



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.

“Efecto del escaldado con ultrasonido sobre la formación de acrilamida y 5- hidroximetilfurfural en rodajas de papas”

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA EN ALIMENTOS

ALICIA ANDREA FERRERA LÓPEZ

Santiago - Chile

2016

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	2
1.1.1 Procesamiento a altas temperaturas.....	2
1.1.1.1 Proceso de fritura	2
1.1.1.2 Reacción de Maillard	3
1.1.2 Antecedentes de la papa	8
1.1.2.1 Calidad de la materia prima	8
1.1.2.2 Calidad del producto terminado	9
1.1.2.3 Composición química.....	10
1.1.3 Medidas de mitigación de neocontaminantes.....	11
1.1.3.1 Escaldado.....	11
1.1.3.2 Ultrasonido	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	17
4. METODOLOGÍA	18
4.1 Elaboración de las muestras	18
4.1.1 Selección de la materia prima.....	18
4.1.2 Corte y moldeado	18
4.1.3 Pretratamiento de escaldado/ultrasonido	18
4.1.4 Proceso de fritura	19
4.1.5 Salado	20

4.2 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de rodajas de papa frita.	21
4.3 Pruebas preliminares	22
4.4 Determinación del contenido de azúcares reductores	22
4.5 Entrenamiento y validación del panel sensorial.....	23
4.5.1 Entrenamiento de jueces	23
4.5.2 Validación del panel sensorial.....	25
4.6 Diseño experimental	26
4.6.1 Determinación de la formación de acrilamida	26
4.6.2 Determinación de la formación de 5-hidroximetilfurfural	27
4.6.3 Determinación de la absorción de aceite	28
4.6.4 Evaluación sensorial	29
4.7 Análisis estadísticos.....	31
4.7.1 Diseño factorial multinivel	31
4.7.2 Comparación de regresiones de lixiviación de azúcares reductores.	31
5. RESULTADOS.....	33
5.1 Pruebas preliminares	33
5.2 Lixiviación de azúcares reductores	34
5.3 Entrenamiento y validación del panel sensorial.....	38
5.3.1 Entrenamiento del panel sensorial.....	38
5.3.2 Validación del panel sensorial.....	39
5.4 Evaluación de las respuestas del diseño experimental	41
5.4.1 Determinación de la formación de acrilamida	41
5.4.2 Determinación de la formación de 5-hidroximetilfurfural	44
5.4.3 Determinación de la absorción de aceite durante la fritura.....	46
5.4.4 Evaluación sensorial	47

5.5 Caracterización de las condiciones óptimas de escaldado.....	51
6. CONCLUSIONES	53
7. REFERENCIAS	55
8. ANEXOS.....	61
ANEXO 1: Antecedentes de la papa Yagana.....	61
ANEXO 2: Ficha de respuesta para test de Calidad de Karlsruhe	62
ANEXO 3: Ficha de respuesta para el perfil descriptivo.....	63
ANEXO 4: Tabla para valoración de calidad con escala Karlsruhe modificada para rodajas de papa frita.	64
ANEXO 5: Material de apoyo para evaluar la homogeneidad en rodajas de papa frita.	65
ANEXO 6: Material de apoyo para evaluar el color en rodajas de papa frita. .	66
ANEXO 7: Material de apoyo para evaluar defectos en apariencia en rodajas de papa frita.	67
ANEXO 8: Perfil descriptivo del producto ideal.	68
ANEXO 9: Gráficas linealizadas para la lixiviación de glucosa y fructosa según la ecuación de Peleg.	69
ANEXO 10: Resumen del entrenamiento del panel sensorial para el test de calidad.....	70
ANEXO 11: Resumen del entrenamiento del perfil descriptivo para el test de calidad.....	71
ANEXO 12: Análisis de la formación de acrilamida en el diseño experimental	73
ANEXO 13: Análisis de la formación de 5-hidroximetilfurfural en el diseño experimental.....	74
ANEXO 14: Análisis de la absorción de aceite durante la fritura.	75
ANEXO 15: ANOVA para jueces y sesiones para el perfil de calidad.	76

ANEXO 16: ANOVA para jueces y sesiones para el perfil descriptivo.	77
ANEXO 17: Análisis del sabor en la calidad sensorial del producto después de freír.....	79
ANEXO 18: Análisis de la textura en la calidad sensorial del producto después de freír.....	80
ANEXO 19: Análisis del sabor a tostado en la calidad sensorial del producto después de freír.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aporte nutricional de una papa fresca.	10
Tabla 2: Condiciones de trabajo para equipo HPLC-IR	23
Tabla 3: Sesiones de entrenamiento para la evaluación de rodajas de papa frita. 24	
Tabla 4: Niveles codificados del diseño experimental.	26
Tabla 5: Condiciones del cromatografo de gases – espectrómetro de masas.	27
Tabla 6: Condiciones del equipo de cromatografía.	28
Tabla 7: Grados y sub-grados de calidad.	30
Tabla 8: Niveles finales del diseño experimental.	33
Tabla 9: Parámetros de la linealización de Peleg para las curvas de lixiviación de glucosa y fructosa.	36
Tabla 10: Comparación entre lixiviación de glucosa y fructosa al escaldar con ultrasonido a 60 °C, 70 °C y 80 °C. Curvas linealizadas bajo ecuación de Peleg. 37	
Tabla 11: ANOVA resumen para la validación del perfil descriptivo.	39
Tabla 12: desempeño del panel sensorial durante la validación.	40
Tabla 13: Nivel de discriminación de los jueces del panel sensorial.	41
Tabla 14: Concentraciones de acrilamida de cada condición experimental.	42
Tabla 15: Análisis de varianza para acrilamida dado por el diseño experimental. 42	
Tabla 16: Concentraciones de 5-HMF de cada condición experimental.	44
Tabla 17: Análisis de varianza para 5-HMF dado por el diseño experimental.	45
Tabla 18: R ² ajustado para los atributos del test de calidad.	48
Tabla 19: R ² ajustado para los atributos del perfil descriptivo.	50
Tabla 20: Condiciones óptimas para cada respuesta del diseño.	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura química de la acrilamida	4
Figura 2: Hipótesis de formación de acrilamida por 1) Aceites y 2) compuestos nitrogenados y azúcares.	5
Figura 3: Estructura química del 5-hidroximetilfurfural.....	6
Figura 4: Esquema de reacciones propuestas para la formación de HMF.....	7
Figura 5: Ecuación empírica de Peleg linealizada.	12
Figura 6: Ilustración de los efectos del escaldado en una célula vegetal.....	13
Figura 7: Curvas de lixiviación de glucosa y fructosa en rodajas de papa a 60, 70 y 80 °C.....	34
Figura 8: Diagrama de Pareto estandarizado de acrilamida para el modelo experimental..	43
Figura 9: Diagrama de Pareto estandarizado de HMF para el modelo experimental..	45
Figura 10: Porcentaje de aceite de cada condición del diseño experimental.....	46
Figura 11: Diagrama de Pareto estandarizado para sabor.	48
Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para textura..	49
Figura 13: Diagrama de Pareto estandarizado para textura.	51

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los que estuvieron junto a mí y me apoyaron durante la realización de este proyecto. Le doy las gracias a la Universidad de Chile y a la Pontificia Universidad Católica de Chile por permitirme trabajar en esta memoria, en especial a Andrea Bunger que ha sido mi guía todo este tiempo, ayudándome en cada problema y dándome ánimos, y a Franco Pesdrechi por su ayuda y por permitirme participar en este proyecto FONDECYT N° 1150146.

Agradezco a Juan Pablo Gómez por su ayuda e infinita paciencia en el trabajo del laboratorio, además de la compañía durante el periodo de trabajo. Extiendo las gracias a Ilse Saavedra por su ayuda incondicional, ánimos y compañía durante el periodo. Sin ustedes no habría sido lo mismo, ¡Gracias!

A mis amigas Dharma y Catalina, que con tanta paciencia me escucharon y aconsejaron. Gracias por creer en mí y siempre impulsarme a seguir adelante no importa qué. A mi amigo Daniel, que siempre me dio una palabra de aliento o me sacó una sonrisa, gracias por todo. A mi amiga Karla, que siempre ha estado ahí en las buenas y en las malas, no importa lo que pase. A Camila y Arantxa, que se dieron el tiempo de leer esta tesis y dar sus opiniones, muchas gracias por siempre estar ahí para mí.

A mi familia, mis padres Alicia y Daniel, mi hermano Ricardo y mis abuelos, Teresa y Ricardo, que siempre han estado ahí para mí y han creído en todo lo que me he propuesto, aunque a veces ni yo misma tenía confianza.

Finalmente, muchas gracias a los jueces que participaron del panel sensorial de este proyecto, por su ayuda desinteresada. Y al Proyecto FONDECYT N° 1150146 por el financiamiento otorgado para la realización de esta memoria.

RESUMEN

Los alimentos ricos en almidón poseen grandes cantidades de azúcares reductores y asparagina, que a altas temperaturas actúan como precursores de la formación de sustancias potencialmente cancerígenas, como la acrilamida y el 5-hidroxiacetilfurfural. Por esto, se utilizan pretratamientos para disminuir la cantidad de precursores presentes en los alimentos, disminuyendo la formación de neocontaminantes al procesar a altas temperaturas.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de ultrasonido en el escaldado sobre la lixiviación de azúcares reductores, principalmente glucosa y fructosa, presentes en rodajas de papas crudas, con el fin de disminuir la cantidad de acrilamida y 5-hidroxiacetilfurfural que se forman en el proceso de fritura, manteniendo una calidad sensorial aceptable.

Se aplicó un diseño experimental factorial utilizando como factores el ultrasonido (600W de calentamiento, 480W de ultrasonido, frecuencia de 40 kHz, sin pulsos ajustables; con un escaldado tradicional y escaldado con ultrasonido), tiempo de escaldado (1 – 15 minutos, con 3 niveles) y temperatura de escaldado (60 - 80 °C, con 3 niveles) sobre las siguientes respuestas en el producto después de la fritura: contenido de acrilamida, contenido de 5-hidroxiacetilfurfural, contenido de aceite, calidad sensorial y perfil descriptivo. Paralelamente, se determinaron las cinéticas de lixiviación de glucosa y fructosa a 60, 70 y 80 °C usando un escaldado tradicional y con ultrasonido. La aplicación de ultrasonido presenta una mayor lixiviación durante los primeros minutos de escaldado, llegando al mismo equilibrio que el escaldado tradicional. Durante el mismo periodo, con ultrasonido se reduce mayor cantidad de acrilamida y 5-hidroxiacetilfurfural. Además, éste tiene un efecto positivo sobre la calidad sensorial del producto final, teniendo las mejores evaluaciones bajo tratamientos con ultrasonido. Como la calidad sensorial es un factor importante a considerar al aplicar una tecnología de proceso en los alimentos, las mejores condiciones de escaldado son temperaturas cercanas a 70 – 80 °C por tiempos no superiores a 8 – 10 minutos, con aplicación de ultrasonido.

ABSTRACT

Effect of Blanching with Ultrasound on acrylamide and 5-Hydroxymethylfurfural in Potato Slices

Starchy foods have large amounts of reducing sugars and amino acids such as asparagine, which at high temperatures act as precursors for the formation of potential carcinogens such as acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural. For this reason, the use of pretreatments is very interesting to decrease the quantity of precursors present in food, with the purpose of decreasing the neo-formed contaminants during the process at high temperatures.

The aim of this study was to determine the effect of the application of ultrasound in blanching on lixiviation of the reducing sugars in raw potato slices, in order to reduce the acrylamide and 5-Hydroxymethylfurfural generated in the frying process, maintaining an acceptable sensory quality.

A factorial experimental design was applied, using as factors ultrasound (600W heating power, 480W ultrasound power, frequency 40kHz, without adjustable pulses; traditional blanching and ultrasound blanching, at 2 levels), blanching time (1 - 15 minutes, at 3 levels) and blanching temperature (60 - 80 °C, at 3 levels) on the following response variables in the product after frying: acrylamide content, 5-hydroxymethylfurfural content, oil content, quality and descriptive sensory profile. Also, the leaching kinetics of glucose and fructose at 60, 70 and 80 °C were determined using both traditional blanching and ultrasound blanching.

The application of ultrasound shows higher leaching level during the first minutes of blanching, reaching the same final balance as traditional blanching. At the same time, the use of ultrasound in blanching shows higher reduction in acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural. It also proved to have a positive effect on the sensory quality of the final product, obtaining the best scores on treatments with ultrasound. As the sensory quality is an important factor to consider when applying a processing technology on food, the best bleaching conditions are temperatures near 70 - 80 ° C for no-longer than 8 - 10 minutes, using ultrasound.

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL PROYECTO FONDECYT N° 1150146
TITULADO “MITIGATION OF NEO-FORMED CONTAMINANTS IN CHILEAN
STARCHY FOODS AND ITS EFFECT ON THE CONSUMER ACCEPTANCE”

1. INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los alimentos más importantes a nivel mundial, con un consumo anual de 55 kg por persona (FAO, 2008; Pefaur, 2014). Hace algunos años el consumo de papas procesadas ha aumentado, debido al cambio en los hábitos alimenticios de los consumidores, ya que disponen de menor tiempo para preparar alimentos, buscando alternativas rápidas y fáciles. En esta categoría es que las papas fritas gozan de gran popularidad (Zamorano y cols, 2010). Sin embargo, los productos fritos de papa se encuentran entre los alimentos con la más alta concentración de neocontaminantes registrada. Las papas crudas no contienen acrilamida, pero sí altas cantidades de asparagina libre y azúcares reductores, responsables de la formación de neocontaminantes durante la reacción de Maillard (Serpen y Gökmen, 2009).

La fritura presenta grandes ventajas, mejorando el color, sabor y texturas de los alimentos (Robert y cols, 2001). Pero durante este proceso es que se generan compuestos tóxicos como la acrilamida o 5-hidroximetilfurfural. En estos casos, el uso de pretratamientos mejora considerablemente la calidad final de los productos. El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición del tejido vegetal a alguna forma de calor (Moyano y Pedreschi, 2006). En la producción de rodajas de papa frita, el escaldado se realiza principalmente para inducir la lixiviación de azúcares acumulados, con el fin de controlar la reacción de Maillard durante la posterior fritura, mejorando sus características organolépticas (González y cols, 2004). Junto a lo anterior, el usar ultrasonido durante el escaldado ayuda a lixiviar aún más azúcares reductores desde la papa ya que existe una ruptura del tejido vegetal debido a la vibración y compuestos volátiles que podrían producir burbujas de cavitación (Toma y cols, 2001; Vinatoru, 1997).

1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

1.1.1 Procesamiento a altas temperaturas

Existen diversas operaciones unitarias que aplican calor en el procesamiento de alimentos. El propósito principal de muchas de ellas es abolir el estado “crudo” de un material para disponer la apariencia y estructura de un producto terminado (Zeki, 2013). Además, estas operaciones son indispensables para determinar características sensoriales específicas, como color, textura y sabor en alimentos (Serpen y Gökmen, 2009).

Los tratamientos térmicos afectan el valor nutricional de los alimentos por la alteración química de nutrientes y por la síntesis o destrucción de varias moléculas biológicamente activas. Por ejemplo, cambia la estructura físico-química del almidón y proteínas, resultando en una mejor digestión (Hardy y cols, 1999; Rechkemmer, 2007). Dentro de las operaciones unitarias que emplean altas temperaturas se encuentran la cocción, horneado, fritura, asado, hervido, entre otros. Un grado más leve de calentamiento es usado para derretir, templar y escaldar (Zeki, 2013).

1.1.1.1 Proceso de fritura

La fritura es uno de los procesos más populares para el procesamiento de alimentos. Su aplicación industrial presenta grandes ventajas, debido a que al introducir el alimento en un medio constituido por una materia grasa calentada a 170 – 180 °C por un breve tiempo, cambian rápidamente sus características físicas, químicas y sensoriales, obteniendo un producto de color dorado, sabor agradable y normalmente textura crujiente (Robert y cols, 2001).

Durante el proceso de fritura ocurre una doble transferencia de masa: una parte del agua se evapora, separando las células vecinas, las que se vuelven rugosas y se contornean alrededor de los gránulos de almidón, formando canales. La absorción ocurre principalmente cuando el producto se extrae de la freidora, por mecanismos de condensación y capilaridad. La materia grasa penetra por dichos canales y, hasta cierto punto, dentro de los gránulos de almidón. Sin

embargo, el aceite se localiza principalmente en la corteza, conteniendo hasta 6 veces más cantidad en comparación con el centro (Achir y cols, 2008; Bouchon y Aguilera, 2001; Val Loon y cols, 2007). Debido a la intensa vaporización después de la inmersión del producto en aceite caliente, se supone que el vapor de agua es el único gas presente. Dentro de dicha transferencia, se generan transformaciones simultáneas en el alimento; ya sean texturales, por la modificación de las propiedades viscoelásticas y la tensión mecánica externa, además de la activación del pardeamiento no enzimático, conocido como Reacción de Maillard (Achir, y cols, 2008).

1.1.1.2 Reacción de Maillard

La Reacción de Maillard juega un importante rol en la mejora de la apariencia y el sabor de los alimentos, particularmente en procesos tradicionales como el tostado del café y granos de cacao, horneado de pan y pasteles, tostado de cereales, fritura de alimentos y cocción de la carne. Básicamente, consiste en un azúcar reductor que reacciona con un grupo amino libre de un aminoácido o proteína, para formar una variedad de compuestos que participan en diversas reacciones dentro del alimento (Achir, y cols, 2008; Pedreschi y cols, 2007).

La formación de compuestos potencialmente dañinos en alimentos es una de las consecuencias más importantes del procesamiento térmico, desde el punto de vista de la seguridad alimentaria (Serpen y Gökmen, 2009). Recientes estudios se han enfocado en la Reacción de Maillard como un posible mecanismo de formación de neocontaminantes, en condiciones típicas de cocción de alimentos.

1.1.1.2.1 Antecedentes de la acrilamida

La acrilamida (2-propenamida) (Figura 1) es un producto químico de amplio uso en la industria. Se emplea principalmente en el tratamiento de agua potable, el procesamiento de la pulpa de papel, para retirar sólidos en suspensión desde aguas residuales, como aditivo en cosméticos, entre otros. Se presenta como un polvo blanco cristalino soluble en agua, etanol, metanol, dimetiléter y acetona; no es soluble en heptano ni benceno (Valenzuela y Ronco, 2007).

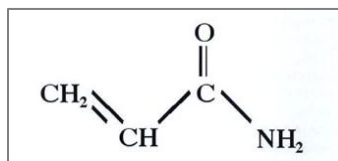


Figura 1: Estructura química de la acrilamida (Valenzuela & Ronco, 2007).

Como el compuesto no ha sido detectado en alimentos no calentados o hervidos, se considera que su formación ocurre cuando los productos se someten a altas temperaturas. Lo anterior se atribuye a las condiciones alcanzadas durante la reacción de Maillard, la que se ha propuesto como el principal mecanismo de formación de la acrilamida. Los participantes cruciales son un aminoácido (asparagina) y un azúcar reductor (fructosa y glucosa) (Martins y cols, 2001; Serpen y Gökmen, 2009). La asparagina da la estructura de la acrilamida, mientras que el azúcar reductor es un reactante esencial en la formación del intermediario N-glicósido, que conduce a la formación de la molécula (Mottram, y cols, 2002; Stadler y cols, 2002). Otro factor a considerar en la ruta de síntesis de acrilamida es su formación a partir del glicerol, por la oxidación de la acroleína en ácido acrílico, que reacciona con el grupo amonio de los aminoácidos. El glicerol puede formarse a partir de la hidrólisis de triglicéridos, el que a su vez puede formar acroleína mediante deshidratación (Muñoz, 2007; Yasuhara y cols, 2003). Cuando se utiliza sucesivamente la misma materia grasa es esperable la formación de mono- y di-glicéridos. Esta degradación hidrolítica produce elevados contenidos de glicéridos parciales de carácter anfifílico, que pueden modificar la tensión superficial entre el agua de la superficie del alimento y el aceite, modificando la transferencia de calor del aceite al alimento en un periodo de tiempo fijo, aunque este cambio no afecta significativamente la formación de acrilamida (Masson y cols, 2007; Mestdagh y cols, 2007). Además, se producen ácidos grasos volátiles como octanoatos y heptanoatos. La fracción remanente de triacilglicerol contiene fragmentos en posición 1 y 3, resultando en una masa de bajo peso molecular, la cual es igual al diacilglicerol (Gertz y cols, 2003). El glicerol no libre formado podría actuar como precursor de la acrilamida (Muñoz, 2007). Las principales rutas de formación de acrilamida se describen en la Figura 2.

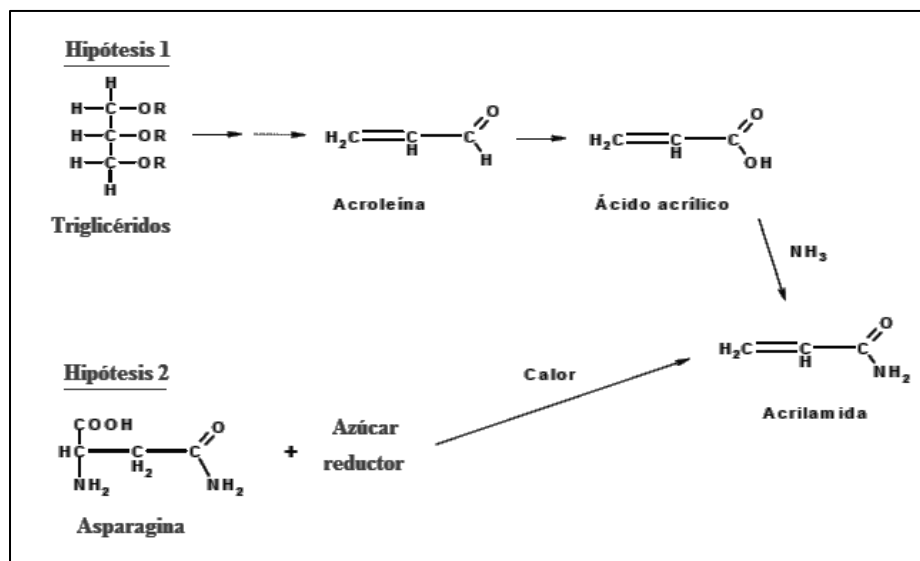


Figura 2: Hipótesis de formación de acrilamida por 1) Aceites y 2) compuestos nitrogenados y azúcares (Becalski y cols, 2003).

La acrilamida se ha clasificado como un probable carcinogénico en humanos por la International Agency for Research on Cancer (IARC), además de tener efectos genotóxicos y neurotóxicos (Martins y cols, 2001; Pedreschi y cols, 2007; Serpen y Gökmen, 2009). Se ha confirmado que un amplio rango de alimentos cocidos, ya sean preparados industrialmente, en servicios de comida o en el hogar, contiene ciertos niveles de acrilamida. Esto incluye alimentos básicos como pan, papas fritas y café, así como productos especiales como chips de papa, galletas y un amplio rango de otros productos procesados térmicamente (Pedreschi y cols, 2004; Pedreschi y cols, 2007; Pedreschi y cols, 2008).

1.1.1.2.2 Hidroximetilfurfural (HMF)

El 5-Hidroximetilfurfural (Figura 3) es un derivado del furano soluble en agua y alcohol, versátil y multifuncional, usado como intermediario para polímeros, fármacos, productos químicos finos, combustibles líquidos y en la síntesis de dialdehídos, éteres, aminoalcoholes y otros derivados orgánicos (Capuano y Fogliano, 2011). El compuesto no suele fabricarse a escala industrial, principalmente por su alto costo de producción. Se forma principalmente durante el

tratamiento térmico de alimentos que contienen carbohidratos, como el tostado, horneado y fritura (Kowalski y cols, 2013; Alper y cols, 2014).

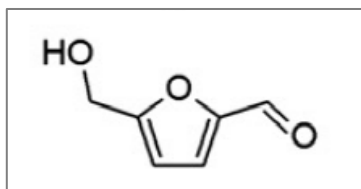


Figura 3: Estructura química del 5-hidroximetilfurfural (Gökmen y Morales, 2014).

El compuesto se forma como intermediario en la reacción de Maillard y por la deshidratación directa de azúcares (caramelización) durante la aplicación de tratamientos térmicos. El intermediario clave en la formación de HMF es el 3-desoxiozono, que se deriva de la enolización 1,2 y la deshidratación de glucosa o fructosa. La deshidratación y ciclación adicionales del 3-desoxiozono produce 5-hidroximetilfurfural. En condiciones ácidas, el compuesto se puede formar incluso a bajas temperaturas, aunque su concentración incrementa drásticamente si aumenta la temperatura del tratamiento térmico o del almacenamiento. Bajo condiciones secas o pirolíticas existe una vía alternativa de formación a partir de fructosa y glucosa, que involucra la formación de un catión fructofuranosil altamente reactivo, el cual puede ser convertido efectivamente y directamente a HMF. Además de la temperatura, la velocidad de formación de HMF en alimentos es dependiente del tipo de azúcar, pH, actividad de agua y la concentración de cationes divalentes del medio (Capuano y Fogliano, 2011; Gökmen y Morales, 2014). Las principales reacciones que se han propuesto para la formación de HMF se ilustran en la Figura 4.

Basado en los datos aportados por la literatura, no está claro si la exposición humana al HMF representa un riesgo potencial a la salud. Estudios han concluido que no representa un daño serio, aun cuando las altas concentraciones en alimentos específicos se acercan a los rangos de concentración biológicamente efectivos en los sistemas celulares. Se estima que la ingesta diaria recomendada es de 1,6 mg/persona (Capuano y Fogliano, 2011). La mayor preocupación está relacionada a la conversión a sulfoximetilfurfural (SMF), un compuesto que se ha

reportado como mutagénico e iniciador de tumores en la piel de los ratones, además de células bacterianas y mamarias. La subsecuente interacción con varios nucleófilos celulares (tales como ADN, ARN y proteínas) puede resultar en daños estructurales a dichas macromoléculas. Por esto, se ha reportado que hay evidencia para aumentar la preocupación acerca de su potencial genotóxico (Delgado-Andrade y cols, 2008; Janzowski y cols, 2000). Sin embargo, se ha reportado que el HMF a altas concentraciones es citotóxico, irritante a los ojos, al tracto respiratorio superior, piel y membrana mucosa (Capuano y Fogliano, 2011; Kowalski y cols, 2013; Alper y cols, 2014).

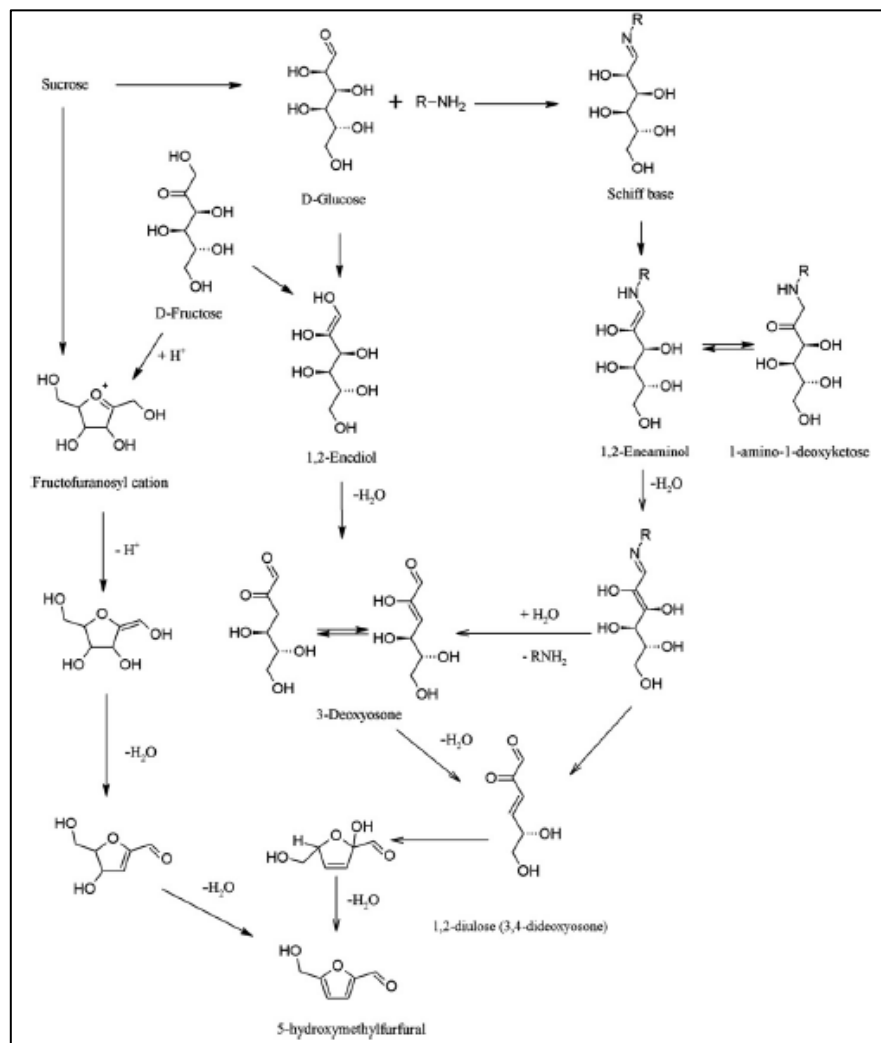


Figura 4: Esquema de reacciones propuestas para la formación de HMF (Capuano y Fogliano, 2011).

La concentración de HMF en alimentos puede variar ampliamente, llegando incluso al valor de 1 g/kg en frutas deshidratadas y productos caramelizados. También puede encontrarse en alimentos horneados, malta, jugos de fruta, café y vinagre (Delgado-Andrade y cols, 2008; Capuano y Fogliano, 2011).

1.1.2 Antecedentes de la papa

La papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los alimentos básicos más importantes del mundo. Consiste en una herbácea anual que alcanza una altura de hasta un metro, que produce un tubérculo, también denominado papa, de un abundante contenido en almidón (FAO, 2008). Es uno de los principales cultivos alimenticios de primera necesidad del mundo, creciendo en aproximadamente el 80% de los países y su producción mundial excede las 300 millones de toneladas al año (National Potato Council, 1988; FAO, 2008). La superficie de cultivo de papa en Chile es la cuarta en importancia dentro de los cultivos anuales, después del trigo, avena y el maíz.

El consumo del producto es estable y bordea los 55 kg por persona al año. Se ha comprobado que éste varía poco frente a cambios en su precio o en los de sus alimentos sustitutos, como el arroz o los fideos (Pefaur, 2014). Hay señales que indican que el consumo de papa procesada ha mostrado un aumento, al mismo tiempo que el consumo del producto sin procesar ha disminuido. Esto se debe al cambio en los hábitos alimenticios de las personas, ya que hoy en día los consumidores tienen menos tiempo para cocinar y, por lo tanto, buscan alternativas de alimentos que sean de rápida y fácil preparación. Esta tendencia se observa fuertemente en países de altos ingresos, y Chile comienza a dar luces de seguir por el mismo camino. Es así, como la oferta de los productos “Snacks” o “Bocadillos”, que se definen como productos fáciles de manipular, se han impuesto en la dieta alimentaria habitual de los chilenos (Zamorano y cols, 2010).

1.1.2.1 Calidad de la materia prima

La papa utilizada para industrialización es aquella que se encuentra en su etapa de madurez, conteniendo una gravedad específica superior a 1,080, que

está relacionado con un buen rendimiento y calidad en cuanto a textura interna de los productos, y un contenido de sólidos mayor a 21%, normalmente entre 22 – 24%, ya que aumenta el rendimiento industrial, disminuyendo la absorción de aceite y logrando que la papa frita sea crujiente y resistente a la rotura. El producto debe cumplir, además, con ciertas condiciones para lograr un resultado óptimo: los tubérculos deben ser redondos o ligeramente ovalados (cerca de 40 y 60 mm) para obtener rebanadas uniformes; su manipulación no debe ser brusca para evitar magulladuras que forman manchas pardas en el producto; no debe tener defectos como el centro hueco o negro, así como la ausencia de deformaciones y estructuras superficiales (ojos); no deben estar verdeadas, ya que suelen ser amargas debido al aumento en los glicoalcaloides, además de ser tóxicas; y finalmente, el contenido de azúcares reductores no debe exceder de 0,2 – 0,3% del peso en fresco, ya que cuanto mayor es el contenido de azúcares reductores, más oscuro será el producto final, lo que dará un sabor amargo indeseado (Morales, 2008; Netherlands Potato Consultative Foundation, 1994).

1.1.2.2 Calidad del producto terminado

Si el proceso de fritura de las papas se realiza correctamente, se producen una serie de cambios deseados en el alimento, los cuales se ven reflejados en su calidad sensorial. Entre ellos se encuentran: textura crujiente por la coagulación de las proteínas, la gelificación del almidón y la deshidratación parcial que sufre el producto; aspecto agradable, color dorado, uniforme y brillante, producido fundamentalmente por la reacción de Maillard; sabor y aroma característicos por la incidencia del propio aceite y por nuevas sustancias producidas durante el proceso; variación del contenido de grasa del producto, en general el producto pierde humedad y gana grasa; y se obtiene una mayor estabilidad del producto por la destrucción de microorganismos contaminantes del alimento y la inactivación de las enzimas presentes en el mismo. Además, es necesario una humedad menor o igual al 2%, debido a que un contenido bajo de humedad proporciona estabilidad a las alteraciones microbianas, porque la pérdida de agua suspende o retarda el metabolismo de los microorganismos causantes de descomposición (Lucas y cols, 2011; Morales, 2008). En rodajas papas tipo chips, la textura es el principal factor

que determina la aceptabilidad y depende tanto de la materia prima como del procesamiento. Estos productos son de textura crujiente, pero no dura ni chiclosa. La característica crujiente proviene probablemente de la condición vítrea del almidón a baja humedad (cerca al 2%), que se pierde al hidratarse (Aguilera y Gloria, 1997).

1.1.2.3 Composición química

El aporte nutricional de los tubérculos está dado por el contenido de macronutrientes y por su biodisponibilidad. Su composición química se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Aporte nutricional de una papa fresca.

Componente	Composición porcentual
Agua	72 – 75 %
Almidón	16 – 20 %
Proteínas	2 – 2,5 %
Fibra	1 – 1,8 %
Ácidos grasos	0,15 %

Fuente: FAO, 2008.

Se reconoce a este alimento principalmente por su rol energético, ya que está compuesto principalmente por carbohidratos, encontrando mayormente almidón y un pequeño porcentaje de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa). El contenido de azúcares es altamente variable ya que depende de diversos factores, tales como el cultivar, madurez y estado fisiológico de las papas. En los productos se han encontrado de forma libre D-glucosa (0,5 – 1,5 %) y D-fructosa (0,15 – 1,5 %), los que son azúcares reductores, y sacarosa (0,4 – 6,6 %), que no es reductora (Delgado, 2009). En cuanto a las proteínas, destaca su alto contenido de lisina y bajo contenido de aminoácidos azufrados. El contenido de grasas aportado es muy bajo (FAO, 2008).

Los productos fritos de papa se encuentran entre los alimentos con la probablemente más alta concentración de acrilamida registrada hasta ahora. Las papas crudas no contienen acrilamida, pero sí altas cantidades de sus precursores, asparagina libre y azúcares reductores, responsables de la formación

de neocontaminantes durante la reacción de Maillard. El contenido de azúcares reductores en las papas crudas se correlaciona bien con la cantidad de acrilamida formada tras el calentamiento de estos productos. Aunque la asparagina es conocida por ser el principal precursor de la acrilamida, el contenido de éste aminoácido libre no se relaciona con su potencial de formación. Esto se debe a que la concentración molar de asparagina que excede la de azúcares reductores y varía menos comparado a ellas en el tubérculo crudo, y los azúcares reductores se consumen mucho más rápido durante el calentamiento que las asparagina libre y otros aminoácidos (Serpen y Gökmen, 2009).

1.1.3 Medidas de mitigación de neocontaminantes

Los procesamientos térmicos producen diversas reacciones en los alimentos que pueden llevar al deterioro de la calidad nutricional del producto, junto con la generación de compuestos tóxicos. El descubrimiento de la formación accidental de agentes potencialmente cancerígenos en una gran variedad de alimentos durante la cocción ha generado mucha preocupación, por lo que se han desarrollado muchos estudios que apuntan a encontrar métodos de mitigación para dichas moléculas (Pedreschi, 2007).

1.1.3.1 Escaldado.

El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición del tejido vegetal a alguna forma de calor, usualmente por exposición al vapor o al agua caliente, por un tiempo predeterminado a una temperatura específica. Típicamente, se lleva a cabo por 1 – 10 minutos a 65 – 95 °C; sin embargo, la combinación tiempo/temperatura depende del tipo de alimento. Algunos procesos ya lo utilizan como pretratamiento, lo que resulta muy útil para reducir el número inicial de microorganismos, inactivar enzimas, mantener el color, estabilizar la textura y el valor nutricional, remover gases superficiales e intercelulares, prevenir la oxidación y reducir tiempos de secado, entre otros (Gamboa y cols, 2013; Moyano y Pedreschi, 2006; Xin y cols, 2015).

En la producción de rodajas de papa tipo chips, el escaldado se realiza principalmente para inducir la lixiviación de azúcares acumulados, con el fin de controlar la reacción de Maillard durante la posterior fritura, mejorando sus características organolépticas (González y cols, 2004). Como el proceso se basa en una transferencia de azúcares reductores desde la papa cruda al medio de escaldado, se puede modelar mediante ecuaciones empíricas simplificadas. Existen modelos con un enfoque exponencial al valor de equilibrio aplicados principalmente para deshidrataciones osmóticas y contenido de soluto en distintos alimentos (Corzo y Bracho, 2006). Peleg (1988) propuso una ecuación lineal que ha probado su precisión en la hidratación de leche en polvo y arroz integral.

$$\frac{t}{C(t) - C_o} = k_1 + k_2 t$$

Figura 5: Ecuación empírica de Peleg linealizada (Corzo y Bracho, 2006).

La ecuación propuesta es un modelo no exponencial de dos parámetros (Figura 5), donde t corresponde al tiempo; $C(t)$ es la concentración de azúcares reductores a un determinado tiempo; C_o es la concentración de azúcares reductores a tiempo cero; k_1 y k_2 a las respectivas constantes de velocidad (Corzo y Bracho, 2006; Girardo y cols, 2006). La constante k_1 es dependiente de la temperatura y está relacionada con la velocidad de transferencia de masa al comienzo del proceso, mientras que k_2 se relaciona con el máximo (o mínimo) equilibrio alcanzable para el tratamiento (Girardo y cols, 2006). El modelo describe a las curvas que presentan un equilibrio asintótico y es comúnmente usada para ajustar datos de rehidratación de leche en polvo descremada, arroz, soya, maní, garbanzos y arvejas, entre otros. Suele utilizarse además en lixiviación de sólidos en base seca, tales como antioxidantes, sales, azúcares, entre otros, pero se ha adaptado de forma óptima en lixivaciones en base húmeda, presentado muy buenas regresiones (Girardo y cols, 2006; Corzo y Bracho, 2006).

1.1.3.2.1 Efectos del escaldado sobre el tejido celular.

En términos generales, los tejidos vegetales dependen en gran cantidad del orden estructural y composición química de su pared celular y espacios intercelulares para manifestar frescura. Las paredes están hechas de fibras de celulosa reforzadas con una matriz de celulosa-lignina o pectina en una o más capas, con el volumen y la orientación de las fibras de celulosa variando en cada capa. La fracción más importante de la papa es el parénquima, teniendo un tejido poliédrico con paredes delgadas. Las células están empaquetadas densamente juntas, considerándose como una espuma con celdas cerradas y líquido a presión. Dentro de éstos se almacenan azúcares. En el caso de las paredes vegetales de los tubérculos las células del parénquima solo poseen una capa primaria (Gibson, 2013). El calentamiento dado durante el escaldado ocasiona rompimiento de la célula y reducción de dichas sustancias, además de causar cambios irreversibles en la estructura celular y en las características físicas del tejido vegetal, como se indica en la Figura 6.

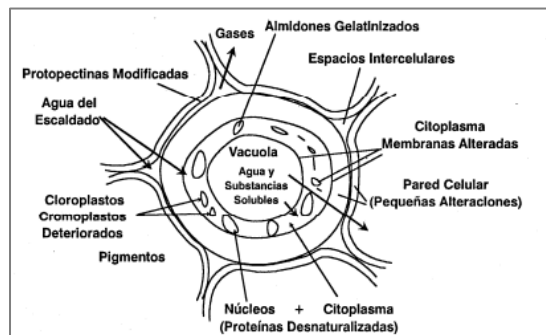


Figura 6: Ilustración de los efectos del escaldado en una célula vegetal (Alzamora y cols, 2004).

La rotura de la membrana citoplasmática incrementa su permeabilidad penetrando agua a la célula y a los espacios intercelulares, donde son expelidos los gases y otros productos volátiles. Las proteínas se desnaturalizan y existe pérdida de nutrientes hidrosolubles como vitaminas, azúcares, minerales, clorofila y carotenos (Alzamora y cols, 2004).

1.1.3.2 Ultrasonido

El ultrasonido es una onda mecánica con una frecuencia sobre el umbral del oído humano (> 20 kHz). Pueden ser divididas en tres rangos de frecuencia, incluyendo el ultrasonido de baja frecuencia (20 – 100 kHz), ultrasonido de alta frecuencia (100 kHz – 1 MHz) y el ultrasonido de diagnóstico (1 – 10 MHz). La ultrasonicación es una tecnología verde que puede modificar ampliamente la composición, estructura y propiedades de los tejidos de diversos orígenes (Zhu, 2015).

1.1.3.2.1 Fenómeno de cavitación y mecanismo de extracción por ultrasonido

La energía acústica del ultrasonido no puede ser absorbida por las moléculas, por lo que se transforma en una forma químicamente utilizable a través del fenómeno de cavitación, el cual solo se presenta en líquidos debido a que las ondas sinusoidales necesitan un medio elástico para extenderse, pasando a través de él y resultando en un movimiento de onda continuo. La presión dentro del medio induce la mezcla dentro del líquido, actuando como un “pistón”: cuando el pistón está en su posición de abertura induce una compresión en el medio y cuando el pistón se contrae crea una fase de expansión. Cuando la presión del medio es inferior a su presión de vapor, el líquido pasa a estado gaseoso y pequeñas burbujas se forman como núcleos desde el gas presente, las que siguen creciendo durante la expansión (Zhu, 2015). Cada medio tiene una distancia molecular crítica: bajo este valor crítico el líquido se mantiene intacto, pero sobre esta distancia el líquido se descompone y pueden generarse vacíos dentro de él. En el ultrasonido, si el ciclo de expansión es lo suficientemente fuerte, la distancia entre moléculas contiguas puede alcanzar o exceder la distancia molecular crítica del líquido. Los huecos creados dentro del medio son las burbujas de cavitación (Chemat y cols, 2011). Durante el ciclo de compresión las burbujas disminuyen, aunque no todas ellas se vuelven a disolver en el líquido. A través de numerosos ciclos, las burbujas siguen creciendo hasta el punto que la barrera formada por ellas iguala a la frecuencia de las ondas aplicadas, resultando en la explosión de las burbujas durante uno de los ciclos de compresión. Esto produce fuerzas de

cizalla muy altas y turbulencia con grandes ondas de energía, lo que resulta en un aumento drástico de la temperatura del medio, modificando las condiciones físicas y químicas del sistema. El colapso de las burbujas resulta en pequeños flujos de agua disparados a través de las paredes, y produce fuerzas de cizalla, que son responsables del daño en los tejidos (Zhu, 2015). Cuando las burbujas colapsan, crean puntos de alta temperatura o puntos calientes que son capaces de acelerar dramáticamente la reactividad química dentro del medio (Chemat y cols, 2011).

La cavitación depende de muchos factores, como la frecuencia de la onda (a mayor frecuencia, menor tiempo tiene la burbuja para crecer y su efecto sobre el sistema es menor), la viscosidad (a mayor viscosidad, menor efecto), la temperatura (a mayor temperatura, mayor efecto, se favorecen las intensidades menores), la presión externa (a mayor presión, el efecto es más violento) y la intensidad (a mayor intensidad, mayor efecto) (Martínez y Usaquén, 2005).

1.1.3.2.2 Efectos del ultrasonido sobre la pared celular.

El efecto general de los tratamientos de ultrasonido es el de mejorar el proceso de reblandecimiento mediante la hidratación del material pectinoso de la lamela media, para que se vuelva más maleable. Esto lleva a la ruptura del tejido vegetal debido a la vibración (Toma y cols, 2001). Además, en células del tipo vegetal, existen compuestos volátiles que podrían producir burbujas de cavitación que contribuyen a la ruptura de las paredes desde el interior (Vinatoru, 1997). Como se mencionó anteriormente, el ultrasonido consiste en ondas mecánicas que necesitan un medio elástico para extenderse. Como la onda pasa a través de este medio, induce un desplazamiento longitudinal de partículas, produciéndose la extracción a través de los mecanismos de cavitación (Chemat y cols, 2011).

1.3.2.3 Aplicaciones del ultrasonido

El ultrasonido tiene múltiples aplicaciones en la industria y en medicina. Estas aplicaciones dependen de los parámetros de potencia, intensidad, medio de propagación de las ondas, entre otros. Sin embargo, estas aplicaciones suelen ser clasificadas según la intensidad de las ondas utilizadas. Las de baja intensidad ($0,01 \text{ W/cm}^2$ a 20 W/cm^2) son ondas no destructivas y se utilizan en diagnóstico

(ecografía), monitoreo (observación de procesos o productos) y medición (propiedades físicas). Las de alta intensidad ($1\text{W}/\text{cm}^2$ a $10^3 \text{W}/\text{cm}^2$) se utilizan para modificar la composición de los materiales y alterar propiedades físico-químicas de éstos; como por ejemplo, se utiliza para promover reacciones de oxidación, inhibición de enzimas, destrucción de microorganismos, difusión asistida acústicamente, entre otros usos (Martínez y Usaquén, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de ultrasonido en el escaldado sobre la lixiviación de azúcares reductores, principalmente glucosa y fructosa, presentes en rodajas de papas crudas, con el fin de disminuir la cantidad de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural que se forman en el proceso de fritura, manteniendo una calidad sensorial aceptable.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar pruebas preliminares para definir los rangos de tiempo y temperatura de escaldado a usar en el diseño experimental.
- Comparar el efecto del escaldado tradicional y el escaldado con ultrasonido sobre la lixiviación de azúcares reductores.
- Entrenar y validar un panel sensorial para la evaluación de calidad de las muestras de rodajas de papa con distintos pretratamientos.
- Realizar un diseño experimental factorial para determinar los efectos del ultrasonido, tiempo y temperatura de escaldado sobre las siguientes variables respuesta en el producto después de la fritura: formación de acrilamida, formación de 5-hidroximetilfurfural, absorción de aceite, calidad sensorial y perfil descriptivo.
- Relacionar las variables respuesta para determinar las condiciones experimentales que minimizan la formación de acrilamida e 5-hidroximetilfurfural sin afectar negativamente la calidad sensorial.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La aplicación de ultrasonido durante el escaldado de rodajas de papas crudas disminuye la cantidad de azúcares reductores presentes en éstas, principalmente glucosa y fructosa, reduciendo los niveles de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural en las rodajas de papa frita, sin afectar negativamente la calidad sensorial del producto final.

4. METODOLOGÍA

4.1 Elaboración de las muestras

4.1.1 Selección de la materia prima

La materia prima utilizada es papa de variedad Yagana, adquirida en un mercado local (Vega Central, ubicada en la comuna de Recoleta, región Metropolitana, Chile). Para conocer el tiempo de adquisición adecuado del producto se compraron papas recién cosechadas (meses de enero – febrero) y papas con el periodo máximo de guarda (noviembre – diciembre), teniendo una muy baja concentración de azúcares reductores en papas nuevas y una muy alta concentración en papas con grandes periodos de almacenamiento, adquiriendo finalmente papas entre los meses de abril – junio, donde se tienen niveles intermedios de azúcares (ver características de la papa Yagana en Anexo 1). Se adquirieron 40 kg de producto, en una frecuencia de 5 kg por semana, para evitar periodos largos de almacenamiento. Luego de adquiridas, se seleccionaron para evitar la presencia de brotes y pudrición. Previo a su almacenamiento, se lavaron con agua para eliminar el exceso de tierra, luego se secaron con papel absorbente para eliminar el exceso de humedad. Las papas se almacenaron a 8°C, en un recipiente con ventilación y con una humedad relativa menor al 95% (Inostroza y Méndez, 2015).

4.1.2 Corte y moldeado

Las papas crudas 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 sacabocados en el área central (parénquima y tejido medular) para obtener rodajas de 40 mm de diámetro. Finalmente, las rodajas fueron lavadas con agua de la llave para remover el exceso de almidón. El exceso de agua superficial se eliminó con papel absorbente.

4.1.3 Pretratamiento de escaldado/ultrasonido

El pretratamiento consistió en un escaldado con agua a distintos tiempos y temperaturas, con aplicación de ultrasonido y sin aplicación de ultrasonido,

utilizando un baño termostático con ultrasonido (Ultrasonic Cleaner Digital Pro 22L, potencia de 600W de calentamiento, potencia de 480W de ultrasonido, frecuencia de 40 kHz, sin pulsos ajustables). Para lo anterior, se ubicaron 60 rodajas (1 batch) de $2,3 \pm 0,1$ g cada una, en un canasto de acero inoxidable y se cubrió con una malla del mismo material para evitar su flotación. La malla se situó dentro del baño de ultrasonido con calefacción, que se llenó previamente con 16 L de agua de la red. El medio de escaldado se cambió con cada batch. Posterior al tratamiento, se lavaron las rodajas de papa por 5 segundos en agua fría para bajar la temperatura y se secaron con papel absorbente para disminuir el exceso de humedad. Cada tratamiento se realizó por duplicado, necesitando un total de 36 batch de producto, respectivamente.

4.1.4 Proceso de fritura

La fritura se realizó bajo condiciones atmosféricas a una temperatura de 170°C. Se dispuso de 12 rodajas (1 batch) en una freidora eléctrica (Super Chacón F2-C, capacidad 18 L de aceite, complementada con un sistema de control de temperatura Watlow, serie SD, Chile) ordenados en un canasto de acero inoxidable, que se cubrió con una malla de acero para asegurar que se mantengan sumergidos en el aceite.

El medio de fritura utilizado fue aceite vegetal de maravilla (alto oleico marca Camilo Ferron). Se dispuso de 4 L de aceite por cada batch de rodajas de papa, con una proporción de papa/volumen de aceite de 1:160. Una vez terminado el proceso de fritura se sacaron las rodajas del canasto y se drenó el exceso de aceite superficial con papel absorbente durante 1 minuto.

Las rodajas de papa destinadas a evaluación sensorial se almacenaron a temperatura ambiente y en bolsas herméticas de polietileno (marca Ziploc) envueltas en papel aluminio. Las rodajas de papa destinadas a la medición de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural se mantuvieron almacenadas en bolsas herméticas de polietileno (marca Ziploc) en un congelador a -18 °C (Freezer GSV34V43 Bosch, Alemania).

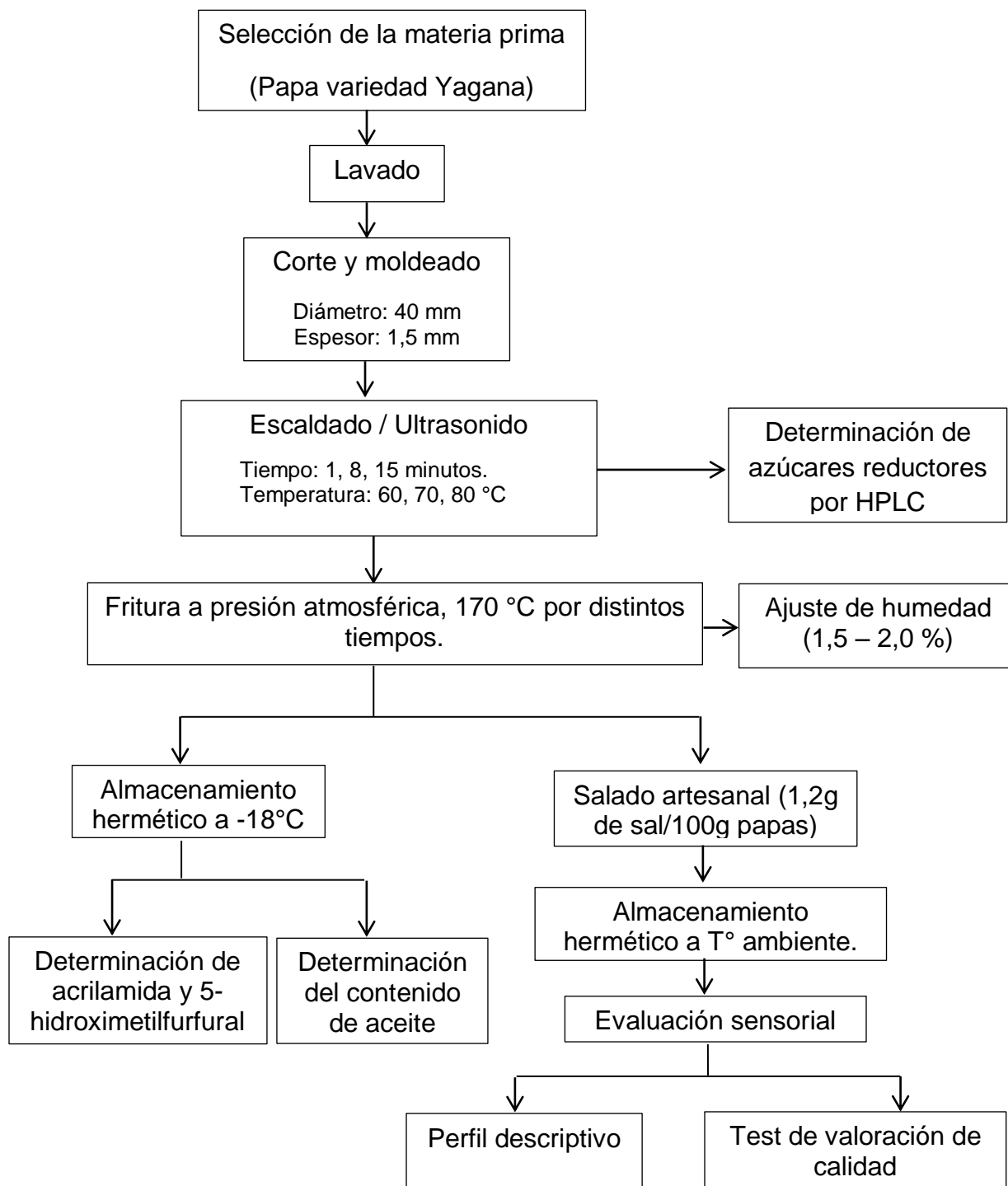
El tiempo de fritura se determinó mediante ensayos preliminares, hasta ajustar la humedad final de las rodajas entre 1,5 – 2 % base húmeda, método que se repitió para cada tipo de pretratamiento (Aguilera y Gloria, 1997).

4.1.5 Salado

Se adicionó sal de mesa (marca Lobos) únicamente a las rodajas de papa destinadas a evaluación sensorial, en una cantidad de 1,2 g de sal/100 g de rodajas de papas fritas. Cada batch se introdujo en una bolsa hermética de polietileno (marca Ziploc), se adicionó sal previamente pesada y se agitó la bolsa durante 3 minutos, con la precaución de no dañar las muestras. Se envolvió la bolsa con papel aluminio y se almacenó para la posterior evaluación.

4.2 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de rodajas de papa frita.

A continuación se presenta gráficamente el proceso de elaboración de las rodajas de papa. El procedimiento se realizó para cada punto del diseño experimental.



4.3 Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas preliminares para determinar los rangos de tiempo y temperatura de escaldado que se utilizaron para determinar las respuestas en el diseño factorial multinivel, expuesto más adelante en el punto 4.6. Las temperaturas a utilizar fueron referentes a la gelatinización del almidón, cercana a los 68 – 70 °C. Para la determinación de los tiempos de escaldado, se varió este parámetro hasta que se observó un cambio en el color de las muestras, con la debida precaución de que fuesen lo suficientemente firmes para su posterior manipulación. En último lugar, el ultrasonido se designó como un factor de dos variables: la ausencia del mismo durante el escaldado, y su uso durante el escaldado, aplicado en cada combinación de tiempo y temperatura, utilizando un baño termorregulado con ultrasonido (Ultrasonic Cleaner Digital Pro 22L, 600W Calentamiento, 480W Ultrasonido, 40 kHz, sin pulsos ajustables).

4.4 Determinación del contenido de azúcares reductores

Se determinó el contenido de azúcares reductores mediante cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC, en las papas crudas y escaldadas tradicionalmente y con ultrasonido, a 60, 70 y 80 °C a diferentes tiempos, con el fin de determinar cinéticas de lixiviación de los azúcares reductores glucosa y fructosa.

Se usó un método adaptado según Varela y cols (2003). Se congelaron las muestras de rodajas de papas crudas y escaldadas 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 40°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. Se tomaron 300 µL del filtrado en un vial y se agregaron 700 µL de acetonitrilo, 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 duplicado para cada medición. Las condiciones de trabajo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Condiciones de trabajo para equipo HPLC-IR

Columna	LiChroCART® 250-4 Purospher® STAR NH ₂ (5 µm)
Fase móvil	Acetonitrilo/agua (70/30%)
Flujo fase móvil	1 mL/min
Temperatura columna	40°C
Volumen de inyección de muestra	20 µL
Temperatura celda IR	30°C

4.5 Entrenamiento y validación del panel sensorial

4.5.1 Entrenamiento de jueces

Los jueces participantes del estudio fueron estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, que hubiesen aprobado la asignatura de Evaluación Sensorial impartida en dicha Universidad, y que tengan disponibilidad e interés en participar en el panel. No se realizaron test adicionales para su selección.

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 rodajas de papa elaboradas en el laboratorio.

Para cada evaluación se ubicó a los jueces en una mesa redonda donde cada puesto contaba con un lápiz, plato, hoja de respuesta (Anexo 2 y 3), una tabla de calidad Karlsruhe (Anexo 4), un vaso de agua filtrada 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 filtrada. Este proceso se repitió entre cada

muestra a evaluar. El té se preparó previamente en un jarro plástico, donde se adicionaron 500 ml de agua hervida y se sumergieron dos bolsitas de té (marca Té Supremo) por tres minutos, con dos cucharadas de azúcar, para evitar el sabor amargo. Luego, se vertieron en un termo (marca Thermos de 2L) y se adicionó 1L de agua hervida. Se llevaron a cabo 6 sesiones de entrenamiento (Tabla 3).

Tabla 3: Sesiones de entrenamiento para la evaluación de rodajas de papa frita.

Sesión	Muestras	Test aplicados
1	Tim (corte liso) Lay's Artesanas (corte liso) Marco polo caseras (corte liso)	Test de calidad
2	Sin tratamiento, Escaldado/Ultrasonido 60 °C, 7 minutos. Escaldado/ Ultrasonido 80 °C, 7 minutos.	Test de calidad Perfil descriptivo.
3	Sin tratamiento Escaldado/Tradicional 80 °C, 1 minuto Escaldado/Tradicional 80 °C, 7 minutos.	Test de calidad Perfil descriptivo.
4	Sin tratamiento Escaldado/ Ultrasonido 70 °C, 4 minutos. Escaldado/ Ultrasonido 80 °C, 15 minutos.	Test de calidad Perfil descriptivo.
5	Sin tratamiento Escaldado/tradicional 80 °C, 7 minutos. Escaldado/tradicional 90 °C, 3 minutos.	Test de calidad Perfil descriptivo.
6	Sin tratamiento Escaldado/tradicional 70 °C, 7 minutos. Escaldado/tradicional 80 °C, 15 minutos.	Test de calidad Perfil descriptivo.

En la primera sesión se usaron 3 marcas comerciales de papas fritas de distintas calidades. Desde la segunda a la sexta sesión se utilizaron papas fritas elaboradas en el laboratorio con diferencias claras entre los atributos de color, sabor, apariencia y aroma, para que así las muestras cubrieran todos los grados

de calidad descritos en la tabla Karlsruhe. Como la primera sesión fue una introducción a las características del producto, solo se realizó un test de calidad. El perfil descriptivo se introdujo desde la segunda sesión. Todo lo anterior tenía la finalidad de familiarizar a los jueces con los distintos grados y calificaciones de calidad, así como las diferencias entre los atributos específicos.

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

4.5.2 Validación del panel sensorial

Se validó el panel sensorial bajo las directrices de la Norma ISO 11132-2012: “Análisis sensorial. Metodología. Directrices para monitorear el desempeño de un panel sensorial cuantitativo”. Se realizaron 3 sesiones con 3 muestras distintas entre sí, que se repitieron durante las sesiones de validación, utilizando el perfil descriptivo para evaluar:

1. Sin tratamiento, 5 minutos de fritura.
2. Escaldado/tradicional 70 °C, 7 minutos.
3. Escaldado/tradicional 90 °C, 20 minutos.

Mediante la validación con la norma se midió la capacidad del panel para hacer evaluaciones validas 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.

Mediante un análisis ANOVA para el panel completo, se seleccionaron aquellos atributos que presentaron diferencias significativas entre muestras, pero que no presentaron diferencias significativas entre jueces y sesiones. Luego, se realizó un análisis ANOVA para cada juez, con el fin de realizar las mediciones exigidas por la norma ISO 11132 – 2012.

Inicialmente el panel contaba con 10 participantes; pero durante el entrenamiento, dos de los jueces se retiraron por voluntad propia, quedando un

total de 8 evaluadores. Como el número de jueces que compuso el panel era el mínimo requerido por la norma, se eliminaron aquellos atributos en los que los jueces presentaron diferencias significativas o tuvieron falta de habilidades.

4.6 Diseño experimental

Con los datos de tiempo, temperatura y ultrasonido definidos previamente mediante pruebas experimentales se creó un diseño factorial multinivel, que permite estudiar los efectos de uno o más factores y niveles sobre un determinado proceso. Se usaron tiempo y temperatura como variables continuas, con 3 niveles para cada factor, y ultrasonido como variable discreta, compuesta por 2 niveles. El programa construye una base de datos que contiene todas las combinaciones de los diferentes niveles de las variables. Se codificaron los niveles inferior, intermedio y superior de las variables continuas (tiempo y temperatura) como -1, 0 y 1, y se aplicaron para los 2 niveles de la variable discreta (ultrasonido), codificados como -1 y 1 (Tabla 4).

Tabla 4: Niveles codificados del diseño experimental.

Factores	Nivel inferior	Nivel intermedio	Nivel superior
Tiempo	-1	0	1
Temperatura	-1	0	1
Ultrasonido	-1	---	1

Nota: El nivel inferior corresponde al valor más bajo para cada factor, el nivel superior corresponde al valor más alto para cada factor y el nivel intermedio es un valor medio entre ambos niveles mencionados anteriormente.

Como respuestas se analizó la formación de acrilamida, la formación de hidroximetilfurfural, la absorción de aceite, la calidad sensorial y el perfil descriptivo. En el caso de la calidad sensorial del producto después de freír se añadieron además, como factores discretos, jueces y sesiones de evaluación.

4.6.1 Determinación de la formación de acrilamida

La determinación del contenido de acrilamida sobre el producto después de freír se realizó por cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC – MS) adaptado según Ciesarová y cols (2006). Se tomaron 2 g de muestra previamente

homogeneizada en un tubo de centrifuga y se adicionaron 40 μ L de la solución de trabajo SI (20mg/L AA-D3) y 10 mL de metanol. Las muestras se agitaron por 30 segundos en vórtex y se dejaron en ultrasonido a 60°C por 20 minutos. Se centrifugaron las muestras a -4°C y 6000 rpm. Se extrajo 5 mL de sobrenadante y se pasó por un cartridge de fase reversa C18 con la ayuda de un manifold con vacío para recuperar el extracto. Posteriormente se pasaron 5 mL de metanol y se juntó al volumen de extracto obtenido en un tubo centrifuga de 50 mL y se adicionaron 10 mL de n-Hexano, para ser sonicado por 5 min y posteriormente centrifugado a -10°C y 6000 rpm por 10 min. Luego se tomó la fase inferior (metanol) y se llevó a un balón esmerilado de 100 mL. Se evaporó el solvente a 40°C hasta sequedad. Se adicionó 1 mL de metanol y se extrajo la mayor cantidad del reconstituido, que se pasó a través de una jeringa de 3 mL y un filtro de 0,2 μ m para disponer en viales de 2 mL para su análisis. Las muestras serán analizadas en un cromatografo de gas – espectrómetro de masas (Agilent 7890A GC System con Agilent 597C XL EI/CI MSD) equipado con un inyector (CTC PAL ALS Agilent GC sampler 80) y con una columna (Agilent DB-FFAP 122-3232 de 30 m x 0,25 mm ID, 25 micras). Las condiciones se expresan en la Tabla 5.

Tabla 5: Condiciones del cromatografo de gases – espectrómetro de masas.

Velocidad de inyección	50 μ L/s
Volumen de inyección	2 μ L
Condiciones de cromatógrafo	Comienzo a 60 °C por 1 min, luego 10°C/min hasta 190°C, finalmente 50°C/min hasta 240 °C.
Flujo de columna	0,8 ml/min (helio). Flujo constant.
Tiempo de corrida	15 min
Temperatura de entrada del GC	200 °C
Temperatura del MS	245 °C

4.6.2 Determinación de la formación de 5-hidroximetilfurfural

La determinación del contenido de 5-hidroximetil furfural sobre el producto después de freír se realizó por cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC, adaptado según Toker y cols (2013). Se tomó 1 g de muestra previamente homogeneizada, se adicionaron 20 ml de agua destilada y se agitó por 30 segundos en un vortex para homogeneizar. Luego, se agregaron 1,5 ml de

solución de Carrez I (15g de $K_4[Fe(CN)_6] \times 3H_2O$ en 100 ml de agua) y se agitó por 30 segundos en un vortex. Posteriormente, se agregó 1,5 ml de solución de Carrez II (30g de $ZnSO_4 \times 7H_2O$ en 100 ml de agua) y se agitó por 30 segundos en vortex. Se centrifugaron las muestras por 15 min a 20 °C y 6000 rpm. Se tomó el sobrenadante con una jeringa de 3 ml y se pasó por un filtro de 0,22 μm de nylon para disponer en viales de 2 ml para su análisis en HPLC DAD. Las condiciones del equipo se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Condiciones del equipo de cromatografía.

Fase móvil	Ácido acético al 1% / Acetonitrilo (95/5)
Flujo fase móvil	1 ml/min
Longitud de onda del detector	284 nm
Volumen de inyección	20 μL
Columna	Acclaim TM 120 C18 5 μm 120 Å 4.6x 150 mm

4.6.3 Determinación de la absorción de aceite

Para la determinación del contenido de aceite se utilizó el método original de la AOAC (1990) descrito por el Instituto de Salud Pública de Chile (2014). 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 éter 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, 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, según la ecuación:

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

Donde m corresponde al peso inicial de la muestra, m_1 al peso del matraz con las perlas de ebullición y m_2 al peso del matraz con grasa y perlas de ebullición (después de evaporar con el rotavapor).

4.6.3.1 Determinación del contenido de humedad

Se usó el contenido de humedad como estandarización del tiempo de fritura, buscando llegar a un valor final de 1,5 – 2%. La determinación del contenido de humedad se realizó con una balanza infrarroja (A&D Instrument, modelo MS – 70, Japón), que efectúa la medición mediante gravimetría por un proceso de secado con lámpara halógena y un sensor para detectar las variaciones de peso de la muestra. El porcentaje final es detectado cuando la balanza lleva la muestra a peso constante. Los resultados se obtuvieron en base húmeda, por triplicado, para la materia prima y cada punto del diseño experimental después de la fritura. Se prefirió el análisis anteriormente descrito frente al propuesto por la AOAC por la rapidez para obtener el valor frente a la naturaleza del proceso.

4.6.4 Evaluación sensorial

4.6.4.1 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 rodajas de papas fritas (Morales, 2008). Esta consta de 6 puntos, agrupados en 3 grados de calidad, donde cada uno se divide en dos subgrupos (Tabla 7). Los parámetros a evaluar correspondían a color, apariencia, aroma, sabor y textura.

Tabla 7: Grados y sub-grados de calidad.

Grados	Clasificación verbal	Clasificación numérica
Grado 1: Características 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 5 rodajas por juez. Cada juez debía comenzar evaluando los parámetros de color y apariencia del conjunto de rodajas de la muestra. Luego debían retirar sus productos 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 hoja de respuesta y la escala Karlsruhe a todo el panel (anexo 1 y 3).

4.6.4.2 Perfil descriptivo

Se realizó un perfil descriptivo para cada muestra determinada en el diseño experimental. Se usaron 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, presencia de manchas, tamaño de manchas, fracturabilidad, crujencia, sabor tostado, sabor aceitoso, sabor extraño y sabor residual (Anexo 2).

Para orientar a los jueces durante la evaluación de los atributos visuales, se proporcionaron fotografías de rodajas de papa frita que equivalían a distintos puntos de la escala de homogeneidad (Anexo 4), intensidad de color (Anexo 5) y tamaño de manchas (Anexo 6). Estas fotografías se usaron en el entrenamiento

de los jueces y durante la evaluación de las muestras. Además, se entregó una ficha de respuesta con los atributos ideales marcados para ayudar a la evaluación (Anexo 7).

4.7 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron en el programa StatGraphics Centurion XVI, fabricado por StatPoint Technologies, 2012.

4.7.1 Diseño factorial multinivel

Los resultados obtenidos del diseño experimental fueron analizados mediante un modelo factorial multinivel, usando los factores simples y cuadráticos. Los datos fueron aleatorizados por el programa con el fin de minimizar el efecto de situaciones extrañas o externas a las variables dependientes estudiadas. Para los resultados obtenidos en la evaluación sensorial, se analizaron jueces y sesiones mediante un ANOVA de dos vías para detectar diferencias significativas en las muestras, con un nivel de confianza del 95%. Para el perfil descriptivo, se evaluaron solo aquellos atributos que fueron validados por la Norma ISO 11132 – 2012.

Al finalizar este análisis se obtuvo un modelo de cada respuesta, en donde se requería obtener un R^2 ajustado $> 80\%$ para la formación de acrilamida, la formación de 5–hidroximetilfurfural y la absorción de aceite, y un R^2 ajustado $> 80\%$ en calidad y perfil sensorial para validar el análisis. Se eliminaron los efectos no significativos identificados mediante el gráfico de Pareto con la finalidad de ajustar el modelo. En caso de existir diferencias significativas en algún factor, se analizaron las gráficas de efectos principales y de factores para cada atributo.

4.7.2 Comparación de regresiones de lixiviación de azúcares reductores.

Los resultados de la lixiviación de azúcares reductores, linealizados a través de la ecuación de Peleg, fueron analizados mediante una comparación de líneas de regresión, diseñada para comparar regresiones relacionadas entre una variable

dependiente y una independiente, en dos o más niveles de un factor categórico. El factor dependiente fue la variación de la concentración de azúcares reductores en el tiempo ajustada al modelo de Peleg, el factor independiente fue el tiempo de escaldado y como factor categórico se designó el uso ultrasonido. Este último, tal como en el diseño factorial multinivel, se designó como un factor de dos variables: la ausencia del mismo durante el escaldado, y su uso durante el escaldado. Al finalizar este análisis se requería obtener un R^2 ajustado $> 90\%$ ($p \leq 0,05$) para validar el análisis. Los datos analizados fueron las diferencias significativas entre los interceptos y las pendientes de cada regresión.

5. RESULTADOS

5.1 Pruebas preliminares

Los niveles de los factores a usar en el diseño experimental, obtenidos mediante pruebas preliminares, se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Niveles finales del diseño experimental.

Factores	Nivel inferior	Nivel intermedio	Nivel superior	Unidades
Tiempo	1	8	15	minutos
Temperatura	60	70	80	°C
Ultrasonido	Sin ultrasonido	---	Con ultrasonido	

Nota: El nivel inferior corresponde al valor más bajo para cada factor, el nivel superior corresponde al valor más alto para cada factor y el nivel intermedio es un valor medio entre ambos niveles mencionados anteriormente.

Para la temperatura, se definió un rango de trabajo próximo a la gelatinización del almidón, cercana a los 68 – 70 °C; se utilizó una temperatura menor (60 °C), una mediana (70 °C) y una mayor (80 °C) debido a que una gran variedad de transformaciones ocurren en las papas debido a este proceso. Para el tiempo de escaldado, se varió este parámetro hasta observar un cambio de color de las muestras, procurando que pudieran ser manipuladas posteriormente. El primer cambio de color ocurrió en 1 minuto de proceso a 60 °C, y sobre los 15 minutos a 80 °C la materia prima se volvía demasiado blanda para poder ser manipulada. Por lo anterior, se definió usar el tiempo al primer cambio de color, un valor intermedio, y un tercero en que las muestras aún fuesen manipulables a altas temperaturas, resultando en 1, 8 y 15 min. Para el ultrasonido, se designó como la ausencia del mismo durante el escaldado, y su aplicación durante el escaldado, aplicado a cada combinación de tiempo y temperatura, usando una potencia de 600W de calentamiento, 480W de ultrasonido y una frecuencia de 40 kHz, sin variación de pulsos, condiciones que han sido utilizadas en diversos estudios de lixiviación con resultados positivos (Amaral y cols, 2016; Gamboa y cols, 2013; Zhu, 2015).

5.2 Lixiviación de azúcares reductores

El contenido de azúcares reductores se midió en las papas crudas, escaldadas tradicionalmente y con ultrasonido (potencia de 600W de calentamiento, potencia de 480W de ultrasonido, frecuencia de 40 kHz, sin pulsos programables), a 60, 70 y 80 °C a distintos intervalos de tiempo. Las curvas de lixiviación de glucosa y fructosa se presentan en la Figura 7.

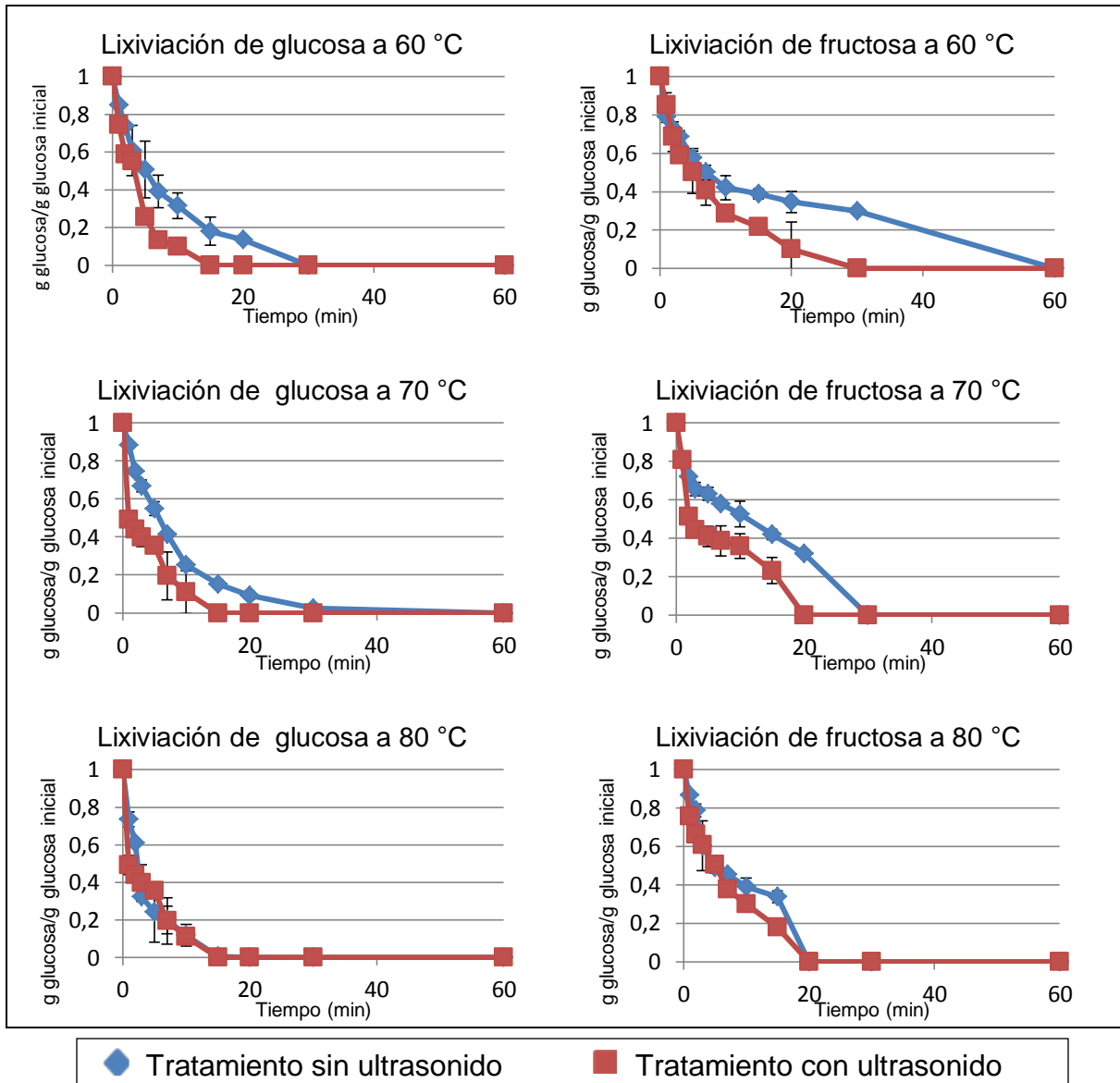


Figura 7: Curvas de lixiviación de glucosa y fructosa en rodajas de papa cruda a 60, 70 y 80 °C. Cada punto se realizó en duplicado y fue expresado como un promedio.

Las papas crudas no contienen acrilamida y 5-hidroximetilfurfural por sí mismas, pero poseen un alto nivel de azúcares reductores como glucosa y fructosa, que son uno de los principales precursores de la formación de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural. Debido a lo anterior, es deseable tener la menor cantidad posible de dichas moléculas al momento de freír (Pedreschi y cols, 2004; Pedreschi y cols, 2007; Pedreschi y cols, 2009).

Para el caso de la glucosa, en las gráficas se observa que a 60 y 70 °C la extracción es rápida hasta los 20 minutos de tratamiento tradicional, mientras que al usar ultrasonido ese tiempo se reduce a 15 minutos. A 80 °C ambas curvas tienen una extracción rápida hasta los 15 minutos. De similar forma ocurre en la extracción de fructosa, donde a 60 °C y 70 °C el tratamiento con ultrasonido extrajo una mayor cantidad de azúcares reductores en menos tiempo comparado con el tratamiento sin ultrasonido. A 80 °C ambas curvas llegaron al equilibrio a los 20 minutos. Luego de este tiempo particular, para todas las condiciones, la extracción se volvió moderada hasta alcanzar niveles bajo el límite de detección del equipo. De acuerdo a la literatura, las pérdidas más rápidas de sólidos se generan cuando las muestras se exponen a temperaturas altas, mientras que los tratamientos a bajas temperaturas tienen pérdidas más lentas, debido a que la difusividad efectiva de la lixiviación aumenta con la temperatura y disminuye con el tiempo de escaldado. En los tiempos iniciales de tratamiento, la difusividad efectiva es mayor debido a la diferencia de potencial generada por las distintas concentraciones en el agua de escaldado y la papa cruda. Además, el aumento de temperatura de escaldado produce un daño a la pared celular, afectando a la pérdida de azúcares reductores durante el escaldado (Pedreschi y cols, 2009; Gamboa y cols, 2013). Lo anterior se ve potenciado al momento de aplicar ultrasonido, ya que la vibración rompe el tejido vegetal y los compuestos volátiles producen burbujas de cavitación, contribuyendo a la ruptura de las paredes desde el interior (Vinatoru, 1997; Toma y cols, 2001). Sumado a esto, cuando la onda atraviesa el medio de escaldado induce un desplazamiento longitudinal de partículas, produciendo una extracción de sólidos desde la papa cruda al medio de escaldado (Alzamora y cols, 2004; Chemat y cols, 2011; Gibson, 2013).

Los datos de las gráficas linealizadas para la lixiviación de glucosa y fructosa en rodajas de papa cruda según la ecuación de Peleg se exponen en la Tabla 9 (ver ecuación en la Figura 5), donde se muestran los valores absolutos de las constantes K_1 y K_2 para la pérdida de glucosa y fructosa, durante el escaldado tradicional y el escaldado con ultrasonido, junto a sus coeficientes de regresión (Gráficas en anexo 9).

Tabla 9: Parámetros de la linealización de Peleg para las curvas de lixiviación de glucosa y fructosa.

GLUCOSA						
Temperatura	Ultrasonido	K_1	p-valor	K_2	p-valor	R^2
60 °C	No	4,634±1,432	0,0041	0,914±0,025	0,3036	0,988
	Sí	1,817±0,016		0,957±0,001		0,996
70 °C	No	4,960±0,130	0,0016	1,366±0,443	0,1265	0,984
	Sí	1,366±0,443		0,970±0,007		0,998
80 °C	No	1,661±0,016	0,7882	0,962±0,002	0,8007	0,997
	Sí	1,993±0,157		0,954±0,002		0,998
FRUCTOSA						
Temperatura	Ultrasonido	K_1	p-valor	K_2	p-valor	R^2
60 °C	No	6,564±0,253	0,0398	0,987±0,002	0,4126	0,9507
	Sí	4,438±0,061		0,918±0,011		0,9881
70 °C	No	6,851±0,217	0,0487	0,918±0,001	0,7893	0,9357
	Sí	2,799±0,701		0,955±0,009		0,9871
80 °C	No	5,429±0,777	0,1941	0,897±0,014	0,5977	0,9357
	Sí	3,600±0,335		0,929±0,006		0,9871

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$). Datos se presentan como valores absolutos. K_1 (min * g azúcar reductor/g azúcar reductor inicial) y K_2 (g azúcar reductor/g azúcar reductor inicial).

Las condiciones experimentales tienen un efecto significativo sobre k_1 a 60 °C y 70 °C ($p \leq 0,05$), donde se observa que el uso de ultrasonido aumenta la velocidad de lixiviación, ya que este parámetro es inversamente proporcional a k_1 (Giraldo y cols, 2006). A 80 °C las constantes se igualan y no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$). En el caso de k_2 , no hay diferencias significativas entre los valores a 60, 70 y 80 °C ($p > 0,05$). Como esta constante está relacionada con el equilibrio de la lixiviación, se puede afirmar que todas las

condiciones llegan al mismo equilibrio y que los cambios más significativos ocurren durante los primeros minutos del proceso.

Estudios han demostrado que el escaldado con ultrasonido aumenta su eficacia cuando aumenta la temperatura, mejorando la lixiviación de sólidos de forma significativa en valores por sobre los 60 °C (Amaral y cols, 2016; Gamboa y cols, 2013). Como se expone en la Tabla 9, para ambos azúcares reductores las constantes k_1 tienen valores muy similares en los tratamientos de escaldado con ultrasonido a distintas temperaturas. Por esto, se realizó una comparación entre ellas, manteniendo el ultrasonido constante, para analizar el efecto de aumentar la temperatura sobre este factor. Los datos de dicha comparación de regresiones se exponen en la Tabla 10.

Tabla 10: Comparación entre lixiviación de glucosa y fructosa al escaldar con ultrasonido a 60 °C, 70 °C y 80 °C. Curvas linealizadas bajo ecuación de Peleg.

Glucosa					
Temperatura	K_1	p-valor	K_2	p-valor	R^2
60 °C	1,817±0,016	0,7974	0,957±0,001	0,8389	0,996
70 °C	1,366±0,443		0,970±0,007		0,998
80 °C	1,993±0,157		0,954±0,002		0,998
Fructosa					
Temperatura	K_1	p-valor	K_2	p-valor	R^2
60 °C	4,438±0,061	0,5541	0,918±0,011	0,8808	0,988
70 °C	2,799±0,701		0,955±0,009		0,987
80 °C	3,600±0,335		0,929±0,006		0,987

Datos se presentan como valores absolutos. K_1 (min * g azúcar reductor/g azúcar reductor inicial) y K_2 (g azúcar reductor/g azúcar reductor inicial).

En la Tabla 10 se puede observar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con ultrasonido realizados a distintas temperaturas ($p > 0,05$). Lo anterior sugiere que, si bien ultrasonido y temperatura actúan de forma sinérgica aumentando la lixiviación de azúcares reductores cuando se compara el tratamiento con un escaldado tradicional, el aumentar la temperatura manteniendo el ultrasonido constante, no afecta significativamente la lixiviación de azúcares, por

lo que al usar ultrasonido no es necesario llegar a temperaturas mayores a 60 °C para obtener efectos positivos sobre la lixiviación de glucosa y fructosa.

5.3 Entrenamiento y validación del panel sensorial

5.3.1 Entrenamiento del panel sensorial

Inicialmente se contó con 10 panelistas, pero 2 de ellos se retiraron en el transcurso del entrenamiento por motivos personales. Los 8 panelistas convocados fueron entrenados para identificar y evaluar la intensidad de aquellos atributos que se consideran de mayor interés, así como la calidad de los productos presentados. Se realizaron 6 sesiones de entrenamiento, donde se instruyó sobre los usos de los test específicos, atributos a evaluar y grados de calidad del producto. Se consideró que el panel estaba entrenado cuando al realizar un test ANOVA de dos vías (jueces y muestras) de la evaluación, no se obtuvieron diferencias significativas entre jueces ($p > 0,05$). Después de dicha sesión, se procedió a la validación.

La primera sesión fue introductoria al estudio. Se usaron 3 marcas de papas chips de distintas calidades que se encuentran en el mercado, con el fin de identificar los posibles defectos presentes y formar un perfil del producto ideal esperado. A partir de la segunda sesión, se presentaron muestras realizadas en laboratorio que fuesen significativamente diferentes, destinadas a familiarizar a los jueces con el producto a evaluar, instruir en las intensidades y calidades, además de encontrar aquellos atributos clave para la validación del panel. 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 (anexo 2) y tabla final específica para rodajas de papa frita (anexo 4). Se consideró que el panel estaba apto para validarse cuando no se obtuvieron diferencias significativas entre jueces para las muestras evaluadas (ver Anexo 10 y 11).

Con la finalidad de guiar a los jueces y estandarizar las percepciones, se facilitó material de apoyo durante las evaluaciones: fotografías que ilustraban las

diferencias de color (ver Anexo 5 y Anexo 6), imágenes con algunos defectos propios del producto (ver Anexo 7) y un perfil del producto ideal (ver Anexo 8). Junto con los elementos anteriores, se profundizaron y corrigieron aquellos atributos en que los jueces presentaban problemas de evaluación.

5.3.2 Validación del panel sensorial

Según lo indicado en la norma ISO 11.132, se debe presentar frente al panel de evaluadores un set de muestras similares a aquellas que han sido evaluadas en las sesiones de entrenamiento. Dichas muestras deben tener atributos significativamente diferentes, denominados atributos clave, para evaluar el desempeño del panel. En la evaluación no deben existir diferencias significativas entre jueces y sesiones. En base a lo anterior, se realizó un ANOVA de dos vías (jueces y muestras) previo al análisis de validación para conocer cuáles eran los atributos que los jueces eran capaces de discriminar, presentado en la Tabla 11.

Tabla 11: ANOVA resumen para la validación del perfil descriptivo.

Atributo	p-valor jueces	p-valor sesión	p-valor muestras	Tipo de atributo
Intensidad de color de superficie	0,0802	0,5082	0,0000	Clave
Homogeneidad de color del lote	0,0748	0,2483	0,0000	Clave
Apariencia aceitosa	0,6970	0,6271	0,0000	Clave
Presencia de manchas	0,0000	0,9703	0,0000	No cumple
Tamaño de manchas	0,0000	0,9934	0,0000	No cumple
Fracturabilidad	0,1130	0,9173	0,4493	No cumple
Crujencia	0,0006	0,0691	0,0000	No cumple
Sabor a tostado	0,1911	0,4872	0,0000	Clave
Sabor aceitoso	0,2056	0,5874	0,0000	Clave
Sabor extraño	---	---	---	No cumple
Sabor residual	0,0801	0,7621	0,0000	Clave

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

Como se aprecia en la Tabla 11, al finalizar el entrenamiento los jueces solo pudieron discriminar 6 de los 11 atributos presentados. Cabe destacar que aunque no hubo diferencias significativas entre jueces y sesiones para fracturabilidad, tampoco lo hubo entre muestras, por lo que no cumple los requisitos para ser un

atributo clave. Además, en sabor extraño hubo ausencia absoluta, sin variabilidad, por lo que tampoco aporta información relevante para la validación.

En la Tabla 12 se muestra un resumen del desempeño del panel para el perfil descriptivo, en donde se aprecia que el panel es capaz de discriminar de forma correcta los atributos clave, ya que existen diferencias significativas entre las muestras. En adición, el panel también es homogéneo, puesto que no se presentan diferencias significativas ($p > 0,05$) en la interacción jueces–muestras, y es reproducible, ya que no presenta diferencias significativas entre jueces–sesiones y muestras–sesiones.

Tabla 12: desempeño del panel sensorial durante la validación.

	Atributos					
	Intensidad de color de superficie	Homogeneidad de color del lote	Apariencia aceitosa	Sabor a tostado	Sabor aceitoso	Sabor residual
Efectos principales						
Jueces	0,4467	0,0774	0,1440	0,5845	0,1494	0,1025
Muestras	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sesiones	0,7132	0,3642	0,5048	0,3183	0,3268	0,0554
Interacciones						
Jueces-muestras	0,1667	0,1158	0,1798	0,1813	0,2478	0,3551
Jueces-sesiones	0,5690	0,1550	0,7619	0,7294	0,3290	0,0946
Muestras-sesiones	0,4073	0,0790	0,8705	0,6669	0,4660	0,3462

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

En el caso del desempeño de cada juez, la norma ISO 11.132 indica que a mayor cantidad de atributos clave significativamente discriminados, mejor es el desempeño del panel. Un panel no es homogéneo cuando uno o más evaluadores están en desacuerdo con el resto de los integrantes. En la Tabla 13 se muestra el desempeño de cada juez frente a los atributos clave evaluados en la validación.

Tabla 13: Nivel de discriminación de los jueces del panel sensorial.

Jueces	Atributos					
	Intensidad de color de superficie	Homogeneidad de color del lote	Apariencia aceitosa	Sabor a tostado	Sabor aceitoso	Sabor residual
1	0,0000	0,0178	0,0006	0,0019	0,0158	0,0043
2	0,0000	0,0314	0,0196	0,0002	0,0010	0,0005
3	0,0001	0,0002	0,0095	0,0000	0,0301	0,0003
4	0,0000	0,0004	0,0189	0,0000	0,0074	0,0003
5	0,0001	0,0123	0,0189	0,0001	0,0005	0,0018
6	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0017	0,0046
7	0,0003	0,0026	0,0044	0,0002	0,0012	0,0003
8	0,0000	0,0243	0,0027	0,0003	0,0513	0,0037

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

Se considera que el juez reconoce las diferencias si el análisis de varianza ANOVA muestra diferencias significativas a un nivel del 5%. Como todos los jueces obtuvieron un p-valor menor a 0,05, se afirma que pueden discriminar los atributos que se consideraron como claves para la validación. Por consiguiente, el panel completo está capacitado para entregar información consistente sobre la variación de esos atributos. Una vez finalizada, se conformó un panel con 8 jueces y se procedió con la evaluación de muestras de las condiciones experimentales.

5.4 Evaluación de las respuestas del diseño experimental

5.4.1 Determinación de la formación de acrilamida

La formación de acrilamida en cada punto del diseño experimental se presenta en la Tabla 14. Es importante mencionar que investigaciones previas han reportado valores muy distintos de acrilamida para el mismo tipo de producto. Sin ir más allá, al analizar dos cultivos distintos de la misma variedad de papa en experimentos previos durante esta investigación, se obtuvieron diferencias superiores al 200% del valor obtenido (10.045 mg/kg para un cultivo de marzo de 2015 y 4.109 mg/kg para un cultivo de marzo de 2016). Debido a la gran variabilidad en el contenido de azúcares reductores, que influye directamente en el contenido de acrilamida, los resultados se expresaron en función de la formación inicial, que corresponde a la materia prima sin tratamiento.

Tabla 14: Concentraciones de acrilamida de cada condición experimental.

		mg/kg acrilamida / mg/kg acrilamida inicial	
Temperatura	Tiempo	Escaldado sin ultrasonido	Escaldado con ultrasonido
60	1	0,988 ± 0,032	1,057 ± 0,004
	8	0,562 ± 0,055	0,301 ± 0,017
	15	0,389 ± 0,001	0,223 ± 0,001
70	1	0,568 ± 0,001	0,439 ± 0,001
	8	0,290 ± 0,001	0,283 ± 0,001
	15	0,180 ± 0,001	0,125 ± 0,001
80	1	0,792 ± 0,146	0,373 ± 0,025
	8	0,157 ± 0,004	0,144 ± 0,012
	15	0,172 ± 0,001	0,116 ± 0,001

Nota: Datos en triplicado con su respectiva desviación estándar.

El análisis de varianza para acrilamida se muestra en la Tabla 15, en donde se puede observar que los factores temperatura, tiempo y ultrasonido tienen una influencia significativa sobre la formación de acrilamida. Además, las interacciones AA (efecto cuadrático del tiempo), AB (efecto tiempo-temperatura) y BB (efecto cuadrático de la temperatura) tienen influencia sobre la formación del neocontaminante. El modelo completo tiene un R^2 ajustado de 85,5%, por lo que explica de forma satisfactoria la variabilidad del contenido de acrilamida en las rodajas de papa frita.

Tabla 15: Análisis de varianza para acrilamida dado por el diseño experimental.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	1,51035	1	1,51035	120,32	0,0000
B:Temperatura	0,494506	1	0,494506	39,39	0,0000
C:Ultrasonido	0,116006	1	0,116006	9,24	0,0053
AA	0,31163	1	0,31163	24,83	0,0000
AB	0,0755401	1	0,0755401	6,02	0,0212
AC	0,00620617	1	0,00620617	0,49	0,4882
BB	0,125408	1	0,125408	9,99	0,0040
BC	0,0028532	1	0,0028532	0,23	0,6375
bloques	0,0000834937	1	0,0000834937	0,01	0,9356
Error total	0,326369	26	0,0125527		
Total (corr.)	2,89576	35			

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

Al analizar el Diagrama de Pareto estandarizado presentado en la Figura 8, se observa que los factores temperatura, tiempo y ultrasonido disminuyen la formación de acrilamida, ya que presentan un efecto negativo; en adición, las interacciones tienen un efecto positivo, es decir, a medida que aumenta el tiempo y la temperatura, se disminuye la formación de acrilamida y dicha disminución se torna cada vez mayor a medida que los parámetros crecen o, en otras palabras, cuando paso de niveles bajos a niveles altos en los factores (ver Anexo 12).

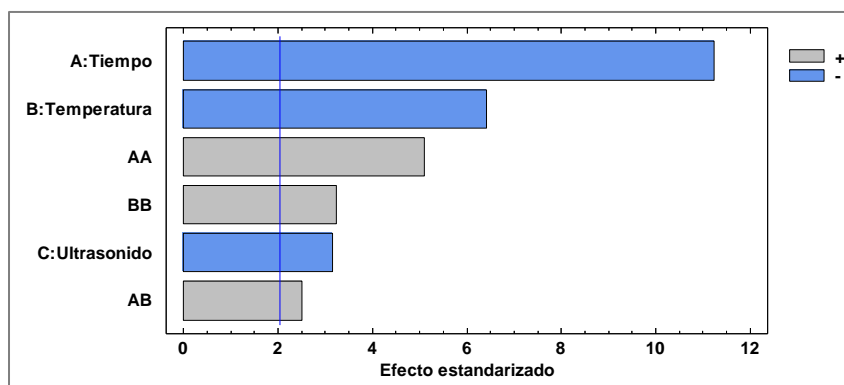


Figura 8: Diagrama de Pareto estandarizado de acrilamida para el modelo experimental. Los factores no significativos ($p > 0,05$) fueron excluidos.

Los resultados del análisis se relacionan directamente con lo expuesto en la Tabla 14, en donde se observa que los tratamientos más agresivos tienen una tendencia a formar una menor cantidad de acrilamida al momento de freír. Se ha propuesto previamente que una forma muy efectiva de mitigación de neocontaminantes es reducir los niveles de los precursores dentro del alimento (Pedreschi y cols, 2004; Pedreschi y cols, 2007, Pedreschi y cols, 2009). Como se vio anteriormente, en los tratamientos más agresivos de escaldado tradicional y con ultrasonido existe una lixiviación mayor de azúcares reductores hacia el exterior de la papa, teniendo ésta una menor presencia de precursores y por consiguiente, existiendo una menor formación de acrilamida en el producto. El tratamiento más extremo del diseño, de escaldado con ultrasonido a 80 °C por 15 minutos, tiene una reducción del 88,4% de acrilamida.

Las interacciones de temperatura-ultrasonido (BC) y tiempo-ultrasonido (AC) no tienen un efecto significativo sobre la formación de acrilamida, pero sí lo poseen los factores por sí mismos, lo que muestra una independencia entre dichos parámetros.

5.4.2 Determinación de la formación de 5-hidroxiacetilfurfural

La formación de 5-hidroxiacetilfurfural en cada punto del diseño experimental se presenta en la tabla 16. Tal como ocurrió con la formación de acrilamida, los resultados se expresaron en función de la formación inicial, correspondiente a la materia prima sin tratamiento.

Tabla 16: Concentraciones de 5-HMF de cada condición experimental.

Temperatura	Tiempo	mg/kg 5-HMF / mg/kg 5-HMF inicial	
		Escaldado sin ultrasonido	Escaldado con ultrasonido
60	1	0,962 ±0,031	0,618 ± 0,009
	8	0,765 ± 0,021	0,445 ± 0,016
	15	0,676 ± 0,001	0,286 ± 0,001
70	1	1,100 ± 0,001	0,795 ± 0,001
	8	0,458 ±0,001	0,377 ± 0,001
	15	0,438 ± 0,001	0,339 ± 0,001
80	1	1,045 ± 0,021	0,584 ± 0,206
	8	0,202 ± 0,006	0,171 ± 0,010
	15	0,339 ± 0,001	0,163 ± 0,001

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

El modelo completo tiene un R^2 ajustado de 81,2% para la respuesta de formación de 5-hidroxiacetilfurfural. Por consiguiente, explica de forma satisfactoria la variabilidad del su contenido en las rodajas de papa frita. El análisis de varianza para 5-HMF se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17: Análisis de varianza para 5-HMF dado por el diseño experimental.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	1,36807	1	1,36807	101,33	0,0000
B:Temperatura	0,272153	1	0,272153	20,16	0,0001
C:Ultrasonido	0,52747	1	0,52747	39,07	0,0000
AA	0,471193	1	0,471193	34,90	0,0000
AB	0,0502042	1	0,0502042	3,72	0,0648
AC	0,0268159	1	0,0268159	1,99	0,1706
BB	0,0322352	1	0,0322352	2,39	0,1344
BC	0,024799	1	0,024799	1,84	0,1870
bloques	0,00230563	1	0,00230563	0,17	0,6828
Error total	0,351038	26	0,0135015		
Total (corr.)	3,0091	35			

Diferencias significativas marcadas en rojo ($p \leq 0,05$).

Del análisis de varianza para HMF se observa que los factores tiempo (A), temperatura (B) y ultrasonido (C), además del efecto cuadrático del tiempo (AA), son significativos. Adicionalmente, en la Figura 9 se encuentra el diagrama de Pareto dado para el análisis del presente diseño experimental.

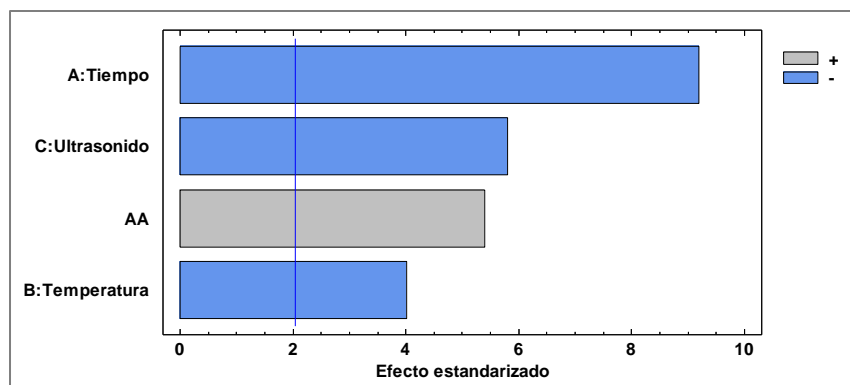


Figura 9: Diagrama de Pareto estandarizado de HMF para el modelo experimental. Los factores no significativos ($p > 0,05$) fueron excluidos.

Al observar el gráfico de Pareto estandarizado (Figura 9), se puede observar que los factores A, B y C tienen un efecto negativo, en otras palabras, disminuyen la formación del neocontaminante. Asimismo, el efecto cuadrático del tiempo (AA) es positivo, lo que quiere decir que a medida que el factor crece (o se pasa del nivel más bajo al nivel más alto), esta disminución de la formación de HMF es

cada vez mayor (ver Anexo 13). De forma similar a lo ocurrido con la formación de acrilamida, los principales precursores de la formación de HMF son los azúcares reductores, por lo que la disminución de éstos en el alimento provoca una menor presencia del neocontaminante en el producto final. De la tabla 16 se puede observar que los tratamientos mas agresivos tienden a formar una menor cantidad de 5-HMF en el producto al momento de freír, que precisamente son los que tienen a su vez una menor concentración de azúcares reductores. El tratamiento más extremo del diseño, de escaldado con ultrasonido a 80 °C por 15 minutos, tiene una reducción del 83,7% de 5-hidroximetilfurfural.

Las interacciones de tiempo-temperatura (AB), tiempo-ultrasonido (AC), el factor cuadrático del tiempo (BB) y temperatura-ultrasonido (BC) no tienen un efecto significativo sobre la formación de 5-hidroximetilfurfural, pero sí lo poseen los factores por sí solos, lo que muestra una independencia entre dichos valores.

5.4.3 Determinación de la absorción de aceite durante la fritura

Mediante el método descrito en 4.6.3 se midió el contenido de aceite de cada valor del diseño experimental. Los resultados se expresan en la Figura 10.

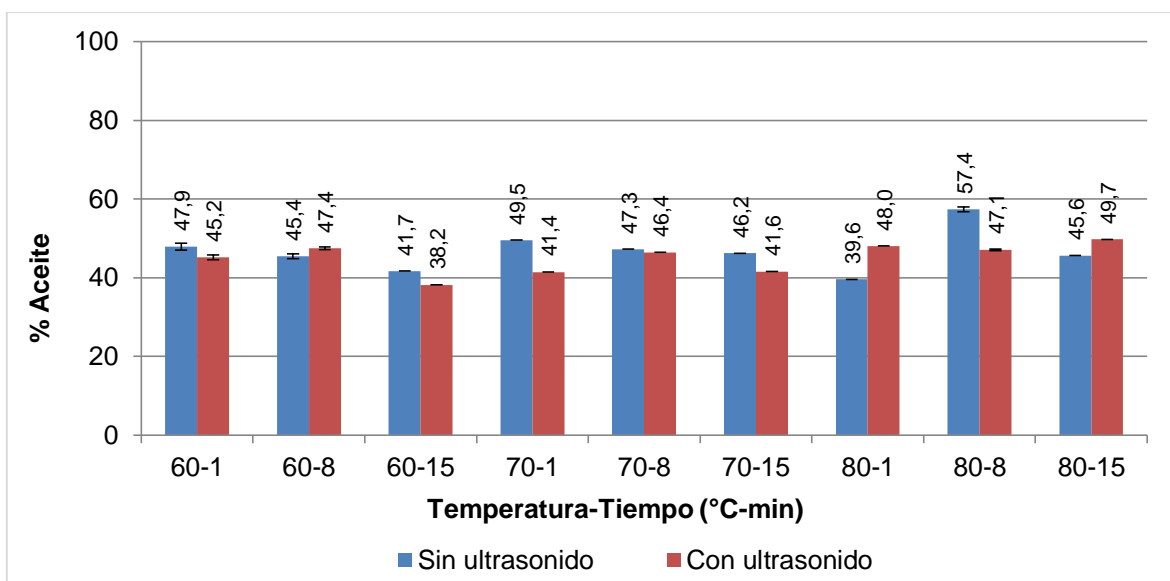


Figura 10: Porcentaje de aceite de cada condición del diseño experimental. Resultados expresados en base húmeda.

Un aspecto crítico de los alimentos sometidos a fritura es la alta cantidad de aceite que es absorbido durante el proceso, llegando en algunos casos a valores superiores al 40% del peso total del producto. La inclinación de los consumidores por productos bajos o libres de grasa ha sido el principal conductor de la industria para producir papas fritas con un contenido de aceite reducido, pero que aún mantengan un sabor y textura deseables. El escaldado puede reducir la absorción de aceite mediante los cambios estructurales que sufre la papa durante el proceso (Bouchon y Aguilera, 2001).

El análisis de absorción de aceite durante la fritura para el modelo factorial multinivel tiene un R^2 ajustado de 43,5% para la respuesta absorción de materia grasa. Como consecuencia, no explica de forma satisfactoria la variabilidad del contenido de aceite en las rodajas de papa frita. Sin embargo, se pueden observar ciertas tendencias en los resultados, indicando que la absorción de aceite no parece ser afectada al escaldar por tiempos prolongados, ni por los daños al tejido celular producidos por la sonicación.

5.4.4 Evaluación sensorial

Se analizaron los resultados en base a un panel sensorial compuesto por 8 jueces para el test de calidad con escala Karlsruhe y 8 jueces para el perfil descriptivo. Para el análisis de los datos se utilizó el modelo experimental expuesto en 4.6. No existieron diferencias significativas entre jueces y sesiones al realizar un ANOVA de dos vías entre jueces y sesiones (ver Anexo 15 y 16).

5.4.4.1 Test de calidad

Los R^2 ajustados para cada atributo se muestran en la Tabla 18, donde se exigió que el valor fuese mayor a 70% para validar el resultado.

Tabla 18: R² ajustado para los atributos del test de calidad.

Atributo	Efectos significativos	R ² ajustado (%)	Estado final del atributo
Color	B	13,2	No válido
Apariencia	B; BC	44,2	No válido
Aroma	A	16,5	No válido
Sabor	A; AC; AA	74,5	Válido
Textura	A; B; AB; AA	79,6	Válido

A: tiempo; B: temperatura; C: ultrasonido.

Los atributos color, apariencia y aroma tienen un R² ajustado inferior a 70%, por lo que el modelo experimental no explica su variación. En general, estos atributos presentan muy poca variación al cambiar los factores del diseño, entre 5 (calidad buena) a 4 (calidad regular). A continuación se presentan los resultados para sabor en la Figura 11 y textura en la Figura 12.

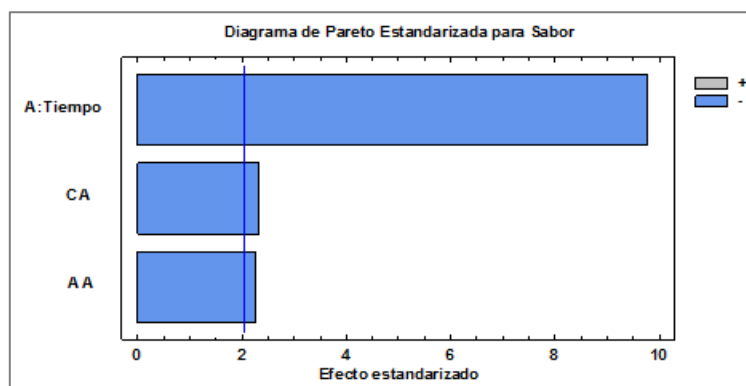


Figura 11: Diagrama de Pareto estandarizado para sabor. Se eliminaron los efectos no significativos ($p > 0,05$).

En el caso del sabor, los factores que tienen influencia significativa son tiempo, la interacción tiempo-ultrasonido y el efecto cuadrático del tiempo, como se aprecia en la Figura 11. En general, al aumentar el tiempo de escaldado disminuye la evaluación de sabor; pero al aplicar ultrasonido se observa que a tiempos cortos la evaluación mejora al comparar con un escaldado tradicional a las mismas condiciones de temperatura. Sin embargo, a tiempos largos la evaluación de calidad disminuye (ver Anexo 17). Al escaldar se busca lixiviar los azúcares reductores que están en el material crudo con el fin de mejorar la calidad del producto final; sin embargo, si se escalda por mucho tiempo pueden también

removerse sustancias pécticas solubles que son deseables para el sabor, disminuyendo la calidad del producto final (Alzamora y cols, 2004; Gibson, 2013). Las condiciones en las cuales se obtuvo la mayor evaluación de sabor fueron escaldar con ultrasonido, a 60 °C por 1 minuto, con una nota 5,4; mientras que al escaldar con ultrasonido, a 80 °C por 15 minutos da la peor evaluación de sabor, con un 4,5.

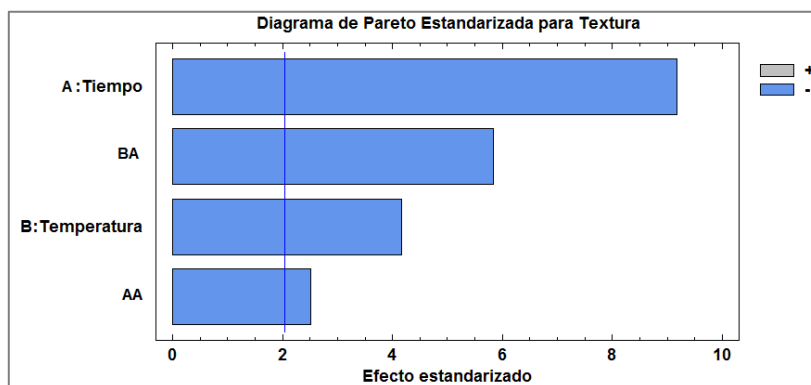


Figura 12: Diagrama de Pareto estandarizado para textura. Se eliminaron los efectos no significativos ($p > 0,05$).

En el caso de la textura, los factores que tienen influencia significativa son tiempo, temperatura, la interacción tiempo-temperatura y el factor cuadrático del tiempo, como se ve en la Figura 12. Si aumento la temperatura a tiempos cortos, la evaluación mejora ligeramente, pero a tiempos largos la evaluación empeora. En general, los efectos principales indican que aumentar la temperatura y el tiempo la evaluación de calidad disminuye (ver Anexo 18). La literatura señala que al aumentar la temperatura y el tiempo de escaldado disminuye la calidad de la textura debido a que los cambios bioquímicos ocurridos durante el proceso causan el reblandecimiento del tejido debido a la solubilización de la pectina y la hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón. El grado de reblandecimiento del almidón es mayor a altas temperaturas-largos tiempos que a poca temperatura-cortos tiempos (Agblor y Scanlon, 2000). Las condiciones en las cuales se obtuvo la mayor evaluación de textura fueron escaldar con ultrasonido, a 80 °C por 1 minuto, con una nota 5,6; mientras que al escaldar con ultrasonido, a 80 °C por 15 minutos da la peor evaluación de textura, con un 3,4.

5.4.4.2 Perfil descriptivo

Al analizar los datos de las evaluaciones sensoriales se encontraron diferencias significativas entre jueces en el perfil descriptivo para el atributo fracturabilidad. Como el número de jueces fue el mínimo exigido por la norma para componer un panel, se decidió eliminar dicho atributo, ya que no aportaría información consistente sobre la variación dada por el diseño experimental. Los coeficientes de discriminación (R^2) ajustados para cada atributo se muestran en la Tabla 19, donde se exigió que el valor fuese mayor a 70% para validar el resultado.

Tabla 19: R^2 ajustado para los atributos del perfil descriptivo.

Atributo	Efectos significativos	R^2 ajustado (%)	Estado final del atributo
Intensidad de color del lote	A; C; AA	51,5	No válido
Homogeneidad de color del lote	A; B; C; BC; AA	66,8	No válido
Apariencia aceitosa	A; BB; AA	37,4	No válido
Sabor tostado	A; B; C; BC; AB; AA	82,4	Válido
Sabor aceitoso	A; BB; AB; AA	49,2	No válido
Sabor residual	A	7,6	No válido

A: tiempo; B: temperatura; C: ultrasonido.

Los atributos intensidad de color del lote, homogeneidad de color del lote, apariencia aceitosa, sabor aceitoso y sabor residual tienen un R^2 ajustado inferior a 70%, por lo que el modelo experimental no explica su variación. En general, estos atributos tienen poca variación dentro del diseño. El único atributo válido para análisis fue sabor a tostado, y sus resultados se presentan en la Figura 13.

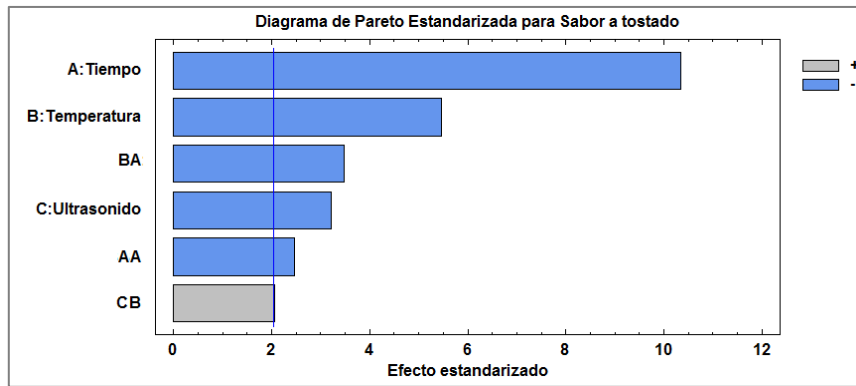


Figura 13: Diagrama de Pareto estandarizado para textura. Se eliminaron los efectos no significativos ($p > 0,05$)

Para el atributo sabor tostado los efectos significativos son tiempo, temperatura, ultrasonido, interacción temperatura-ultrasonido, tiempo-temperatura y el factor cuadrático del tiempo, como se muestra en la Figura 13. En general, el uso de ultrasonido, aumentar el tiempo y aumentar la temperatura disminuyen el sabor a tostado, así como también lo hacen sus interacciones (ver Anexo 19). Esto puede deberse a que mientras más agresivo es el tratamiento, hay una mayor lixiviación de azúcares reductores, disminuyendo la coloración oscura y el sabor tostado (González y cols, 2004; Moyano y Pedreschi, 2006) Para este análisis, se pedía que este atributo estuviese cercano a 5, puesto que los alimentos sometidos a tratamientos térmicos tienen un sabor tostado característico, no intenso ni ausente. Los extremos fueron escaldar con ultrasonido, a 80 °C por 15 minutos, con un 1,7 que es muy cercano a ausente; y escaldar sin ultrasonido, a 60 °C por 1 y 8 minutos, con un 7,0 que es muy cercano a intenso. Las condiciones en las cuales se obtuvo la mejor evaluación de sabor a tostado fueron al escaldar con ultrasonido a 60 °C por 8 minutos y a 70 °C por 1 minuto, con un 5,0.

5.5 Caracterización de las condiciones óptimas de escaldado

Al analizar cada respuesta del diseño factorial multinivel en la que el R^2 fuese superior al 80% en el caso de los análisis de laboratorio y superior a 70% para los análisis sensoriales, se caracterizó de forma cualitativa la mejor zona de trabajo, en la cual el contenido de acrilamida y 5-hidroxi metilfurfural fuese mínimo, sin

afectar negativamente la calidad sensorial. Las condiciones óptimas para cada uno de los resultados se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20: Condiciones óptimas para cada respuesta del diseño.

Respuesta	Tiempo óptimo (min)	Temperatura óptima (°C)	Condición de escaldado óptimo	Criterio de selección
Acrilamida	15	80	Ultrasonido	Mayor % de reducción
5-HMF	15	80	Ultrasonido	Mayor % de reducción
Sabor	1	60	Ultrasonido	Mayor puntaje en escala de calidad de 6 puntos
Textura	1	80	Ultrasonido	Mayor puntaje en escala de calidad de 6 puntos
Sabor a tostado	8	60	Ultrasonido	Intensidad media en escala de 10 puntos
	1	70	Ultrasonido	

De la Tabla 20 se observa que las mejores evaluaciones se obtienen en la condición de escaldado con ultrasonido (potencia de 600W de calentamiento, potencia de 480W de ultrasonido, frecuencia de 40 kHz, sin pulsos ajustables), por lo que se puede afirmar que el tratamiento tiene un efecto positivo sobre la calidad del producto. En el caso de los neocontaminantes presentes, los tratamientos a tiempos largos y temperaturas altas son los que tienen una lixiviación mayor de azúcares reductores. Sin embargo, estas condiciones disminuyen la calidad sensorial, por lo que estos atributos se deben designar como limitantes, ya que los tratamientos que se realizan en los alimentos tienen limitaciones en su aplicación si afectan negativamente los atributos sensoriales de los alimentos. En general, a temperaturas altas y tiempos medios se obtiene una calidad sensorial aceptable y una buena reducción de los neocontaminantes presentes, llegando al 63% para acrilamida y 83% para 5-HMF al escaldar con ultrasonido a 80 °C por 8 minutos. Como en el punto 5.2 se expuso que el aumentar la temperatura no tiene efectos significativos al escaldar con ultrasonido, se propone un rango de trabajo de 70°C a 80°C, pero acotando el tiempo hasta 8-10 minutos en caso de una futura optimización de resultados a través de un diseño experimental.

6. CONCLUSIONES

- Los rangos utilizados de temperatura fueron de 60 °C – 80 °C, ya que se encuentra alrededor de la temperatura de gelatinización del almidón (68°C), y se usó un rango de tiempo de 1 – 15 minutos, donde las muestras eran aún manipulables. Cada combinación de tiempo – temperatura se aplicó en un escaldado sin ultrasonido (tradicional) y en un escaldado con ultrasonido (potencia de 600W de calentamiento, potencia de 480W de ultrasonido, frecuencia de 40 kHz, sin pulsos ajustables).
- La aplicación de ultrasonido durante el escaldado presenta una mayor lixiviación de glucosa y fructosa durante los primeros minutos de tratamiento si se compara con un escaldado tradicional, pero ambas condiciones llegan al mismo equilibrio, lo que sugiere que los resultados más significativos ocurren en los primeros minutos del proceso.
- Al relacionar las curvas de ultrasonido a diferentes temperaturas debido a la similitud entre ellas, se constató que el aumentar la temperatura manteniendo el factor ultrasonido constante no tiene un efecto significativo sobre la lixiviación de glucosa y fructosa, por lo que no es necesario utilizar temperaturas mayores a 60 °C para obtener efectos positivos sobre la lixiviación de glucosa y fructosa.
- Se entrenó y validó, según la norma ISO 11132 – 2012, a un panel sensorial para la evaluación de calidad de las muestras, el que estuvo compuesto de 8 personas que fueron capaces de evaluar las muestras sin tener diferencias significativas entre ellos.
- Al escaldar con ultrasonido a 80 °C y 15 minutos se obtienen las mayores reducciones de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural, de 88,4% y 83,7%, respectivamente.
- Al escaldar con ultrasonido a 60 °C por 1 minuto se obtiene la mejor evaluación de sabor, con un 5,4, y que al escaldar con ultrasonido a 80 °C por 1 minuto se obtiene la mejor evaluación de textura, con un 5,6.

- Al escaldar con ultrasonido a 60 °C por 8 minutos y a 70 °C por 1 minutos se obtiene la mejor evaluación de sabor a tostado, con un 5 en escala de 10 puntos.
- Se relacionó las variables respuestas en el diseño experimental, determinando que el rango óptimo de trabajo es de 60 – 80 °C a tiempos de 8 a 10 minutos, con la aplicación de ultrasonido durante el escaldado, en donde la formación de los neocontaminantes presentes disminuye cerca de un 63% para acrilamida y un 83% para 5-hidroxiacetilfurfural, sin afectar negativamente la calidad sensorial.

7. REFERENCIAS

1. Achir, N. Vitrac, O. Trystram, G. (2008). Simulation and ability to control the surface thermal history and reactions during deep fat frying. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 1953 – 1867.
2. Agblor, A. Scanlon, M. (2000). Processing conditions influencing the physical properties of French fried potatoes. *Potato Research*, 43, 163–178.
3. 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.
4. Alzamora, S. Guerrero, S. Nieto, A. Vidales, S. (2004) Conservación de Frutas y Hortalizas Mediante Tecnologías Combinadas. [En línea] <<http://www.fao.org/3/a-y5771s.pdf>> [Consulta: 05 – 05 – 2015]
5. Alper, R. Mortas, M. Dogan, M. Sarioglu, K. Yazici, F. (2014). New Approaches to Determination of HMF. *Food Chemistry*, 143, 367 – 370.
6. Amaral, R. Benedetti, B. Pujolá, M. Achaerandio, I. Bachelli, M. (2016). A First Approach of Using Ultrasound as an Alternative for Blanching in Vacuum-Packaged Potato Strips. *Food and Bioprocess Technology*, 9 (10), 794 – 1801.
7. Becalski, A. Lau, B. Lewis, D. Seaman, S. (2003). Acrylamide in Foods: Occurrence, Sources, and Modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 802 – 808.
8. Bouchon, P. Aguilera, J. (2001). Microstructural analysis of frying potatoes. *International Journal of food science and technology*, 36, 669 – 676.
9. Capuano, E. Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A Review on Metabolism, Toxicity, Occurrence in Food and Mitigation Strategies. *Food Science and Technology*, 44, 793 – 810.
10. Chemat, F. Humma, Z, Kamran, M. (2011) Applications of Ultrasound in Food Tecnology: Processing, Preservation and Extraction. *Ultrasonic Sonochemistry*, 18, 813 – 835.

11. Corzo, O. Bracho, N. Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. *Journal of Food Engineering*, 75, 535 – 541.
12. Delgado-Andrade, C. Seiquer, I. Navarro, M. Morales, F. (2008). Estimation of Hydroxymethylfurfural Availability in Breakfast Cereals. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 1600 – 1607.
13. Delgado, M. (2009). Utilización de Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS), para la predicción del contenido de almidón en 18 variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum* – ssp. *tuberosum*). (Tesis de pregrado para Ingeniería en Alimentos). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
14. FAO. (2008). *Año Internacional de la Papa*. [En línea] <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0500s/i0500s02.pdf>> [Consulta: 04 – 05 – 2015]
15. Gamboa, J. Soria, A. Villamiel, M. Montilla, A. (2013). Quality parameters in convective dehydrated carrots blanched by ultrasound and conventional treatment. *Food Chemistry*, 141, 616–624.
16. Gertz, C. Klostermann S. Kochhar, P. (2003). Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oléagineux Corps Gras Lipides*, 10(4), 297-303.
17. Gibson, J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface*, 9, 2749 – 2766.
18. Giraldo, G. Vázquez, R. Martín-Esparza, M. Chiralt, A. (2006). Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. *Journal of Food Engineering*, 77, 825 – 834.
19. Gökmen, V. Morales, F. (2014). Processing Contaminants: Hydroxymethylfurfural. *Encyclopedia of Food Safety*, 2, 404 – 408.
20. González, 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.

21. Hardy, J. Parmentier, M. Fanni, J. (1999). Functionality of nutrients and thermal treatments of food. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58, 579–585.
22. Illanes, C. (2014). Efecto de la Lixiviación de Azúcares Reductores sobre la Formación de Furano en Papas Fritas (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago.
23. Inostroza, J. Mendez, P. (2015). Base de datos INIA: Almacenaje de papa. [En línea] <<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36511.pdf>> Consulta: 29 – 08 – 2015.
24. Janzowski, C. Glaab, V. Samimi, E. Schlatter. Einsenbrand, G. (2000). 5-Hydroxymethylfurfural: Assessment of Mutagenicity, DNA-damaging Potential and Reactivity Towards Cellular Glutathione. *Food and Chemical Toxicology*, 38, 801 – 809.
25. Kowalski, S. Lukasiewicz, M. Duda, A. Ziec, G. (2013). 5-Hidroximetil-2-furfural – Heat Induced Formation, Occurence in Food and Biotransformation – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 63 (4), 207 – 225.
26. Lucas, J. Quintero, V. Vasco, J. Núñez, L. (2011). Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scienza et Technica Año XVI*, 48, 299 – 304.
27. Martínez, M. Usaquén, X. (2005). Evaluación del efecto de pretratamientos con ultrasonido sobre el nivel de extracción y la actividad de sustancias antioxidantes contenidas en el bagazo de uva (*Vitis Vinífera*). (Tesis de pregrado). Universidad de la Sabana, Bogotá, Colombia.
28. Martins, S. Jongen, W. Van Boekel, M. (2001). A Review of Maillard Reaction in Food and Implications to Kinetics Modelling. *Trends in Food Science & Tecnology*, 11, 364 – 373.
29. Masson, L. Muñoz, J. Romero, N. Camilo, C. Encina, C. Hernández, L. Castro, J. Robert, P. (2007). Acrilamida en Alimentos: Revisión Actualizada. *Grasas y Aceites*, 58 (2), 185 – 193.

30. Mestdagh, F. De Meulenaer, B. Van Peteghem, C. (2007). Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chemistry*, 100, 1153 – 1159.
31. Morales, C. (2008) Clasificación de Calidad Sensorial de Papas Fritas Tipo Chips Mediante Visión Computacional (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
32. Mottram, D. Wedzicha, B. Dodson, A. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard Reaction. *Nature Publishing Group*, 419, 448.
33. 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.
34. Muñoz, J. (2007). Reducción del contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas por aplicación de pretratamientos y diferentes temperaturas de fritura. (Tesis doctoral). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
35. National Potato Council (1988). National Potato Council 1988 Potato Statistical Yearbook. National Potato Council, Englewood, CO.
36. Netherlands Potato Consultative Foundation. En el camino de la elaboración de la patata [En Línea] Ed. 2. Holanda: NIVAA Instituto Holandés para el Fomento de la Venta de Productos Agrícolas, 1994. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://www.potato.nl/files/ontheroad_es.pdf>
37. Pedreschi, F. Kaack, K. Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation on potato slices during frying. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 37, 679 – 685.
38. Pedreschi, F. Kaack, K. Granby, K. Troncoso, E. (2007). Acrylamide Reduction under Different Pre-Treatments in French Fries. *Journal of Food Engineering*, 79, 1287 – 1294.
39. Pedreschi, F. Kaack, K. Granby, K. (2008). The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries. *Food Chemistry*, 109, 386 – 392.

40. 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.
41. Pefaur, J. (2014) El Mercado de la Papa Procesada en Chile: Oportunidades y Desafíos. ODEPA, Gobierno de Chile.
42. Rechkemmer, G. (2007) Nutritional Aspects. En J. Wiley. *Thermal processing of foods: Potential health benefits and risks* (pp. 51 – 59). Kennedyalley, Alemania.
43. Robert, P. *Et al* (2001) Fritura Industrial de Patatas Chips, Influencia del Grado de Insaturación de la Grasa de Fritura sobre la Estabilidad Oxidativa durante el Almacenamiento. *Grasas y Aceites*, 52 (6), 389 – 396.
44. Serpen, A. Gökmen, V. (2009) Evaluation of the Maillard Reaction in Potato Crips by Acrylamide, Antioxidant Capacity and Color. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 589 – 595.
45. Stadler, R. Blank, I. Varga, N. Robert, F. Hau, J. Guy, P. Robert, M. Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard Reaction products. *Nature Publishing Group*, 419, 449.
46. Toker, O. Dogan, M. Ersöz, N. Yilmaz, M. (2013). Optimization of the Content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) Formed in some Molasses Types: HPLC-DAD Analysis to Determine Effect of Different Storage Time and Temperature Levels. *Industrial Crops and Products*, 50, 137–144.
47. Toma, M. Vinatoru, M, Panywnyk, L. Mason, T. (2001) Investigation of the Effects of Ultrasound on Vegetal Tissues during Solvent Extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8, 137 – 142.
48. Valenzuela, R. Ronco, A. (2007). Acrilamida en los Alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*, 34, 1.
49. 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

50. Van Loon, W. Visser, J. Linssen, J. Somsen, D. Klok, H. Voragen, A. (2007). Effect of pre-drying and par-frying conditions on the crispness of French Fries. *European Food Research and Technology*, 225, 929 – 935.
51. Vinatoru, M. Toma, M. Radu, O. Filip, P. Lazurca, D. Mason, T. (1997). The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials. *Ultrasonics Sonochemistry*, 4, 135-139
52. Xin, Y. Zhang, M. Xu, B. Adhikari, B. Sun, J. (2015) Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review. *International Journal of Refrigeration*. Manuscrito por publicar.
53. Yasuhara, A. Tanaka, Y. Hengel, M. Shibamoto, T. (2003). Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3999 – 4003.
54. Zamorano, M. Et al. (2010). Estudio del consumo y aporte nutricional de bocadillos en escolares de la región metropolitana de Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 37, 439 – 445.
55. Zeki, B. (2013). *Food Process Engineering and Technology* (Second Edition). Lincoln, USA: Academic Press.
56. Zhu, F. (2015). Impact of Ultrasound on Structure, Physicochemical Properties, Modifications, and Applications of Starch. *Trends in Food Science & Technology*, 43, 1 – 17.

8. ANEXOS

ANEXO 1: Antecedentes de la papa Yagana

Descripción de la planta	
Forma del tubérculo	Oval
Crecimiento de ojos	Superficiales
Color de la piel	Amarillo intenso
Color de la pulpa	Amarilla
Características de la planta	Buen desarrollo de follaje, cubriendo bien la entre hilera, hojas de color verde pálido, produce abundantes flores de color violeta.
Características agronómicas	
Rendimiento	Muy alto
Materia seca	Aproximadamente 22%
Madurez	Semi – precoz (120 – 135 días) en plantaciones de octubre en el sur de Chile.
Enfermedades	Alta resistencia de campo al virus del Enrollamiento de las hojas de papa (PLRV), inmune al virus X de la papa (PVX) y poco sensible al virus Y (PVY). Resistente al Nemátodo dorado (<i>Globodera rostochiensis</i> Ro 1), moderada susceptibilidad al tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>) y tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>) y buena resistencia a sarna común (<i>Streptomyces scabies</i>).
Almacenamiento	Muy bueno. Periodo de reposo de 6 a 7 meses.
Calidad de consumo	Muy buena, resistente a la cocción, de muy buen sabor, color y textura suave. Excelente para todo tipo de preparación culinaria.
Usos	Agroindustria y consumo fresco.

Fuente: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

ANEXO 2: Ficha de respuesta para test de Calidad de Karlsruhe

FICHA DE RESPUESTA

TEST DE KARLSRUHE PARA RODAJAS DE PAPA FRITA

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		

ANEXO 3: Ficha de respuesta para el perfil descriptivo.

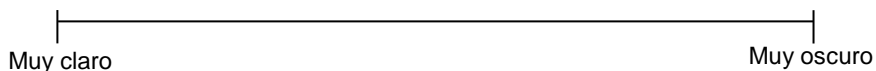
Ficha de respuesta para perfil descriptivo

Nombre:

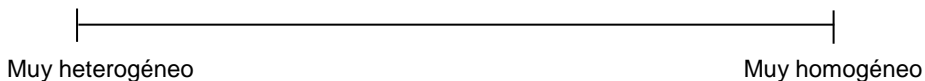
Fecha:

Apariencia

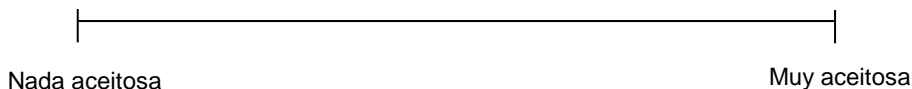
Intensidad de color de superficie



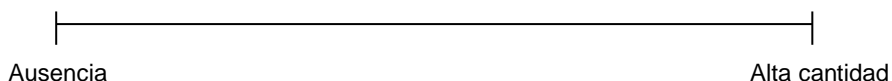
Homogeneidad de color del lote



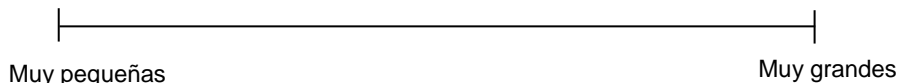
Apariencia aceitosa



Presencia de manchas



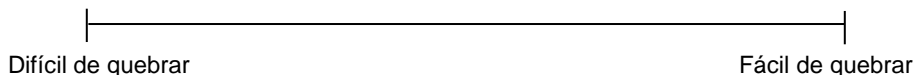
Tamaño de manchas



Textura

Fracturabilidad

Fuerza máxima requerida para romper la muestra.
Partir una unidad con los dedos.



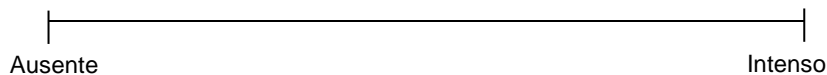
Crujencia

Sonido único, fuerte, limpio y agudo producido en la primera mordida del alimento con los incisivos y los labios abiertos. *Colocar el alimento entre los incisivos y morder. Evaluar la intensidad de sonido producido a la primera mordida.*

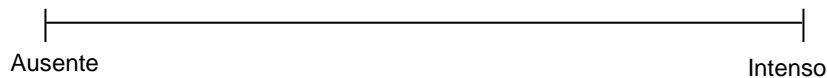


Sabor

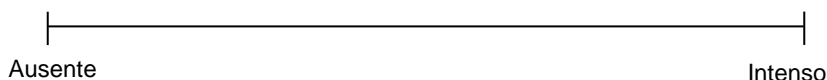
Sabor a tostado



Sabor aceitoso

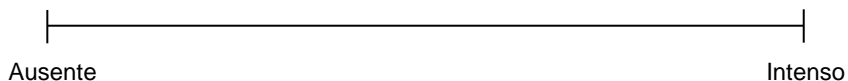


Sabor extraño



Especificar los sabores anómalos que siente: _____

Sabor residual



ANEXO 4: Tabla para valoración de calidad con escala Karlsruhe modificada para rodajas de papa frita.

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, levemente pálido u oscuro, color aún uniforme.	Aún característico pero poco homogéneo. Partes levemente oscuras. Hay leve presencia de manchas.	Color poco característico y heterogéneo, aún aceptable. 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. Levemente tostada.	Algo alterada, bordes irregulares, superficie con algunas burbujas. Aceitosa. Tostada.	Bordes irregulares. Presencia leve de cáscara. Superficie con burbujas. Muy aceitosa. Intensamente tostada.	Presencia de mucha cáscara. Superficie muy quemada. Avanzada alteración. Muy aceitosa.	Completamente alterada. Quemadas, y de forma irregular.
Olor	Característico a papas fritas, intensidad justa. Tostado característico,	Característico a papas fritas, aún equilibrado, aunque levemente más o menos intenso. Levemente tostado. Levemente aceitoso.	Olor aún característico, pero muy intenso o muy débil. Aroma a tostado. Aroma	Claramente dañado. Olor a aceite o fritura. Olor a tostado intenso.	Alterado. Olor a aceite rancio, ácido. Olor a quemado.	Extraño, desagradable, francamente deteriorado. Rancidez y acidez intensa. Quemado intenso.
Sabor	Característico a papas fritas. Tostado característico, aceitosidad característica.	Característico a papas fritas, más o menos intenso. Levemente más aceitoso pero aún adecuado. Levemente tostado.	Disminución de sabor a papas fritas, aún característico. Sabor aceitoso. Sabor tostado.	Claramente dañado, sabor poco característico, débil en intensidad. Sabor intensamente aceitoso. Sabor intensamente tostado.	Alterado, desagradable. Rancio. Sabor a quemado, muy aceitoso. Ácido.	Extraño, desagradable, completamente rancio. Francamente deteriorado. Aceitosidad intensa. Acidez intensa. Quemado intenso.
Textura	Muy buena crujencia, dureza adecuada, aceitosidad característica, suave al paladar.	Normal, levemente blanda o dura. Levemente aceitosa, crujencia adecuada. Levemente rugosa al paladar.	Blanda o dura, aceitosa. Algo áspero y rugoso 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	Completamente alterada, unidad completamente rugosa, áspera al paladar. Totalmente deteriorada.

ANEXO 5: Material de apoyo para evaluar la homogeneidad en rodajas de papa frita.



Muestras muy homogéneas



Muestras muy heterogéneas

ANEXO 6: Material de apoyo para evaluar el color en rodajas de papa frita.



Levemente claras



Color característico



Color tostado



Color quemado intenso

ANEXO 7: Material de apoyo para evaluar defectos en apariencia en rodajas de papa frita.



Mancha pequeña



Mancha mediana



Mancha grande



Muchas manchas
pequeñas



Muchas manchas
medianas



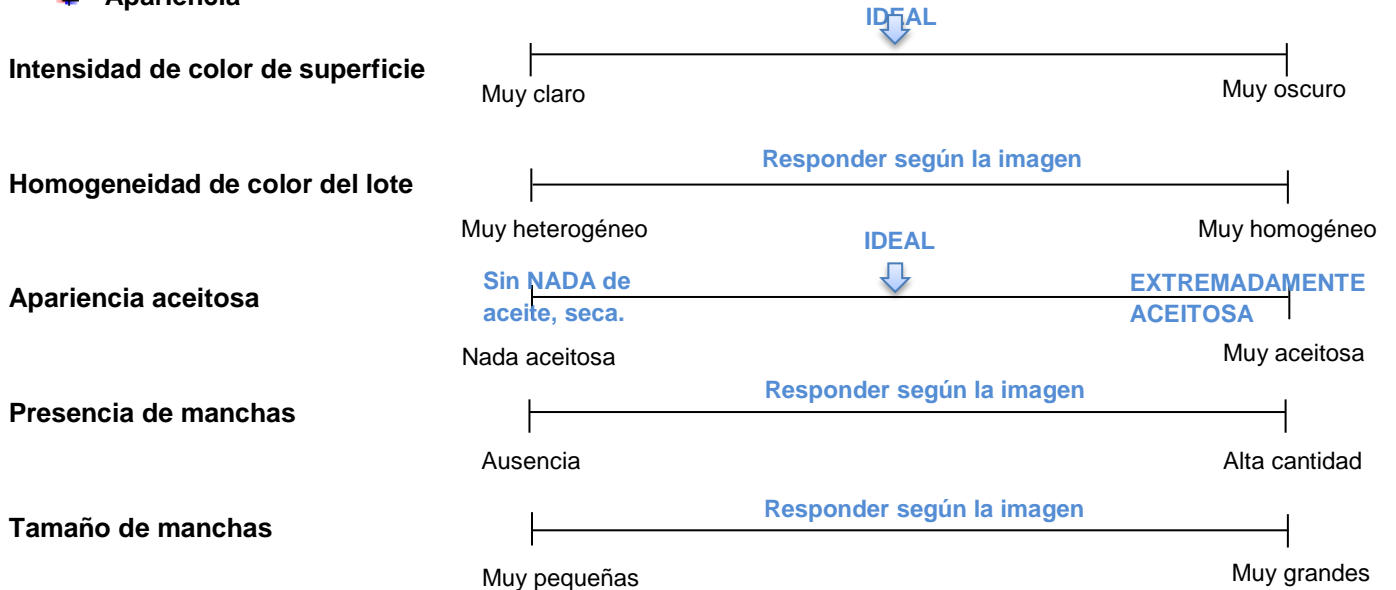
Muchas manchas grandes



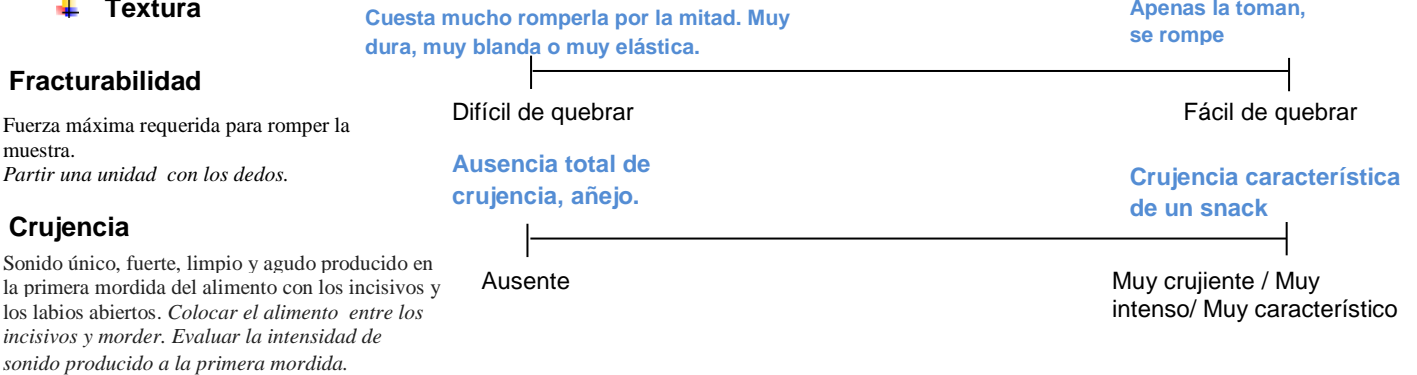
Papas con manchas

ANEXO 8: Perfil descriptivo del producto ideal.

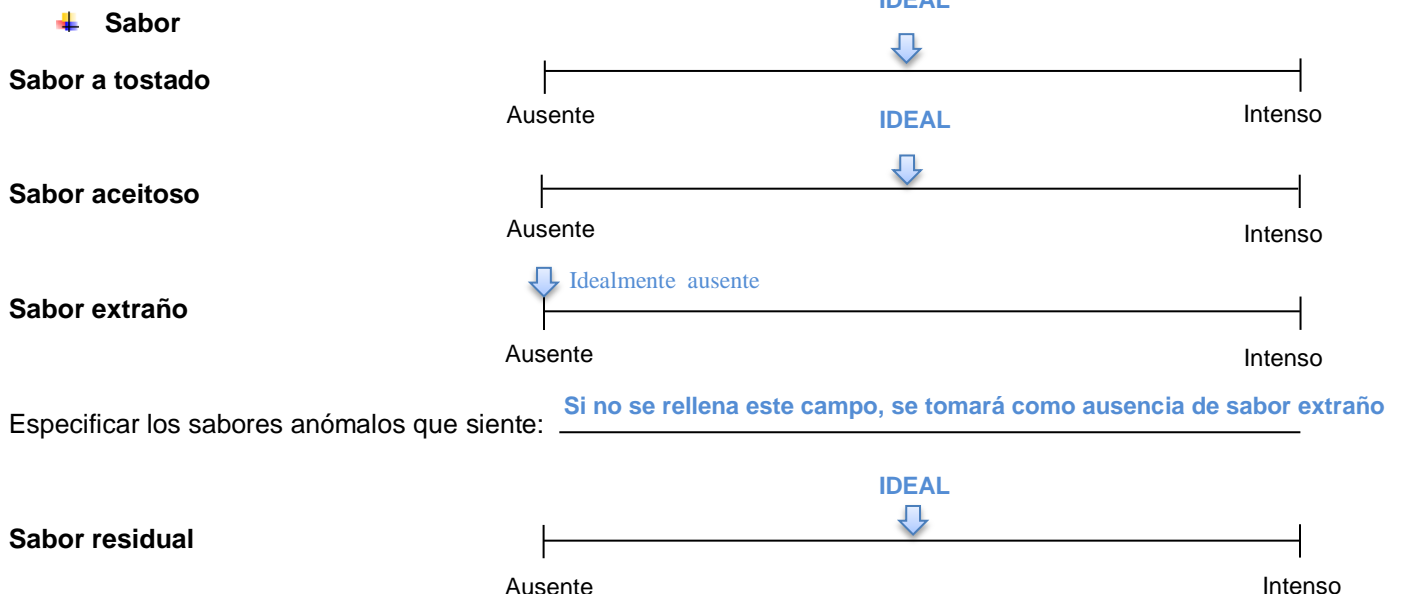
✚ Apariencia



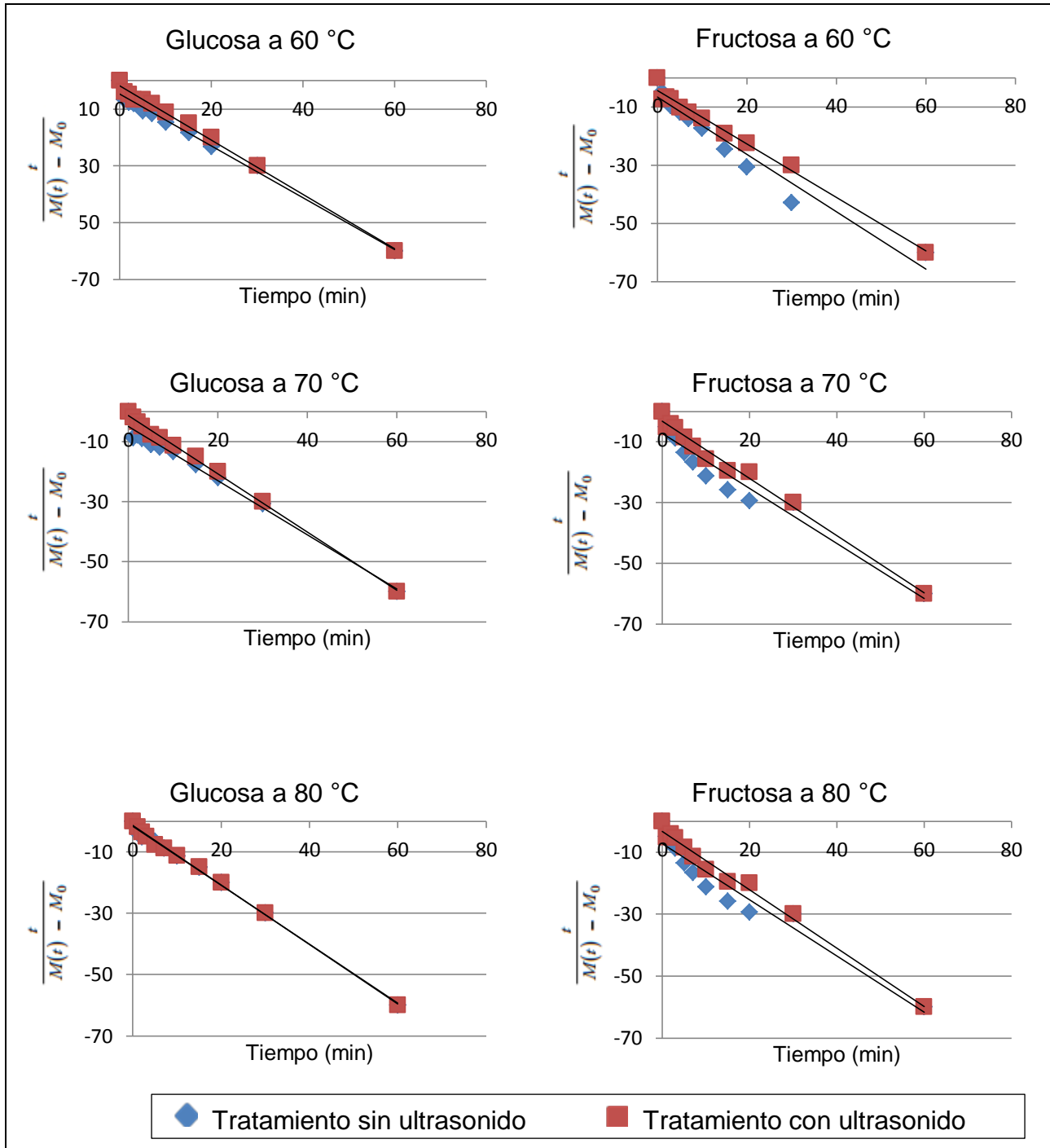
✚ Textura



✚ Sabor



ANEXO 9: Gráficas linealizadas para la lixiviación de glucosa y fructosa según la ecuación de Peleg.



ANEXO 10: Resumen del entrenamiento del panel sensorial para el test de calidad.

Sesiones	Atributo	p-valor jueces	p-valor muestras
1	Color	0,0187	0,0000
	Apariencia	0,1157	0,0044
	Aroma	0,7128	0,3079
	Sabor	0,8682	0,0108
	Textura	0,6045	0,2640
2	Color	0,8395	0,2044
	Apariencia	0,0048	0,1266
	Aroma	0,7939	0,9712
	Sabor	0,1615	0,1239
	Textura	0,2190	0,9650
3	Color	0,1002	0,0001
	Apariencia	0,0020	0,0006
	Aroma	0,1825	0,0128
	Sabor	0,3663	0,0043
	Textura	0,0019	0,0141
4	Color	0,9811	0,0003
	Apariencia	0,9807	0,0013
	Aroma	0,6275	0,0092
	Sabor	0,7393	0,0002
	Textura	0,5933	0,0056
5	Color	0,9678	0,0005
	Apariencia	0,9821	0,0117
	Aroma	0,1608	0,0001
	Sabor	0,0514	0,0000
	Textura	0,1718	0,0000
6	Color	0,6077	0,0000
	Apariencia	0,1376	0,0000
	Aroma	0,0989	0,0000
	Sabor	0,0658	0,0000
	Textura	0,4377	0,0116

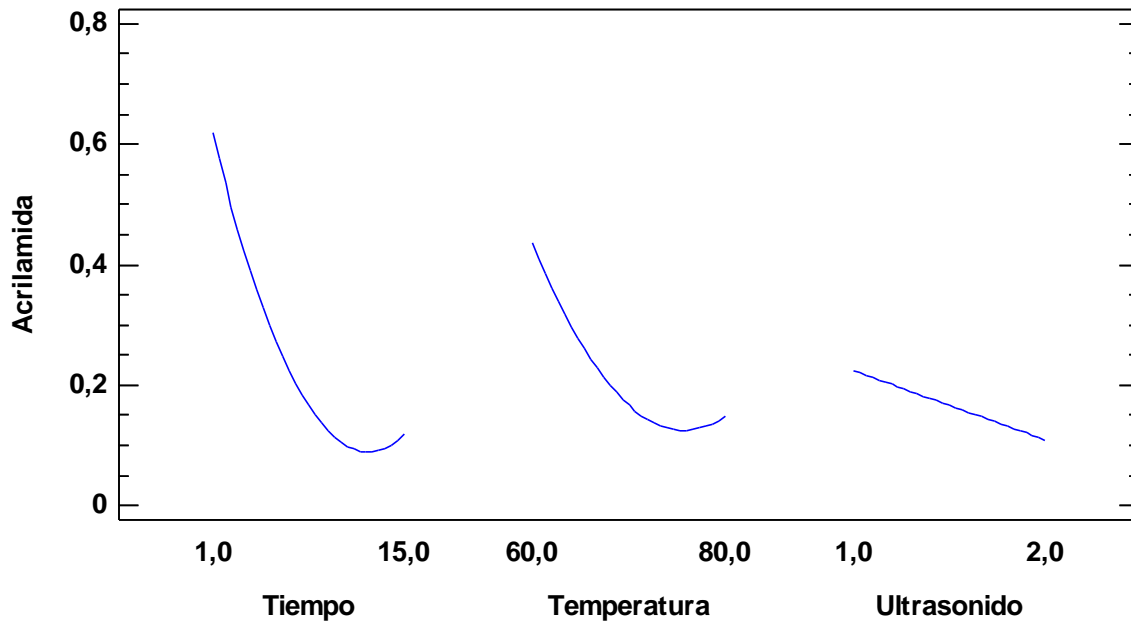
ANEXO 11: Resumen del entrenamiento del perfil descriptivo para el test de calidad.

Sesiones	Atributo	p-valor jueces	p-valor muestras
2	Intensidad de color de superficie	0,3387	0,0000
	Homogeneidad de color de lote	0,3436	0,0608
	Apariencia aceitosa	0,3956	0,2516
	Tamaño de manchas	0,0868	0,0001
	Fracturabilidad	0,0001	0,9161
	Crujencia	0,0000	0,0006
	Sabor a tostado	0,3879	0,0001
	Sabor aceitoso	0,1491	0,5842
	Sabor extraño	0,1695	0,1501
3	Intensidad de color de superficie	0,0472	0,0000
	Homogeneidad de color de lote	0,0000	0,4697
	Apariencia aceitosa	0,0125	0,4414
	Tamaño de manchas	0,0001	0,0007
	Fracturabilidad	0,0001	0,0043
	Crujencia	0,0236	0,2586
	Sabor a tostado	0,0217	0,0002
	Sabor aceitoso	0,2080	0,1898
	Sabor extraño	0,0466	0,3927
	Sabor residual	0,0003	0,0168
4	Intensidad de color de superficie	0,6350	0,0000
	Homogeneidad de color de lote	0,0035	0,0001
	Apariencia aceitosa	0,0019	0,0225
	Presencia de manchas	0,0488	0,0000
	Tamaño de manchas	0,0061	0,0001
	Fracturabilidad	0,0094	0,1160
	Crujencia	0,0049	0,0001
	Sabor a tostado	0,0977	0,0000
	Sabor aceitoso	0,4277	0,3906
	Sabor extraño	0,0000	0,3897
	Sabor residual	0,0011	0,0026
5	Intensidad de color de superficie	0,5795	0,0000
	Homogeneidad de color de lote	0,0319	0,0108
	Apariencia aceitosa	0,0198	0,0399
	Presencia de manchas	0,0030	0,0874
	Tamaño de manchas	0,0800	0,0086
	Fracturabilidad	0,0369	0,0307
	Crujencia	0,0084	0,0000
	Sabor a tostado	0,0600	0,0000
	Sabor aceitoso	0,3385	0,5728
Sabor extraño	0,0000	0,2979	

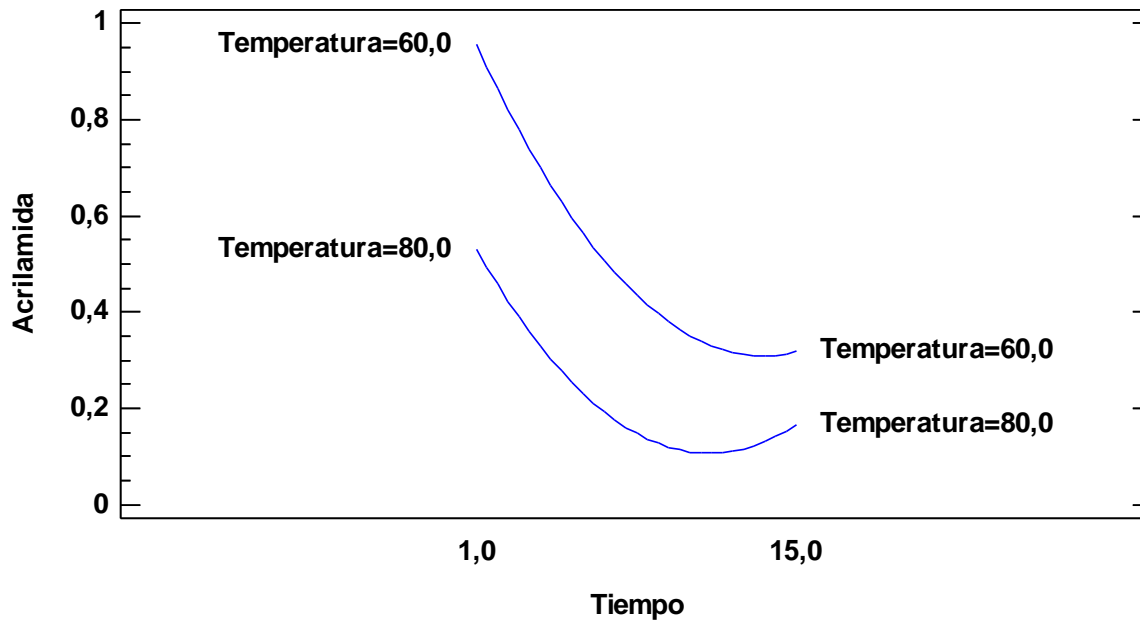
	Sabor residual	0,7586	0,0018
6	Intensidad de color de superficie	0,3824	0,0000
	Homogeneidad de color de lote	0,0947	0,0005
	Apariencia aceitosa	0,5624	0,6352
	Presencia de manchas	0,1286	0,0022
	Tamaño de manchas	0,2329	0,0014
	Fracturabilidad	0,5726	0,0080
	Crujencia	0,3379	0,0000
	Sabor a tostado	0,3739	0,0000
	Sabor aceitoso	0,5878	0,7207
	Sabor extraño	-----	-----
	Sabor residual	0,1731	0,0000

ANEXO 12: Análisis de la formación de acrilamida en el diseño experimental

Gráfica de Efectos Principales para Acrilamida

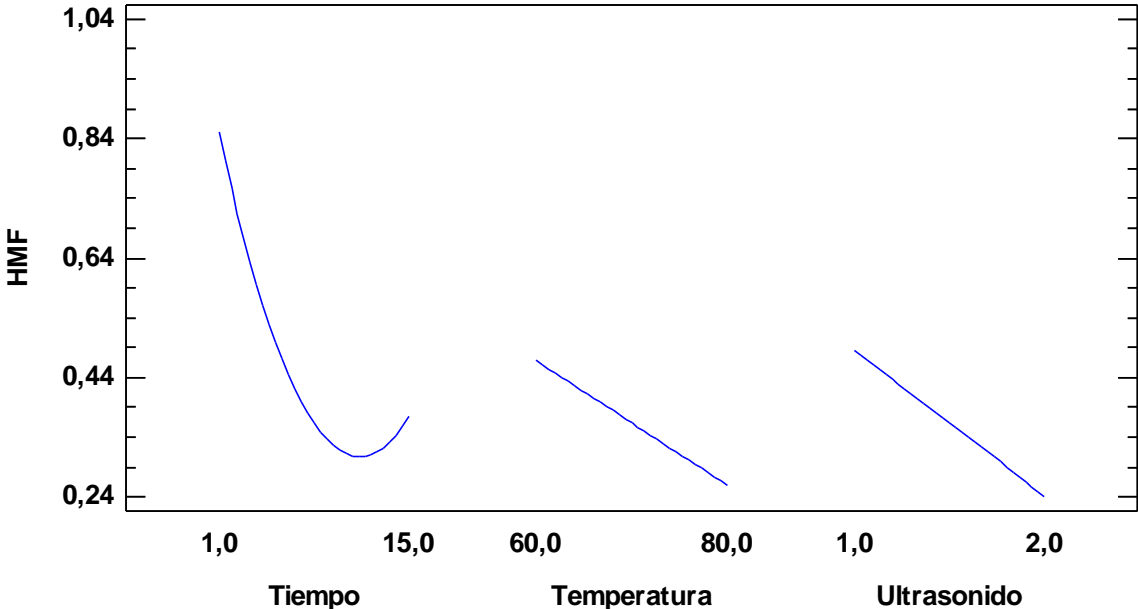


Gráfica de Interacción para Acrilamida



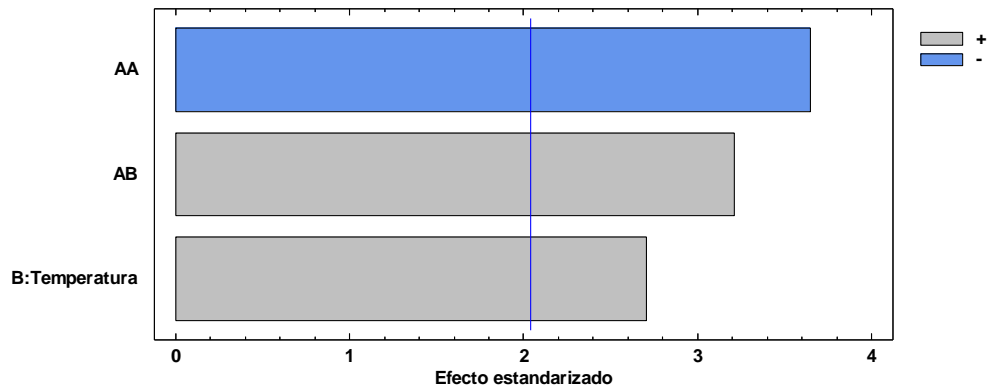
ANEXO 13: Análisis de la formación de 5-hidroximetilfurfural en el diseño experimental

Gráfica de Efectos Principales para HMF

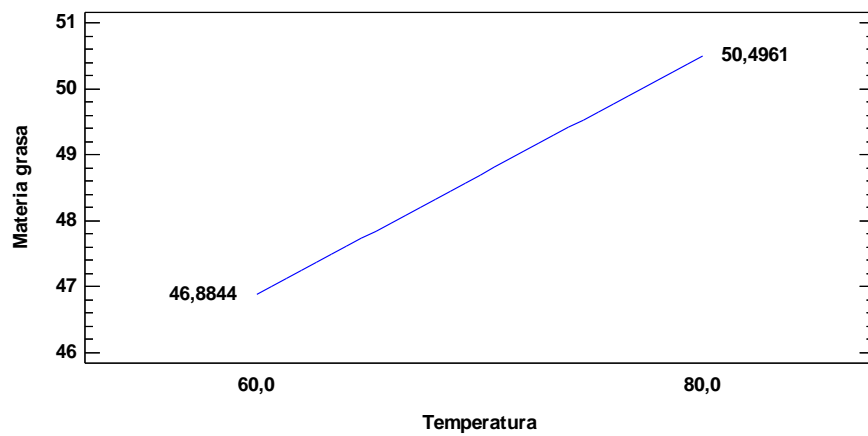


ANEXO 14: Análisis de la absorción de aceite durante la fritura.

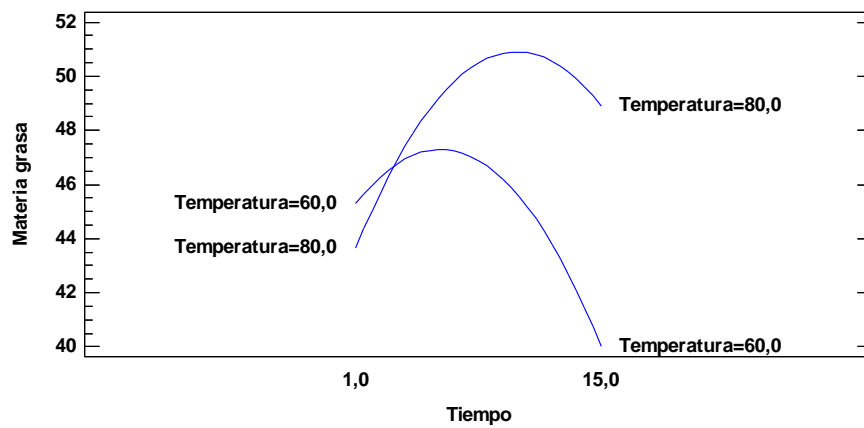
Diagrama de Pareto Estandarizada para Materia grasa



Gráfica de Efectos Principales para Materia grasa



Gráfica de Interacción para Materia grasa



ANEXO 15: ANOVA para jueces y sesiones para el perfil de calidad.

Análisis de Varianza para Color - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesión	0,651701	1	0,651701	1,97	0,1611
B:Jueces	3,28691	7	0,469559	1,42	0,1960
RESIDUOS	92,098	279	0,3301		
TOTAL (CORREGIDO)	96,0366	287			

Análisis de Varianza para Apariencia - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesión	0,0028125	1	0,0028125	0,01	0,9136
B:Jueces	2,36413	7	0,337733	1,42	0,1987
RESIDUOS	66,5552	279	0,238549		
TOTAL (CORREGIDO)	68,9222	287			

Análisis de Varianza para Aroma - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesión	0,0813389	1	0,0813389	0,37	0,5461
B:Jueces	1,81884	7	0,259835	1,17	0,3219
RESIDUOS	62,1283	279	0,222682		
TOTAL (CORREGIDO)	64,0285	287			

Análisis de Varianza para Sabor - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesión	0,00586806	1	0,00586806	0,02	0,9023
B:Jueces	3,55191	7	0,507416	1,30	0,2482
RESIDUOS	108,557	279	0,389094		
TOTAL (CORREGIDO)	112,115	287			

Análisis de Varianza para Textura - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesión	0,250868	1	0,250868	0,32	0,5700
B:Jueces	3,2758	7	0,467971	0,60	0,7530
RESIDUOS	216,407	279	0,775651		
TOTAL (CORREGIDO)	219,933	287			

ANEXO 16: ANOVA para jueces y sesiones para el perfil descriptivo.

Análisis de Varianza para Intensidad de color - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	3,25338	1	3,25338	1,76	0,1855
B:Jueces	10,8227	7	1,54611	0,84	0,5571
RESIDUOS	515,144	279	1,84639		
TOTAL (CORREGIDO)	529,22	287			

Análisis de Varianza para Homogeneidad de color - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	1,7625	1	1,7625	0,82	0,3650
B:Jueces	6,17491	7	0,88213	0,41	0,8945
RESIDUOS	597,331	279	2,14097		
TOTAL (CORREGIDO)	605,269	287			

Análisis de Varianza para Apariencia aceitosa - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	0,0861125	1	0,0861125	0,08	0,7769
B:Jueces	8,11668	7	1,15953	1,08	0,3741
RESIDUOS	298,622	279	1,07033		
TOTAL (CORREGIDO)	306,825	287			

Análisis de Varianza para Sabor a tostado - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	2,36652	1	2,36652	0,68	0,4100
B:Jueces	7,40926	7	1,05847	0,30	0,9515
RESIDUOS	966,227	278	3,47564		
TOTAL (CORREGIDO)	975,968	286			

Análisis de Varianza para Sabor aceitoso - Suma de Cuadrados Tipo III

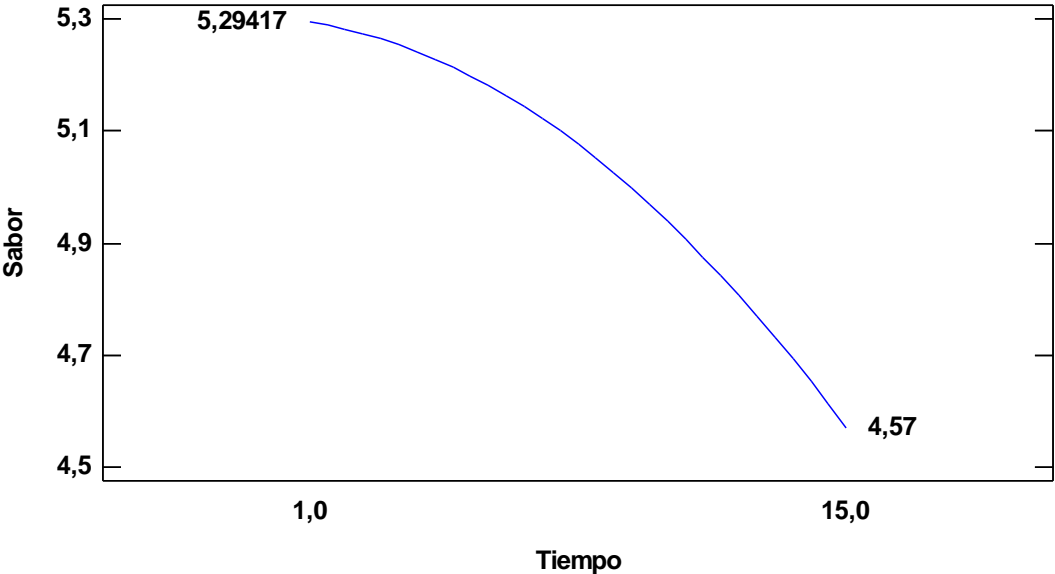
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	1,92734	1	1,92734	1,21	0,2732
B:Jueces	8,95371	7	1,2791	0,80	0,5880
RESIDUOS	446,2	279	1,59928		
TOTAL (CORREGIDO)	457,081	287			

Análisis de Varianza para Sabor residual - Suma de Cuadrados Tipo III

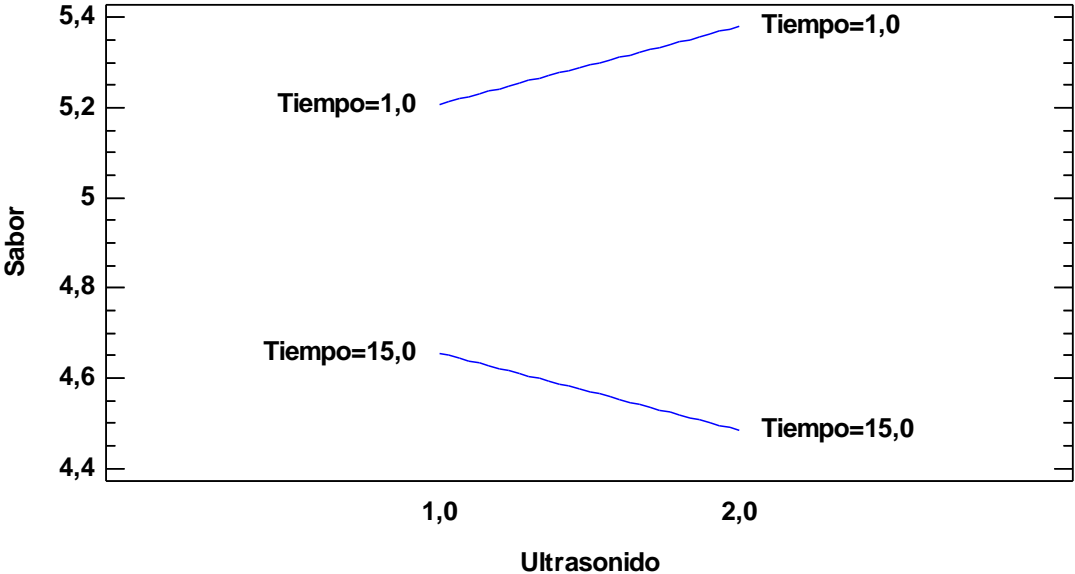
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Sesion	0,0666125	1	0,0666125	0,07	0,7915
B:Jueces	6,3984	7	0,914057	0,96	0,4603
RESIDUOS	265,458	279	0,951462		
TOTAL (CORREGIDO)	271,923	287			

ANEXO 17: Análisis del sabor en la calidad sensorial del producto después de freír.

Gráfica de Efectos Principales para Sabor

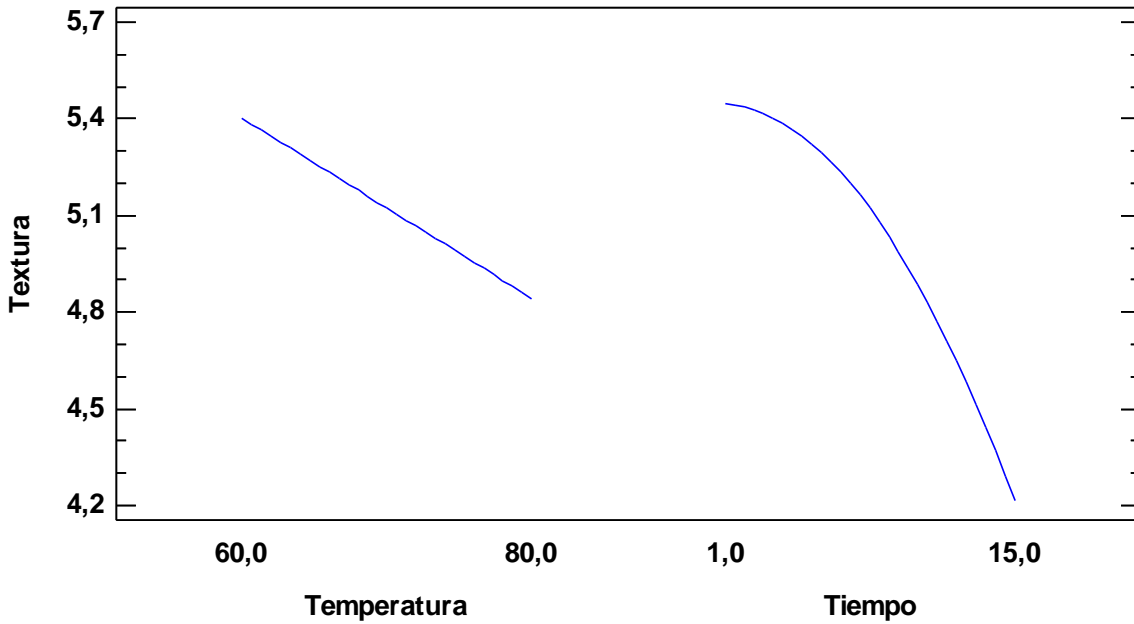


Gráfica de Interacción para Sabor

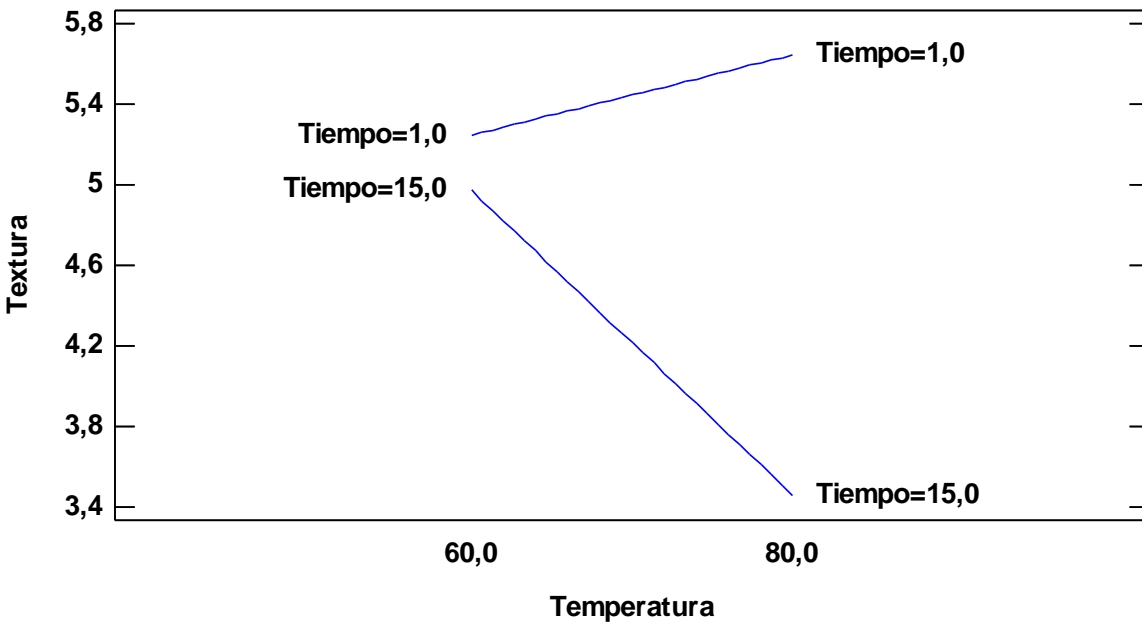


ANEXO 18: Análisis de la textura en la calidad sensorial del producto después de freír.

Gráfica de Efectos Principales para Textura

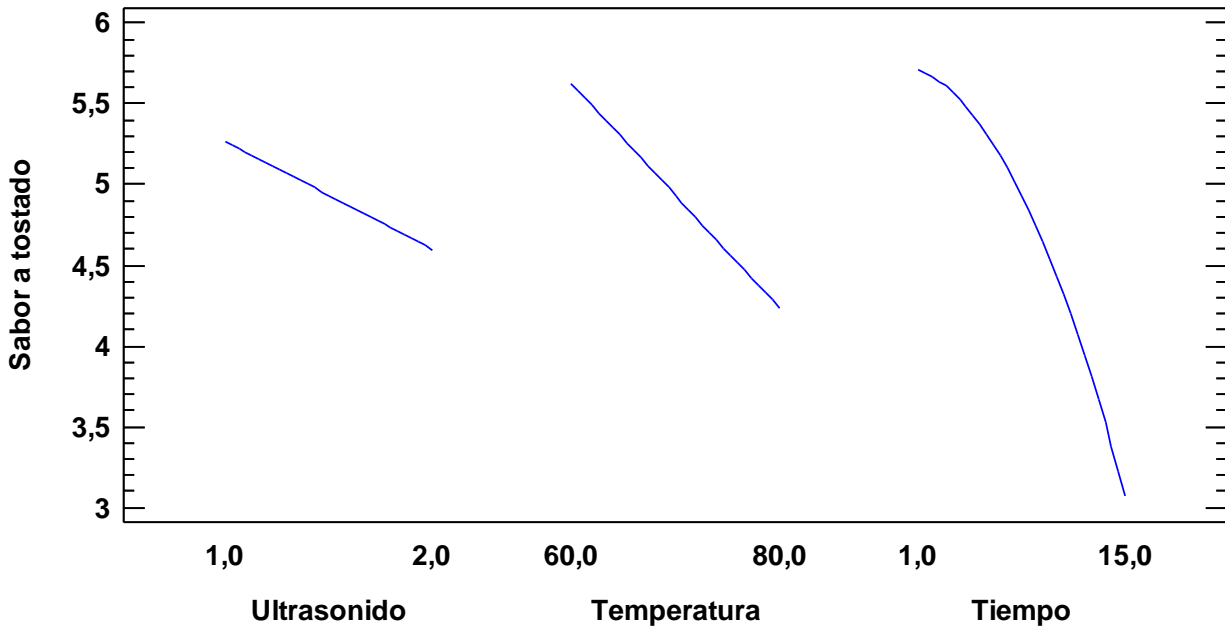


Gráfica de Interacción para Textura



ANEXO 19: Análisis del sabor a tostado en la calidad sensorial del producto después de freír.

Gráfica de Efectos Principales para Sabor a tostado



Gráfica de Interacción para Sabor a tostado

