



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química
Ingeniería en Alimentos

PATROCINANTE

Andrea Bungler

Departamento de Ciencia de los
Alimentos y Tecnología Química
Universidad de Chile.

DIRECTORES DE MEMORIA

Andrea Bungler

Departamento de Ciencia de los
Alimentos y Tecnología Química
Universidad de Chile.

Franco Pedreschi

Departamento de Ingeniería Química
y de Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica.

Salomé Mariotti

Departamento de Ingeniería Química
y de Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica.

“Efecto de la lixiviación de azúcares reductores sobre la formación de furano en papas fritas”

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA EN ALIMENTOS

CLAUDIA ALEJANDRA ILLANES GONZÁLEZ

Santiago- Chile

2014

INDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
Effect of reducing sugars leaching on furan formation in potato chips	iv
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes bibliográficos	2
1.1.1 Antecedentes de la Papa.....	2
1.1.2 Composición química de la papa.....	3
1.1.3 Calidad de la papa	3
1.1.4 Calidad de la Papa Frita	4
1.1.5 Antecedentes del furano	5
1.1.6 Vías de formación de furano	5
1.1.7 Efectos sobre la salud.....	7
1.1.8 Presencia de furano en los alimentos	7
1.1.9 Medidas de mitigación del furano	8
1.1.10 Escaldado	9
1.1.11 Proceso de fritura.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivos generales	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	12
4. METODOLOGIA.....	13
4.1 Elaboración de las muestras	13
4.1.1 Materia Prima	13
4.1.2 Corte	13
4.1.3 Pretratamiento de escaldado	13
4.1.5 Salado papas fritas	14
4.2 Determinación de humedad	16
4.3 Determinación de azúcares reductores mediante HPLC.....	16
4.3.1 Desempeño analítico de metodología para determinación de azúcares reductores en papa.....	17

4.4	Determinación del contenido de aceite	18
4.5	Determinación del contenido de furano.....	20
4.6	Evaluación sensorial	21
4.6.1	Test utilizados.....	21
4.6.2	Test de valoración de calidad con escala Karlsruhe específica para papas fritas.....	21
4.6.3	Perfil Descriptivo.....	22
4.6.4	Entrenamiento Panel sensorial.....	22
4.6.5	Validación del panel sensorial	24
4.7	Diseño Experimental.....	25
4.8	Análisis estadísticos.....	26
4.8.1	Análisis de varianza	26
4.8.2	Optimización mediante superficie de respuesta	26
5	RESULTADOS	28
5.1	Diseño experimental.....	28
5.2	Desempeño analítico de la técnica para determinar azúcares reductores.....	29
5.3	Lixiviación de azúcares reductores	30
5.4	Determinación del contenido de aceite	32
5.5	Entrenamiento Panel sensorial	34
5.6	Validación del panel sensorial.....	38
5.7	Evaluación sensorial de condiciones de escaldado	41
5.8	Determinación del contenido de furano.....	44
5.10	Caracterización del tratamiento óptimo de escaldado mediante atributos descriptivos	49
6	CONCLUSIONES	51
7	BIBLIOGRAFIA.....	52
8	ANEXOS.....	60
	Anexo 1: Tabla para valoración de calidad con escala Karlsruhe	61
	Anexo 2: Ficha de respuesta para entrenamiento test de Calidad de Karlsruhe	62
	Anexo 3: Ficha final de respuesta para test de Calidad	63
	Anexo 4: Ficha de respuesta para Perfil descriptivo	64
	Anexo 5: Tiempos de fritura (segundos) para cada condición de escaldado	65

Anexo 6: Anova dos vías de test descriptivo con 10 jueces.....	65
Anexo 7: Prueba de múltiples rangos para Anova 2 vías del test descriptivo con 10 jueces.....	66
Anexo 8: Promedios del test de calidad y perfil descriptivo de las condiciones experimentales.....	67
Anexo 9: Optimización mediante método de superficie de respuesta.....	68
Anexo 10: Diagrama de Pareto de cada atributo descriptivo	72

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de una papa de variedad Yagana	3
Tabla 2: Contenido de furano en los alimentos por principales categorías de alimentos.....	8
Tabla 3: Condiciones de trabajo para equipo HPLC-IR.....	17
Tabla 4: Condiciones de cromatógrafo de gases	20
Tabla 5: Grados y Sub-grados de calidad	21
Tabla 6: Sesiones de entrenamiento para la evaluación de papas fritas tipo chips	23
Tabla 7: Mediciones realizadas para medir el desempeño del panel	24
Tabla 8: Matriz del diseño experimental.....	26
Tabla 9: Corridas experimentales del diseño central rotacional compuesto.....	28
Tabla 10: Resumen de parámetros para determinar robustez y desempeño de la técnica de cuantificación de azúcares reductores.	29
Tabla 11: Resumen entrenamiento panel sensorial para test de calidad	36
Tabla 12: Resumen entrenamiento panel sensorial para perfil descriptivo	37
Tabla 13: Resumen para selección de jueces para test de calidad del panel en general	38
Tabla 14: Resumen para selección de cada juez en el test de calidad	39
Tabla 15: Resumen para selección de jueces para el perfil descriptivo del panel en general	40
Tabla 16: Resumen para selección de cada juez en el perfil descriptivo	40
Tabla 17: Resumen para test de calidad con escala Karlsruhe de cada atributo	41

Tabla 18: Resumen para perfil descriptivo de cada atributo descriptivo	42
Tabla 19: Concentraciones de furano de cada condición experimental	44
Tabla 20: Resumen de optimización múltiple	46
Tabla 21: Resumen de optimización de test de escalas	49
Tabla 22: Valor óptimo para atributos descriptivos.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la molécula de furano.....	5
Figura 2: Mecanismos de formación de furano en alimentos calentados.....	6
Figura 3: Sección transversal esquematizada de un trozo de comida durante el proceso de fritura	11
Figura 4: Diagrama de bloques elaboración de papas fritas tipo chip	15
Figura 5: Límites del diseño central rotacional compuesto.....	25
Figura 6: Análisis y optimización realizadas a los datos.....	27
Figura 7: Cinética de extracción de glucosa en rodajas de papa a 60, 75 y 90°C	30
Figura 8: Cinética de extracción de fructosa en rodajas de papa a 60, 75 y 90°C	30
Figura 9: Porcentaje de aceite de cada condición de escaldado.....	32
Figura 10: Diagrama de pareto para contenido de aceite en chips	33
Figura 11: Imágenes de chips con distintas condiciones de escaldado y puntajes referenciales.....	35
Figura 12: Diferencias entre chips escaldados y sin escaldar.....	42
Figura 13: Diferencias de aceitosidad en chips..	43
Figura 14: Relación entre el contenido de azúcares reductores y la formación de furano en chips para distintas condiciones de escaldado.....	45
Figura 15: Superficie de respuesta estimada para optimización múltiple.....	47
Figura 16: Superficie de respuesta estimada para optimización de atributos sensoriales	48

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL PROYECTO FONDECYT 1110510
TITULADO “Technologies for furan mitigation in highly consumed Chilean foods
processed at high temperatures”

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que colaboraron directa e indirectamente con la realización de esta tesis. En primer lugar a mi familia, mis padres y hermana; Cristóbal, Viviana y María Paz que han estado junto a mí dándome su cariño y apoyo a lo largo de mi vida.

Quisiera agradecer a Katherine Mccourtney por su valiosa ayuda, paciencia y amistad en los últimos años de estudio.

A mis directores de tesis y Profesora patrocinante, Andrea Bunger, por su compromiso, guía, preocupación y constante apoyo a través de todo el proceso. A los directores de tesis, Profesor Franco Pedreshi, por su confianza y buena disposición; y a Salome Mariotti por sus sugerencias y valiosos aportes en conocimiento que sin duda ayudaron a mejorar este trabajo.

A mi amiga y compañera, Manuela Costa, por todas las opiniones y sugerencias sobre la investigación, pero sobre todo por los buenos momentos durante este periodo que hicieron más grato el trabajo.

Al equipo de la Universidad Católica, Juan Pablo Gómez y Federico Sastre quienes brindaron sus conocimientos analíticos y tuvieron la mejor disposición para ayudar a resolver los problemas que se presentaron en el camino.

A los panelistas que participaron en la evaluación sensorial por su compromiso y colaboración desinteresada.

Finalmente expreso mis agradecimientos al Proyecto FONDECYT N° 1110510 por el financiamiento otorgado para la realización de esta memoria.

RESUMEN

Los alimentos ricos en carbohidratos procesados a altas temperaturas (fritura y horneado), contienen compuestos potencialmente cancerígenos como el furano. Los azúcares reductores, son precursores críticos en la formación de furano en alimentos fritos a base de papa.

El objetivo de este trabajo fue reducir la concentración de furano en papas fritas tipo chips sin afectar su calidad sensorial, mediante la optimización del tiempo y temperatura de escaldado, previo al proceso de fritura.

Se aplicó el método de superficie de respuesta mediante un diseño rotacional compuesto con tres puntos centrales y dos factores experimentales: tiempo de escaldado (0 – 20 minutos) y temperatura de escaldado (60 – 90°C). Las variables de respuesta correspondieron a los atributos sensoriales de calidad color, apariencia, aroma, sabor y textura, junto con el contenido de furano.

Los chips se elaboraron a partir de papas de variedad Yagana. Estos se cortaron (37 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor), escaldaron (cuando correspondía) y se frieron a 180°C hasta alcanzar una humedad final del 2%.

Paralelamente, se midió el contenido de azúcares reductores en los chips crudos y escaldados con el fin de obtener las cinéticas de lixiviación de azúcares. El análisis se realizó en un cromatógrafo HPLC con detector IR.

El escaldado en chips demostró ser un tratamiento efectivo para disminuir el contenido de furano en papas fritas tipo chips sin afectar negativamente su calidad sensorial. Se obtuvo un tratamiento de escaldado óptimo a 67°C con 20 minutos, con el cual se logra una reducción de un 96% de furano y una calidad sensorial de nota 5 (escala de 6 puntos), lo que corresponde a una clasificación buena. Por otra parte con esta combinación de tiempo y temperatura se consiguió una disminución de un 70% y 75% para los azúcares glucosa y fructosa respectivamente.

ABSTRACT

Effect of reducing sugars leaching on furan formation in potato chips

Foods rich in carbohydrates subjected to high temperature processes such as frying or baking contain potentially carcinogenic compounds such as furan. Reducing sugars are critical precursors on the furan formation of fried potato based products.

The aim of this work was to reduce furan content in chips without affecting their sensory quality by optimizing blanching time and temperature prior to frying process.

Response surface methodology was applied by a composite rotatable design with three center points and two experimental factors: blanching time (0-20 minutes) and blanching temperature (60-90°C), whereas response variables corresponded to sensory quality attributes of color, appearance, aroma, flavor and texture and furan content.

Chips were made from Yagana variety potatoes. These were cut (37 mm in diameter and 1.5 mm thick), blanched (when appropriate) and finally fried at 180°C until final moisture content of 2%.

Reducing sugars content was measured in raw and blanched chips in order to obtain the kinetics of leaching. The analysis was performed on a HPLC chromatograph with IR detector.

Blanching proved to be an effective treatment to reduce furan content in chips without adversely affecting their sensory quality. Optimal blanching treatment was at 67°C and 20 minutes, which reduced 96% of furan and scored a sensory quality rating of 5 (6-point scale), corresponding to good quality. Moreover, with this combination of time and temperature, a 70% decrease of glucose and 75% decrease of fructose was achieved.

1. INTRODUCCION

La papa forma parte importante del sistema alimentario mundial. Su producción anual representa el 50% de la producción mundial de todas las raíces y tubérculos (Eguillor, 2010). La papa se destina principalmente a la alimentación humana como producto fresco. Sin embargo, su consumo como alimento procesado ha aumentado en los últimos años y en este sentido, destacan fundamentalmente las papas prefritas congeladas y las papas fritas en forma de hojuelas (Krarup, 2006).

Hace ya algún tiempo se observa en el mercado los alimentos denominados “snacks”, estos se definen como productos fáciles de manipular, constituidos en porciones individuales que satisfacen el apetito en corto plazo y no requieren de preparación previa (Zamorano y cols., 2010). La atracción del consumidor por la papa frita tipo chips se debe en gran parte a cambios importantes en su microestructura inducida por la fritura y sus efectos sobre las propiedades físicas y sensoriales (Pedreschi y Aguilera 2002).

Si bien la fritura es un proceso que permite obtener características particularmente beneficiosas en los alimentos como ningún otro proceso, también ha demostrado que puede acarrear efectos negativos, como lo es la formación de furano. La preocupación por el furano presente en la dieta comenzó el 2004, cuando un estudio de la FDA sobre alimentos sometidos a tratamientos térmicos reveló que en una gran cantidad de alimentos procesados en envases cerrados se encontraron altos niveles de furano (FDA, 2008). Por otra parte el furano se ha categorizado como un posible carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer y por lo tanto es indeseable cualquier nivel de furano presente en los alimentos (Lawely y cols., 2012).

En el caso de la población chilena, Mariotti y cols, (2013b) reportó la presencia de furano en diversos alimentos: Café instantáneo, colados, cereales, snack y conservas entre otros, siendo los alimentos como chips y galletas los que presentaron un mayor aporte dietario de furano para la población. Por otra parte el grupo etario más expuesto a este compuesto resultó ser niños entre 9 y 13 años (aproximación en grupo

estudiado), debido a los snacks de papas fritas. Debido a esto es de gran importancia estudiar formas para mitigar este compuesto y lograr prevenir enfermedades en la población chilena.

1.1 Antecedentes bibliográficos

1.1.1 Antecedentes de la Papa

La papa, de nombre científico *Solanum tuberosum* L., pertenece a la familia de las solanáceas, plantas con características de hierba, que pueden estar provistas de tubérculos. Corresponde a una especie dicotiledónea anual pero puede comportarse potencialmente como una especie perenne (Krarup, 2006).

Los cultivos de papa se encuentran desde la Región de Coquimbo hasta la de Los Lagos (Barrios, 2009). Sin embargo, el sur de Chile concentra la mayor superficie de siembra del país, alcanzando alrededor de 41.500 hectáreas en el periodo 2011-12 (Tapia, 2012).

A pesar de la existencia de diversas variedades, la mayoría presenta una forma redondeada, con pulpa blanca o amarilla y una cáscara amarilla o rosada. En Chile existen múltiples variedades del tubérculo, pero las que tienen mayor presencia en el mercado de Santiago, para uso industrial y doméstico son: Karu-Inia , Pukará-Inia, Yagana–Inia, Asterix, Rosara, Desirée y Cardinal (Barrios, 2009).

Yagana es una variedad creada por INIA, de piel color amarillo intenso y pulpa amarilla. Es de buena calidad y resistente a la cocción. Excelente para todo tipo de preparación culinaria, con buenas características para la fritura y la elaboración de puré. Es muy utilizada por la agroindustria de bastones prefritos congelados y snacks (Kalazich y cols, 1996).

1.1.2 Composición química de la papa

Las papas contienen relativamente pocos nutrientes a excepción de los hidratos de carbono. Tienen el contenido de proteínas (de buena calidad) más elevado de la familia de cultivos de raíces y tubérculos. También tienen un gran contenido de vitamina C, una papa de tamaño medio contiene casi la mitad de la ingesta diaria recomendada (FAO, 2006). La papa está compuesta de piel, rica en fibra y minerales, la pulpa o carne, fibrosa y rica en hidratos de carbono y una parte central acuosa o médula. Su principal componente corresponde a agua, entre un 75-80% y el almidón corresponde a su principal componente orgánico, cerca de un 20% (Vázquez y cols, 2005). En la Tabla 1 se muestra el análisis proximal de una papa de variedad Yagana.

Tabla 1: Composición química de una papa de variedad Yagana

Parámetro	g /100g
Humedad	76,4
Proteínas	2,08
Cenizas	0,89
Lípidos	0,28
Extracto no nitrogenado	20,3

Fuente: Astudillo, 2005

1.1.3 Calidad de la papa

La papa destinada al proceso de transformación, requiere unas características específicas, inherentes a la propia variedad. Los factores que influyen directamente en la calidad final de las papas fritas son, fundamentalmente, la temperatura de almacenamiento, variedad empleada, madurez fisiológica del tubérculo y situaciones de estrés como sequías o enfermedades (Dilmer,2007; Valduciel,[s.a]).

Los componentes que influyen directamente en la calidad y clasificación de las variedades de papas son los altos contenidos de almidón y materia seca, al igual que el

contenido de azúcares reductores presentes en la papa tales como: glucosa y fructosa, los cuales varían considerablemente entre variedades de papas (Dilmer, 2007).

1.1.4 Calidad de la Papa Frita

Las papas fritas son producto de someter al tubérculo de papa al proceso de fritura. Este proceso permite crear sabores, colores y aromas únicos en el producto procesado que permiten mejorar su palatabilidad general (Pedreschi y cols, 2005).

La textura de las papas fritas se relaciona con el contenido de materia seca presente en el tubérculo (Lisinska y Leszczynski, 1989). Las papas fritas obtenidas de papas ricas en materia seca (sobre el 25%) pueden tener texturas firmes, mientras que las papas con baja materia seca, retienen más aceite y se caracterizan por tener texturas más grasas y pegajosas (Kita, 2002).

Los azúcares reductores tienen una influencia significativa en la elaboración de productos fritos porque intervienen directamente en la formación del color y del sabor de los mismos (Dilmer, 2007). El color de los productos fritos se debe principalmente a reacciones que tienen lugar entre los aminoácidos y los azúcares reductores (Shaw y Booth, 1985). Si el contenido en azúcares reductores es alto, aparece un producto con color café oscuro y sabor amargo. Por eso, la industria requiere de variedades con bajos contenidos en azúcares reductores: inferiores al 0,1% del peso fresco es ideal para la producción de hojuelas y más alto de 0,33% es inaceptable (Dilmer, 2007). Por otra parte Lisinska y Leszczynski, (1989) sugieren que una concentración de azucares de 0,2% ya podría formar colores más oscuros en el chip.

En los productos fritos una cualidad muy importante es el color (Valducien, [s.a]), junto con la textura crujiente, además del sabor y aroma (Salvador y cols, 2009).

Las variedades de papas chilenas utilizada para el proceso de fritura son: La Karu-Inia, Yagana-Inia, Asterix-Inia, Desirée y Cardinal (Barrios, 2009).

1.1.5 Antecedentes del furano

El furano (C_4H_4O) es un éter cíclico pequeño de carácter aromático, su estructura se muestra en la Figura 1 (Crews y Castle, 2007).

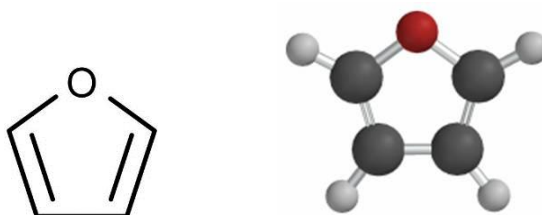


Figura 1: Estructura de la molécula de furano

Es un compuesto incoloro y altamente volátil, con un punto de ebullición de $31,4^{\circ}C$ e insoluble en agua (Huang y cols, 2011). Se puede encontrar comúnmente como intermediario en el proceso industrial para producir materiales poliméricos sintéticos (Lawely y cols, 2012).

1.1.6 Vías de formación de furano

Diferentes investigadores (Lawely y cols, 2012; Boisrobert y cols, 2010; Belitz y cols, 2009; Vranova y Ciesarova, 2009) concuerdan en que existen diversos caminos para la formación de furano. Dentro de estos se incluye la degradación térmica de azúcares reductores o reacción de Maillard con o sin aminoácidos, la degradación térmica de la serina y cisteína y la oxidación térmica del ácido ascórbico. También se ha presentado que los ácidos grasos polinsaturados y carotenoides pueden actuar como precursores del furano.

Se ha reportado que los niveles más altos se han formado a partir del ácido ascórbico como precursor y a temperaturas sobre $120^{\circ}C$. En algunos casos, metales tales como

el cobre, pueden actuar como catalizadores en la formación de furano (Lawely y cols, 2012).

En la Figura 2 se presenta un esquema de las diferentes vías de formación que puede tener el furano en alimentos calentados.

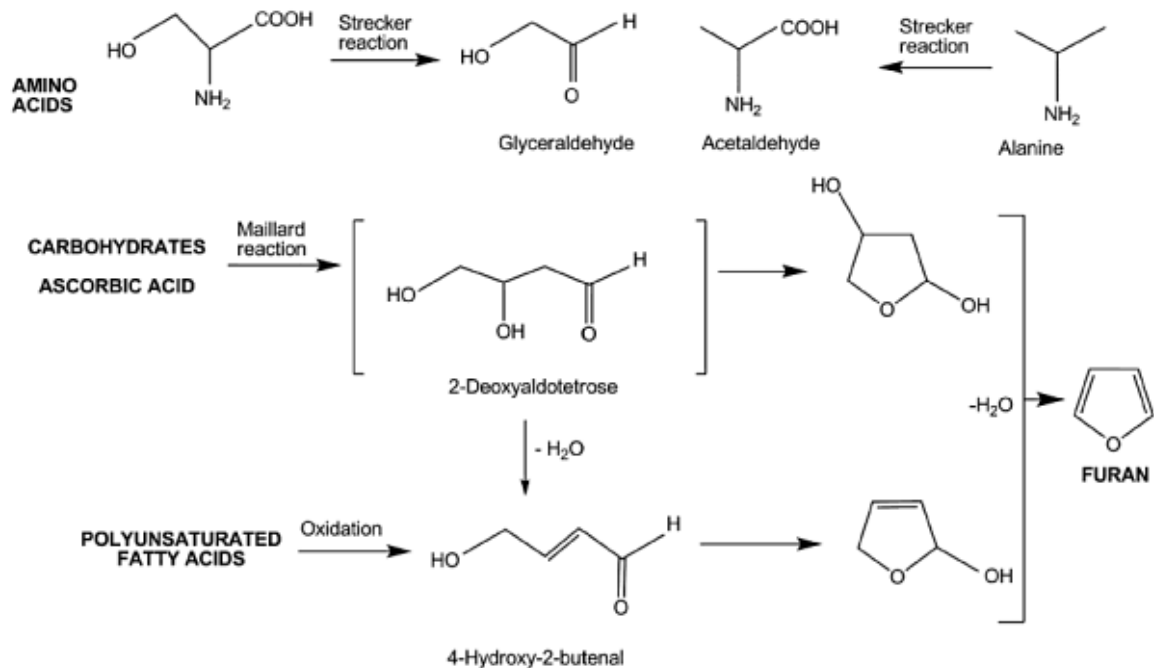


Figura 2: Mecanismos de formación de furano en alimentos calentados (Boisrobert y cols, 2010).

Aún existe muy poca información sobre la estabilidad del furano en los alimentos. Como se trata de un compuesto altamente volátil se pensó que podría eliminarse mediante la cocción. Sin embargo se ha reportado que un calentamiento leve no sería capaz de reducir los niveles de furano presentes en los alimentos sino más bien se debe aplicar una alta y prolongada ebullición para obtener pérdidas substanciales (Lawely y cols, 2012).

Muchos factores pueden afectar la formación de furano en los alimentos pero al parecer el nivel de estos tiende a ser mayor en alimentos con mezclas complejas de

carbohidratos, ácidos grasos y proteínas que en aquellos de composición más simple (Boirobert y cols, 2010).

1.1.7 Efectos sobre la salud

El furano puede pasar fácilmente a través de las membranas biológicas y es extensamente absorbido por los pulmones o intestinos (Senate Commission on Food Safety, 2007). Este compuesto es citotóxico y afecta principalmente al hígado. Sin embargo, la mayor preocupación corresponde a su efecto debido a una exposición prolongada a través de la dieta (Lawely y cols, 2012). Actualmente no se ha encontrado evidencia de que este compuesto efectivamente sea cancerígeno en humanos. Sin embargo, demostró ser cancerígeno en diversos estudios realizados en ratas y por esta razón ha sido clasificado como “posible cancerígeno en humanos” por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, 1995). Por otra parte la Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria (EFSA) ha atribuído su carcinogenicidad al mecanismo genotóxico del compuesto (Huang y cols, 2011).

1.1.8 Presencia de furano en los alimentos

El furano se ha encontrado en una variedad de alimentos, tales como el café, productos en conserva, carne y varios vegetales (FDA, 2008). La preocupación sobre la presencia de furano en los alimentos data desde el 2004, cuando un estudio de la FDA, sobre alimentos sometidos a tratamiento térmico, reveló que se podían encontrar bajos niveles de furano en una gran cantidad de productos procesados (Lawely y cols, 2012).

En la Tabla 2 se presentan los niveles de furano en distintas categorías de alimentos reportados por la EFSA durante el periodo 2004 – 2010.

Tabla 2: Contenido de furano en los alimentos por principales categorías de alimentos

Alimento	Furano promedio (µg/Kg)	Alimento	Furano promedio (µg/Kg)
Café instantáneo	394	Jugos de frutas	2,2 – 4,6
Colados infantiles	31 – 32	Productos cárnicos	13 – 17
Fórmula infantil	0,2 – 3,2	Productos lácteos	5 – 5,6
Cerveza	3,3 – 5,2	Sopas	23 – 24
Cereales	15 – 18	Salsa de soya	27
Pescado	17	Snacks y chips	9,6 – 10
Frutas	2 – 6,4	Vegetales	6,9 – 9,6

Fuente: EFSA, 2011

1.1.9 Medidas de mitigación del furano

Como la carcinogenicidad del furano se ha atribuido a un mecanismo genotóxico (IARC, 1995), se debiese tratar de mantener sus niveles lo más bajo posible. El camino más obvio para lograr la reducción de un contaminante inducido por calor es cambiar el rango de temperaturas o bien reducir el contenido de sus precursores (Lawely y cols, 2012; Mariotti y cols., 2012). Sin embargo esto presenta un reto, por un lado, hay pocas opciones para emplear temperaturas bajas, ya que eso dificultaría mantener la inocuidad microbiológica del alimento, y por otra parte el furano presenta una amplia gama de precursores (Crews y Castle, 2007).

Los estudios sobre medidas de mitigación del furano son relativamente nuevos y específicos, lo que no es extrapolable a otro tipo de alimentos ya que la formación de furano está fuertemente vinculada con el tipo de matriz alimenticia. (Mariotti y cols, 2012). No obstante si se toma en cuenta la exposición de este compuesto en la dieta de la población chilena, la mayor fuente de furano corresponde a alimentos amiláceos de baja humedad como chips y galletas tipo “crackers” (Mariotti y cols, 2013b). Por lo que técnicas para reducir furano en estos tipos de alimentos puede significar una reducción importante en la exposición dietaria de la población.

1.1.10 Escaldado

El escaldado con agua caliente es una de las operaciones unitarias más importantes en el proceso de alimentos ya que desactiva enzimas presentes en el tejido y retrasa el pardeamiento (Kozempel y cols, 1985).

El proceso consiste en calentar rápidamente el alimento a una temperatura específica y por un tiempo determinado. Con esto se podría lograr reducir la absorción de aceite y por ende el contenido de grasa del producto final debido a la gelatinización del almidón en la superficie (Institution of Chemical Engineer, 1992). Sin embargo se ha reportado que papas fritas sometidas únicamente al proceso de escaldado, han absorbido la misma cantidad de aceite e incluso más que una papa frita sin escaldar, por lo que un tratamiento previo, como el pre-secado, sería requerido para controlar este parámetro (Moyano y Pedreschi, 2006).

En la producción de papas fritas el escaldado se realiza para inducir la lixiviación de azúcares acumulados con el fin de controlar la reacción de Maillard durante la fritura posterior (González-Martínez y cols, 2004) y, con eso, el color que adquiere el producto terminado.

En la industria suelen usarse combinaciones de escaldado de altas temperatura por tiempos cortos con el fin de disminuir los costos de producción. Sin embargo se debe tener en cuenta que altas temperaturas pueden causar efectos secundarios en la papa ya que se produce un daño en el tejido vegetal, esto afecta la textura final del producto y como consecuencia aumenta la absorción de aceite en el chip (Mariotti y cols, 2014).

1.1.11 Proceso de fritura

La fritura es un proceso complejo que involucra una serie de cambios físicos y químicos en la papa, incluyendo la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, vaporización del agua y la formación de costra (Rinmac-Brncic y cols, 2004).

En la Figura 3 se puede ver un esquema del proceso de fritura. Cuando se sumerge un alimento en aceite caliente la temperatura de la superficie sube rápidamente. El agua contenida en la superficie comienza a evaporarse y el aceite de los alrededores se enfría pero esto es compensado por convección. Debido a la evaporación del agua se produce un secado de la superficie y la formación de una costra exterior, esto lleva a un aumento de la porosidad y rugosidad.

El agua al interior del alimento se calienta y se produce una cocción. Mientras pasa el tiempo de fritura el contenido de humedad disminuye y por ende se reduce la cantidad de burbujas que salen del alimento, el agua es gradualmente transportada hacia el exterior debido a la evaporación, mientras que el alimento absorbe aceite reemplazando el agua perdida (Méndez y cols, 2013). Durante el proceso ocurren cambios fisicoquímicos (retrodegradación del almidón, reacción de Maillard), lo que es beneficioso organolépticamente para el alimento. En el caso de papas tipo bastón el núcleo alcanza una temperatura máxima de 100°C pero para papas tipo chips esta temperatura es mayor (Mellema, 2003). Los parámetros principales que influyen en la pérdida de agua y absorción de aceite son el tiempo y la temperatura de fritura, específicamente las temperaturas entre 150 y 180°C no tienen un efecto significativo sobre el aceite absorbido, sin embargo, en general se ha reportado que una mayor temperatura produce una menor absorción de aceite. Por otra parte la composición del alimento, en particular la estructura, composición, humedad, contenido de lípidos forma, porosidad, pre tratamientos aplicados y la relación superficie/peso también influyen sobre la absorción de aceite (Dobarganes y cols, 2000).

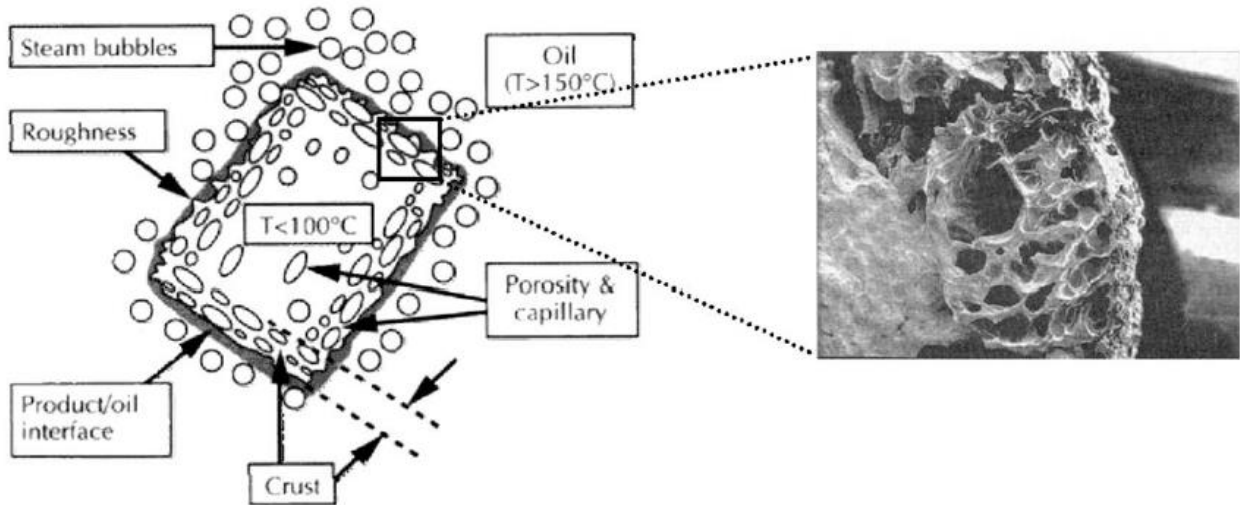


Figura 3: Sección transversal esquematizada de un trozo de comida durante el proceso de fritura (derecha). Imagen de microscopio electrónico de una sección transversal de la corteza de una patata frita (izquierda) (Mellema, 2003)

Por otra parte si los chips se fríen a una temperatura baja y se interrumpe la ebullición que se lleva a cabo en la capa más externa, la corteza no se forma. Esto permite que el aceite ingrese al núcleo de la papa frita. Se puede absorber hasta un 40% más de aceite cuando la temperatura está 10°C por debajo de la temperatura recomendada de fritura, de 180°C a 185°C (Mehta y Swinburn, 2001). Conforme esto, Pedreschi y cols. (2007) reportó un aumento de la absorción de aceite a medida que disminuye la temperatura de fritura.

En el caso de las papas la pérdida de agua y absorción de aceite depende fuertemente de la gravedad específica del tubérculo, a medida que aumenta la gravedad específica, disminuye la absorción de aceite, al igual que la relación superficie/peso, a mayor relación también hay una mayor absorción de aceite (Dobarganes, 2000)

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos generales

Determinar el efecto del tratamiento de escaldado con agua en papas fritas tipo chips (variedad Yagana) a distintas combinaciones de tiempo y temperatura sobre el contenido de furano y propiedades sensoriales.

2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar y entrenar a un panel sensorial para la evaluación de las papas chips.
- Realizar el escaldado de las papas a tres temperaturas distintas y establecer las cinéticas de lixiviación de los azúcares.
- Realizar análisis químicos y sensoriales a las muestras de papas fritas escaldadas a tres temperaturas distintas. Para esto se determinará: Contenido de aceite, contenido de furano, test de valoración de calidad con escala Karlsruhe, perfil descriptivo.
- Analizar los atributos sensoriales del test de calidad en conjunto con el contenido de furano para obtener un tiempo y temperatura óptimos de escaldado
- Obtener los valores de los atributos descriptivos en el punto óptimo de escaldado.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Se plantea que la aplicación del pre-tratamiento de escaldado con agua disminuya la cantidad de azúcares reductores presentes en la papa y minimice la presencia de furano en papas fritas tipo chips, manteniendo una calidad sensorial aceptable.

4. METODOLOGIA

4.1 Elaboración de las muestras

4.1.1 Materia Prima

Como materia prima se utilizaron tres lotes distintos de papa de la variedad Yagana (~22% materia seca), las cuales se compraron en los meses de Mayo, Octubre y Marzo. Las papas se comercializaban como papa premium en mallas de 2 Kilos con el nombre Huertos de Ranco, todas provenían del Lago Ranco, XIV región. Las papas se mantuvieron almacenadas a temperatura ambiente cuidando que no estuviesen a menos de 10°C y en un lugar con poca luz.

Las papas se seleccionaron para evitar la presencia de brotes y pudrición, posteriormente se lavaron con agua para eliminar el exceso de tierra.

4.1.2 Corte

Las papas con cáscara se rebanaron en una cortadora de fiambres (FAC, tipo F 250 E, Italia) donde se ajustó el espesor a 1,5 mm. Luego las rebanadas se cortaron con un molde y se obtuvieron chips con un diámetro de 37mm. Finalmente se les dio un lavado rápido con agua de la llave para remover el exceso de almidón.

4.1.3 Pretratamiento de escaldado

El pretratamiento aplicado consistió en un escaldado por agua a distintas combinaciones de tiempo y temperatura. Se ubicaron 60 chips (1 batch) de $2,1 \pm 0,1$ g cada uno en un canasto de acero inoxidable y se cubrieron con una malla del mismo material para evitar su flotación. Luego éste se situó dentro de un baño termoregulado (Jeio Tech BS-21, capacidad 40 L con control decimal de temperatura y agitación, Korea) el cual se llenó con 16 litros de agua de la red. Se recambió el medio de escaldado con cada batch de chips.

Posterior al tratamiento los chips se lavaron por 5 segundos en agua fría y se secaron sobre papel absorbente durante 1 minuto.

4.1.4 Proceso de fritura

El proceso de fritura se realizó bajo condiciones atmosféricas a una temperatura de 180°C. Para el proceso se dispuso de 12 chips (1 batch) en una freidora eléctrica (Súper Chacón F2-C, capacidad 18 L de aceite complementada con un sistema de control de temperatura Watlow, Serie SD, Chile). Los chips se ordenaron en un canasto de acero inoxidable que luego se cubrió con una malla de acero para asegurar que se mantuvieran sumergidos en el aceite.

El medio de fritura utilizado fue aceite de maravilla alto oleico marca Camilo Ferrón. La cantidad consistió en 4 litros de aceite por cada 6 batch de papas. Para cada batch se utilizó una proporción papa/volumen aceite de 1:160. Una vez terminado el proceso de fritura se procedió a sacar los chips del canasto y a drenar el exceso de aceite superficial con papel absorbente durante 1 minuto.

Los chips destinados a la evaluación sensorial se almacenaron a temperatura ambiente y en bolsas herméticas de polietileno marca ziploc, envueltas en papel aluminio, mientras que los chips destinados a la medición de furano se mantuvieron almacenados en bolsas plásticas herméticas en un congelador (Freezer GSV34V43 Bosch, Alemania) a -18°C.

El tiempo de fritura se determinó mediante ensayos preliminares hasta ajustar la humedad final de los chips entre un 1,5 – 2% (base húmeda), este proceso se repitió para cada combinación de escaldado.

4.1.5 Salado papas fritas

Se adicionó sal de mesa marca Lobos únicamente a los chips destinados a la evaluación sensorial en una cantidad de 1,2 g de sal/100 g de chips.

Cada batch de chips se introdujo en una bolsa hermética, se adicionó la sal previamente pesada y se agitó la bolsa durante 3 minutos. Finalmente se envolvió la bolsa con papel aluminio y se almacenó para la evaluación. En la Figura 4 se presenta el diagrama de bloques del proceso de elaboración de los chips.

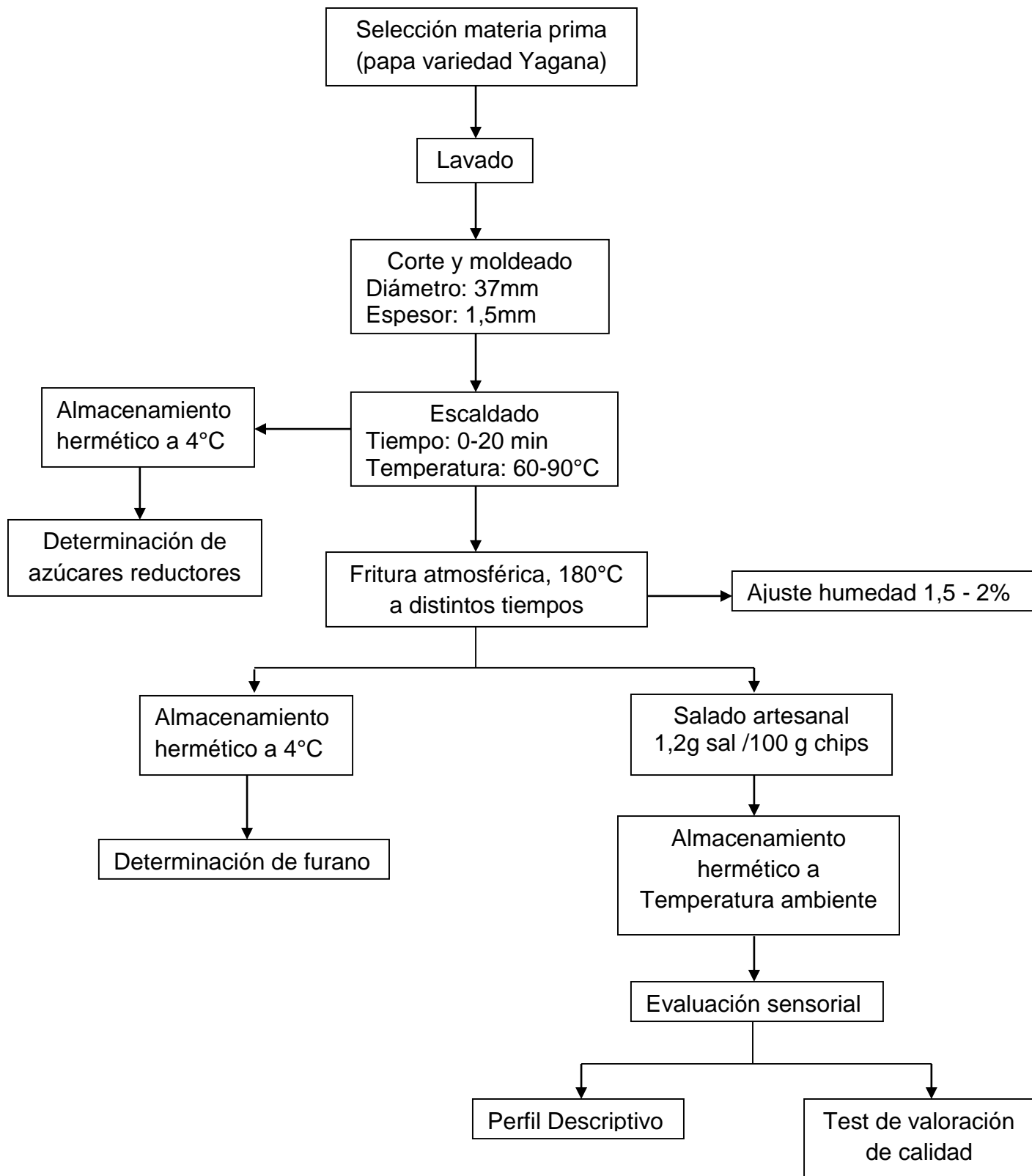


Figura 4: Diagrama de bloques elaboración de papas fritas tipo chip

4.2 Determinación de humedad

La humedad de los chips se midió con una balanza infrarroja (A&D Instrument, modelo MS-70, Japón) la cual hace la medición mediante gravimetría a través de un proceso de secado con una lámpara halógena y un sensor para registrar las variaciones de peso de la muestra. El porcentaje de humedad final se obtiene cuando la balanza detecta un peso constante.

Se pesaron 5 gramos de chips en la balanza, lo cual corresponde a una precisión media del equipo. Se usó un programa de 105°C con un tiempo de medición entre 3 a 90 minutos. Los resultados se obtuvieron en base húmeda, para cada combinación de escaldado y en duplicado.

4.3 Determinación de azúcares reductores mediante HPLC

Con el fin de obtener las cinéticas de lixiviación de los azúcares reductores, glucosa y fructosa, presentes en la papa se realizó un análisis mediante cromatografía líquida HPLC.

Se usó un método adaptado según Varela y cols (2003). Se congelaron las muestras de chips crudos y escaldados en bolsas herméticas a -18°C y se molieron usando un procesador de alimentos (Philips, Hr1617). Se pesaron 2 g de muestra en una balanza analítica (A&D Company Limited. Modelo GR-200, Japón) y se suspendieron en 10 ml de agua ultrapura (Milli Q) en un tubo centrífuga de 10 ml, se homogenizó la muestra por 30 segundos en un agitador (Heidolph, modelo Reax top) y luego se llevó a un baño termo regulado a 37°C con agitación suave por 30 minutos para asegurar la extracción completa de los azúcares. A continuación se centrifugaron los tubos con la muestra a 6000 rpm por 10 minutos a una temperatura de 4°C. Con una jeringa se tomaron 1,5 ml del sobrenadante y se pasó por un filtro de 0,20 µm, el filtrado se recogió en viales para hacer el análisis en el equipo HPLC (Hitachi VWR, Elite La Chrome, E.E.U.U) equipado con un detector IR (Hitachi, L-2490), autosampler (Hitachi, L-2200) y una bomba

(Hitachi, L-2130). El procedimiento se realizó por triplicado para cada medición. Las condiciones del análisis se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones de trabajo para equipo HPLC-IR

Columna	Aminex hpx-87p (300 mm x 7,8 mm)
Fase móvil	Agua milli Q
Flujo fase móvil	0,9 mL/min
Temperatura columna	80°C
Volumen de inyección de muestra	20 µL

4.3.1 Desempeño analítico de metodología para determinación de azúcares reductores en papa

Previo al análisis de los azúcares presentes en las muestras, se realizó un análisis del método a utilizar. Esto se hizo para asegurar que tanto el funcionamiento del equipo como el método de extracción de los azúcares proporcionaban resultados fiables. Este análisis da una garantía de fiabilidad durante el uso normal del método. Se describe como "el proceso que proporciona evidencia documentada que el método hace lo que tiene la intención de hacer ". Los parámetros y requisitos de aceptación se seleccionaron según lo indicado por Ghulam (2003). Este método se llevó a cabo usando el mismo proceso de extracción descrito con anterioridad y para ambos azúcares por separado. Se midieron los siguientes parámetros:

- a) Linealidad: La capacidad del método de dar resultados directamente proporcionales a la concentración del analito en un rango determinado. Se midió inyectando 5 concentraciones de cada estándar en un rango de 5 a 25 µL. Como parámetro de aceptación se exigió un ajuste de $r^2 > 0,998$.
- b) Precisión: Es la medida del grado de repetibilidad del método para un número estadísticamente significativo de muestras. Se midió la repetibilidad y la reproducibilidad considerando el coeficiente de variación entre los resultados como parámetro de aceptación. En ambos casos se trabajó con 7 muestras. Se

enriquecieron 6 muestras con 1,5 ml de cada estándar de 2000 ppb y se inyectó una muestra sin enriquecer (blanco). Para la medición de repetibilidad una persona realizó la preparación y medición de las muestras mientras que para la medición de reproducibilidad una persona realizó la preparación de 4 muestras (un blanco más 3 muestra enriquecidas) y otra persona preparó las otras tres. Como parámetro de aceptación se exigió un coeficiente de variación menor al 10%.

- c) Exactitud: Para saber qué tan cercano es el valor experimental del real se midió la exactitud mediante el porcentaje de recuperación de cada azúcar. Para esto se inyectó una muestra control (sin estándar adicionado) y 8 muestras con 3 ml de cada estándar de 2000 ppb. Luego se calculó el porcentaje de recuperación de cada muestra por triplicado. Para una exactitud aceptable se exigió un porcentaje de recuperación mayor al 80%.
- d) Límite de detección (LD) e identificación (LI) del equipo: Para la determinación del límite de detección se inyectaron bajas concentraciones de un estándar de cada azúcar. Luego cada límite se determinó visualmente observando los cromatogramas obtenidos.

El límite de identificación se determinó aplicando la ecuación:

$$LI = 3LD$$

4.4 Determinación del contenido de aceite

Para la determinación del contenido de aceite se utilizó el método AOAC (1990) descrito por el Instituto de Salud Pública de Chile (2014), donde una cantidad previamente homogeneizada, seca y pesada del alimento se somete a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos.

Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por extracción soxhlet.

Se pesaron 5 g de muestra molida en un papel filtro (125 mm y 87 g/m²) que luego se dobló en forma de cartucho, se pesó y se introdujo en el tubo de extracción. Previamente se pesó un balón de 250 ml y aproximadamente 10 perlas. Se adicionó 200 ml de Eter de petróleo (P.E 40-60°C p.a) al balón como solvente y se armó el sistema soxhlet. Se configuró la temperatura a 80°C durante 6 horas, tiempo que duró el proceso de extracción.

Una vez terminado el proceso de extracción se conectó el balón a un rotavapor (Heidolph Hei-VAP Advantage, Alemania) conectado a un sistema de vacío (Vacuubrand, MZ 2C NT+ AK+ CK, Alemania) y se separó el solvente del aceite. Luego de rotavaporar y para asegurar la remoción completa de solvente se llevó el balón a una estufa (Binder, serie FED-53, Alemania) durante 2 horas, luego se introdujo en un desecador por 20 minutos. Finalmente se pesó el balón para obtener el contenido de aceite por diferencia de pesos. Las mediciones se llevaron a cabo para cada combinación de tiempo y temperatura del tratamiento de escaldado por duplicado. Los resultados se informaron en % de aceite en base húmeda.

Para obtener el contenido de aceite se usó la ecuación:

$$\% \text{ aceite} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100$$

Donde:

m: peso de la muestra

m₁: tara del matraz solo + perlas

m₂: peso matraz con grasa + perlas

4.5 Determinación del contenido de furano

Se determinó el contenido de furano, en triplicado, para todas las combinaciones de escaldado. Para la determinación eficiente de furano se adaptó el método de cromatografía de gases-espectrometría de masa (CG-MS) según Zoller y cols (2007). En un vial se pesaron 0,5 g de muestra previamente congelada y homogenizada. Se agregaron 5,5 ml de NaCl 5M a cada vial. Luego se agregaron 200 μ L de una solución de trabajo de furano d4 (1,5 μ g/ml) como estándar interno y además se adicionaron 0, 0, 0, 100, 100, 200, 400 μ L de solución de trabajo de furano (1,5 μ g/ml). Cada vial se pasó por un agitador por 30 segundos para asegurar la homogenización. Finalmente se inyectó las muestras en un cromatógrafo de gas - espectrómetro de masas (GC-MS) (Agilent 6890N GC con Agilent MSD 5973 N, Palo Alto, CA) equipado con un inyector automático (CTC PAL ALS Agilent GC sampler 80) con las siguientes condiciones (Tabla 4):

Tabla 4: Condiciones de cromatógrafo de gases

Columna	HP-Plot Q, 15 m, 0,32 mm ID, 20 micras
Temperatura de incubación	60°C
Tiempo de incubación	1200 s
Temperatura jeringa	70°C
Velocidad de agitación	500 rpm
Volumen de inyección	1 ml
Tiempo de tiraje GC	1260 s
Rampa de temperatura horno	50°C por 1min, 10°C/min a 160°C
Flujo columna	1,7 ml/min helio (flujo constante)
Temperatura de la fuente	230°C

Para la cuantificación se obtuvieron las razones de las áreas entre los peaks de las respuestas a m/z 68 (unidades con que se identifica furano) y m/z 72 (unidades con que se identifica furano d4).

4.6 Evaluación sensorial

4.6.1 Test utilizados

4.6.2 Test de valoración de calidad con escala Karlsruhe específica para papas fritas

Para determinar la calidad sensorial del producto final se usó la Tabla de valoración de calidad de 6 puntos específica para papas fritas tipo chips elaborada con anterioridad (Morales, 2008). Esta consta de 6 puntos, agrupados en 3 grados de calidad donde cada uno se subdivide en dos subgrupos (Tabla 5). Los parámetros a evaluar correspondían a color, apariencia, aroma, sabor y textura.

Tabla 5: Grados y Sub-grados de calidad

Grados	Clasificación verbal	Clasificación numérica
Grado 1 Característica típicas	Muy Buena	6
	Buena	5
Grado 2 Deterioro tolerable	Regular	4
	Suficiente	3
Grado 3 Deterioro indeseable	Mala	2
	Muy Mala	1

Para la evaluación se ubicó una a una las muestras codificadas al centro de la mesa, donde se consideró 4 a 5 chips por juez. Cada juez debía comenzar evaluando los parámetros de color y apariencia del conjunto de chips de la muestra. Luego debía retirar sus chips correspondientes y continuar evaluando los parámetros de aroma, sabor y textura. Esta misma metodología se implementó para el test descriptivo.

Adicionalmente, durante el entrenamiento, se pidió a los jueces hacer observaciones a cada descripción de los atributos para poder conseguir una clasificación más específica de las muestras. Al término de cada evaluación se hizo una discusión en conjunto para explicar los cambios realizados en la escala Karlsruhe a todo el panel. Esto se repitió durante todas las sesiones de entrenamiento hasta obtener la hoja de respuesta y tabla final específica para chips (Anexos 1 al 4).

4.6.3 Perfil Descriptivo

Se realizó un perfil descriptivo para cada muestra determinada en el diseño experimental. Se usó escalas de 10 puntos para analizar los descriptores que se consideraron más importantes y similares a lo evaluado por el test de calidad: (Homogeneidad de color, Intensidad de color de superficie, Apariencia aceitosa, Tamaño de manchas, Fracturabilidad, Crujencia, Sabor tostado).

Para orientar a los jueces durante la evaluación de los atributos visuales de homogeneidad e intensidad de color, apariencia aceitosa y tamaño de manchas, se proporcionó fotografías de chips que equivalían a distintos puntos de la escala. Estas fotografías se usaron en el entrenamiento de los jueces y durante la evaluación de las muestras.

4.6.4 Entrenamiento Panel sensorial

Se eligió como jueces a estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile que cumplieran como requisito haber cursado y aprobado la asignatura de evaluación sensorial.

Para el entrenamiento del panel sensorial se aplicó el test de valoración de calidad con escala de 6 puntos de Karlsruhe y un perfil descriptivo, ambos descritos más adelante. Se usaron como muestras marcas comerciales de papas fritas y chips elaborados en el laboratorio.

Para cada evaluación se ubicó a los jueces en una mesa rectangular donde cada puesto contaba con un lápiz, plato, una tabla de calidad Karlsruhe, hoja de respuesta (Anexo 1 y 2), un vaso de agua y una taza de té. Se instruyó a los jueces a usar como medio de neutralización el té y luego a neutralizar por segunda vez con agua. Este proceso se repitió entre cada muestra a evaluar. El té se preparó en un termo (marca Thermos de 2 L de capacidad), donde se adicionó 1,5 litros de agua, 2 bolsitas de té

marca Té Supremo y dos cucharadas de azúcar. Las bolsitas de té se sumergieron en el agua durante 3 minutos y luego se retiraron para evitar un sabor amargo.

Se llevaron a cabo 4 sesiones de entrenamiento (Tabla 6). En la primera sesión se usaron 4 marcas comerciales de papas fritas de distintas calidades. En la segunda sesión se horneó dos marcas comerciales a distintos tiempos y temperaturas para variar levemente las diferencias entre las muestras. En la tercera y cuarta sesión se usaron chips elaborados en el laboratorio con diferencias claras entre los atributos de color, sabor, apariencia y aroma, con el fin de que las muestras cubrieran todos los grados de calidad descritos por la tabla Karlsruhe. Cabe destacar que en las dos primeras sesiones se evaluaron los atributos de color, apariencia, sabor y textura, el atributo aroma se evaluó a partir de la tercera sesión en adelante.

De esta forma los jueces se familiarizaron con los distintos grados y clasificaciones de calidad a evaluar.

Tabla 6: Sesiones de entrenamiento para la evaluación de papas fritas tipo chips

Sesión	Muestras evaluadas	Test aplicados
1	Lay's corte liso Mom's Marco Polo Primor	Test valoración de calidad
2	Mom's directo del paquete Mom's horneadas 50°C, 6,5 minutos Lay's fina selección directo del paquete Lay's fina selección horneadas 60°C, 10 minutos	Test valoración de calidad
3	Chips escaldados 60°C, 12,5 minutos Chips escaldados 75°C, 5 minutos Chips escaldados 75°C, 20 minutos	Test valoración de calidad Perfil descriptivo
4	Chips sin escaldar Chips escaldados 60°C, 12,5 minutos Chips escaldados 75°C, 20 minutos	Test valoración de calidad Perfil descriptivo

Una vez concluido el entrenamiento se prosiguió a la validación de los jueces para la evaluación de las muestras.

4.6.5 Validación del panel sensorial

Se realizaron tres sesiones con los jueces previamente entrenados. Usando la norma ISO 11132 - 2012 se midió el desempeño general del panel y de cada evaluador. Los test a utilizar correspondieron al test con escala Karlsruhe y un perfil descriptivo (Anexo 1,3 y 4). Para las evaluaciones se usaron 3 muestras distintas entre sí que se repitieron durante las sesiones de validación:

- Chips sin escaldar
- Chips escaldados a 60°C por 10 minutos
- Chips escaldados a 75°C por 20 minutos

Mediante la validación con la norma se midió la capacidad del panel para hacer evaluaciones válidas sobre los atributos de las distintas muestras. Esto comprende la capacidad del panel para detectar, identificar y medir un atributo, discriminar entre estímulos, usar los test de forma adecuada y repetir sus resultados.

Se comenzó realizando un análisis de varianza ANOVA para el panel en general y para cada juez. Luego con los datos obtenidos de cada análisis se hicieron las mediciones siguientes presentadas en la Tabla 7.

Tabla 7: Mediciones realizadas para medir el desempeño del panel

Evaluación de desempeño	Indicadores de desempeño	Requisitos de aceptación
General del panel	Discriminación	Existen D. S. entre muestras
	Homogeneidad	Sin D.S. entre interacción muestras-jueces
	Reproducibilidad	Sin D.S. entre sesiones, sesiones-muestras, sesiones-jueces
Por cada juez	Discriminación	D.S entre muestras por cada juez

D. S. Diferencias significativas a un nivel de confianza de 0,05.

SD Desviación estándar

Los jueces que no cumplieron con los requisitos necesarios, como falta de compromiso con la evaluación o falta de habilidades requeridas, fueron eliminados de las sesiones siguientes.

4.7 Diseño Experimental

Para determinar el efecto del tiempo y la temperatura de escaldado sobre la calidad sensorial y el contenido de furano en chips se realizó un diseño rotacional central compuesto con 3 puntos centrales. Para las variables de respuesta se analizó el contenido de furano presente en las papas fritas junto con los parámetros color, aroma, sabor y textura obtenidos con el test de valoración de calidad.

Se codificó los puntos superior, inferior y central como $-\sqrt{2}$, 0 y $\sqrt{2}$ (Figura 5). El análisis de datos se realizó mediante el programa StatGraphics Centurion XV, el cual al mismo tiempo aleatorizó las combinaciones, con esto se obtuvo la matriz de la Tabla 8.

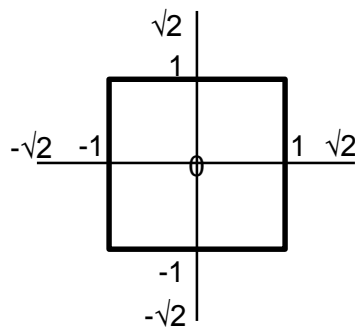


Figura 5: Límites del diseño central rotacional compuesto

Tabla 8: Matriz del diseño experimental

Experimento	X1	X2
1	$\sqrt{2}$	0
2	0	$\sqrt{2}$
3	-1	1
4	0	$-\sqrt{2}$
5	-1	-1
6	0	0
7	$-\sqrt{2}$	0
8	1	-1
9	0	0
10	1	1
11	0	0

4.8 Análisis estadísticos

Todos los análisis estadísticos se hicieron usando el programa StatGraphics Centurion XV, fabricado por StatPoint, Inc., 2007

4.8.1 Análisis de varianza

Para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial se realizó un análisis de varianza ANOVA de dos factores (muestras y jueces) para cada atributo. Se usó un nivel de confianza del 95% para determinar si existían diferencias significativas entre las muestras y jueces para cada atributo sensorial. Los parámetros que presentaron diferencias significativas se analizaron por test de diferencias múltiples de Tukey.

4.8.2 Optimización mediante superficie de respuesta

Se utilizó el método de superficie de respuesta para analizar el contenido de furano, los atributos sensoriales y atributos descriptivos que presentaron diferencias significativas entre muestras pero no entre evaluadores.

Durante el proceso se eliminaron los efectos no significativos identificados mediante el gráfico de Pareto. Luego se definió la meta de optimización de cada respuesta, en el caso del contenido de furano se buscaba su minimización en las muestras y en el caso de los atributos sensoriales de calidad, se buscaba su maximización. Para los atributos descriptivos se ajustó el mejor modelo de los datos mediante una ecuación de regresión. Al finalizar este análisis se obtuvo un modelo de cada respuesta en donde se requería obtener un ajuste de modelo R^2 ajustado $> 80\%$.

Posteriormente se realizó una optimización múltiple de los resultados que incluía el contenido de furano y los atributos de la evaluación de calidad, lo que permitió conocer la combinación óptima de tiempo y temperatura del tratamiento. Una vez obtenidos los valores óptimos de cada factor, se remplazaron en las ecuaciones de los atributos del perfil descriptivo, consiguiendo una puntuación específica en la escala para cada atributo descriptivo. En la Figura 6 se representan los análisis realizados.

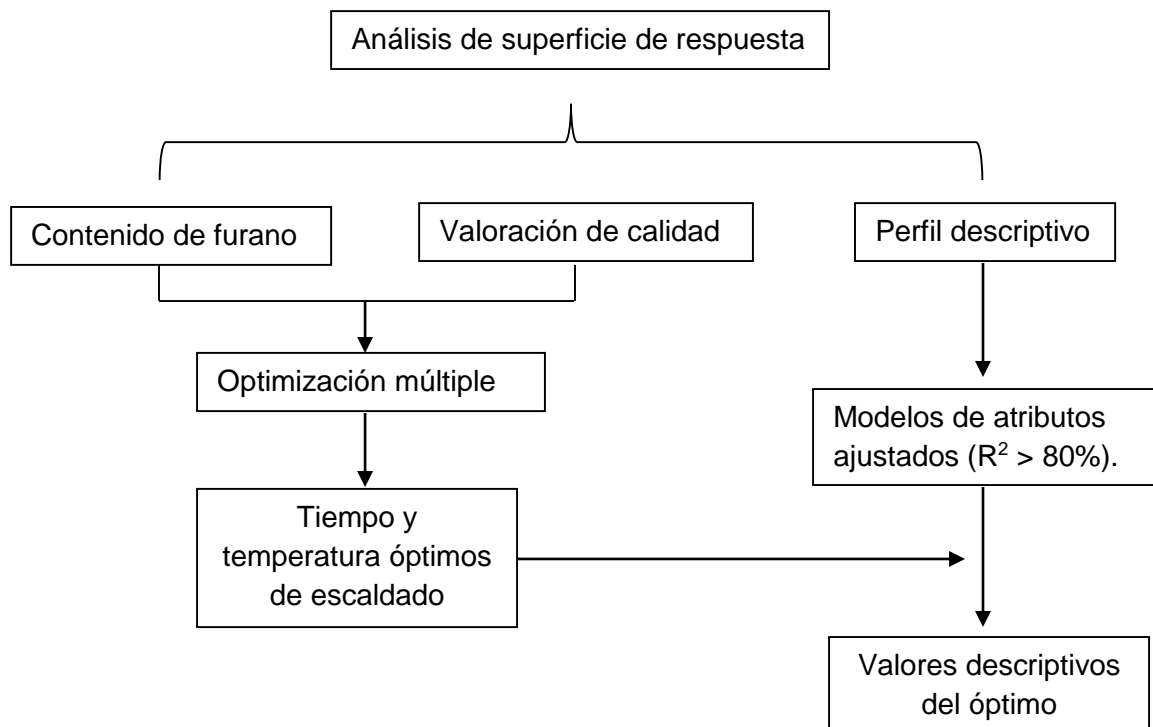


Figura 6: Análisis y optimización realizadas a los datos

5 RESULTADOS

5.1 Diseño experimental

Se determinó como factores del diseño el tiempo (X_1) y la temperatura (X_2) de escaldado. Como variables de respuesta se consideraron los atributos de color, apariencia, aroma, textura y sabor de la evaluación de calidad más el contenido de furano. Se generaron y aleatorizaron 8 combinaciones con tres puntos centrales (Tabla 9).

Los factores experimentales de tiempo y temperatura se determinaron de distintas formas. Para la elección de las temperaturas de escaldado se tuvo en consideración la temperatura de gelatinización del almidón de papa (Aguilera y cols, 2001), se escogieron temperaturas bajo, sobre y en la temperatura de gelatinización del almidón, por lo que se trabajó en un rango de 64°C a 85°C. Para la determinación de los tiempos de escaldado se realizaron ensayos preliminares donde éste se fue variando hasta que se observó un cambio en el color de las muestras. Con esto se definió un rango de trabajo de 2,5 a 17 minutos.

Tabla 9: Corridas experimentales del diseño central rotacional compuesto

Experimento	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
1	20	75
2	10	90
3	2,5	85
4	10	60
5	2,5	64
6*	10	75
7	0	75
8	17	64
9*	10	75
10	17	85
11*	10	75

(*) Puntos centrales del diseño experimental

El contenido de humedad de cada chip varió según las condiciones de escaldado. En el Anexo 5 se encuentran los tiempos de fritura para chips con humedad entre un 1,5 -2%, junto con las humedades finales obtenidas.

5.2 Desempeño analítico de la técnica para determinar azúcares reductores

En la Tabla 10 se presentan los resultados del desempeño de la técnica para determinar los azúcares (glucosa-fructosa) reductores en papa.

Tabla 10: Resumen de parámetros para determinar robustez y desempeño de la técnica de cuantificación de azúcares reductores.

Parámetros	Glucosa	Fructosa	Requisitos
Linealidad (R)	0,9989	0,9997	0,998
Repetibilidad (CV)	4,80%	6,48%	< 10%
Reproducibilidad (CV)	6,68%	9,80%	< 10%
Exactitud (% recuperación)	81,15%	90,55%	>80%
Límite de detección (ng)	125	250	---
Límite de cuantificación (ng)	375	750	---

Observando estos resultados se puede afirmar que la técnica es robusta y tiene un buen desempeño ya que para la linealidad el ajuste de ambos azúcares fue superior a un 0,99. Lo mismo sucede para la precisión, tanto en la glucosa como en la fructosa el coeficiente de variación fue inferior a un 10% para la medición de la repetibilidad y reproducibilidad. Para la exactitud se obtuvo un porcentaje mayor al 80% de recuperación, superior al requisito de aceptación (Ghulam, 2003).

Para los límites de detección y cuantificación se observa que el equipo es capaz de detectar concentraciones de cada azúcar y en ambos casos el límite de cuantificación es mucho más bajo que la cantidad existente en las muestras de papa. Se debe considerar que una muestra control (sin enriquecer) contiene entre 6000-7000 ng de fructosa y entre 10.000 – 11.000 ng de glucosa, cantidades muy superiores al límite de cuantificación, por ende, se considera que la técnica es apta para medir la concentración de azúcares.

5.3 Lixiviación de azúcares reductores

Se midió el contenido de azúcares reductores en la papa cruda y escaldada a distintas temperaturas e intervalos de tiempo. En las Figuras 7 y 8 se presentan las curvas obtenidas con los distintos tratamientos para la glucosa y fructosa.

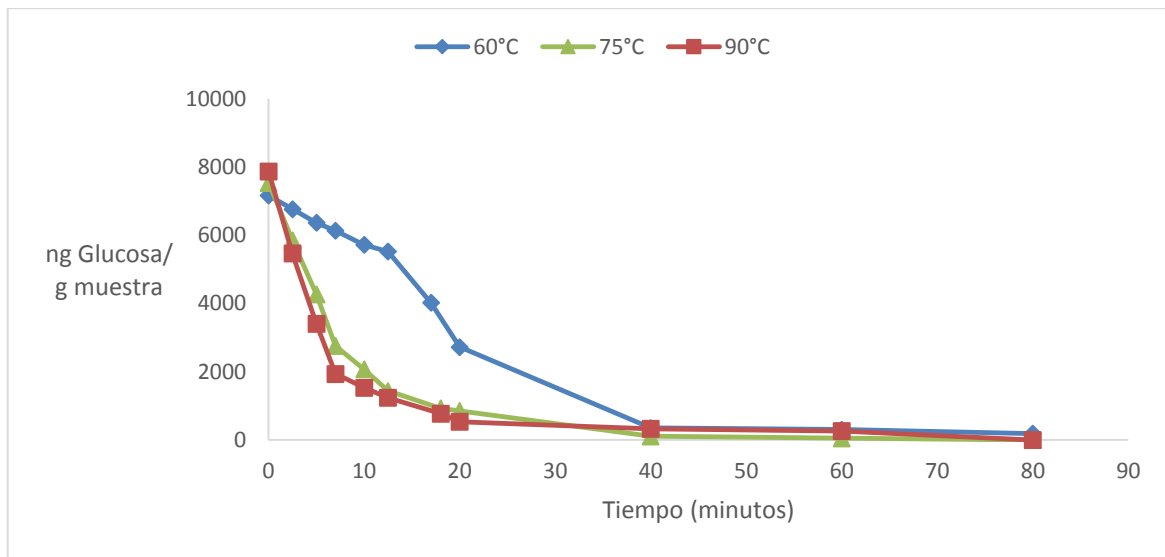


Figura 7: Cinética de extracción de glucosa en rodajas de papa a 60, 75 y 90°C

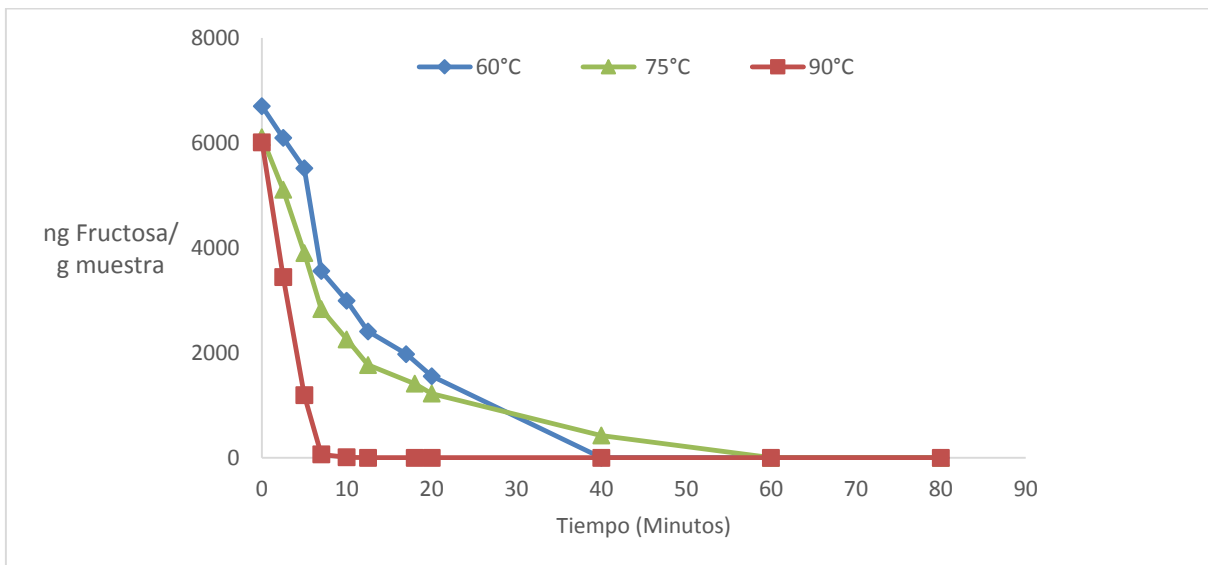


Figura 8: Cinética de extracción de fructosa en rodajas de papa a 60, 75 y 90°C

Puesto que los azúcares reductores presentes en la papa actúan como precursores en la formación de furano, es deseable tener la menor concentración posible de éstos al momento de freír los chips. Es sabido que altas temperaturas de escaldado tienen como consecuencia una extracción más agresiva de azúcares. En ambos casos se presenta una pendiente más pronunciada a medida que aumenta la temperatura de escaldado (Pedreschi y cols, 2009; Mariotti y cols, 2014).

Para la glucosa, con los tratamientos a 75 y 90°C se observa una extracción rápida hasta los 10 minutos, posterior a este tiempo hay una extracción más moderada hasta alcanzar niveles por debajo del límite de detección del equipo. Para el tratamiento a 60°C Se observa una extracción más lenta, que aun presenta concentraciones detectables de glucosa a los 20 minutos. Todos los tratamientos aplicados logran concentraciones inferiores al límite de detección a los 40 minutos de escaldado. En el caso de la fructosa, el escaldado a 90°C logró una reducción máxima antes de los 10 minutos, mientras que los escaldados aplicados a 60 y 75°C logran una reducción similar sobre los 20 minutos de tratamiento. Esto puede explicarse según lo estudiado por Pedreschi y cols (2009) donde demostraron que la difusividad efectiva en la lixiviación de azúcares en papa aumenta con la temperatura y disminuye con el tiempo de escaldado. Cuando se realiza una extracción de azúcares con un solvente afín, como el agua, la difusividad efectiva en los tiempos iniciales de extracción es mayor debido a las distintas concentraciones de azúcares en ambos medios lo que produce una diferencia de potencial. Por otra parte se explica que la temperatura causa cambios estructurales en el tejido de la papa y afecta la pérdida de azúcares durante el escaldado. En tal caso los tratamientos aplicados a 75 y 90°C (temperaturas sobre el punto de gelatinización) mostraron una disminución de la difusividad mucho más drástica a lo largo del tiempo que el tratamiento aplicado a 60°C debido a la pérdida de estructura en el tejido de la papa por las altas temperaturas de escaldado.

Por otra parte es importante considerar la saturación de compuestos solubles que sufre el medio de extracción, sobre todo cuando se trata de escaldados industriales donde el agua no se recambia constantemente. Mestdagh y cols. (2008) reportó una disminución del 10% en la eficiencia de extracción de azúcares reductores cuando se escalda con agua usada en un tratamiento previo.

5.4 Determinación del contenido de aceite

Mediante el método de extracción se midió el contenido de aceite de cada tratamiento de escaldado. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 9.

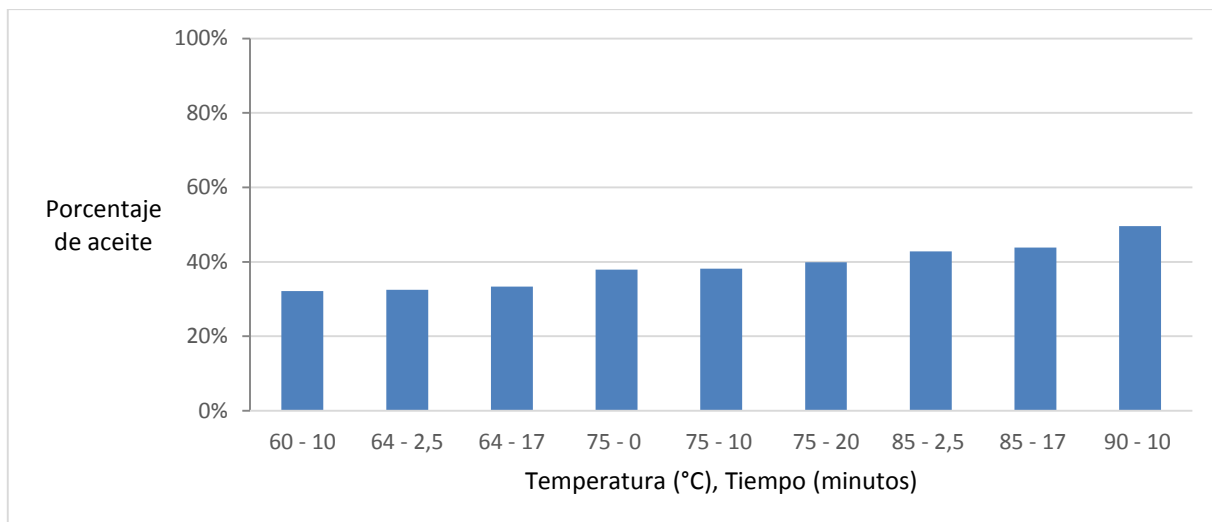


Figura 9: Porcentaje de aceite de cada condición de escaldado.

El proceso de fritura provoca cambios físicos en la papa tales como la absorción de aceite, deshidratación de la superficie, formación de compuestos que dan sabores y aromas característicos, etc... (Dobarganes, 2000). Esta deshidratación provoca el desarrollo de una microestructura en la superficie del chip durante el proceso de fritura que tiene un marcado efecto sobre la absorción de aceite (Pedreschi y cols 1999; Bouchon y Aguilera 2001; Heldman, 2003; Aguilera y Gloria, 1997; Pedreschi y cols, 2008; Ufheil y Escher, 1996; Moreira y cols 1997). Estos estudios, indican que la mayoría del aceite se absorbe y distribuye únicamente en la superficie del producto frito, mientras que el núcleo prácticamente no contiene aceite. Bouchon y cols. (2001), mediante el uso de microscopía infrarroja, demostraron que la penetración de aceite en la papa era de una profundidad de 300 -400 μm , lo cual es bastante cercano al frente de evaporación. De esta forma, la absorción es un fenómeno que sucede por la competencia entre el drenado y succión de aceite que ocurre en los poros de la corteza una vez que se ha retirado el alimento del medio de fritura y cuando comienza a enfriarse.

En la Figura 9 se observa que el tiempo de escaldado no tiene mayor influencia sobre la absorción de aceite. Sin embargo, a medida que aumenta la temperatura de escaldado el contenido de aceite de los chips también aumenta. El análisis realizado mediante Statgraphics, demuestra que el único efecto significativo corresponde a la temperatura de escaldado (Figura 10).

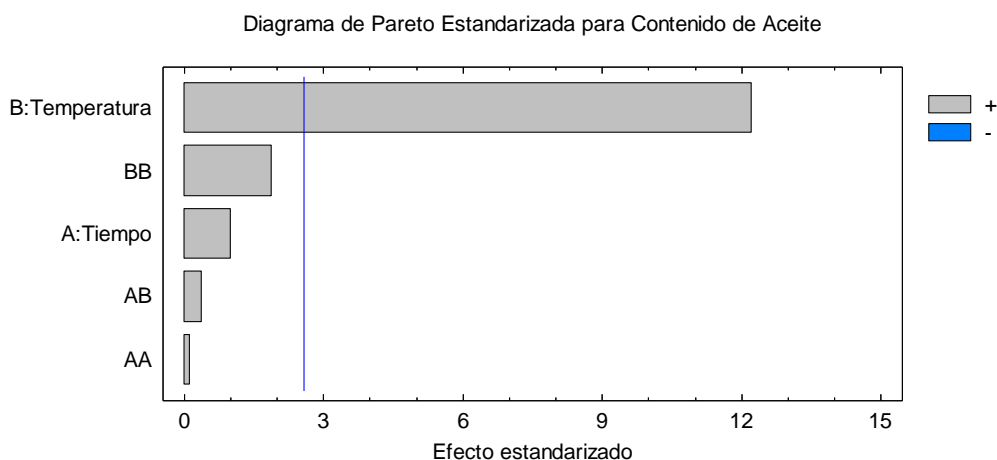


Figura 10: Diagrama de pareto para contenido de aceite en chips

En la Figura 9 observa que los chips escaldado a 75°C absorbieron casi la misma cantidad de aceite que los chips sin escaldar (75°C, 0 minutos), luego de la temperatura de gelatinización se produce un aumento en el contenido de aceite entre un 3 y 10%. Al trabajar con escaldados a altas temperaturas se puede producir una ruptura del tejido vegetal, esta pérdida de firmeza afecta la textura del chip después del proceso de fritura y aumenta su absorción de aceite (Mariotti y cols, 2014). Estos datos concuerdan con lo reportado por Pedreschi y Moyano (2005), donde se sugiere que el escaldado, al producir la gelatinización del almidón, origina un cambio en la microestructura con respecto a la papas sin escaldar. Álvarez y cols (2000) reportó resultados similares en papas tipo bastón, donde se aplicó un tratamiento por 97°C y 2 minutos. En ambos casos se obtuvo un aumento en la absorción de aceite con tratamientos a altas temperatura y cortos tiempos.

Bouchon y Pyle (2006) realizaron un estudio sobre chips pre elaborados con almidón de papa y almidón de papa pregelatinizado, donde se encontró que los chips elaborados con almidón pregelatinizado absorbían un 25% más de aceite. Bouchon y Pyle (2006) explican que al tener más almidón gelatinizado se produce una red más firme y elástica en la estructura, esta elasticidad adicional genera como consecuencia, una red más expandida y compleja, con una microestructura más rugosa que le permite atrapar el aceite de forma más fácil. Sin embargo este estudio se realizó con chips elaborados a partir de masa y no chips de papa real. En este estudio el aumento en la absorción de aceite no se produce en el punto de gelatinización sino más bien por sobre éste, lo que se explica mejor por una ruptura del tejido vegetal.

Cuando se comparan los tratamientos aplicados a 60 y 64°C contra los chips que no se escaldaron (0 minutos) se puede ver que con bajas temperaturas de tratamiento la absorción de aceite disminuye. Tijssens y cols, 1997; Aguilar y cols, 1997; Andersson y cols, 1994; Richter y cols, 2008 han reportado que a bajas temperaturas de escaldado, específicamente entre 50 y 70°C se produce la activación de la enzima PME (Pectin metilesterasa) presente en la papa. Esta es una enzima que hidroliza las uniones de ésteres metílicos en las cadenas de pectina, aumentando el número de grupos carboxílicos disponibles para reaccionar con iones divalentes, tales como Ca^{+2} y Mg^{+2} . El entrecruzamiento entre ambos refuerza la estructura de la pared celular, reduce la porosidad del chip y como consecuencia ocurre una disminución en la absorción de aceite.

5.5 Entrenamiento Panel sensorial

Se entrenó a un total de 11 jueces, con referencias de distintos chips (Figura 11). Los resultados obtenidos en cada sesión de entrenamiento para el test de calidad se muestran en la Tabla 11, donde se resaltan en rojo los atributos que presentaron diferencias significativas. Al comienzo no se consideró el aroma como un atributo influyente en la evaluación debido a que se trabajó con marcas comerciales de papas fritas, las cuales eran muy similares entre sí. Debido a esta razón el atributo aroma se comenzó a evaluar de la tercera sesión en adelante.



Chips sin escaldar
 Calidad de color: 1
 Intensidad de color: 9-10
 Homogeneidad de color: 0-1
 Tamaño de manchas: 9-10



Chips escaldados 90°C, 10 minutos
 Calidad de color: 5 - 6
 Intensidad de color: 1 - 2
 Homogeneidad de color: 9 - 10
 Tamaño de manchas: 1 - 2



Chips escaldados 75°C, 20 minutos
 Calidad de color: 4 - 5
 Intensidad de color: 3 - 4
 Homogeneidad de color: 4 - 5
 Tamaño de manchas: 4 - 5



Chips escaldados 85°C, 2,5 minutos
 Calidad de color: 2 - 3
 Intensidad de color: 7 - 8
 Homogeneidad de color: 3 - 4
 Tamaño de manchas: 7 - 8



Chips escaldados 64°C, 17 minutos
 Calidad de color: 4 - 5
 Intensidad de color: 2 - 3
 Homogeneidad de color: 6 - 7
 Tamaño de manchas: 3 - 4



Chips escaldados 60°C, 10 minutos
 Calidad de color: 2 - 3
 Intensidad de color: 6 - 7
 Homogeneidad de color: 2 - 3
 Tamaño de manchas: 7 - 8

Figura 11: Imágenes de chips con distintas condiciones de escaldado y puntajes referenciales en tabla de calidad Karlsruhe (color) y escala lineal no estructurada de 10 cm (intensidad de color, homogeneidad de color y tamaño de manchas)

Tabla 11: Resumen entrenamiento panel sensorial para test de calidad

Sesiones	Atributos	Nivel de significación jueces	Nivel de significación muestras
1	Color	0,0831	0,0000
	Apariencia	0,0619	0,0000
	Sabor	0,2068	0,0000
	Textura	0,0699	0,0000
2	Color	0,0045	0,0000
	Apariencia	0,0032	0,0293
	Sabor	0,2789	0,0000
	Textura	0,0528	0,0098
3	Color	0,1503	0,0000
	Apariencia	0,0698	0,0000
	Aroma	0,2248	0,0201
	Sabor	0,6135	0,0025
	Textura	0,0880	0,0177
4	Color	0,0774	0,0002
	Apariencia	0,2746	0,0004
	Aroma	0,8163	0,0214
	Sabor	0,4588	0,0138
	Textura	0,1566	0,1178

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Durante la primera sesión los jueces no tuvieron problemas para identificar las diferentes marcas de papas fritas, se encontraron diferencias entre muestras para todos los atributos y no hubo diferencias significativas entre jueces. Sin embargo durante la segunda sesión se detectaron problemas en la evaluación de los atributos color y apariencia, probablemente debido a que las muestras eran muy similares entre sí. Para la tercera y cuarta sesión se evaluaron muestras parecidas a las del diseño experimental y no se encontraron diferencias significativas entre jueces pero si entre muestras. Con estos resultados se confirmó que el panel era capaz de clasificar los chips según los distintos grados de calidad descritos por la tabla Karlsruhe.

Se realizó un perfil descriptivo con muestras elaboradas en el laboratorio en las dos últimas sesiones del entrenamiento. Los resultados se observan en la Tabla 12.

Tabla 12: Resumen entrenamiento panel sensorial para perfil descriptivo

Sesiones	Atributos	Nivel de significación jueces	Nivel de significación muestras
3	Intensidad color superficie	0,0419	0,0000
	Homogeneidad color	0,0339	0,0000
	Apariencia aceitosa	0,0660	0,15410
	Tamaño manchas	0,5496	0,00000
	Fracturabilidad	0,0044	0,78140
	Crujencia	0,3735	0,04290
	Sabor tostado	0,3048	0,00000
4	Intensidad color superficie	0,2636	0,00000
	Homogeneidad color	0,1216	0,00000
	Apariencia aceitosa	0,0713	0,11310
	Tamaño manchas	0,0715	0,00220
	Fracturabilidad	0,1209	0,31520
	Crujencia	0,0609	0,79810
	Sabor tostado	0,2198	0,00000

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Durante la primera evaluación usando escalas los jueces no presentaron un buen desempeño, ya que hubo diferencias significativas entre jueces en tres de los siete atributos evaluados. Como medida correctiva se realizó una explicación más exhaustiva de los atributos en los que presentaron problemas. Además se les dió a los jueces fotografías que representaban ciertos puntos (Figura 11) de las escalas de evaluación para que pudieran usarlo como guía.

En la última sesión de evaluación se observa una mejora en el desempeño, ya que no se encontraron diferencias significativas entre jueces pero si entre muestras, lo que indica un panel homogéneo y capaz de discriminar las distintas muestras. Una vez finalizadas las sesiones de entrenamiento se prosiguió a realizar una selección del panel.

5.6 Validación del panel sensorial

Según lo indicado por la norma ISO 11132 se debe trabajar con atributos clave (significativamente diferentes) para evaluar el desempeño del panel. Por esta razón se escogieron atributos, que se sabía, eran diferentes en las distintas muestras, el color, aroma y sabor. A continuación, en la Tabla 13, se pueden ver las diferencias significativas (marcadas en rojo) que se encontraron de cada atributo al realizar el ANOVA de tres vías entre jueces, muestras y sesiones.

Tabla 13: Resumen para selección de jueces para test de calidad del panel en general

Efectos principales	Nivel de significación		
	Color	Aroma	Sabor
Jueces	0,1524	0,1985	0,3826
Muestras	0,0000	0,0000	0,0000
Sesiones	0,1500	0,2754	0,0690
INTERACCIONES			
Jueces-muestras	0,3423	0,0601	0,0757
Jueces-sesiones	0,1094	0,1297	0,1036
Muestras-sesiones	0,9068	0,2748	0,8967

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Considerando el desempeño en general se puede concluir que el panel es capaz de discriminar de forma correcta ya que hay diferencias significativas entre muestras. También es un panel homogéneo pues no se presentan diferencias significativas entre interacción de muestras y jueces. Por otra parte al no haber diferencias entre sesiones, jueces-sesiones y muestras-sesiones se confirma que el panel es reproducible.

Para evaluar el desempeño de cada juez se elaboró la Tabla 14 donde se presentan los p-valor entre las muestras obtenidos del ANOVA simple de cada juez.

Tabla 14: Resumen para selección de cada juez en el test de calidad

Jueces	Nivel de significación		
	Color	Aroma	Sabor
1	0,0023	0,0420	0,0037
2	0,0023	0,0310	0,0417
3	0,0023	0,2963	0,0037
4	0,0214	0,0076	0,0016
5	0,0021	0,0424	0,0224
6	0,0037	0,2774	0,0110
7	0,0214	0,0009	0,0009
8	0,0270	0,0723	0,0160
9	0,0004	0,0353	0,0035
10	0,0018	0,0001	0,0090
11	0,01100	0,0012	0,0006

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Todos los jueces fueron capaces de discriminar color y sabor, ya que presentan diferencias significativas entre las muestras para esos atributos. Para el atributo aroma la mayoría presenta diferencias entre muestras, a excepción de los jueces 3, 6 y 8. Esto indica que no fueron capaces de discriminar de forma correcta con respecto al atributo aroma. Sin embargo se consideró no eliminar a estos jueces de la evaluación, ya que no se observaron mayores problemas con el desempeño del panel en general. Para corregir este problema se conversó con los jueces y en las sesiones siguientes se realizó una explicación más exhaustiva sobre cómo evaluar este atributo.

Para la evaluación de desempeño del panel en general en el test descriptivo se escogieron como atributos clave la homogeneidad de color, intensidad de color y sabor a tostado. En la Tabla 15 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 15: Resumen para selección de jueces para el perfil descriptivo del panel en general

Efectos principales	Nivel de significación		
	Intensidad de color	Homogeneidad de color	Sabor a tostado
Jueces	0,0885	0,0584	0,0735
Muestras	0,0000	0,0000	0,0000
Sesiones	0,3341	0,0729	0,7044
INTERACCIONES			
Jueces-muestras	0,6959	0,3526	0,3314
Jueces-sesiones	0,1667	0,0587	0,4122
Muestras-sesiones	0,4716	0,1187	0,0563

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al igual que para el test de calidad se puede afirmar que el panel es homogéneo, reproducible y capaz de discriminar entre los atributos clave de las muestras, ya que no se presentan diferencias entre las interacciones pero si hay diferencias significativas entre muestras. Para evaluar el desempeño de cada juez en el perfil descriptivo se llevó a cabo el mismo procedimiento que en el test de calidad, los resultados se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16: Resumen para selección de cada juez en el perfil descriptivo

Jueces	Nivel de significancia entre jueces		
	Intensidad de color	Homogeneidad de color	Sabor a tostado
1	0,0002	0,0175	0,0008
2	0,0002	0,0407	0,0000
3	0,0002	0,0456	0,0000
4	0,0002	0,0277	0,0001
5	0,0002	0,0864	0,0000
6	0,0003	0,0052	0,0264
7	0,0008	0,0199	0,0010
8	0,0002	0,0914	0,0104
9	0,0017	0,0599	0,0005
10	0,0020	0,0526	0,0137
11	0,0000	0,0231	0,0103

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Como se observa de la Tabla 16, los jueces discriminaron bien los atributos de intensidad de color y sabor a tostado. Sin embargo para homogeneidad de color los jueces 5, 8, 9 y 10 presentaron baja discriminación entre la muestras. Se realizó la misma medida correctiva que en el test de calidad, ya que el desempeño general del panel tampoco presentó mayores problemas para el perfil descriptivo.

Una vez finalizado el entrenamiento se conformó un panel con 11 jueces y se prosiguió a la evaluación de muestras de las condiciones experimentales determinadas con anterioridad.

5.7 Evaluación sensorial de condiciones de escaldado

Al analizar los datos de las evaluaciones sensoriales se encontraron diferencias significativas entre jueces en el perfil descriptivo para los atributos de homogeneidad de color, fracturabilidad y crujencia (Anexo 6). Para determinar qué jueces estaban evaluando fuera de rango se realizó una prueba de rangos múltiples de Tukey en los atributos que presentaron problemas (Anexo 7). Se decidió eliminar a un juez del test de calidad debido a que no se presentó a todas las evaluaciones y se eliminó a tres jueces del perfil descriptivo, el mismo juez que se eliminó del test de calidad y otros dos (N°3 y N°9) que evaluaban muy distinto al resto del panel. Finalmente se analizaron los resultados en base a un panel sensorial compuesto por 10 jueces para el test de calidad con escala Karlsruhe y 8 jueces para el perfil descriptivo (Anexo 8). Para el análisis de los datos se realizó un Anova multifactorial de dos vías (jueces y muestras). Los resultados se pueden ver en las Tablas 17 y 18.

Tabla 17: Resumen para test de calidad con escala Karlsruhe de cada atributo

Atributos	Nivel de significación jueces	Nivel de significación muestras
Color	0,0797	0,0000
Apariencia	0,0788	0,0000
Aroma	0,0545	0,0000
Sabor	0,1404	0,0000
Textura	0,0582	0,2624

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

La textura fue el único atributo que no presentó diferencias entre muestras, lo que se puede explicar por la similitud entre los chips, debido a que todos tenían una humedad y espesor prácticamente iguales.

Las muestras que presentaron los mejores puntajes tanto en color como en apariencia fueron las muestras tratadas a una mayor temperatura y por más tiempo de escaldado. Las muestras con un escaldado más corto y menos agresivo presentaban poca extracción de azúcares y al freírlas se obtenían chips con manchas más grandes y oscuras, lo que perjudicaba su calidad. Esto se puede ver claramente si se compara las imágenes de la Figura 12. Lo mismo ocurre en el caso del sabor y aroma, los chips con una mayor concentración de azúcares tenían un sabor ácido y muy fuerte a tostado, además de un aroma poco natural en chips.

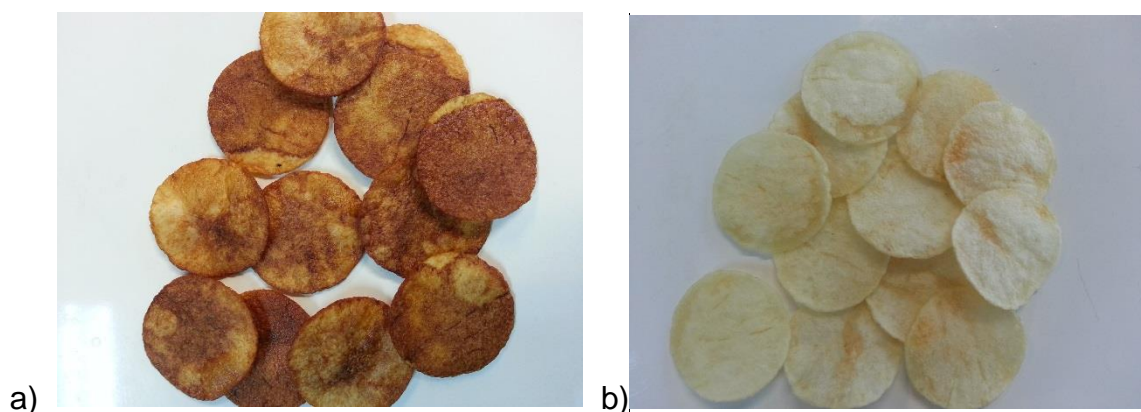


Figura 12: Diferencias entre chips escaldados y sin escaldar a) Chips sin escaldar. b) Chips escaldados a 90°C por 10 minutos.

Tabla 18: Resumen para perfil descriptivo de cada atributo descriptivo

Atributo	Nivel de significación jueces	Nivel de significación muestras
Intensidad de color	0,3596	0,0000
Homogeneidad de color	0,4120	0,0000
Apariencia aceitosa	0,6897	0,0000
Tamaño manchas	0,4779	0,0000
Fracturabilidad	0,1305	0,8283
Crujencia	0,4020	0,1603
Sabor tostado	0,1295	0,0000

En rojo: Diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

En el perfil descriptivo ocurrió algo bastante similar que en el test de calidad. No se encontraron diferencias entre muestras para los atributos relacionados con la textura (fracturabilidad y crujencia). Pero sí se encontraron diferencias significativas para todo el resto de los atributos: color (intensidad y homogeneidad de color), apariencia (apariencia aceitosa y tamaño de manchas) y sabor (sabor tostado).

Los chips con los puntajes más altos en apariencia aceitosa fueron los con tratamientos mayores a los 64°C; 6,6 para el escaldado a 75°C por 20 minutos y 6,2 para el escaldado a 90°C por 10 minutos (Anexo 8). Esto concuerda con los resultados anteriores, donde se encontró una absorción adicional del 5% para los tratamientos a 75°C y hasta un 17% adicional para los chips tratados a 90°C con respecto a los chips escaldados a 64°C. Estas diferencias se aprecian en la Figura 13.

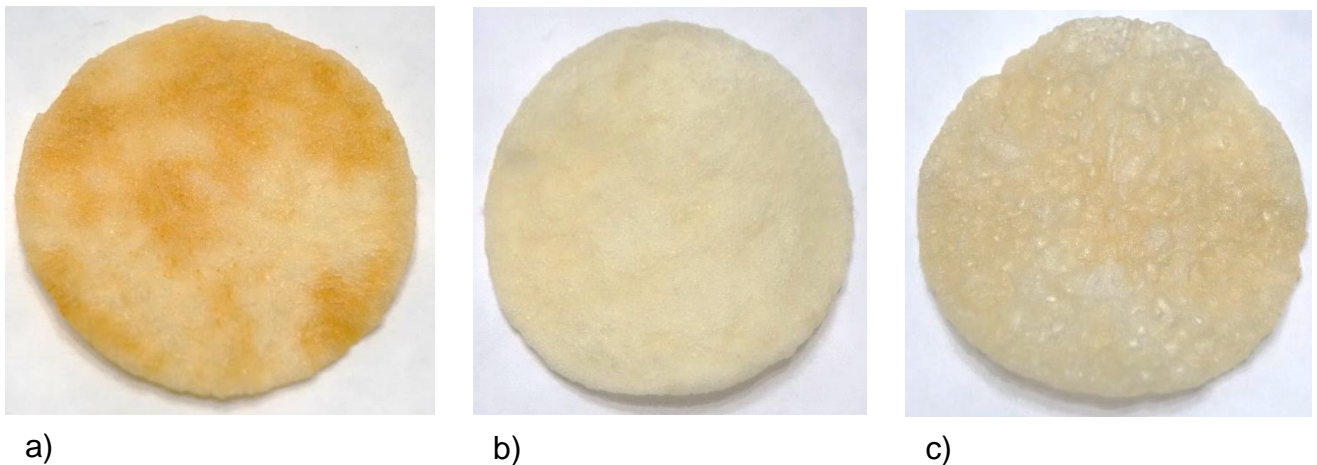


Figura 13: Diferencias de aceitosidad en chips. a) chips escaldados a 60°C. b) chips escaldados a 75°C c) chips escaldados a 90°C.

5.8 Determinación del contenido de furano

Los contenidos de furano de cada muestra se presentan en la Tabla 19. Los resultados se expresan en ppb (ng / g muestra).

Tabla 19: Concentraciones de furano de cada condición experimental

Tiempo escaldado (minutos)	Temperatura(°C)	Furano ng/g muestra
10	60	42,043
2,5	64	46,992
17	64	7,659
0	75	75,853
10	75	16,505
10	75	16,313
10	75	15,812
20	75	3,541
2,5	85	16,729
17	85	0,000
10	90	7,052

A medida que aumenta la temperatura y tiempo de escaldado la concentración de furano disminuye. Se ha sugerido que una forma de mitigar la presencia de este tipo de contaminante es reducir los niveles de precursores en el alimento (Mariotti y cols., 2012). Como se vio con anterioridad (Figura 12) los tratamientos más agresivos de escaldado existe una migración mayor de estos compuestos hacia el exterior de la papa y por consiguiente una menor presencia de precursores que pueden formar furano en el chip. Esto se aprecia en la Figura 14, donde se graficó el contenido de furano versus la concentración de glucosa, ambas condiciones a distintos tiempos y temperaturas de escaldado. En este caso se ve una clara relación entre el aumento de azúcares reductores y el aumento del contenido de furano en el chip ($R^2=0,89$).

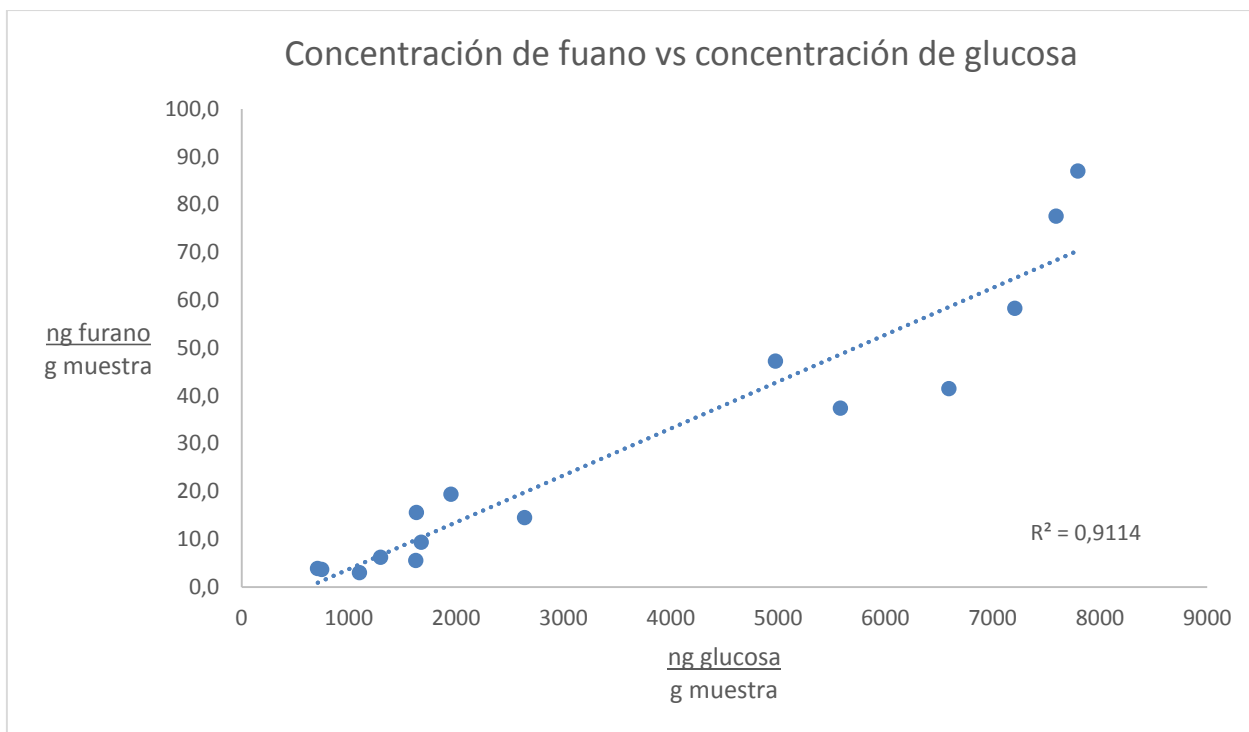


Figura 14: Relación entre el contenido de azúcares reductores y la formación de furano en chips para distintas condiciones de escaldado

Las concentraciones de furano obtenidas fueron inferiores a las reportadas por Mariotti y cols, (2013a) donde se analizó el contenido de furano en seis marcas de papas fritas comerciales vendidas en Chile, obteniendo una concentración promedio de 259 ng/g. Esto puede deberse a diferentes condiciones de procesamiento (tiempo y temperatura de escaldado o medio fritura) o bien a las variedades de papa usadas en el proceso. Distintas variedades de papas pueden presentar diferentes niveles de azúcares y ácido ascórbico e incluso cambiar su composición dentro de una misma variedad según el periodo y zona de cosecha. Wu y cols. (2014) realizaron un estudio similar en diversos productos del mercado chino, donde se encontraron niveles entre 18,8 – 34,2 ng/g de furano en chips comerciales. La FDA por otro lado ha reportado niveles entre 4,4 – 39,1 ng/g en chips del mercado en Estados Unidos (FDA, 2008). Estos niveles de furano son más cercanos a los resultados obtenidos en este trabajo (0 – 75,9 ng/g) si se considera que cada chip comercial fue sometido a un tratamiento de escaldado y en este caso el límite superior encontrado corresponde a un chip sin escaldar.

5.9 Optimización del diseño experimental

Se realizó una optimización de los atributos del test de calidad (color, aroma y sabor) que presentaron diferencias significativas entre muestras pero no entre jueces y que además tuvieron un R^2 ajustado sobre un 70%. Además se optimizó la cantidad de furano de las muestras. En todos los casos se eliminó los efectos no significativos mediante el gráfico de Pareto con un nivel de significancia del 5% (Anexo 9). Para cada atributo sensorial se buscó maximizar el óptimo, ya que a mayor puntaje obtenido mayor era la calidad sensorial del chip. En el caso del contenido de furano se buscó la minimización de tal valor ya que la meta era la reducción de este compuesto. En la Tabla 20 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 20: Resumen de optimización múltiple

Variable	Efectos significativos	R^2 ajustado	Tiempo óptimo (minutos)	Temperatura óptima (°C)
Color	A; BB	89,1%	20	60°C
Apariencia	Eliminado	38,6%	Eliminado	Eliminado
Aroma	A;B;AB;AA	86,9%	20	60°C
Sabor	A;B;AB;AA;BB	95,1%	13	90°C
Furano	A;B	71,3%	20	90°C
Optimización múltiple	--	--	20	67°C

A: Tiempo; B: Temperatura

En el Anexo 9 se encuentran los gráficos de cada superficie de respuesta. Para todas las variables se obtuvo un R^2 ajustado mayor al 70%, a excepción de la apariencia, que se eliminó por tener un ajuste muy bajo. En todos los casos el efecto que tuvo mayor influencia fue el tiempo de escaldado, seguido de la temperatura (o interacción de ésta con el tiempo). Tanto el color como aroma se optimizaron con tiempos largos de escaldado y temperaturas bajas. El sabor, por el contrario, alcanzó un óptimo a una alta temperatura y corto tiempo. En el caso del furano se obtuvieron menores concentraciones cuando se usó un tratamiento más agresivo, por lo tanto, para minimizar su concentración se requiere de temperaturas altas y tiempos de escaldado largos.

Luego de optimizar cada variable en forma independiente se realizó una optimización mediante una función de deseabilidad, considerando el tiempo y temperatura de escaldado como factores y los atributos sensoriales de color, aroma y sabor junto con la concentración de furano como variables de respuesta. La superficie obtenida aparece en la Figura 15.

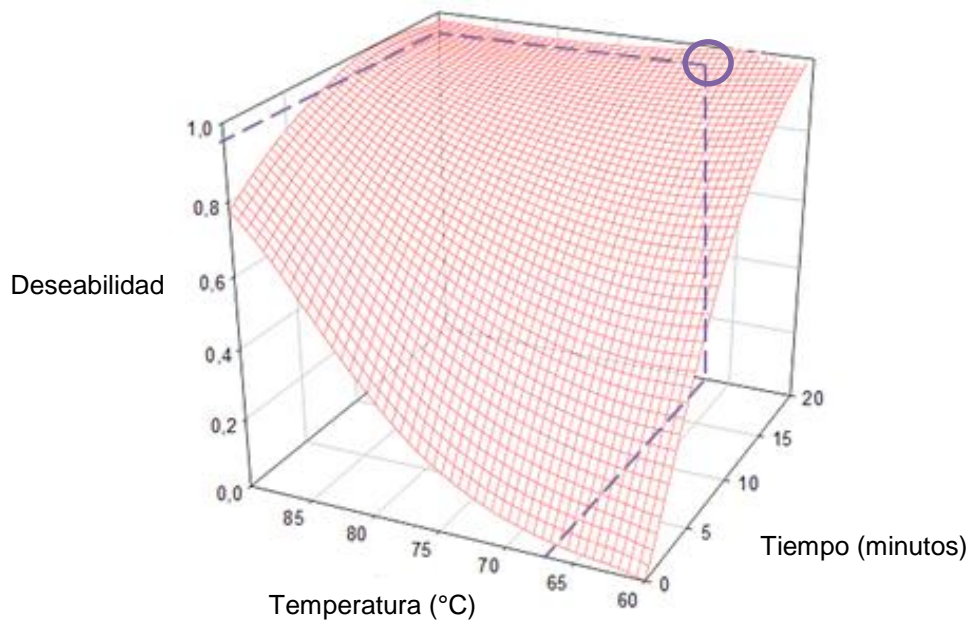


Figura 15: Superficie de respuesta estimada para optimización múltiple (sensorial y furano)

Se encontró un valor óptimo a los 67°C y 20 minutos de escaldado, con una deseabilidad de 0,97. Con este tratamiento de escaldado se obtiene una reducción de un 70% y 75% para la glucosa y fructosa respectivamente, en comparación con los chips sin escaldar. Por otra parte, se alcanza una reducción de un 96% de furano y un puntaje 5 en la escala de calidad de 6 puntos para los atributos de color, aroma y sabor, lo que corresponde a un chip de grado 1 con una clasificación buena. Si se comparan estos resultados con los obtenidos por Mariotti y cols (2014), donde también se optimizó el tratamiento de escaldado en chips, se observa similitud entre ambos valores. En tal

caso se alcanzó un punto óptimo a los 64°C con 17 minutos, considerando un rango de trabajo de 5 a 15 minutos y 50 a 80°C.

Cuando se optimizan únicamente las variables de color, aroma y sabor sin considerar la concentración de furano, se obtiene la Figura 16, con un valor óptimo a los 60°C y 18 minutos, con una deseabilidad de 0,99.

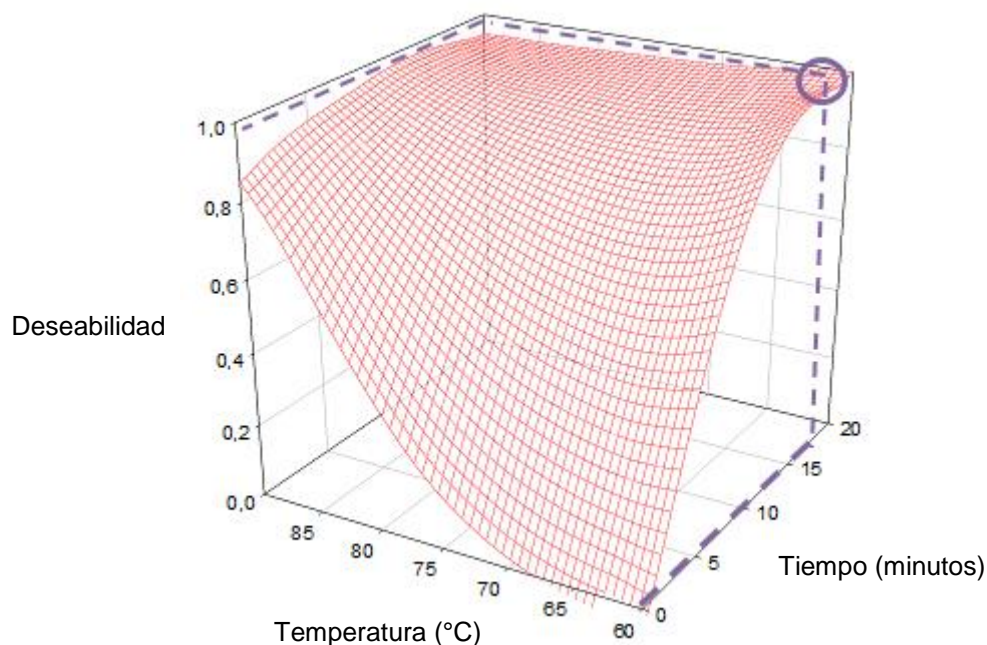


Figura 16: Superficie de respuesta estimada para optimización de atributos sensoriales

Para las características sensoriales era esperable obtener un óptimo en este rango de condiciones, ya que a esta temperatura (50 – 70°C) se activa la enzima PME, que provoca cambios favorables en la textura y disminuye la absorción de aceite en la papa (Aguilera y cols., 1997; Pedreschi y Moyano (2005), produciendo un chip de mejor calidad. Cuando se incluye la concentración de furano dentro de las variables, cuya optimización es obtener la concentración mínima, se necesita un tratamiento de escaldado más agresivo para poder lixiviar una mayor cantidad de precursores. Por esta razón la temperatura y tiempo de escaldado aumentan y se encuentra un equilibrio entre una calidad sensorial aceptable y la concentración menor de furano posible.

5.10 Caracterización del tratamiento óptimo de escaldado mediante atributos descriptivos

Se analizó cada atributo descriptivo usando el método de superficie de respuesta para obtener la ecuación de los datos junto con el R^2 ajustado. Cabe destacar que únicamente se analizó los atributos descriptivos que no presentaron diferencias significativas entre jueces pero si entre muestras, por lo que se excluyó del análisis la fracturabilidad y crujencia. En la Tabla 21 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 21: Resumen de optimización de test de escalas

Atributo	R^2 ajustado	Efectos significativos	Ecuación ajustada
Homogeneidad de color	61,7%	Eliminado	Eliminado
Intensidad de color	93,8%	A; B; BB; AB	$-25,003 - 0,948*A + 1,054*B + 0,009*AB - 0,008*B^2$
Apariencia aceitosa	63,5%	Eliminado	Eliminado
Tamaño de manchas	86,1%	A; B; BB	$-50,007 - 0,249*A + 1,656*B - 0,012*B^2$
Sabor a tostado	90,4%	A; B; BB	$-30,457 - 0,296*A + 1,141*B - 0,008*B^2$

A: Tiempo

B: Temperatura

Para el ajuste de cada atributo se estableció un límite de R^2 del 70%, por esta razón tanto la homogeneidad de color y la apariencia aceitosa se eliminaron del análisis. Para el resto de los atributos se analizó el gráfico de Pareto, con el fin de determinar los efectos significativos de cada uno (Anexo 10).

En las ecuaciones obtenidas se prosiguió a reemplazar el valor óptimo del tratamiento de escaldado, 67°C por 20 minutos (Tabla 22). Para determinar el valor de cada atributo descriptivo (considerando una escala lineal no estructurada de 10 cm) que tendrán los chips sometidos a un escaldado óptimo.

Tabla 22: Valor óptimo para atributos descriptivos.

Atributo	Puntaje óptimo*	Límites
Intensidad de color	2,8	Puntaje 0: Muy clara Puntaje 10: Muy oscura
Tamaño de manchas	2,1	Puntaje 0: No tiene manchas Puntaje 10: Muy grandes
Sabor a tostado	4,2	Puntaje 0: Ausente Puntaje 10: Muy intenso

* Escala lineal no estructurada de 10 cm.

Para la intensidad de color se obtuvo un puntaje de 2,8, lo que significa que los chips presentaron un color café claro en la superficie. El color claro (amarillo) indica que se logró una buena extracción de azúcares y por consiguiente una clasificación de calidad de grado 1. Lo mismo sucede en el caso del tamaño de manchas, el tipo de manchas que se presentan en las papas fritas son de colores que van de café claro a café oscuro. Pueden llegar a cubrir una parte de la superficie del chip o casi la totalidad de éste. Con un puntaje de 2,1, si es que los chips presentan manchas, éstas son muy pequeñas.

En cuanto al contenido de furano, se considera favorable tener bajos puntajes en los atributos de intensidad de color y tamaño de manchas, ya que se ha asociado a los alimentos que presentan colores más oscuros con un contenido de furano mas alto (Mariotti y cols, 2012).

Para el atributo de sabor a tostado se debe considerar que una mayor intensidad de color en la superficie o más presencia de manchas le darán al chip un sabor a tostado más intenso. Con un puntaje 4,2 los chips presenten un sabor a tostado y característico de productos fritos, pero no un sabor excesivo a quemado.

6 CONCLUSIONES

- Se entrenó y validó, según la norma ISO 11132 – 2012, un panel sensorial compuesto por 10 jueces para el test de calidad y 8 jueces para el perfil descriptivo que fueron capaces de evaluar las muestras sin tener diferencias significativas entre ellos.
- Se obtuvieron cinéticas de lixiviación de azúcares donde se pudo comprobar que a mayor temperatura de escaldado se produce una extracción de azúcares más rápida.
- Se midió el contenido de aceite de los chips comprobando que a mayor temperatura y tiempo escaldado se produce una mayor absorción de aceite.
- Se logró clasificar cada combinación del diseño experimental según la tabla de calidad Karlsruhe. También se midió el contenido de furano en cada punto, comprobando que a mayor tiempo y temperatura de escaldado se produce una menor formación de furano en el chip.
- Se optimizaron las variables de respuesta del diseño experimental, logrando un buen ajuste para el contenido de furano y los atributos sensoriales de calidad, color, aroma y sabor.
- Se logró una optimización múltiple con los atributos sensoriales de calidad y el contenido de furano, obteniendo un valor óptimo a los 67°C y 20 minutos de escaldado. Con estos valores se obtienen chips de calidad grado 1 con una reducción de un 96% en el contenido de furano con respecto a chips sin escaldar.
- Se optimizó cada atributo descriptivo mediante el método de superficie de respuesta donde se logró obtener tres atributos descriptivos con un buen ajuste. Al reemplazar los valores óptimos de tiempo y temperatura en las ecuaciones de estos atributos se obtiene un color claro, tamaño pequeño de manchas y un sabor tostado intermedio en el punto óptimo.

7 BIBLIOGRAFIA

Aguilar, C., Anzaldúa-Morales, A., Talamas, R., & Gastelum, G. (1997). Low-temperature blanching improves textural quality of french-fries. *Journal of Food Science*, 62(3), 568–571.

Aguilera JM, Gloria H. 1997. Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45(3), 781–5.

Aguilera, JM., Cadoche, L., López, C., Gutierrez, G. 2001. Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil. *Food Research International* 34. 939–947

Álvarez, M. D., Morillo, M. J., & Canet, W. 2000. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research and Technology* 211, 326–335.

Andersson, A., Gekas, V., Lind, I., Oliveira, F., Oste, R. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34(3), 229–251.

Astudillo, P. 2005. Propiedades texturales de papas fritas y prefritas de la variedad yagana. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.

Barrios, B. 2009. La Papa. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). [Artículo disponible en línea] <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2224.pdf>> Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile.

Belitz, H.-D, Grosch, W., Schieberle, P, W., Schieberle, P. 2009. *Food Chemistry*. [En línea] Berlín, Alemania. p 490 <http://books.google.cl/books?id=xteiARU46SQC&printsec=frontcoverhl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=furan&f=false> [Consulta Marzo 2014]

Boisrobert, C., OH, S., Stjepanovich, A., Lelieveld, H. 2010. Ensuring Global Food Safety, [En línea] USA. pp 395-400 < <http://books.google.cl/books?id=sWQrLMM->

4IAC&pg=PA399&dq=furan+food&hl=es&sa=X&ei=l3ZYUcT2DKq90QG7xICwDg&ved=0CDcQ6AEwAQ#v=onepage&q=furan%20food&f=false> [Consulta Marzo 2014]

Bouchon P, Aguilera JM. 2001. Microstructural analysis of frying of potatoes. *International Journal of Food Science and Technology*. 36(6), 669–76.

Bouchon P, Hollins P, Person M, Pyle DL, Tobin MJ. 2001. Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy. *Journal of Food Science* 66(7), 918–23

Bouchon, P and Pyle, D.L. 2006. Studying Oil Absorption in Restructured Potato Chips. *Journal of food science*. 69(3), 115-122.

Crews, C, Castle, L. 2007. A review of the occurrence, formation and analysis of furan in heat-processed foods. A Review. *Trends in Food Science and Technology* 18, 365 – 372.

Dilmer, J. 2007. Calidad de la papa para usos industriales. [En línea] <<http://www.redepapa.org/calidadpapa.pdf>> [Consulta Marzo 2014]

European Food Safety Authority (EFSA). 2011. Update on furan levels in food from monitoring years 2004-2010 and exposure assessment. *EFSA Journal* 2011; 9(9), 2347. Parma, Italy

Dobarganes, C, Márquez-Ruiz, G, Velasco, J. 2000. Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology* 102, 521–528

Eguillor, P. 2010. El mercado de la papa. 2010. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – Odepa [En línea] Santiago, Chile <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2385.pdf>> [Consulta Marzo 2013].

FAO. 2006. Revista Agricultura 21. Tesoro enterrado: la papa [En línea] <<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0611sp1.htm>> [Consulta Marzo 2014].

FDA. 2008. Exploratory Data on Furan in Food: Individual Food Products. [En línea] <<http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ChemicalContaminants/ucm078439.htm>> [Consulta Marzo 2014].

González-Martínez, G., Ahrné, L., Gekas, V., Sjöholm, I., 2004. Analysis of temperature distribution in potato tissue and its effect on the absolute residual pectin methylesterase activity. *Journal of Food Engineering* 65, 433–441.

Ghulam, 2003. Validation of high-performance liquid chromatography methods for pharmaceutical analysis. *Journal of Chromatography* 987, 57–66.

Heldman, D. 2003. *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. New York, USA. Marcel Dekker. Pp 172-173

Huang, x., Duan, H., Barringer, S. 2011. Effects of buffer and temperature on formation of furan, acetic acid and formic acid from carbohydrate model systems. *Food Science and Technology* 44, 1761 – 1765

IARC. 1995. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, Vol. 63. [En línea] < <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol63/volume63.pdf>> [Consulta Marzo 2014].

Institution of Chemical Engineer. 1992. *Blanching* [En línea] Reino Unido, p 258 <http://books.google.cl/books?id=CTFJ0ATC_00C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> [Consulta Marzo 2014]

Instituto de Salud Pública de Chile. 2014. *Método Soxhlet*, ISP Chile, Subdepartamento Laboratorios del Ambiente, Sección química de alimentos, prt-701-02-031, Rev. N°2, Santiago, Chile.

Kita, A. 2002. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chemistry* 76: 173-179.

Kalazich.B,Julio; Bortolameolli_S,_Giancarlo; Rojas.R, Jose Santos; Lopez T, Horacio; Uribe_G,_Marco; Gutierrez_M,_Manuel. Nov-Dic 1996. Variedades de papa INIA: Yagana. Ficha 1. Tierra Adentro, N°11, 25

Krarpur, C. 2006. Tubérculos. [En línea] <http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/papa/tubercul.htm>. [Consulta Marzo 2013], Santiago de Chile.

Kozempel, M, Sullivan, J, Craig, J. 1985. Modelling and simulating commercial hot water blanching of potatoes. American potato Journal 62(2), 69-82

Lawely, R., Curtis, L., Davis, J. 2012. The Food Safety Hazard Guidebook. RSC Publishing, second edition, Cambridge, Reino Unido. 358-360.

Lisinska, G., & Leszczynski, W. 1989. Potato Science and Technology. Elsevier Applied Science, Publishers Ltda, Inglaterra

Mariotti, M, Granby, K, Fromberg, A, Risum,J, Agosin,E, Pedreschi, F. 2012. Furan Occurrence in Starchy Food Model Systems Processed at High Temperatures: Effect of Ascorbic Acid and Heating Conditions. Journal of Agricultural Food Chemistry. 60 (40), 10162–10169.

Mariotti,M., Granby, K., Rosowski, J., Pedreschi, F. 2013a. Furan: a critical heat induced dietary contaminant, Review. Food & Function, 1-16

Mariotti, M.; Toledo, C.; Hevia, K.; Gomez, J.P.; Fromberg, A.; Granby, K.; Rozowski, J.; Castillo, O.; Pedreschi, F. 2013b. Are Chilean exposed to dietary furan? Food Additives and Contaminants, Part A: 30 (10): 1715-1721.

Mariotti, M.; Granby, K.; Fromberg, A.; Bysted, A; Pedreschi, F. 2014. Heat toxic compound mitigation in potato chips. LWT- Food Science and Technology. Submitted.

Mehta, U., & Swinburn, B. 2001. A review of factors affecting fat absorption in hot chips. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 41, 133-154.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, 14: 364-373.

Méndez, A., Warning, A., Datta, A., Balsa-Canto, E. 2013. Quality and safety driven optimal operation of deep-fat frying of potato Chips. *Journal of Food Engineering* 119, 125–134.

Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degrootd, J.-M., De Meulenaer, B. 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, 41(9), 1648-1654

Morales, C. 2008. Clasificación de calidad sensorial de papas fritas tipo chips mediante visión computacional. Memoria de Ingeniero en Alimentos. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Moreira RG, Sun X, Chen Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering* 31(4), 485–98.

Moyano, P, Pedreschi, F. 2006 Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *LWT- Food Science and Technology* 39, 285–291.

Pedreschi F, Aguilera JM, Arbildua JJ. 1999. CLSM study of oil location in fried potato slices. *Microscopy Analysis*. 39, 21–22.

Pedreschi, F, Aguilera JM. 2002. Some changes in potato chips during frying observed by confocal laser scanning microscopy (CLSM). *Food Science and Technology* 7(2), 1-5.

Pedreschi, F, Moyano, P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering* 70, 557–563

Pedreschi, F., Moyano, P., Santis, N., Pedreschi, R. 2007. Physical properties of pre-treated potato chips. *Journal of Food Engineering* 79, 1474–1482

Pedreschi, F, Cocio, C, Moyano P, Troncoso, E. 2008. Oil distribution in potato slices during frying. *Journal of Food Engineering* 87(2), 200-212.

Pedreschi F, Travisany X, Reyes C, Troncoso E, Pedreschi R,. 2009. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering* 91, 443-44.

Richter, F., Masson, M., Waszczynskyj, N. 2008. Influence of a blanching pretreatment on color, oil uptake and water activity of potato sticks, and its optimization. *Journal of Food Process Engineering* 31, 833-852.

Rinmac-Brcic, S., Lelas, V., Rade, D., Simundic, B., 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 64, 237-241.

Salvador, P. Varela, T. Sanz, S.M. Fiszman. 2009. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT - Food Science and Technology* 42, 763-767.

Senate Commission on Food Safety SKLM. 2007. Thermal Processing of Food: Potential Health Benefits and Risks [En línea] Alemania, p 104 < http://books.google.cl/books?id=aF0RY4Sg-1cC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=furan&f=false> [Consulta Marzo 2014]

Shaw, R, Booth, R. 1985. Principios de almacenamiento de papa. [En línea] Lima, Perú, p.20 < http://books.google.cl/books?id=brFpFMx_TEQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> [Consulta Marzo 2014]

Tápia, B. 2012. Los altibajos del mercado de la Papa. Oficina de estudios y políticas agrarias (ODEPA). [En línea] Santiago, Chile < <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/6305.pdf>> [Consulta Marzo 2014]

Tijksens, L. M. L., Waldron, K. W., Ng, A., Ingham, L., & van Dijk, C. (1997). The kinetics of pectin methylesterase in potatoes and carrots during blanching. *Journal of Food Engineering*, 34, 371-385.

Ufheil, G, Escher, F. 1996. Dynamics of Oil Uptake during Deep-Fat Frying of Potato Slices. *LWT - Food Science and Technology* 29(7) 640-644.

Valducien, J. [s.a] Método de valoración para las patatas. [En línea] España < <http://wwwsp.inia.es/Investigacion/OtrasUni/DTEVPF/Unidades/CentrosEnsayo/EstacionEnsayos/Documents/M%C3%A9todospatata.pdf>> [Consulta Marzo 2014].

Varela, C., Agosin, E., Baez, M., Klapa, M. and Stephanopoulos, G. 2003. Metabolic flux redistribution in *Corynebacterium glutamicum* in response to osmotic stress. *Applied Microbiology and Biotechnology* 60, 547-55.

Vázquez, C, de Cos, A, López-Nomedeu, C. 2005. Manual teórico práctico: Alimentación y nutrición [En línea] España, < http://books.google.cl/books?id=F-xV6Rul96kC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> [Consulta Marzo 2013]

Vranova, J, Ciesarova, Z. 2009. Furan in food, a review. *Czech Journal of Food Science* 27, 1-10.

Wu, S., Wang, E., Yuan, Y. 2014. Detection of furan levels in select Chinese foods by solid phase microextraction–gas chromatography/mass spectrometry method and dietary exposure estimation of furan in the Chinese population. *Food and Chemical Toxicology* 64, 34–40.

Zamorano, M, Guzmán, E, Ibáñez, J. 2010. Estudio del consumo y aporte nutricional de bocadillos en escolares de la región Metropolitana de Chile [En línea] *Revista Chilena de nutrición* 37, N°4 <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182010000400004&script=sci_arttext> [Consulta Marzo 2013].

Zoller, O., Sager, F. and Reinhard, H. 2007. Furan in food: Headspace method and product survey. Food Additives and Contaminants 24, 91-107.

8 ANEXOS

Anexo 1: Tabla para valoración de calidad con escala Karlsruhe

TEST DE VALORACIÓN DE CALIDAD CON ESCALA DE KARLSRUHE PARA PAPAS FRITAS TIPO CHIPS

Atributo	Calidad Grado 1		Calidad Grado 2		Calidad Grado 3	
	Características Típicas		Deterioro Tolerable		Deterioro Indeseable	
	Muy Buena 6	Buena 5	Regular 4	Suficiente 3	Mala 2	Muy Mala 1
Color	Natural, amarillo típico, color uniforme.	Natural, amarillo típico, algo pálido u oscuro, color aún uniforme en la unidad.	Amarillo pero poco homogéneo. Bordes levemente oscuros. Hay presencia de manchas.	Color poco característico y heterogéneo. Bordes muy oscuros. Presencia de muchas manchas.	El color típico ha desaparecido. Bordes quemados y verdosos. Color muy oscuro. Totalmente manchadas	Superficie totalmente quemada, color totalmente alterado.
Apariencia/ Forma	Tamaño muy uniforme, bordes bien definidos y regulares, superficie lisa, nada aceitosa.	Bordes parejos, superficie casi lisa. Puede haber presencia muy leve de burbujas. Levemente aceitosa con bordes algo irregulares.	Algo alterada, bordes irregulares, superficie con algunas burbujas. Algo aceitosa.	Bordes irregulares. Presencia de cáscara. Superficie con burbujas. Aceitosa.	Presencia de mucha cáscara Superficie muy quemada. Avanzada alteración. Muy aceitosa.	Completamente alterada. Quemadas, y de forma irregular.
Aroma	Característico a papas fritas, intensidad justa. Ausencia de olor a quemado o tostado.	Característico a papas fritas, aún equilibrado, aunque más o menos intenso.	Daño todavía aceptable. Poco olor a papas fritas. Muy intenso o muy débil.	Claramente dañado. Olor a aceite o fritura.	Alterado, a aceite ranciado y/o quemado.	Extraño, desagradable, Francamente deteriorado. Rancio
Sabor	Característico a papas fritas, ausencia de sabor a quemado o tostado. Aceitosidad leve y característica.	Característico a papas fritas, más o menos intenso. Algo más aceitoso pero aún adecuado.	Muy saladas o poco saladas. Disminución de sabor a papas fritas. Sabor aceitoso.	Claramente dañado, sabor poco característico, débil en intensidad.. Aceitoso.	Alterado, desagradable. Rancio. Sabor a quemado, muy aceitoso. Ácido.	Extraño, desagradable, completamente rancio. Francamente deteriorado. Muy ácido.
Textura	Muy buena, crujencia, dureza adecuada, poco aceitosa, suave al paladar.	Normal, levemente blanda o dura. Levemente aceitosa, crujencia adecuada. Levemente rugosa al paladar.	Muy blanda o muy dura, aceitosa. Algo áspera y rugosa al paladar.	Muy blanda o muy dura, poca crujencia, aceitosa. Rugosa y áspera al paladar.	Muy alterada, intensamente dura o blanda. Nada crujiente. Extremadamente aceitosa. Muy rugosa al paladar.	Completamente alterada, unidad completamente rugosa, áspera al paladar. Totalmente deteriorada.

Anexo 2: Ficha de respuesta para entrenamiento test de Calidad de Karlsruhe

FICHA DE RESPUESTA

TEST DE KARLSRUHE PARA PAPAS FRITAS TIPO CHIPS

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

MUESTRA	ATRIBUTO	PUNTAJE	OBSERVACIONES
	COLOR		
	APARIENCIA/ FORMA		
	OLOR		
	SABOR		
	TEXTURA		
	COLOR		
	APARIENCIA/ FORMA		
	OLOR		
	SABOR		
	TEXTURA		
	COLOR		
	APARIENCIA/ FORMA		
	OLOR		
	SABOR		
	TEXTURA		
	COLOR		
	APARIENCIA/ FORMA		
	OLOR		
	SABOR		
	TEXTURA		

Anexo 3: Ficha final de respuesta para test de Calidad

Nombre: _____ Fecha: _____

TEST DE CALIDAD

Muestra	Color	Apariencia	Olor	Sabor	Textura	Observaciones

Anexo 4: Ficha de respuesta para Perfil descriptivo

Nombre: _____ Fecha: _____

APARIENCIA

Intensidad de color superficie:

|_____|
Muy claro Muy oscuro

Homogeneidad de color del lote:

|_____|
Muy heterogéneo Muy homogéneo

Apariencia aceitosa:

|_____|
Nada aceitosa Muy aceitosa

Tamaño de manchas:

|_____|
Nada (no tiene manchas) Muy grandes

TEXTURA

Fracturabilidad: partir una unidad con los dedos

|_____|
Cuesta quebrarla Se quiebra muy fácil

Crujencia: Introduzca una mitad de unidad en la boca y masque una vez con los molares

|_____|
Nada crujiente Muy crujiente

SABOR

Sabor a tostado:

|_____|
Ausente Muy intenso

Anexo 5: Tiempos de fritura (segundos) para cada condición de escaldado

Temperatura escaldado (°C)	Tiempo escaldado (minutos)	Tiempo de fritura (segundos)	Humedad final (b.h)
60	10	110	1,79%
64	2,5	115	1,90%
64	17	105	1,62%
Sin escaldar	Sin escaldar	100	2,07%
75	10	95	1,89%
75	20	97	1,57%
85	2,5	80	1,65%
85	17	75	1,82%
90	10	70	1,74%

Anexo 6: Anova dos vías de test descriptivo con 10 jueces

Atributo	Jueces		Muestras	
	Valor-p	Diferencias significativas (p≤0,05)	Valor-p	Diferencias significativas (p≤0,05)
Intensidad de color	0,8278	NO	0	SI
Homogeneidad de color	0,0068	SI	0	SI
Apariencia aceitosa	0,7618	NO	0	SI
Tamaño manchas	0,4392	NO	0	SI
Fracturabilidad	0	SI	0,6912	NO
Crujencia	0	SI	0,5949	NO
Sabor tostado	0,0984	NO	0	SI

Anexo 7: Prueba de múltiples rangos para Anova 2 vías del test descriptivo con 10 jueces

Pruebas de Múltiple Rangos para Homogeneidad de color por Jueces (Método: 95% Tukey HSD)

<i>Jueces</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
6	11	2,17273	0,440225	X
7	11	2,2	0,440225	X
5	11	2,31818	0,440225	X
2	11	2,62727	0,440225	XX
4	11	2,8	0,440225	XX
10	11	2,84545	0,440225	XX
8	11	2,97273	0,440225	XX
1	11	3,30909	0,440225	XX
9	11	3,48182	0,440225	XX
3	11	4,59091	0,440225	X

Pruebas de Múltiple Rangos para Fracturabilidad por Jueces (Método: 95% Tukey HSD)

<i>Jueces</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
9	11	4,17273	0,330478	X
10	11	7,3	0,330478	X
1	11	7,43636	0,330478	X
7	11	7,44545	0,330478	X
5	11	7,45455	0,330478	X
6	11	7,94545	0,330478	X
8	11	7,96364	0,330478	X
3	11	7,97273	0,330478	X
2	11	8,19091	0,330478	X
4	11	8,20909	0,330478	X

Pruebas de Múltiple Rangos para Crujencia por Jueces (Método: 95% Tukey HSD)

<i>Jueces</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
9	11	5,83636	0,295968	X
3	11	6,01818	0,295968	X
1	11	8,26364	0,295968	X
4	11	8,30909	0,295968	X
2	11	8,45455	0,295968	X
10	11	8,49091	0,295968	X
8	11	8,59091	0,295968	X
5	11	8,60909	0,295968	X
6	11	8,67273	0,295968	X
7	11	8,99091	0,295968	X

Anexo 8: Promedios del test de calidad y perfil descriptivo de las condiciones experimentales

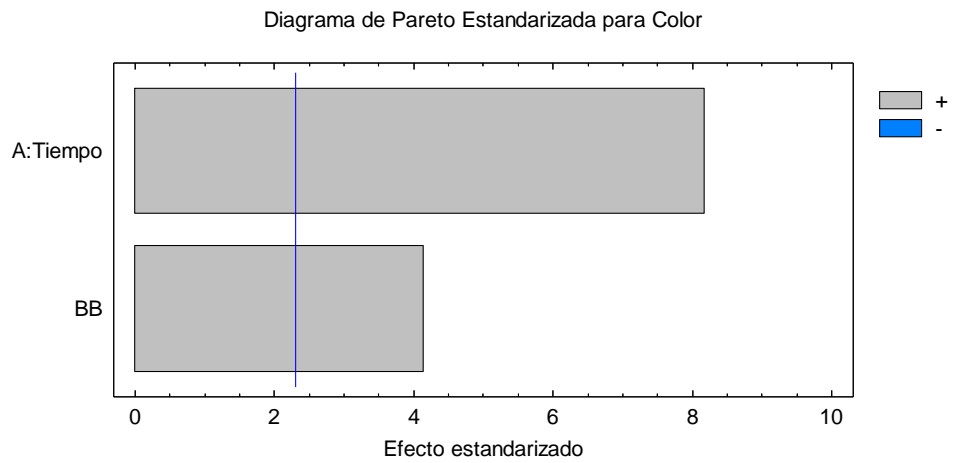
Promedios obtenidos para test de calidad

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Color	Apariencia	Olor	Sabor	Textura
20	75	3,4	4,1	3,5	4,1	5,1
10	90	2,2	2,7	2,2	2,4	5,1
2,5	85	4,8	4,1	5	4,6	4,8
10	60	1,2	1,5	2,9	2,2	5
2,5	64	2,6	3,9	4,2	4,1	5,1
10	75	3	4,5	5	3,8	5,2
0	75	2,5	3,1	4,6	4,2	4,4
17	64	4,4	3,5	4,7	4,5	5,2
10	75	2,9	4,7	4,2	4,1	4,7
17	85	4,5	4,3	4,3	4,9	4,8
10	75	4,4	4,2	5	4,9	4,7

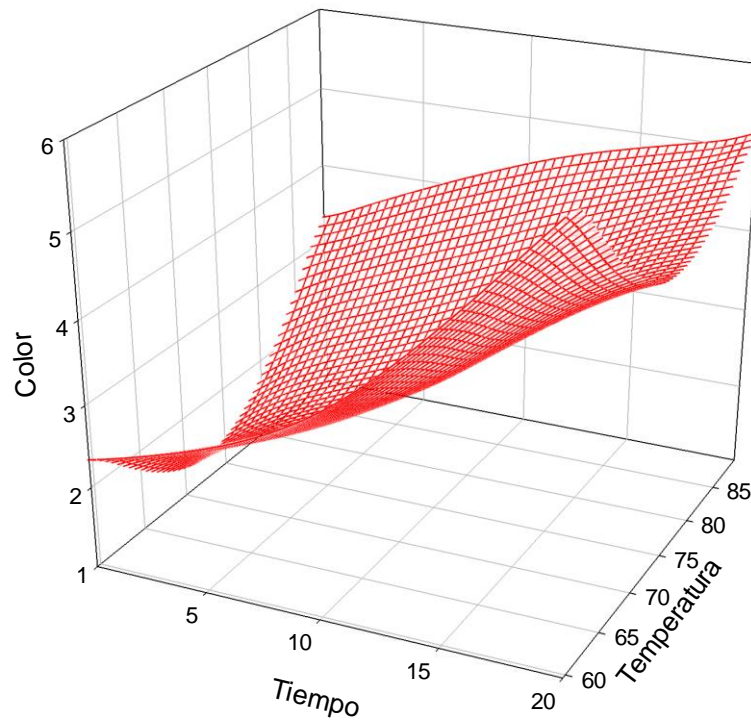
Promedios obtenidos para perfil descriptivo

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Intensidad de color	Homogeneidad de color	Apariencia aceitosa	Tamaño manchas	Fracturabilidad	Crujencia	Sabor tostado
20	75	4,3	3,7	6,6	5	7,3	8,5	3,4
10	90	3,9	2,4	6,2	2,5	7,3	8,4	3,1
2,5	85	6,5	2,4	4,5	7,4	7,9	8,2	7,1
10	60	6,1	2,2	3,7	6,2	7,8	8,7	6,8
2,5	64	8,4	1,4	2,5	7,8	7,9	8,1	7,9
10	75	6,6	1,7	6,0	6,7	7,8	8,5	6,8
0	75	9,3	1	2,2	9,5	7,6	8,7	9,3
17	64	2,9	5,7	3,3	3,4	7,5	8,8	3,1
10	75	6,8	2,1	5,9	6,5	8,1	7,9	6,7
17	85	3,8	4,1	4,8	3,7	7,9	7,7	3,1
10	75	6,1	2,7	6,0	6,7	7,8	8,0	6,7

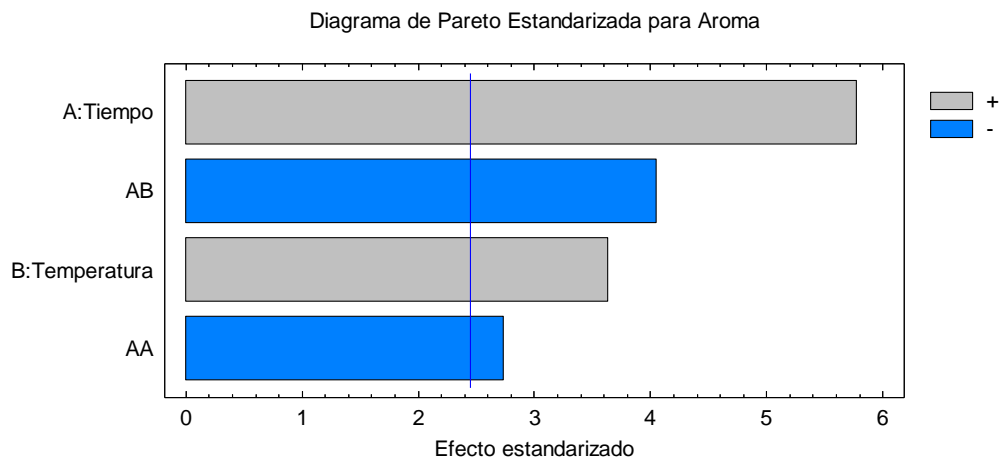
Anexo 9: Optimización mediante método de superficie de respuesta Análisis de Color



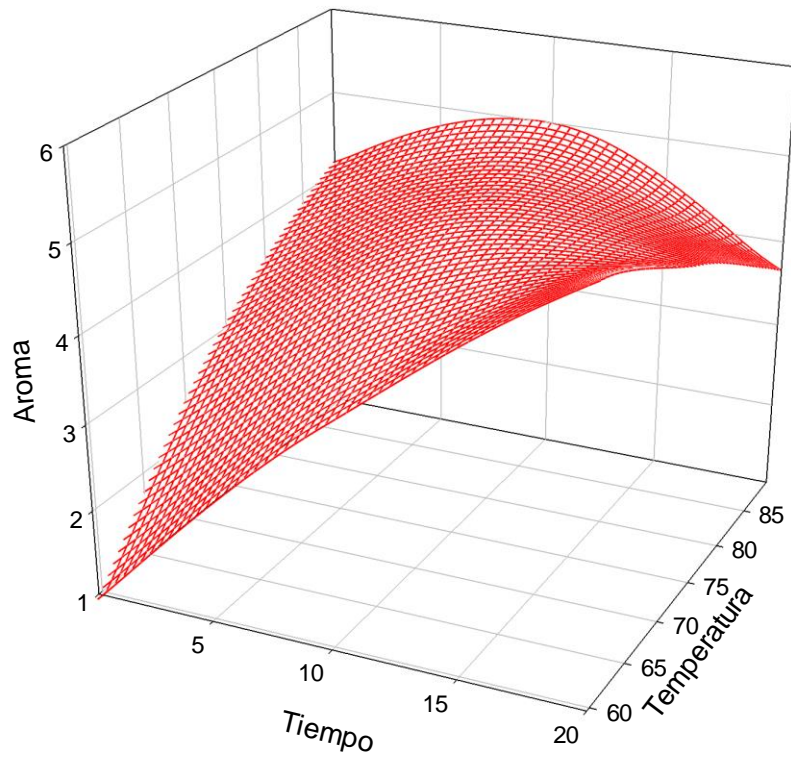
Superficie de respuesta estimada para color



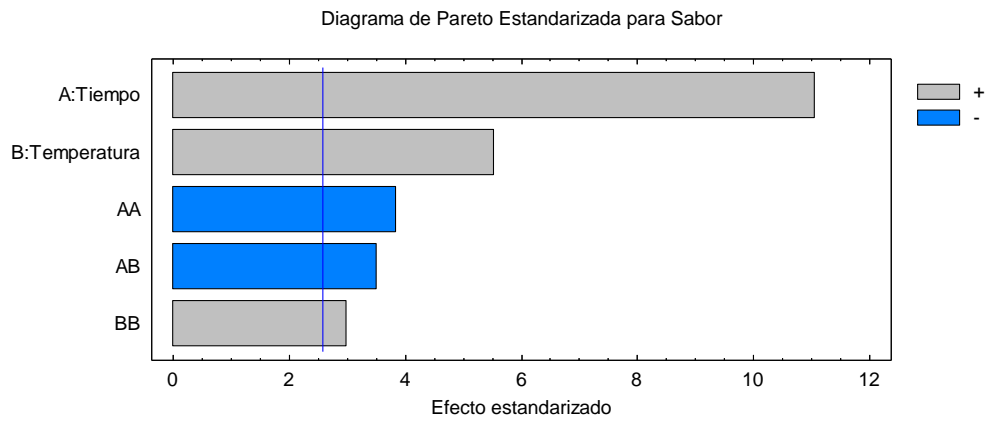
Análisis de Aroma



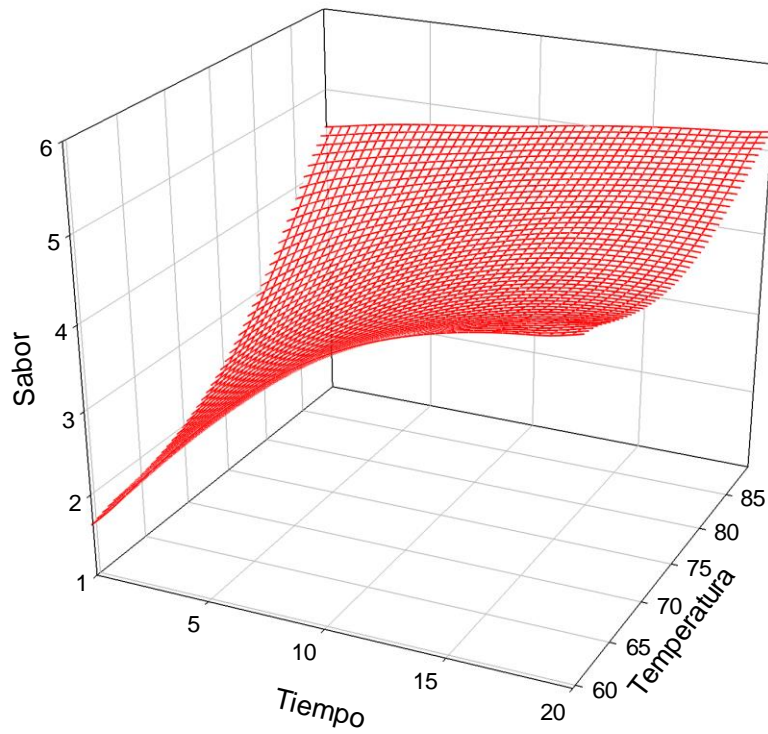
Superficie de respuesta estimada para aroma



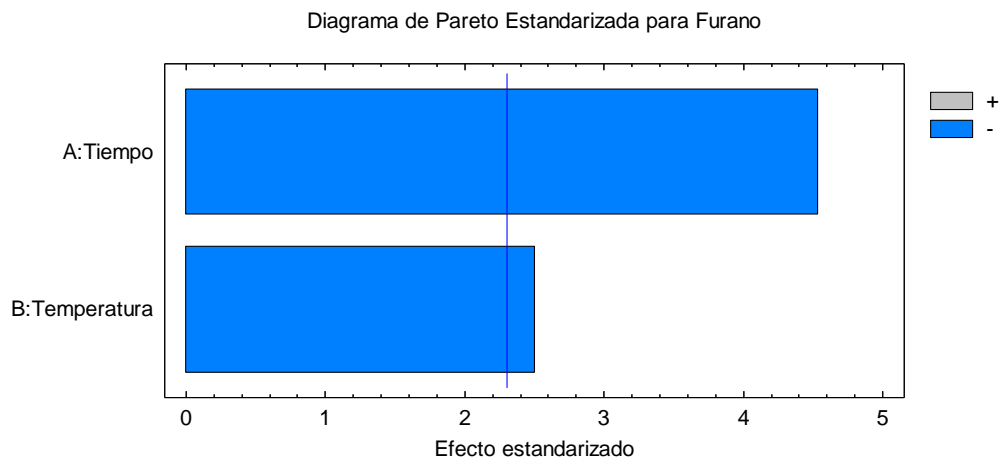
Análisis de Sabor



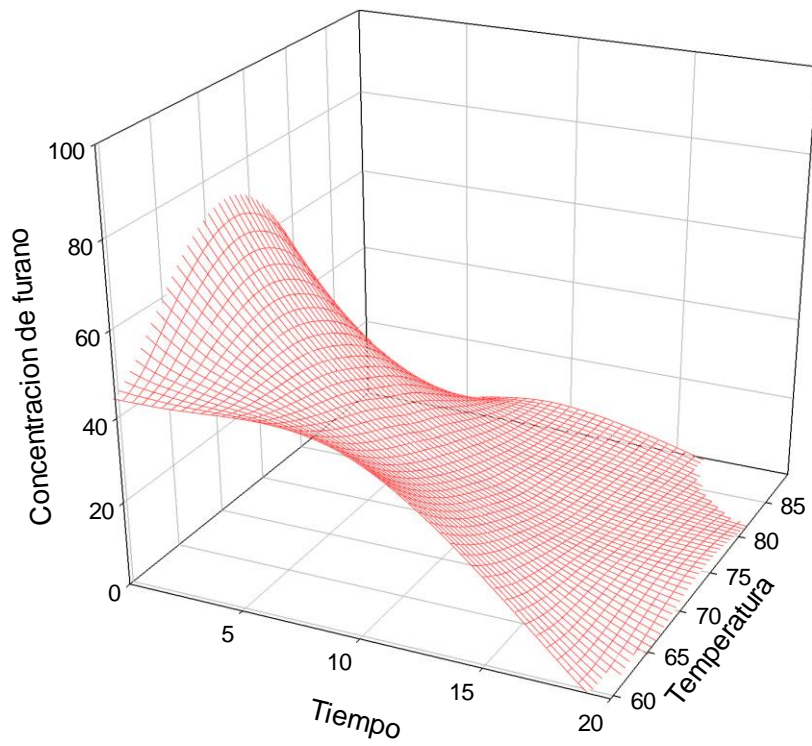
Superficie de respuesta estimada para sabor



Análisis de furano

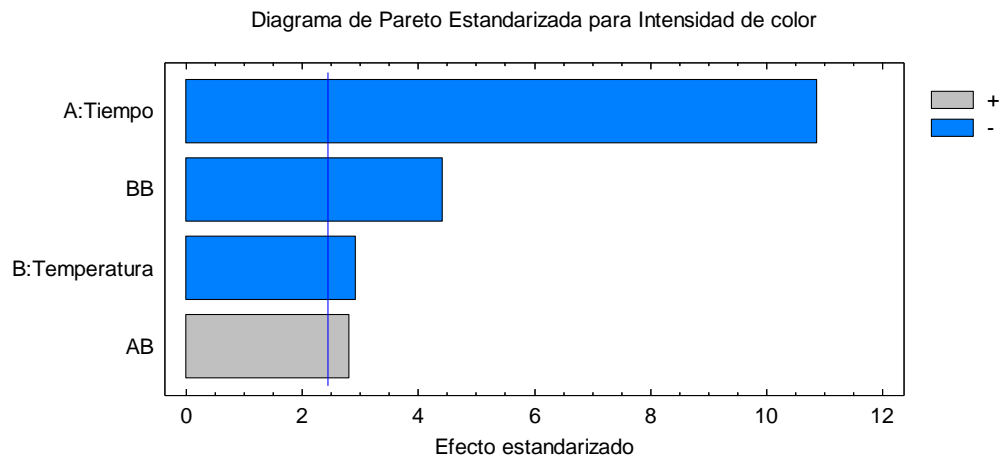


Superficie de respuesta estimada para contenido de furano

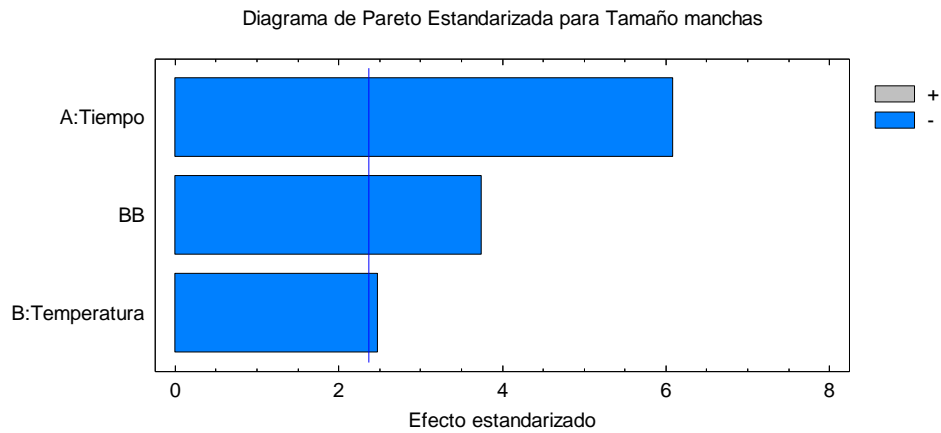


Anexo 10: Diagrama de Pareto de cada atributo descriptivo

Intensidad de color



Tamaño de manchas



Sabor a tostado

