

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of ME: 6245,5 +/- 794,531 [5450,97,7040,03]
95,0% confidence interval for mean of MAc: 2710,75 +/- 866,309 [1844,44,3577,06]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 3534,75 +/- 903,808 [2630,94,4438,56]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 9,56979 P-value = 0,0000743855

Existen diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre muestras.

Cálculo del Porcentaje de Reducción

Muestra	mg/kg de papa seca	% Reducción Asparragina libre
Lavada	7776	--
Escaldada	6246	19,7
Ác. Cítrico	2711	56,6

3.- Diferencia entre etapas y muestras

3.1- Azúcares directamente reductores

Analysis of Variance for Azucares directamente reductores - Type III Sums of Squares

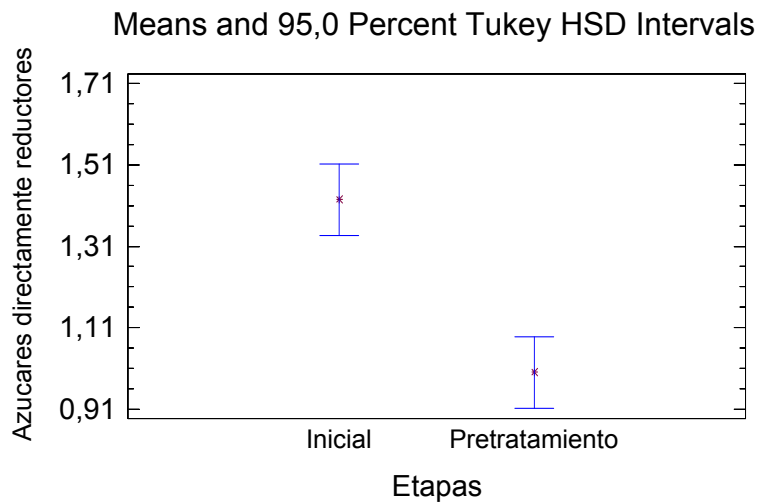
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Etapas	0,7225	1	0,7225	26,97	0,0001
RESIDUAL	0,375	14	0,0267857		
TOTAL (CORRECTED)	1,0975	15			

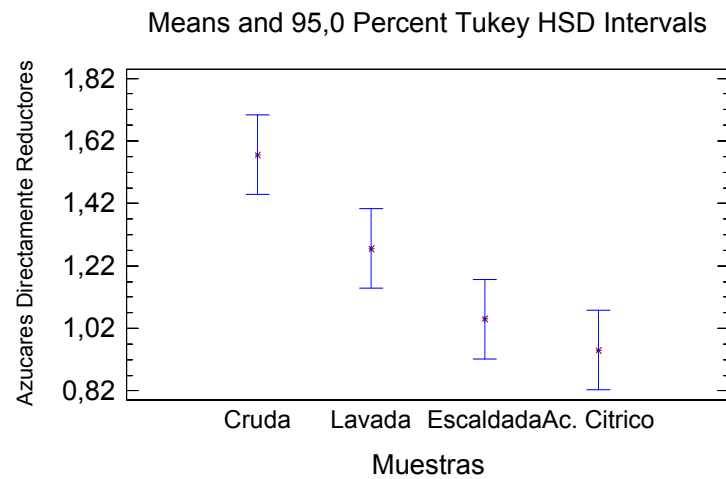
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Azucares directamente reductores by Etapas

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Etapas	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Pretratamiento	8	1,0	0,0578638	X
Inicial	8	1,425	0,0578638	X





Asparragina libre

Analysis of Variance for Asparragina Libre - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Etapas	3,88503E7	1	3,88503E7	18,19	0,0008
RESIDUAL	2,98944E7	14	2,13531E6		
TOTAL (CORRECTED)	6,87447E7	15			

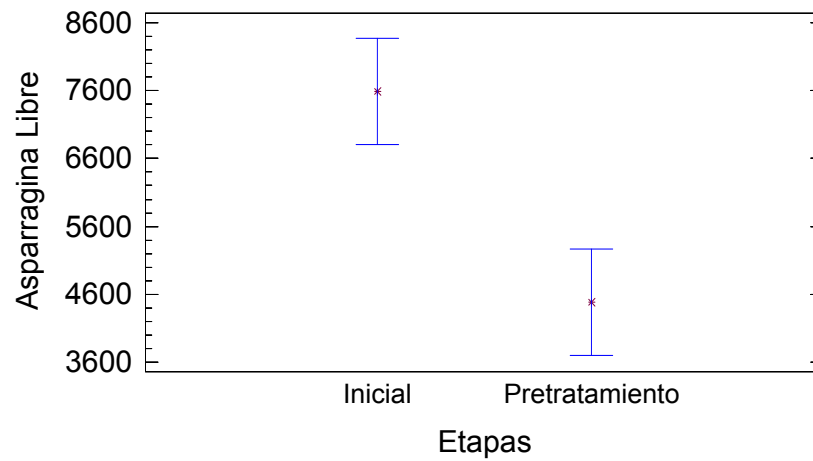
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Asparragina Libre by Etapas

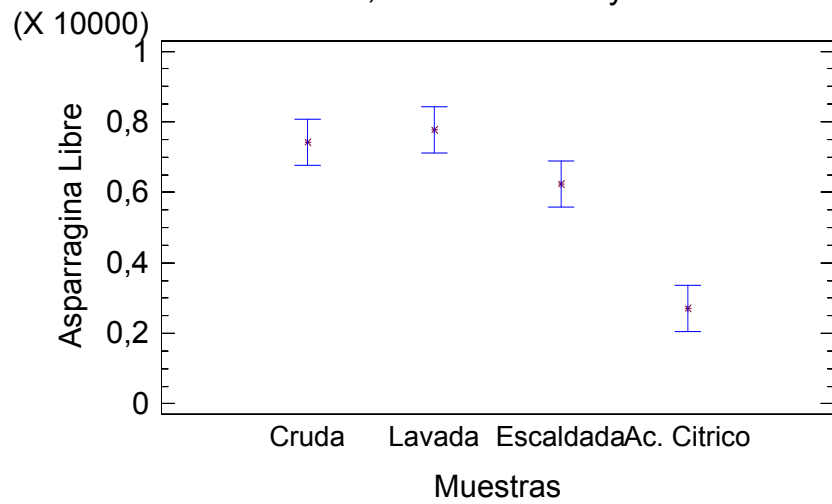
Method: 95,0 percent Tukey HSD

Etapas	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
Pretratamiento	8	4478,13	516,637	X
Inicial	8	7594,63	516,637	X

Means and 95,0 Percent Tukey HSD Intervals



Means and 95,0 Percent Tukey HSD Intervals



ANEXO 2

Registro de parámetros del proceso de fritura a presión reducida

El registro (por triplicado) de la variación de las temperaturas y la presión en el tiempo se inició en el momento de la inmersión de las rodajas de papa en el aceite a las temperaturas programadas en el ensayo experimental. Cabe destacar, que en todas las experiencias, el aceite se calentó, controlado con termocuplas, a 150°C, 160°C y 170°C según corresponda al ensayo experimental.

150 MB

150 MB			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	144,3 ± 1,0	27,3 ± 1,8	48,3 ± 0,0
27	135,9 ± 1,6	99,5 ± 1,5	124,5 ± 0,0
54	131,3 ± 1,0	100,9 ± 2,6	99,1 ± 0,0
81	129,8 ± 1,8	103,9 ± 2,0	86,4 ± 0,0
108	127,6 ± 1,3	110,0 ± 2,1	77,9 ± 0,3
135	126,6 ± 1,3	117,4 ± 1,5	65,2 ± 0,7
162	126,0 ± 1,2	121,3 ± 1,7	56,8 ± 1,1
189	125,9 ± 1,2	123,5 ± 1,0	48,3 ± 0,0
216	126,3 ± 1,3	124,4 ± 0,9	48,3 ± 0,0
238	126,4 ± 1,9	125,3 ± 1,1	48,3 ± 0,0
243	126,3 ± 1,8	125,9 ± 0,7	48,3 ± 0,0

n = 3

160 MB

160 MB			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	154,9 ± 1,1	27,0 ± 0,8	48,3 ± 0,0
23	143,8 ± 1,0	101,2 ± 0,9	124,5 ± 0,0
46	138,4 ± 3,2	105,5 ± 0,8	99,1 ± 0,0
69	137,9 ± 1,2	115,4 ± 1,3	82,2 ± 0,8
92	136,7 ± 1,5	122,7 ± 1,9	73,7 ± 0,0
115	136,2 ± 1,7	128,6 ± 1,4	61,0 ± 0,0
138	136,0 ± 1,9	132,8 ± 0,2	48,3 ± 0,0
161	135,8 ± 1,9	134,4 ± 0,1	48,3 ± 0,0
184	135,9 ± 2,2	135,3 ± 0,9	48,3 ± 0,0
205	135,9 ± 2,2	135,9 ± 0,6	48,3 ± 0,0
210	136,0 ± 2,2	136,0 ± 0,5	48,3 ± 0,0

n = 3

170 MB

170 MB			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	165,7 ± 0,3	25,9 ± 1,2	48,3 ± 0,0
18	157,2 ± 0,9	115,9 ± 0,9	150,0 ± 0,0
36	150,7 ± 1,5	123,1 ± 1,1	120,3 ± 0,0
54	148,2 ± 1,0	129,2 ± 0,8	99,1 ± 0,4
72	145,9 ± 0,7	136,8 ± 0,7	77,9 ± 0,0
90	144,6 ± 0,7	142,6 ± 1,2	65,2 ± 0,0
108	143,6 ± 1,4	144,9 ± 1,3	52,5 ± 0,0
126	143,6 ± 0,4	145,2 ± 0,7	48,3 ± 0,0
144	143,8 ± 1,2	145,2 ± 0,4	48,3 ± 0,0
155	143,6 ± 1,2	145,2 ± 0,2	48,3 ± 0,0
160	143,7 ± 0,1	145,2 ± 0,3	48,3 ± 0,0

n = 3

150 MT

150 MT			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	147,0 ± 1,1	26,9 ± 0,2	48,3 ± 0,0
27	135,3 ± 0,6	106,1 ± 0,8	114,4 ± 0,1
54	131,4 ± 0,9	105,5 ± 0,9	99,1 ± 0,0
81	129,0 ± 1,0	107,4 ± 1,0	73,7 ± 0,0
108	127,1 ± 1,2	111,9 ± 1,0	71,2 ± 0,1
135	125,9 ± 0,8	118,7 ± 0,4	61,0 ± 0,0
162	125,6 ± 1,1	121,9 ± 0,3	52,5 ± 0,0
189	125,5 ± 0,4	123,2 ± 0,4	48,3 ± 0,0
216	125,7 ± 0,6	124,3 ± 0,2	48,3 ± 0,0
238	126,0 ± 0,7	124,9 ± 0,5	48,3 ± 0,0
243	125,8 ± 1,0	125,2 ± 0,7	48,3 ± 0,0

n = 3

160 MT

160 MT			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	155,9 ± 0,7	26,1 ± 0,9	48,3 ± 0,0
23	143,2 ± 1,0	107,7 ± 1,0	124,5 ± 0,0
46	139,4 ± 0,4	112,3 ± 1,1	107,6 ± 0,0
69	136,6 ± 0,5	119,1 ± 0,8	91,5 ± 0,7
92	135,3 ± 0,2	126,1 ± 0,4	73,7 ± 0,5
115	134,5 ± 0,0	130,9 ± 0,3	52,5 ± 0,2
138	134,5 ± 0,0	133,1 ± 0,2	48,3 ± 0,0
161	134,5 ± 0,1	133,5 ± 0,2	48,3 ± 0,0
184	134,5 ± 0,0	133,7 ± 0,4	48,3 ± 0,0
205	134,6 ± 0,2	133,8 ± 0,2	48,3 ± 0,0
210	134,6 ± 0,2	133,8 ± 0,6	48,3 ± 0,0

n = 3

170 MT

170 MT			
Segundos	t° Aceite (°C)	t° Papa (°C)	Presión mm Hg
0	163,5 ± 1,0	25,9 ± 0,9	48,3 ± 0,0
18	156,8 ± 1,0	115,9 ± 0,9	145,7 ± 0,4
36	151,6 ± 0,8	123,1 ± 1,0	116,1 ± 0,3
54	148,0 ± 0,8	129,2 ± 0,8	92,4 ± 0,5
72	146,6 ± 0,7	136,8 ± 0,7	69,5 ± 0,0
90	145,6 ± 0,2	142,6 ± 0,5	59,3 ± 0,0
108	145,5 ± 0,1	144,9 ± 0,6	48,3 ± 0,0
126	145,5 ± 0,0	145,2 ± 0,4	48,3 ± 0,0
144	145,8 ± 0,3	145,2 ± 0,1	48,3 ± 0,0
155	145,9 ± 0,3	145,2 ± 0,0	48,3 ± 0,0
160	146,0 ± 0,2	145,2 ± 0,0	48,3 ± 0,0

n = 3

Análisis estadístico de tiempo de fritura

Tiempo total de fritura

Etapas	Tiempo Parciales (s)		
	150°C	160°C	170°C
1	27	23	18
2	162	138	90
3	54	49	52
Total presión reducida	243	210	160
Total presión atmosférica	480	420	300

Diferencia significativas entre tiempo total a presión reducida y tiempo total a presión atmosférica.

150°C

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of PA 150: 480,0 +/- 0,000063531 [480,0,480,0]
95,0% confidence interval for mean of PR 150: 243,0 +/- 0,000063531 [243,0,243,0]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 237,0 +/- 0,0000216206 [237,0,237,0]
t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 4,71648E7 P-value = 0,0

160°C

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of PA 160: 420,0 +/- 0,000063531 [420,0,420,0]
95,0% confidence interval for mean of PR 160: 210,0 +/- 0,000063531 [210,0,210,0]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 210,0 +/- 0,0000304243 [210,0,210,0]
t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 2,96985E7 P-value = 0,0

170°C

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of PA 170: 300,0 +/- 0,0000063531 [300,0,300,0]
95,0% confidence interval for mean of PR 170: 160,0 +/- 0,000063531 [160,0,160,0]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 140,0 +/- 0,0000216206 [140,0,140,0]
t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 2,7861E7 P-value = 0,0

ANEXO 3

Caracterización química de papas chips: humedad, materia grasa y contenido de acrilamida. Análisis estadístico y porcentaje de reducción de acrilamida.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre lotes y entre muestras. En el caso de existir diferencia, se hizo un test de comparación múltiple de Turkey o Duncan ($p\text{-value} < 0,05$) y se determinó entre que muestras hubo diferencia.

1.- Humedad

La siguiente tabla muestra los valores de humedad (g%) de las muestras obtenidas en los distintos procesos de fritura a presión reducida según el ensayo experimental y dos muestras controles comerciales denominados CC1 y CC2.

Muestras	Lote 1			Lote 2		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
150 MB	5,5	5,4	$5,5 \pm 0,1$	1,3	1,4	$1,3 \pm 0,1$
160 MB	0,9	1,0	$1,0 \pm 0,1$	1,2	1,3	$1,3 \pm 0,1$
170 MB	1,0	1,1	$1,0 \pm 0,1$	0,7	0,6	$0,6 \pm 0,1$
150 MT	3,9	3,6	$3,8 \pm 0,2$	1,5	1,1	$1,3 \pm 0,3$
160 MT	2,7	2,3	$2,5 \pm 0,3$	0,5	0,5	$0,5 \pm 0,0$
170 MT	3,3	3,4	$3,3 \pm 0,1$	0,4	0,4	$0,4 \pm 0,0$
CC1	---	---	---	1,2	1,2	$1,2 \pm 0,0$
CC2	---	---	---	1,4	1,5	$1,5 \pm 0,1$

Diferencia entre lotes.

Analysis of Variance for Humedad - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Lotes	23,4638	2	11,7319	9,22	0,0010
RESIDUAL	31,8058	25	1,27223		
TOTAL (CORRECTED)	55,2696	27			

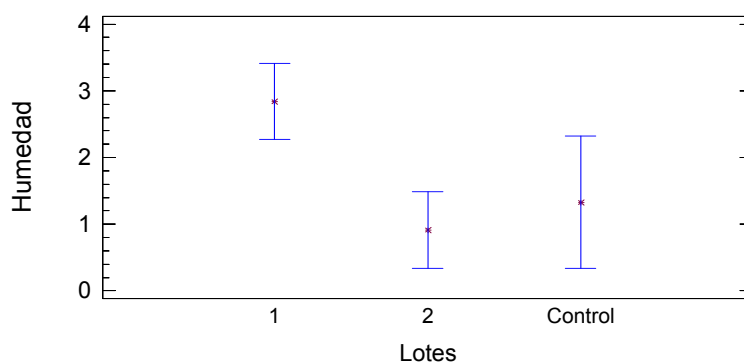
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Humedad by Lotes

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Lotes	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
2	12	0,908333	0,325606	X
C	4	1,325	0,563967	XX
1	12	2,84167	0,325606	X

Means and 95,0 Percent Tukey HSD Intervals



Existe diferencia significativa entre ambos lotes, pero cada uno de ellos no presenta diferencia significativa con el lote control.

2.- Materia Grasa

La siguiente tabla muestra los valores de materia grasa (g%) de las muestras obtenidas en los distintos procesos de fritura a presión reducida y de dos muestras controles comerciales denominados CC1 y CC2

Muestras	Lote 1			Lote 2		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
150 MB	33,7	38,3	$36,0 \pm 3,3$	38,3	39,7	$39,0 \pm 1,0$
160 MB	34,5	36,6	$35,6 \pm 1,5$	34,2	37,9	$36,0 \pm 2,6$
170 MB	33,6	36,0	$34,8 \pm 1,7$	36,0	37,1	$36,5 \pm 0,8$
150 MT	35,0	35,6	$35,3 \pm 0,4$	28,9	36,2	$32,5 \pm 5,2$
160 MT	35,6	36,6	$36,1 \pm 0,7$	40,2	43,0	$41,6 \pm 2,0$
170 MT	37,8	33,6	$35,7 \pm 3,0$	40,1	38,3	$39,2 \pm 1,2$
CC1	---	---	---	31,4	31,5	$31,5 \pm 0,1$
CC2	---	---	---	30,0	30,1	$30,1 \pm 0,1$

Diferencia entre lotes

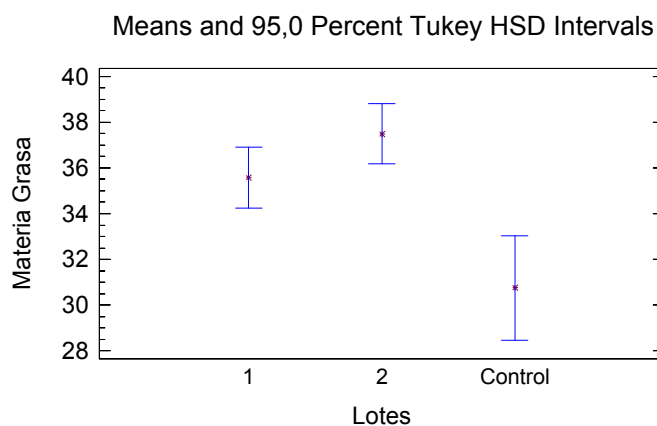
Analysis of Variance for Materia Grasa - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Lotes	136,717	2	68,3585	10,11	0,0006
RESIDUAL	168,962	25	6,75847		
TOTAL (CORRECTED)	305,679	27			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Materia Grasa by Lotes

Method: 95,0 percent Tukey HSD				
Lotes	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
C	4	30,75	1,29985	X
1	12	35,575	0,75047	X
2	12	37,4917	0,75047	X



No existen diferencias significativas entre lotes, pero cada uno de ellos presenta diferencia significativa con el lote control.

3.- Acrilamida

La siguiente tabla muestra los valores de Acrilamida ($\mu\text{g/kg}$) de las muestras obtenidas en los distintos procesos de fritura a presión reducida y de dos muestras controles comerciales denominados CC1 y CC2.

Muestras	Lote 1 µg/kg			Lote 2 µg/kg		
	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{x} \pm s$
150 MB	0 (ND)	0 (ND)	0 (ND)	94	84	89 ± 7
160 MB	51	39	45 ± 8	225	222	224 ± 2
170 MB	30	82	56 ± 36	268	273	271 ± 4
150 MT	0 (ND)	0 (ND)	0 (ND)	(<5)	(<5)	(<5) ± 0,0
160 MT	0 (ND)	0 (ND)	0 (ND)	(<5)	(<5)	(<5) ± 0,0
170 MT	0 (ND)	0 (ND)	0 (ND)	(<5)	(<5)	(<5) ± 0,0
CC1	2189 ± 33					
CC2	537 ± 15					

Límite de cuantificación: 2 µg/kg

(ND): No detectado.

De la Tabla se observa que las muestras 150 MB, 150 MT, 160 MT y 170 MT pertenecientes al Lote 1 no fueron detectadas, ya que están por debajo de los límites de detección del equipo HPLC MS/MS.

Por otro lado, las muestras 150 MT, 160 MT y 170 MT pertenecientes al Lote 2, se encuentran por debajo del límite de cuantificación del equipo HPLC MS/MS que corresponde a 2 µg/kg.

Diferencia entre muestras

Lote 1

Analysis of Variance for Acrilamida Papa Chips Lote 1 - Type III Sums of Squares

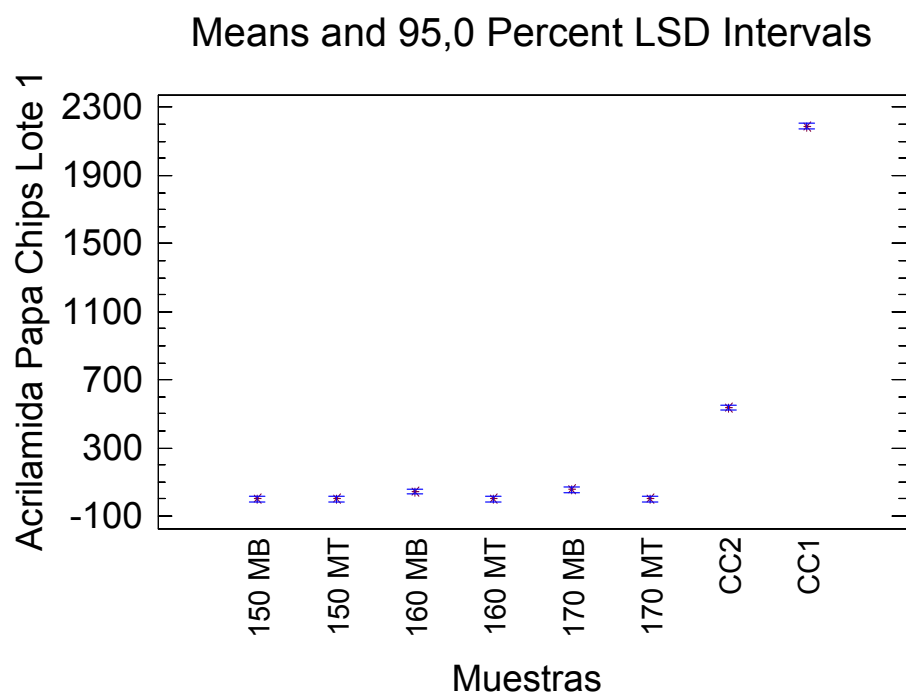
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Muestras	8,17339E6	7	1,16763E6	5814,51	0,0000
RESIDUAL	1606,5	8	200,812		
TOTAL (CORRECTED)	8,17499E6	15			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Acrilamida Papa Chips Lote 1 by Muestras

Method: 95,0 percent Duncan

Muestras	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
150 MT	2	0,0	10,0203	X
160 MT	2	0,0	10,0203	X
170 MT	2	0,0	10,0203	X
150 MB	2	0,0	10,0203	X
160 MB	2	44,0	10,0203	X
170 MB	2	56,0	10,0203	X
CC2	2	536,5	10,0203	X
CC1	2	2189,0	10,0203	X



Se observa que las muestras 150 MB, 150 MT, 160 MT y 170 MT no presentan diferencias significativas entre sí, mientras que las muestras 160 MB y 170 MB presentan diferencias significativas con el resto de las muestras. Todas las muestras presentan diferencias significativas con las muestras comerciales.

Lote 2

Analysis of Variance for Acrilamida Papa Chips Lote 2 - Type III Sums of Squares

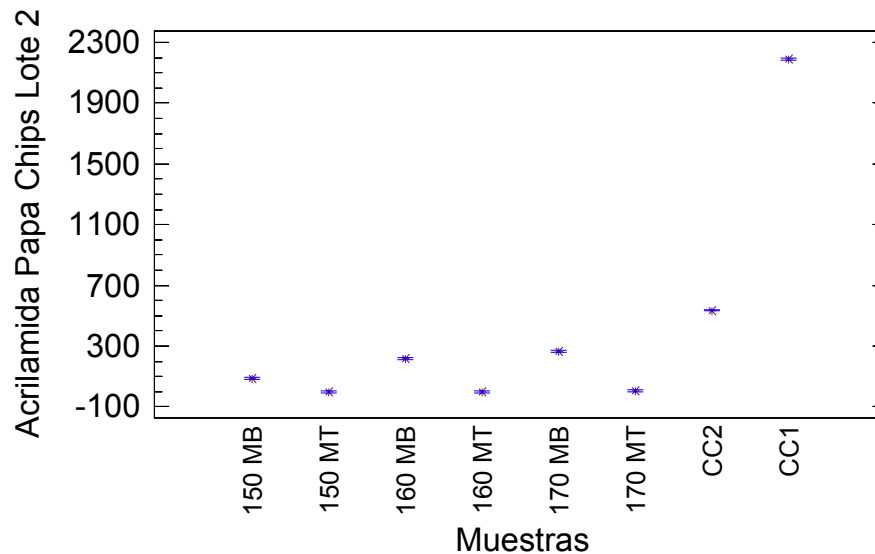
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Muestras	7,67721E6	7	1,09674E6	35160,51	0,0000
RESIDUAL	249,54	8	31,1925		
TOTAL (CORRECTED)	7,67746E6	15			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Acrilamida Papa Chips Lote 2 by Muestras

Method: 95,0 percent Duncan				
Muestras	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
150 MT	2	1,0	3,94921	X
160 MT	2	2,0	3,94921	X
170 MT	2	4,4	3,94921	X
150 MB	2	88,0	3,94921	X
160 MB	2	220,5	3,94921	X
170 MB	2	268,5	3,94921	X
CC2	2	536,5	3,94921	X
CC1	2	2189,0	3,94921	X

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Se observa que todas la muestras de papas chips ensayo (MT) no presentan diferencias significativas entre sí. Si lo hacen las muestras blanco (MB) en sus tres temperaturas. Cabe destacar, que todas las muestras presentan diferencias significativas con las muestras comerciales.

4.- Diferencia muestras a presión reducida y muestra control

Muestra	Acrilamida (µg/kg papa seca)
Presión Reducida	58
Comercial 1	2189
Comercial 2	537

Analysis of Variance for Acrilamida - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Muestras	8,56763E6	2	4,28381E6	547,43	0,0000
RESIDUAL	195634,0	25	7825,34		
TOTAL (CORRECTED)	8,76326E6	27			

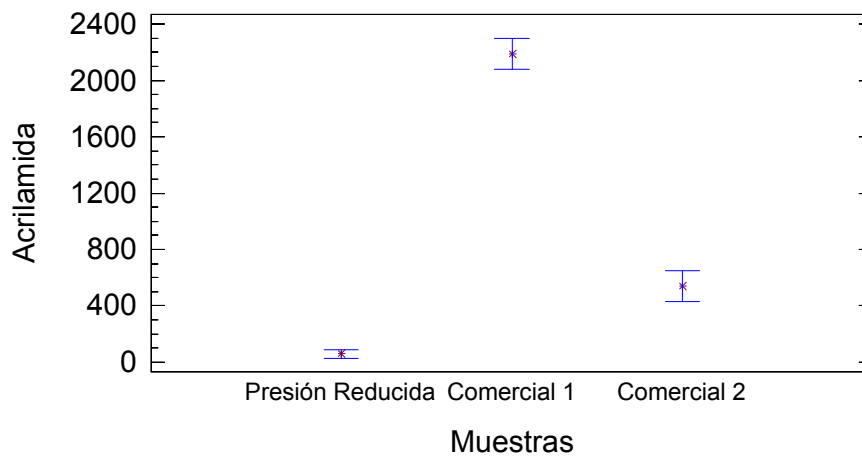
All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Acrilamida by Muestras

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Muestras	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
1	24	57,6125	18,057	X
3	2	537,0	62,5513	X
2	2	2188,5	62,5513	X

Means and 95,0 Percent Tukey HSD Intervals



Existe diferencia significativa entre las muestras sometidas a presión reducida y las muestras comerciales CC1 y CC2

5.- Porcentaje de reducción.

Para calcular el porcentaje de reducción de acrilamida, se utilizó como referencia, la muestra comercial CC1. Esta muestra comercial emplea la misma variedad de papa (variedad Panda) que se ocupó en esta investigación, no así la muestra control comercial CC2 que ocupa una variedad mejorada exclusiva para dicha empresa.

Se consideró el contenido de acrilamida de la muestra CC1 como 100% y se determinó el porcentaje de reducción total por muestra a partir de este valor.

Lote 1

Muestras	Acrilamida ppb	% Acrilamida	% Reducción de Acrilamida
CC1	2189	100	0,00
150 MB	0	0	100
160 MB	45	2,1	97,9
170 MB	56	2,6	97,4
150 MT	0	0	100
160 MT	0	0	100
170 MT	0	0	100

Lote 2

Muestras	Acrilamida ppb	% Acrilamida	% Reducción de Acrilamida
CC1	2189	100	0,00
150 MB	89	4,1	95,9
160 MB	224	10,2	89,8
170 MB	271	12,4	87,6
150 MT	1	0,0	100
160 MT	2	0,1	99,9
170 MT	4	0,2	99,8

ANEXO 4

Evaluación Sensorial

FICHA EVALUACIÓN SENSORIAL PAPAS CHIPS

Nombre:..... Set:.....

Sírvase degustar las muestras que se presentan. Luego de su primera impresión general (color, sabor y textura) responda cuánto le agrada o desagrada el producto encerrando con un círculo el número al cual corresponde su calificación según la escala.

Muestra:...A.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...B.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...C.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...D.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...E.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...F.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muestra:...G.....

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta levemente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta levemente	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho

Observación:.....

Muchas Gracias!!!

Resultado de aceptabilidad Lote 1

Juez	Muestra						
	150 MB	160 MB	170 MB	150 MT	160 MT	170 MT	CC
1	5	3	3	3	2	3	6
2	5	6	2	2	3	4	5
3	6	6	5	4	5	4	5
4	5	7	5	4	6	2	6
5	6	7	7	1	2	5	7
6	5	3	7	4	3	3	6
7	3	5	4	5	6	4	4
8	3	5	6	3	2	1	7
9	6	5	3	1	3	3	7
10	3	1	2	3	6	5	5
11	6	5	4	4	5	3	4
12	5	5	2	4	6	2	7
13	2	5	1	1	1	1	3
14	3	2	3	5	3	4	5
15	5	7	7	3	2	6	7
16	1	6	5	2	2	4	5
17	6	7	6	3	5	5	7
18	6	7	5	1	5	2	7
19	6	5	6	1	5	2	6
20	5	5	3	1	5	2	5
21	6	5	6	4	4	6	5
22	1	6	6	1	1	3	6
23	2	3	6	4	3	1	4
24	4	4	3	2	5	4	6
25	6	6	4	3	4	2	6
26	3	5	6	4	3	5	7
27	5	6	6	5	3	3	6
28	5	5	5	5	3	5	5
29	1	7	7	5	6	5	6
30	6	7	7	6	7	5	6
31	6	6	5	5	6	5	7
32	2	5	6	3	7	5	6
33	7	5	4	3	2	3	6
34	4	6	1	4	6	3	6
35	3	4	3	3	6	7	3
36	3	5	3	3	3	4	4
37	5	6	6	2	5	1	3
38	4	7	4	2	5	3	2
39	4	2	3	3	2	4	4
40	7	7	7	5	5	6	4
41	4	7	6	3	3	4	3
42	4	5	7	1	4	3	7
43	3	2	4	2	5	2	3
44	1	5	4	4	3	4	5
45	3	6	3	1	3	5	6
46	6	7	6	3	5	5	2
47	4	3	4	3	3	2	4
48	7	7	3	6	6	5	3
49	4	3	1	1	1	5	1
50	2	5	7	4	4	7	4
$\bar{x} \pm s$	4,3 ± 1,7	5,2 ± 1,6	4,6 ± 1,8	3,1 ± 1,4	4,0 ± 1,7	3,7 ± 1,5	5,1 ± 1,6

Resultado de aceptabilidad Lote 2

Juez	Muestra						
	150 MB	160 MB	170 MB	150 MT	160 MT	170 MT	CC
1	5	5	2	3	5	3	5
2	7	7	7	2	1	1	6
3	6	5	2	4	5	3	3
4	2	4	6	4	4	5	2
5	6	3	7	5	3	4	6
6	7	6	7	3	4	5	6
7	3	5	5	4	4	5	7
8	5	7	7	2	1	3	3
9	3	5	6	4	1	3	4
10	4	7	6	2	2	3	3
11	5	3	5	4	4	4	5
12	7	6	6	4	1	1	5
13	5	7	3	2	1	3	4
14	5	6	5	2	5	4	4
15	3	5	6	2	2	5	4
16	2	6	6	1	1	3	4
17	5	6	7	7	5	4	4
18	6	7	7	1	2	3	7
19	7	6	6	3	2	2	5
20	6	6	6	3	3	2	5
21	7	7	6	5	5	6	7
22	4	6	7	3	3	4	5
23	2	5	6	6	5	5	4
24	4	4	4	6	1	1	3
25	6	5	7	7	2	6	3
26	4	6	6	5	3	5	7
27	5	7	6	1	2	1	3
28	2	2	6	2	5	4	6
29	6	5	7	3	1	2	4
30	5	7	6	3	5	3	4
31	6	3	6	2	3	2	5
32	6	6	7	5	6	5	5
33	3	5	3	6	6	2	5
34	4	7	4	4	4	1	5
35	2	3	7	5	5	1	4
36	3	4	2	5	4	3	2
37	6	3	3	4	4	4	2
38	6	7	5	5	3	2	4
39	3	6	2	2	2	2	5
40	5	5	4	2	1	3	7
41	6	6	6	2	3	5	6
42	4	7	6	3	3	1	7
43	7	6	5	2	1	5	4
44	3	6	6	1	1	1	3
45	4	3	7	4	3	3	5
46	6	6	7	3	1	2	7
47	6	7	7	4	3	3	6
48	6	7	6	6	3	5	1
49	5	5	4	2	3	3	3
50	6	6	7	4	4	4	5
$\bar{x} \pm s$	4,8 ± 1,5	5,5 ± 1,4	5,5 ± 1,5	3,5 ± 1,6	3,0 ± 1,5	3,2 ± 1,5	4,6 ± 1,5

Diferencia entre lotes

Se realizó un análisis estadístico en cada proceso de fritura para determinar si existió diferencias significativas entre lotes ($p\text{-value} \leq 0,05$).

150 MB

Comparison of Means

```
-----
95,0% confidence interval for mean of Lote 1 150 MB: 4,28 +/- 0,483937 [3,79606,4,76394]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 150 MB: 4,82 +/- 0,439865 [4,38014,5,25986]
95,0% confidence interval for the difference between the means
    assuming equal variances: -0,54 +/- 0,645798 [-1,1858,0,105798]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
    assuming equal variances: t = -1,65936    P-value = 0,10024
```

160 MB

Comparison of Means

```
-----
95,0% confidence interval for mean of Lote 1 160 MB: 5,18 +/- 0,447297 [4,7327,5,6273]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 160 MB: 5,48 +/- 0,390433 [5,08957,5,87043]
95,0% confidence interval for the difference between the means
    assuming equal variances: -0,3 +/- 0,586309 [-0,886309,0,286309]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
    assuming equal variances: t = -1,01541    P-value = 0,312413
```

170 MB

Comparison of Means

```
-----
95,0% confidence interval for mean of Lote 1 170 MB: 4,58 +/- 0,51062 [4,06938,5,09062]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 170 MB: 5,54 +/- 0,438062 [5,10194,5,97806]
95,0% confidence interval for the difference between the means
    assuming equal variances: -0,96 +/- 0,664373 [-1,62437,-0,295627]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
    assuming equal variances: t = -2,8675    P-value = 0,00506559
```

150 MT

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of Lote 1 150 MT: 3,1 +/- 0,41104 [2,68896,3,51104]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 150 MT: 3,48 +/- 0,452973
[3,02703,3,93297]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: -0,38 +/- 0,604026 [-0,984026,0,224026]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = -1,24845 **P-value = 0,214839**

160 MT

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of Lote 1 160 MT: 4,0 +/- 0,469975 [3,53003,4,46997]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 160 MT: 3,02 +/- 0,439115
[2,58089,3,45911]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 0,98 +/- 0,635157 [0,344843,1,61516]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 3,06189 **P-value = 0,00283892**

170 MT

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of Lote 1 170 MT: 3,74 +/- 0,440314
[3,29969,4,18031]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 170 MT: 3,2 +/- 0,414037 [2,78596,3,61404]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 0,54 +/- 0,596851 [-0,056851,1,13685]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 1,79545 **P-value = 0,0756648**

Muestra CC

Comparison of Means

95,0% confidence interval for mean of **Lote 1 CC**: 5,08 +/- 0,444153 [4,63585,5,52415]
95,0% confidence interval for mean of Lote 2 CC: 4,58 +/- 0,430011 [4,14999,5,01001]
95,0% confidence interval for the difference between the means
assuming equal variances: 0,5 +/- 0,610485 [-0,110485,1,11048]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2
assuming equal variances: t = 1,62532 **P-value = 0,107305**

En resumen

Muestras	Lote 1	Lote 2	p-value	Observación
150 MB	4,3	4,8	0,1002	No existe diferencia significativa
160 MB	5,2	5,5	0,3124	No existe diferencia significativa
170 MB	4,6	5,5	0,0050	Existe diferencia significativa
150 MT	3,1	3,5	0,2148	No existe diferencia significativa
160 MT	4,0	3,0	0,0028	Existe diferencia significativa
170 MT	3,7	3,2	0,0756	No existe diferencia significativa
CC	5,1	4,6	0,1073	No existe diferencia significativa

Diferencia significativa $p\text{-value} \leq 0,05$

Solo las muestras 170 MB y 160 MT presentaron diferencias significativas entre lotes, el resto de las muestras no lo hace, por lo que se puede considerar que no existe diferencias significativas entre lotes.

Diferencia entre muestras

Se realizó un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0,05$) entre las muestras. En el caso de existir diferencia, se hizo un análisis Tukey y se determinó entre que muestras hubo diferencia.

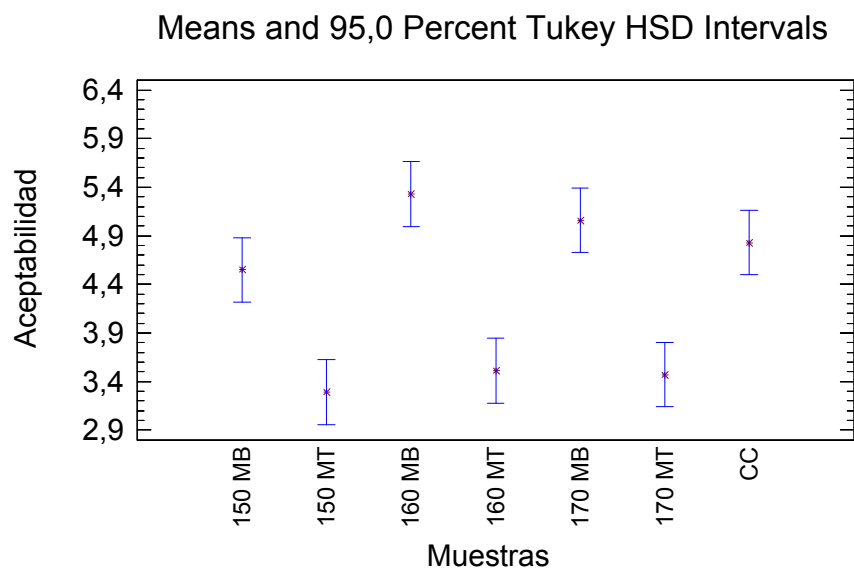
Analysis of Variance for Aceptabilidad - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Lote	0,0914286	1	0,0914286	0,04	0,8493
B:Muestras	431,449	6	71,9081	28,39	0,0000
RESIDUAL	1753,01	692	2,53325		
TOTAL (CORRECTED)	2184,55	699			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for Aceptabilidad by Muestras

Method: 95,0 percent Tukey HSD				
Muestras	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
150 MT	100	3,29	0,159162	X
170 MT	100	3,47	0,159162	X
160 MT	100	3,51	0,159162	X
150 MB	100	4,55	0,159162	X
CC	100	4,83	0,159162	XX
170 MB	100	5,06	0,159162	XX
160 MB	100	5,33	0,159162	X



Conclusión: Del análisis estadístico se observa que todas las muestras que fueron pretratadas (150 MT, 160 MT y 170 MT) no presentan diferencias significativas entre sí. Sin embargo, presentan diferencias significativas con sus respectivos blancos (150 MB, 160 MB y 170 MB) y la muestra comercial CC.

Entre las muestras blanco, solo existe diferencia significativa entre las muestras 150 MB y 160 MB. Sin embargo, todas ellas no presentan diferencias significativas con la muestra comercial CC.

Es importante señalar que la muestra 160 MB, es la que tiene mejor aceptabilidad entre todas las muestras, incluso, mejor aceptabilidad que la muestra control comercial CC.