



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA QUÍMICA

PATROCINANTE

Andrea Bunger T

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

DIRECTORES DE MEMORIA

Andrea Bunger T

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

Franco Pedreschi P

Departamento de Ingeniería Química
y de Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica de
Chile.

Salomé Mariotti C

Departamento de Ingeniería Química
y de Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica de
Chile.

**“CLASIFICACION DE CALIDAD SENSORIAL DE
SOPAIPILLAS MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL”**

Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos

ALEJANDRA ANDREA AHUMADA GAARN

Santiago- Chile

2011

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL
PROYECTO FONDECYT 1110510 TITULADO
“Tecnologías para la mitigación de furano en
alimentos altamente consumidos en Chile
procesados a altas temperaturas”

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, en especial a mis padres Juan y Jennifer por su amor incondicional, preocupación, ayuda y apoyo en todo lo que me he propuesto a lo largo de mi vida; a mi hermana María José, por ser mi amiga, consejera y por alentarme en todo momento, y a mi abuela Iris, quien ha sido una segunda madre, acompañándome y dándome su cariño siempre. Ustedes son los pilares de mi vida.

A Pablo, por acompañarme en esta última etapa, por tus palabras y sobre todo por darme tu amor y apoyo en los momentos más difíciles. Gracias por confiar en mí.

A mis compañeras y amigas con las cuales compartí este proceso, en especial a Natalia y Daniela, muchas gracias por la motivación, por su amistad y ayuda. Sumo estos agradecimientos a los “panelistas estrellas” quienes colaboraron en la realización de las evaluaciones sensoriales de forma desinteresada y siempre con muy buena disposición.

A mi Directora de Tesis y Profesora patrocinante, Andrea Bunger, por su preocupación, paciencia, voluntad y constante apoyo. Al Profesor Franco Pedreschi por permitirme ser parte del proyecto y a Salome Mariotti, por la confianza depositada y ayuda desde un comienzo. A Iván Lillo, puesto que sin sus conocimientos sobre visión computacional, este trabajo no se hubiese podido llevar a cabo.

Finalmente expreso mis agradecimientos al Proyecto FONDECYT N°1110510 por el financiamiento otorgado para la realización de esta memoria y a todas aquellas personas de la facultad de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Universidad Católica de Chile, que me prestaron ayuda, especialmente a los técnicos de laboratorio José y Ulises.

INDICE

	Pág.
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes bibliográficos.....	2
1.1.1. Características de las sopaipillas.....	2
1.1.2. Proceso de fritura.....	3
1.1.3. Transferencia de calor y masa.....	3
1.1.3.1. Etapa de calentamiento.....	4
1.1.3.2. Etapa de ebullición superficial.....	4
1.1.3.3. Etapa de velocidad decreciente.....	5
1.1.4. Absorción de aceite durante la fritura.....	5
1.1.5. Factores que afectan la absorción de aceite en el producto.....	6
1.1.5.1. Calidad del aceite.....	6
1.1.5.2. Temperatura de fritura.....	7
1.1.5.3. Forma del producto.....	7
1.1.5.4. Contenido de humedad.....	7
1.1.6. Calidad de los alimentos fritos.....	7
1.1.7. Materias primas para la elaboración de sopaipillas	9
1.1.7.1. Zapallo.....	9
1.1.7.2. Harina de trigo.....	10
1.1.7.3. Aceite.....	10
1.1.7.4. Manteca.....	11
1.1.7.5. Sal.....	11
1.1.7.6. Agua.....	11
1.1.7.7. Polvo de hornear.....	12
1.1.8. Fundamentos de medición de color.....	12
1.1.9. Técnica de visión computacional.....	13
1.1.9.1. Adquisición de imágenes.....	14

1.1.9.2.	Pre-procesamiento.....	14
1.1.9.3.	Segmentación.....	14
1.1.9.4.	Medición o extracción de características.....	15
1.1.9.5.	Interpretación o clasificación.....	16
1.1.10.	Método de superficie de respuesta.....	16
1.2.	Objetivos.....	17
1.2.1.	Objetivo General.....	17
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	17
1.3.	Hipótesis de trabajo	17
2	METODOLOGIA.....	18
2.1.	Elaboración de sopaipillas.....	18
2.1.1.	Etapas elaboración de las muestras	18
2.1.1.1.	Recepción y selección materia prima.....	18
2.1.1.2.	Procesamiento del zapallo.....	19
2.1.1.3.	Pesado materia prima.....	19
2.1.1.4.	Adición de agua	19
2.1.1.5.	Mezclado y amasado.....	19
2.1.1.6.	Laminado.....	20
2.1.1.7.	Moldeado	20
2.1.1.8.	Fritura por inmersión.....	20
2.2.	Evaluación sensorial.....	21
2.2.1.	Elección de evaluadores.....	21
2.2.2.	Selección de evaluadores.....	22
2.2.2.1.	Test triangular	22
2.2.2.2.	Ordenamiento de color.....	23
2.2.2.3.	Umbral de identificación gusto salado.....	24
2.2.3.	Entrenamiento.....	25
2.3.	Diseño y uso de tabla de valoración de calidad con escala Karlsruhe específica para sopaipillas.	26
2.4.	Diseño experimental.....	27
2.5.	Análisis de resultados	29
2.5.1.	Método de optimización.....	29

2.6. Determinación de humedad	30
2.7. Análisis fórmula optimizada	30
2.7.1. Análisis proximal.....	30
2.7.2. Actividad de agua	31
2.8. Análisis de imágenes mediante sistema de visión computacional.....	31
2.8.1. Calibración sistema de visión computacional.....	31
2.8.2. Adquisición de imágenes.....	31
2.8.3. Sistema de iluminación y captura	32
2.8.4. Software de captura	33
2.8.5. Segmentación de imágenes.....	33
2.8.6. Clasificación de imágenes.....	34
3 RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
3.1. Resumen selección panel sensorial.....	35
3.2. Entrenamiento del panel sensorial.....	36
3.3. Diseño experimental.....	38
3.4. Ajuste de humedad de formula	39
3.4.1. Ajuste de humedad masa cruda	39
3.4.2. Ajuste de humedad de las formulaciones	40
3.5. Diagrama de bloques del proceso	42
3.6. Evaluación sensorial con escala de Karlsruhe específica de sopaipillas.....	43
3.7. Análisis de varianza.....	45
3.8. Optimización del diseño experimental	46
3.8.1. Color.....	46
3.8.2. Aroma.....	47
3.8.3. Forma.....	48
3.8.4. Sabor.....	49
3.8.5. Textura.....	50
3.9. Optimización múltiple.....	51
3.10. Caracterización formula optimizada	53
3.10.1. Análisis proximal formula optimizada	53
3.10.2. Actividad de agua formula optimizada	54

3.11. Determinación de calidad mediante visión computacional.....	54
4 CONCLUSIONES.....	56
5 REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	65
ANEXO 1 Ficha de respuesta test triangular	66
ANEXO 2 Ficha de respuesta test de ordenamiento de colores.....	67
ANEXO 3 Ficha de respuesta umbral de Identificación	68
ANEXO 4 Ficha de respuesta test descriptivo para entrenamiento de jueces.....	69
ANEXO 5 Método gravimétrico determinación de humedad.....	71
ANEXO 6 Calibración sistema de visión computacional.....	72
ANEXO 7 Programa de disparo remoto PS Remote.	74
ANEXO 8 Programa Zoom Browser para procesamiento de imágenes.....	75
ANEXO 9 Clasificación de imágenes.....	76
ANEXO 10 Resultados de test de selección de jueces.....	78
ANEXO 11 Agrupación de datos para la elaboración de la Tabla con Escala Karlsruhe específica de sopaipillas.....	81
ANEXO 12 Tiempos de fritura y humedad de las formulaciones del diseño experimental y muestras comerciales	82
ANEXO 13 Resultado de las evaluaciones con la tabla de valoración de calidad específica de sopaipillas.	83
ANEXO 14 Análisis de varianza para muestras y jueces.....	89
ANEXO 15 Pruebas de múltiples rangos para textura para jueces.....	89
ANEXO 16 Análisis de varianza para muestras y jueces luego de eliminar un juez..	90
ANEXO 17 Optimización del parámetro forma.....	95

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Composición nutritiva de 100 gramos de zapallo cocido.....	9
Tabla 2.1: Formulación base masa de sopaipilla.....	18
Tabla 2.2: Test triangulares realizados en la etapa de selección de evaluadores	22
Tabla 2.3: Concentración de soluciones para ordenamiento de color rojo, verde y amarillo	23
Tabla 2.4: Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado	24
Tabla 2.5: Muestras de sopaipillas evaluadas en sesión descriptiva.....	26
Tabla 2.6: Grados y sub-gradados de calidad.....	27
Tabla 2.7: Matriz del diseño de experimentos	28
Tabla 3.1: Resumen selección del panel	35
Tabla 3.2: Tabla de valoración de calidad de sopaipillas con escala de Karlsruhe	37
Tabla 3.3: Corridas experimentales del diseño rotacional central compuesto.....	38
Tabla 3.4: Humedad de ingredientes masa de sopaipilla.....	39
Tabla 3.5: Cantidad de ingredientes y humedad de la masa resultante de las formulaciones de sopaipillas del diseño experimental.....	40
Tabla 3.6: Tiempo de fritura y humedad de formulaciones del diseño experimental	41
Tabla 3.7: Calidad promedio por atributo de las corridas experimentales.....	43
Tabla 3.8: ANOVA corregido para muestras y jueces	45
Tabla 3.9: Valores de los factores obtenidos de la optimización de cada atributo y múltiple.....	52
Tabla 3.10: Análisis proximal de la formula optimizada de sopaipilla y comparación con muestra comercial.....	53
Tabla A1: Resultados por cada juez en la identificación de umbral de gusto salado	78

Tabla A2: Aciertos de ordenamiento de color rojo, verde y amarillo y acierto general	79
Tabla A3: Resumen de resultados de test triangulares	80
Tabla A4: Agrupación de datos para la elaboración de la tabla con escala Karlsruhe específica para sopaipillas	81
Tabla A5: Tiempos de fritura y humedad de las formulaciones del diseño experimental y muestras comerciales	82
Tabla A6: Análisis de varianza para muestras y jueces	89
Tabla A7: Pruebas de múltiple rangos para textura para jueces (Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD).....	89
Tabla A.8: Análisis de varianza para color	90
Tabla A.9: Análisis de varianza para forma	91
Tabla A.10: Análisis de varianza para aroma.....	92
Tabla A.11: Análisis de varianza para sabor	93
Tabla A.12: Análisis de varianza para textura	94

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Transferencia de calor y de masa ocurridos en la fritura en profundidad	4
Figura 1.2: Diagrama de las tres fracciones de aceite durante el proceso de fritura.....	6
Figura 1.3: Esquema del proceso de análisis de imágenes.....	14
Figura 1.4: Imagen de una sopaipilla e imagen segmentada de la misma sopaipilla.	15
Figura 2.1: Esquema del proceso de fritura para sopaipillas.....	21
Figura 2.2: Puntos del diseño central rotacional compuesto.....	28
Figura 2.3: Cubo y sistema de iluminación.....	32
Figura 2.4: Cubo de fotografía, sistema de iluminación y cámara.	33
Figura 3.1: Formulaciones de masa de sopaipillas arrojadas por el diseño experimental	40
Figura 3.2: Sopaipillas clasificadas en los tres grados de calidad.....	44
Figura 3.3: Diagrama de Pareto para color	46
Figura 3.4: Superficie de respuesta para color	47
Figura 3.5: Diagrama de Pareto para aroma	47
Figura 3.6: Superficie de respuesta para aroma	48
Figura 3.7: Diagrama de Pareto para sabor.....	49
Figura 3.8: Superficie de respuesta para sabor.....	50
Figura 3.9: Diagrama de Pareto para textura	50
Figura 3.10: Superficie de respuesta para textura	51
Figura 3.11: Superficie de optimización múltiple.....	52
Figura 3.12: Desempeño del clasificador qda, versus características seleccionadas.	55

Figura 3.13: Mejor característica encontrada v/s función de densidad de probabilidad	55
Figura 3.14: Relación entre las dos mejores características encontradas.....	56
Figura 3.15: Relación entre las tres mejores características encontradas.....	57
Figura A1: Gráfico de L*reales v/s L*estimados	72
Figura A2: Gráfico de a*reales v/s a*estimados	73
Figura A3: Gráfico de b*reales v/s b*estimados.	73
Figura A4: Programa de disparo remoto PS Remote	74
Figura A5: Programa Zoom Browser	75
Figura A.6: Diagrama de Pareto para forma	95
Figura A.7: Superficie de respuesta para forma	95

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar y optimizar una fórmula de sopaipillas a través de la evaluación de la calidad sensorial y por medio de la aplicación de visión computacional, con el fin de encontrar el mejor clasificador que permita reconocer distintos grados de calidad y predecir características sensoriales.

Para ello, en primera instancia, se seleccionó y entrenó un panel sensorial para la evaluación de sopaipillas, quedando el panel compuesto por 10 jueces. Se usó un diseño central rotacional compuesto, con el fin de obtener una superficie de respuesta, cuyas variables experimentales fueron cantidad de zapallo (5,5 a 27% del total de masa) y temperatura de fritura (150 a 190°C). Las variables de respuesta correspondieron a los atributos sensoriales color, apariencia/forma, aroma, sabor y textura, evaluados mediante un test de valoración de calidad de 9 puntos, con una tabla diseñada especialmente para sopaipillas. Se estandarizó la humedad de la masa previo a la fritura de todas las formulaciones, hasta llegar a un $40\pm 2\%$ (b.h.). También, a través de ensayos preliminares, se ajustó el tiempo de fritura de las formulaciones para obtener un producto con un $23\pm 2\%$ de humedad (b.h.).

Se optimizaron en forma individual las variables de respuesta color, aroma, sabor y textura a través de la metodología de superficie de respuesta, y se realizó una optimización múltiple de los atributos, obteniendo finalmente una formulación optimizada de sopaipilla con 27% de zapallo, frita a una temperatura de 170°C durante 3 minutos. Mediante un sistema de visión computacional se obtuvo las imágenes digitales de las distintas formulaciones de sopaipillas, extrayendo sus características de intensidad de color. La categoría de calidad obtenida sensorialmente fue asignada a las fotografías de las formulaciones correspondientes y luego se realizó la clasificación automática. Los mejores resultados se obtuvieron con el clasificador qda (análisis discriminante cuadrático), el cual permite clasificar las muestras en sus grados de calidad, obteniendo un porcentaje de aciertos entre 91,3 y 98,7% con un promedio de 95%, lo que indica una muy buena predicción de las variables sensoriales a través de la visión computacional.

ABSTRACT

The purpose of this study was to develop and optimize a formulation of sopaipillas through sensory quality evaluation, and the use of computer vision to find the best classifier that allows to distinguish different degrees of quality and to predict sensorial characteristics.

To achieve this, firstly a panel was selected and trained for the evaluation of sopaipillas obtaining a panel of 10 assessors. A central composite rotational design was used to obtain a response surface, and its experimental variables were the amount of pumpkin (5.5 to 27% of the total dough) and frying temperature (150°C to 190°C). The response variables corresponded to the sensory attributes color, appearance/shape, aroma, flavor, and texture, all evaluated using a 9 point quality scoring test, with a scorecard especially designed for sopaipillas. The moisture of the dough was standardized before frying, reaching $40\pm 2\%$ (w.b.). Likewise, through preliminary trials, the frying time of the formulations was adjusted to obtain a final product with moisture of $23\pm 2\%$ (w.b.).

The response variables color, aroma, flavor and texture were optimized individually using response surface methodology, and a multiple optimization of the attributes was carried out, obtaining an optimized sopaipilla formulation with 27% of pumpkin fried at a temperature of 170°C for 3 minutes. Through a system of computer vision, digital images of the sopaipilla formulations were obtained, extracting its color intensity characteristics. The sensory quality category was assigned to the corresponding photographs of the formulations and then an automatic classification was carried out. The best results were obtained with the qda classifier (Quadratic Discriminant Analysis), which allows classification of the samples according to its quality degrees, with a success rate between 91.3 and 98.7% with an average of 95%, which indicates a very good prediction of the sensorial variables through computer vision.

1. INTRODUCCIÓN

Existen evidencias de que la humanidad ha venido utilizando la fritura como un método de preparación de alimentos desde hace cientos de años, pero es desde los años 50 del siglo XX, cuando se le empieza a considerar como un proceso que merece la atención por parte de la ciencia y de la tecnología (Stier, 2004). Actualmente la fritura de los alimentos es uno de los métodos de cocción que mayor aceptación mundial tiene, no sólo por el sabor y textura crujiente que le aporta al alimento, sino por la rapidez de su preparación. Además, desde el punto de vista económico, el sector de alimentos fritos ha experimentado un crecimiento importante, especialmente el de *snacks* (aperitivos) y la denominada “comida rápida”.

Actualmente en Chile los consumidores demandan gran cantidad de productos fritos, y aproximadamente un 59% de la población los consume en promedio tres veces por semana. Esto se atribuye a su extendida disponibilidad en el mercado y accesibilidad al consumidor. El 23% de los estudiantes universitarios chilenos declaró almorzar comida rápida todos los días. Los principales alimentos que se consumen son los hot dogs (56,5%), hamburguesas (21,5%), papas fritas (17,5%) y sopaipillas (2,5%). (Revista Médica de Chile, 2008).

El alto consumo de alimentos fritos es considerado un factor de riesgo para la salud, dado el alto contenido calórico que presentan a expensas de la grasa y por la formación de compuestos tóxicos, debido principalmente a procesos agresivos de fritura, los cuales se han relacionado con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (FAO/OMS, 2002). Estudios recientes, comprobaron que el consumo de cuatro o más raciones de alimentos fritos por semana está directamente relacionado con mayores índices de sobrepeso y obesidad. En nuestro país más de 4.350.900 personas son obesas, incluyendo a más de 300 mil que lo son en el nivel de mórbidos (Revista medica de Chile, 2008). Los efectos nocivos que provoca en la salud pueden ser irreversibles, entre estos: diabetes, problemas cardíacos, hipertensión y otros. Por lo anterior, la medición de propiedades

fisicoquímicas y sensoriales en productos fritos es de gran utilidad, puesto que ayuda a determinar los atributos de calidad en estos productos. Estas mediciones realizadas a través de procedimientos instrumentales y sensoriales, son relativamente lentas y generalmente caras. Debido a esto, se están utilizando nuevas herramientas para predecir la calidad de los alimentos, es así como surge la visión computacional, la cual se proyecta como un método alternativo al actual, en el cual se adquiere y analiza una imagen con el fin de obtener información y para el control de procesos.

En esta investigación, se estudiarán las condiciones de procesamiento y las características sensoriales de las sopaipillas, lo cual se enmarca dentro de un proyecto que busca desarrollar nuevas tecnologías de procesamiento con el fin de reducir la formación de furano en alimentos de alto consumo en Chile, manteniendo su calidad y atributos sensoriales óptimos.

1.1 Antecedentes bibliográficos

1.1.1 Características de las sopaipillas

“Sopaipilla” es el nombre que se le da en Chile, Argentina, Perú, México, suroeste de Estados Unidos y en el sur de España a un conjunto de alimentos de diversas clases, cuyo rasgo común es estar hechos con una masa de harina de trigo, frita en aceite o manteca. El origen de la palabra proviene del mozárabe "sopaipa", que significaba "masa frita". De España luego de la invasión árabe, fueron traídas a Chile, donde los araucanos la denominaron “sopaipillan” en honor a un ave (Etimologías de Chile, 2007). Por su sabor neutral pueden ser consumidas dulces o saladas. Las dulces van untadas en salsa de chancaca y son llamadas sopaipillas *pasadas*. Las saladas suelen ser acompañadas con distintos aderezos. Son tradicionalmente preparadas y consumidas en invierno, al menos cuando su preparación es casera y no industrial. Por otra parte, en la mayoría de las sopaipillas que se producen comercialmente se reemplaza el zapallo por colorantes artificiales, y se comercializan por lo general en supermercados, panaderías y puestos callejeros, siendo estos últimos característicos en barrios populares.

1.1.2 Proceso de fritura

La fritura es un proceso extremadamente complejo que involucra factores dependientes del proceso, del alimento y del tipo de grasa o aceite utilizado. En esencia, la fritura se define como la cocción de los alimentos en aceite o grasa caliente a temperaturas elevadas (160-180°C), donde el aceite actúa como transmisor del calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme del producto (Saguy, 2003).

Básicamente, la fritura es un proceso de deshidratación, con tres características distintivas: corto tiempo de cocción debido a la rápida transferencia de calor que se logra con el aceite caliente; temperatura en el interior del alimento menor a 100°C; y absorción de la grasa del medio por el alimento (Saguy, 2003; Fillion, 1998).

En la fritura profunda o en abundante grasa se sumerge totalmente el alimento en aceite caliente; normalmente se realiza en una freidora o en recipientes profundos con una capacidad alta para contener el aceite, en una relación producto: aceite entre 1:6 y 1:10, es decir que por cada gramo de alimento que se prepare debe adicionarse de 6 a 10 ml de aceite para mantener la relación. Este tipo de fritura es uniforme en toda la superficie y por lo general, el alimento se sumerge previamente en un apanado o batido para formar una capa protectora entre el alimento y la grasa (Spears, 1985).

1.1.3. Transferencia de calor y masa

La fritura involucra simultáneamente los mecanismos de transferencia de masa y de calor (Moreira, 2001). Al sumergir el alimento en el aceite caliente la transferencia de calor se realiza por dos mecanismos: conducción y convección. La transferencia de calor por conducción, bajo condiciones no estacionarias, tiene lugar en el interior del alimento. La convección ocurre entre el aceite caliente y la superficie del alimento (Singh, 1995). La transferencia de materia durante la fritura está caracterizada, principalmente, por el movimiento del agua en forma de vapor, del alimento al aceite, y por el movimiento del aceite al alimento. Esta transferencia de materia es impulsada por la transferencia de calor del aceite al alimento, por ello es inevitable describir ambos fenómenos de transferencia de forma conjunta.

Como resultado de los fenómenos de transferencia que tienen lugar en la fritura, el producto final presenta dos regiones características: la costra o superficie deshidratada, en la cual se producen los principales cambios, y el interior del alimento donde la temperatura no sobrepasa la temperatura de ebullición del agua a esa presión (Dobarganes *et al.*, 2000; Singh, 1995).

Cuando el alimento ingresa en el aceite caliente, el calor de éste es transferido al alimento, el cual rápidamente se calienta y cuando el agua alcanza su punto de ebullición empieza a evaporarse y pasa al aceite.

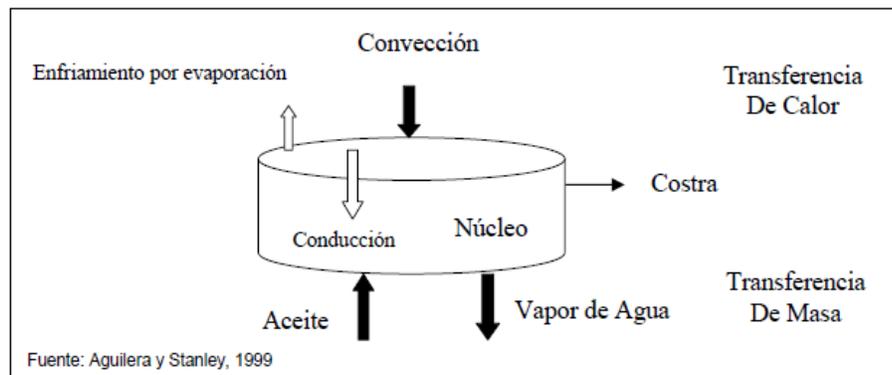


Figura 1.1: Transferencia de calor y de masa ocurridos en la fritura en profundidad (Aguilera y Stanley, 1999)

Farkas *et al.* (1996) distinguen tres periodos durante la fritura atendiendo a la transferencia de calor y agua:

1.1.3.1 Etapa de calentamiento

Esta etapa se inicia con la inmersión del alimento en el aceite caliente a alta temperatura y termina cuando la superficie del alimento alcanza la temperatura de ebullición del agua superficial. Tiene una duración muy corta y se caracteriza porque todavía no se detecta la presencia de burbujas de vapor de agua. Esta etapa se identifica con la de velocidad de secado creciente.

1.1.3.2 Etapa de ebullición superficial

En esta etapa la cantidad de calor transferido es suficiente para que el agua presente en la superficie del alimento alcance condiciones de ebullición, resultando un

aumento del calor transferido al alimento y, por lo tanto, la pérdida de agua se incrementa. En esta etapa empieza a formarse la costra en la superficie del alimento y se identifica con la de velocidad de secado constante. Se trata de una etapa muy breve o incluso inapreciable al evaporarse el agua superficial muy rápidamente.

1.1.3.3 Etapa de velocidad decreciente

Es la de mayor duración. Durante esta etapa la temperatura del interior del alimento es cercana al punto de ebullición del agua existente en el mismo y se elimina la mayor cantidad de agua de su interior. Dado que la costra sigue aumentando de espesor, y por su baja conductividad térmica, disminuye la transferencia de calor y, por ende, la salida de agua del interior del alimento.

1.1.4 Absorción de aceite durante la fritura

El aumento del contenido de aceite de un alimento puede darse de dos formas según donde quede retenido. Este puede mantenerse en la superficie o puede penetrar en la estructura. El aceite que penetra en las capas superficiales es retenido por diversos mecanismos y pasa a constituir parte del producto. La cinética de absorción de aceite por parte del producto es compleja, debido a que mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el paso del aceite al interior del mismo, y sólo cuando disminuya la salida del vapor, el aceite podrá transferirse al alimento. Así, cuando el alimento es retirado del aceite caliente y empieza el enfriamiento, la presión del vapor disminuye y produce un efecto de succión, ayudando a que el aceite depositado en la superficie del alimento pueda atravesar la costra (Vitrac *et al.*, 2000). Solo del 15 al 20% del aceite se absorbe en la inmersión, mientras que el 65% del contenido total del aceite se absorbe durante el enfriamiento post-fritura y el resto es mantenido en la superficie o en los poros de la estructura crujiente (Bouchon *et al.*, 2001).

Bouchon *et al.* (2003) identificaron la existencia de tres fracciones de aceite, que dependen del momento en que son absorbidas (Figura 1.2): *El aceite estructural*, absorbido durante la fritura, el *aceite superficial absorbido*, absorbido durante el enfriamiento, y el *aceite superficial*, que es el que permanece en la superficie.

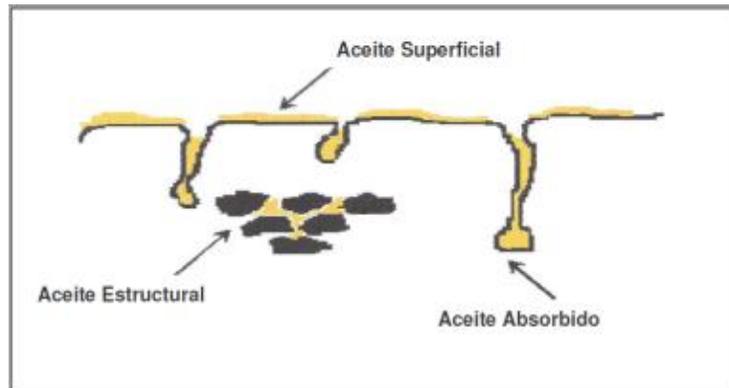


Figura 1.2: Diagrama de las tres fracciones de aceite durante el proceso de fritura (Bouchon et al, 2003)

1.1.5 Factores que afectan la absorción de aceite en el producto

No todos los alimentos absorben la misma cantidad de aceite o grasa durante la fritura; la absorción depende de varios factores que se nombran a continuación.

1.1.5.1 Calidad del aceite

El uso, calidad y estabilidad de los aceites de fritura puede ser influenciado por factores como:

- Humedad: La humedad proveniente del alimento es causante de un aumento en la alteración oxidativa
- Calor: Las altas temperaturas en el proceso de fritura, aumentan la velocidad de degradación del aceite
- Luz, oxígeno: Los procesos que incorporan oxígeno aumentan el grado de degradación, por tanto se debe evitar la agitación del aceite durante la fritura, la luz, especialmente la radiación ultravioleta, y el calor, aceleran la oxidación.
- Contaminantes: Principalmente metales que aumentan la tendencia a la oxidación e hidrólisis, lo que produce oscurecimiento del aceite y desprendimiento de olores desagradables. La presencia de sustancias alcalinas promueven la saponificación y con ello la aparición de espuma en el aceite (Hurtado, 2001).

1.1.5.2 Temperatura de fritura

En los intervalos de temperatura bajo los 155°C se aprecia que un aumento de la temperatura de fritura disminuye la absorción de aceite pero, en general, no tiene efecto significativo entre los 155 y 200°C (Gamble y Rice, 1987).

1.1.5.3 Forma del producto

La gran mayoría de grasa absorbida por un alimento durante la fritura se localiza en la superficie en contacto con el aceite o grasa, por lo tanto, el tamaño y la forma son importantes al considerar la absorción de grasa. Mientras mayor es la razón superficie/masa producto, mayor es la absorción de grasa, existiendo una relación lineal entre ambos parámetros (Gamble y Rice, 1987).

1.1.5.4 Contenido de humedad

La mayoría de los estudios demuestran que altos contenidos de humedad favorecen la absorción de aceite. Se presume que un bajo contenido de humedad, especialmente en las capas externas del producto, disminuye la evaporación de agua y, por tanto, existirá una menor porosidad interna donde se puede ubicar el aceite absorbido (Saguy y Pinthus, 1995).

1.1.6 Calidad de los alimentos fritos

Como consecuencia del proceso de fritura, el alimento sufre una serie de reacciones y transformaciones debidas principalmente a la alta temperatura de proceso, a la extracción del agua que tiene lugar y al aumento del contenido de aceite (Vitrac et al., 2000). Todo ello provoca una serie de cambios deseables en el producto como son la formación de la costra, el desarrollo del color característico, aroma, sabor y textura (Fellows, 1998). De ahí que la calidad de los productos obtenidos por fritura se evalúe a partir de parámetros organolépticos, principalmente el color y la textura (Stier, 2004).

El efecto de la fritura sobre el valor nutricional de los alimentos depende de las condiciones del proceso. En general, las temperaturas altas contribuyen a que la costra se forme más rápidamente y esto impide, en gran parte, la migración de nutrientes

desde el interior del alimento hacia el aceite. Por otro lado puede darse la oxidación de vitaminas liposolubles y, por ende, una disminución del valor nutricional del alimento (Fellows, 1998; Saguy y Dana, 2003)

El sabor característico de los alimentos fritos deriva de la formación de productos de alteración de la grasa de fritura y del propio alimento, tales como los compuestos de oxidación lipídica y productos de la reacción de Maillard (degradación de proteínas y reacciones de pirólisis, condensación y polimerización, entre otros). No obstante, y debido precisamente a este origen reactivo de muchos compuestos determinantes de la calidad sensorial, el proceso de fritura debe controlarse de forma adecuada para asegurar una calidad óptima del producto frito, así como la mejor estabilidad del mismo.

Si el proceso de fritura de sopaipillas se realiza correctamente, se produce una serie de cambios deseados en el alimento los cuales se ven reflejados en su calidad sensorial. Entre ellos:

- Textura crujiente por la coagulación de las proteínas, la gelificación del almidón y la deshidratación parcial que sufre el producto.
- Color dorado, uniforme y brillante, producido fundamentalmente por la reacción de Maillard. El color dorado es característico y un atributo muy significativo de la calidad de un producto frito y determinante en la aceptación del mismo por parte de los consumidores (Krokida *et al.*, 2001; Sahin, 2000).
- 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, excepto los alimentos ricos en grasa que pierden parte de ella durante su fritura.
- Se obtiene una mayor estabilidad del producto, es decir una mayor conservación, por la destrucción de microorganismos contaminantes del alimento y la inactivación de las enzimas presentes en el mismo (Álvarez, 2005).

1.1.7 Materias primas para la elaboración de sopaipillas

1.1.7.1 Zapallo

El género *Cucurbita* posee cuatro especies que se cultivan para la obtención de zapallo maduro (*C. maxima*, *C. moschata*, *C. mixta* y *C. pepo*). De las cuatro especies de zapallo que se cultivan en el mundo, la de mayor importancia en Chile es *Cucurbita maxima*, que corresponde al tradicional zapallo tipo camote o de guarda, utilizado en la elaboración de sopaipillas. Su adaptación a largos períodos de guarda permite que esté disponible prácticamente todo el año. Este tipo de zapallo, que es común sólo en Chile y Argentina, se caracteriza por poseer frutos grandes (normalmente entre 15 y 20kg), de forma bastante variable, de color externo verde grisáceo y de pulpa naranja intenso (Whitaker, 1962).

Lo más destacable en la composición nutritiva del zapallo, aparte de los carbohidratos, como se observa en la Tabla 1.1, es su alta cantidad de pigmentos carotenoides. Destaca también un contenido de agua un tanto menor que el promedio de las hortalizas, la que es reemplazada por un mayor contenido de carbohidratos de reserva (Gebhart, 1988)

Tabla 1.1: Composición nutritiva de 100 g de zapallo cocido (*)

Componente	Contenido	Componente	Contenido
Agua (%)	89,00	Sodio (mg)	1,00
Carbohidratos (g)	8,80	Vitamina A (UI)	357,00
Proteína (g)	1,00	Tiamina (mg)	0,08
Lípidos (g)	0,50	Caroteno (mg)	0,32
Calcio (mg)	14,20	Riboflavina (mg)	0,02
Fósforo (mg)	20,10	Niacina (mg)	0,69
Fierro (mg)	0,34	Ácido ascórbico (mg)	9,80
Potasio (mg)	439,00	Valor energético (cal)	39,20

Adaptado de Gebhart y Matthews, 1988

1.1.7.2 Harina de trigo

Por harina de trigo se entiende el producto proveniente de granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta obtener un adecuado tamaño de partícula (Codex stan, 1985).

La harina de trigo contiene entre un 65 y un 70% de almidón y un 2% de lípidos, pero su valor nutritivo fundamental está en su contenido de proteínas (de un 9 a un 14%); las principales son la gliadina y la glutenina. La celulosa, los lípidos y el azúcar representan menos de un 4%. Las proteínas gliadinas y gluteninas componen el gluten, que es el responsable de lograr el desarrollo del volumen y de una miga esponjosa. El hinchamiento del gluten permite la formación de una masa moldeable y resistente, sobre todo a los gases de la fermentación, producidos por la levadura.

1.1.7.3 Aceite

El proceso de fritura usa grasas y aceites como medio de transferencia de calor al producto. Un buen alimento frito no se puede obtener si no se usa un aceite de buena calidad, sin embargo, casi todos los tipos de grasas y aceites pueden ser utilizados para la fritura, incluyendo aceites vegetales con y sin hidrogenar, grasas animales, mezclas de los anteriores y margarinas.

Los criterios utilizados para seleccionar los aceites o grasas son los siguientes: (Aguilera, 1997)

- No debe contribuir con sabores extraños en el alimento.
- Debe proporcionar una larga vida de fritura, que haga económica la operación.
- Tener resistencia a humear en exceso durante uso continuado, a la rancidez y a la formación de “gomas” o polímeros que ensucien el equipo.
- Proporcionar a los productos una superficie café dorada, exenta de grasa libre y de excelente textura

El aceite de girasol o maravilla se ha utilizado durante muchos años en el proceso de fritura debido a su estabilidad. Se obtiene de la semilla de girasol mediante extracción mecánica y disolventes. Las semillas de girasol contienen aproximadamente 40% de aceite y 25% de proteína. El aceite de esta semilla contiene alrededor de 4% de fosfolípidos, es rico en ácido linoleico, y por lo tanto fácilmente oxidable.

1.1.7.4 Manteca

Es la materia grasa utilizada en la elaboración de productos horneados o fritos. Las grasas hidrogenadas semisólidas (plásticas) y las mantecas vegetales pueden ser producidas a partir de un solo aceite o pueden ser hechas con una mezcla de aceites. Estas grasas reducen la cantidad de ligazón entre el gluten de las proteínas y los carbohidratos, haciendo más suave y tierna la textura del producto, además proveen lubricidad en el proceso de manufactura (por ejemplo, al retirar el producto de sus recipientes) y en la sensación de humedad que se siente en la boca cuando el producto es consumido (National Cottonseed Products Association, 2002). Las grasas hidrogenadas pueden contener isómeros de ácidos grasos "trans" que se comporta en el organismo como grasa saturada, cuyo exceso contribuye a aumentar los niveles de colesterol sanguíneo.

1.1.7.5 Sal

La sal tiene cinco propósitos principales en las masas, favorece la acción de la amilasa para descomponer el almidón en azúcares, inhibe la acción de las proteasas - enzimas que dividen las proteínas- que, si se permite que actúen, destruyen la cadena del gluten, controla la acción de la levadura a través de un efecto osmótico que limita el flujo neto de agua dentro de las células de la levadura, refuerza la cadena del gluten mediante la interacción química con grupos laterales en las moléculas de proteína y, finalmente, contribuye al sabor de los productos (Willis, 2002).

1.1.7.6 Agua

Da consistencia a la harina, y la convierte en una masa, que al mezclarla con el resto de los ingredientes se forma una red tridimensional donde va a ocurrir el proceso de fermentación (Petryk E, 2011).

1.1.7.7 Polvo de hornear

El polvo de hornear, también conocido como leudante químico es una mezcla gasificante, provee de una estructura porosa, define la forma y da textura a la masa. El leudante actúa a través de una reacción ácido-base en presencia de humedad o calor para liberar gas carbónico, un efecto que produce el hinchamiento de la masa. Comercialmente los polvos de hornear son hechos con un componente alcalino, generalmente bicarbonato de sodio, y una o más sales ácidas (Food Info, 2011).

1.1.8 Fundamentos de medición de color

Las imágenes se derivan de la radiación electromagnética en los rangos visibles y no visibles. La energía de la radiación electromagnética viaja en el espacio a la velocidad de la luz, en forma de ondas sinusoidales, con longitudes de onda determinadas.

Localizado en medio del espectro electromagnético, está el rango visible, consistente en una estrecha porción del espectro, con longitudes de onda que van desde los 400 nm (azul), hasta los 700 nm (rojo). (GIG, 2004)

El espacio de color RGB es el formado por los colores primarios de la luz, este espacio es el adecuado para representar imágenes que serán mostradas en monitores de computadora. El modo RGB asigna un valor de intensidad a cada píxel que oscile entre 0 (negro) y 255 (blanco) para cada uno de los componentes RGB de una imagen en color. Este espacio, a pesar de ser universalmente aceptado por la comunidad de procesamiento de imágenes como “el medio para representar el color”, no es un espacio perceptivamente uniforme, lo que significa que no corresponde a las diferencias de color percibidas por el ojo humano (Paschos, 2001).

Debido a que el análisis del color en alimentos es un método crítico en la evaluación de calidad, comúnmente se utiliza el espacio CIE L^*a^*b , definido por el comité Internacional de Colorimetría (CIE: Comisión Internationale de l'Éclairage), principalmente por su coherencia para crear colores independientes del dispositivo utilizado para reproducir la imagen (León K., 2005). El parámetro L es la luminancia o el componente de luminosidad, cuyo rango va desde 0 a 100 y los parámetros a (desde verde a rojo) y b (desde azul a amarillo), son los componentes cromáticos, cuyo rango

va desde -120 a 120 (Papadakis et al., 2000). En el espacio de color L*a*b la percepción es uniforme, esto significa que la distancia euclidiana entre dos colores corresponde aproximadamente a las diferencias de color percibidas por el ojo humano (Hunt, 1991).

1.1.9 Técnica de visión computacional

Basado en el procesamiento y análisis de imágenes, la visión computacional es una nueva tecnología para el reconocimiento de objetos y extracción de información cuantitativa de imágenes digitales. Se adquiere y analiza una imagen, con el fin de proporcionar información objetiva, rápida, evaluar la calidad (de forma no destructiva y sin contacto) y controlar los procesos (Sun, 2008).

La inspección visual automática se define como un proceso de control de calidad que mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimientos de patrones, determina automáticamente si un proceso se desvía de las especificaciones de fabricación (Mery y cols, 2003). Básicamente un sistema de visión computacional consiste en una cámara para la adquisición de imágenes, sistema de iluminación con una configuración estándar y un computador con un software de análisis de imágenes (Papadakis et al., 2000; Brosnan and Sun, 2003).

Un sistema de visión computacional consta de 4 pasos:

- Adquisición de imagen
- Pre-procesamiento de imagen y segmentación
- Extracción de características
- Clasificación

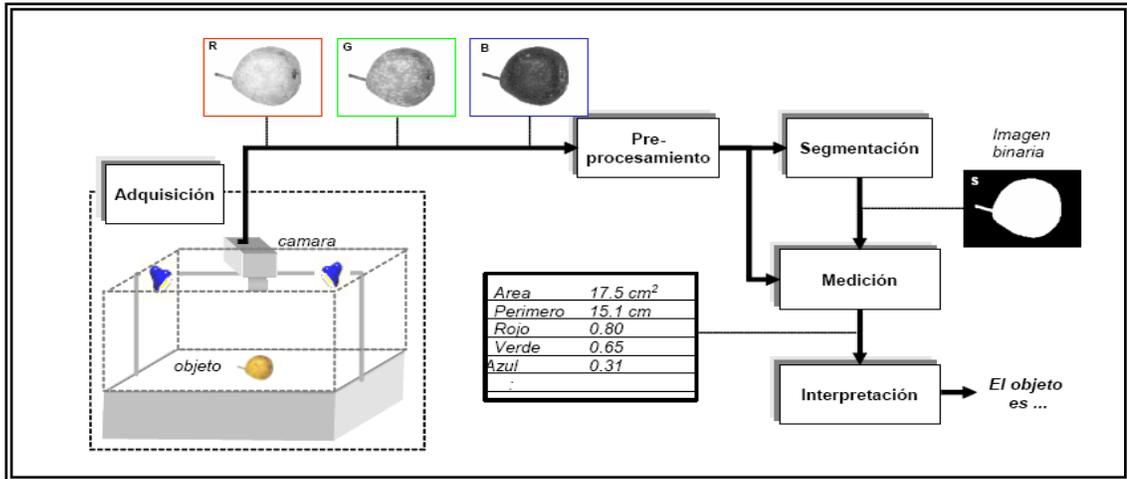


Figura 1.3: Esquema de un proceso de análisis de imágenes: adquisición de la imagen, pre-procesamiento, segmentación, medición (o extracción de características), interpretación o clasificación (Mery, 2002).

1.1.9.1 Adquisición de imágenes

La imagen del objeto en estudio es capturada y almacenada en el computador. Para la adquisición de la imagen, es importante considerar el efecto de la intensidad de la iluminación, y la orientación de las muestras en relación a la fuente de iluminación, dado que el nivel de gris del pixel, está determinado no solo por las características físicas de la superficie sino que también por estos dos parámetros de intensidad y orientación (Peleg, 1993).

1.1.9.2 Pre-procesamiento

Las imágenes digitales tomadas deben ser pre procesadas para mejorar su calidad antes de ser analizadas. Usando filtros digitales, puede ser removido el ruido de la imagen y se puede aumentar el contraste. En esta etapa, la imagen a color es convertida en una imagen en escala de grises, llamada intensidad de imagen (I).

1.1.9.3 Segmentación

La segmentación de la imagen se define como una separación de la imagen en varias regiones en donde los pixeles tienen características similares. La intensidad de

la imagen (I), es usada para dividir las imágenes en regiones con el fin de separar la región de interés del fondo.

La imagen segmentada (S), es una imagen binaria, la cual consiste solo en píxeles blancos y negros, donde 0 (negro) y 1 (blanco), indican el fondo y el objeto respectivamente (Mery y Pedreschi, 2005). En este estudio, para cada píxel determinado dentro de la segmentación, se calculan sus valores de color L^*a^*b , por transformación de los valores originales RGB mediante un modelo cuadrático.

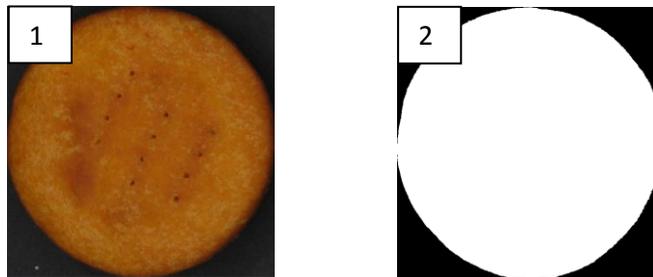


Figura 1.4: (1) Imagen de una sopaipilla; (2): Imagen segmentada de la misma sopaipilla.

1.1.9.4 Medición o extracción de características

En los computadores, las imágenes son guardadas y procesadas en forma de matrices. Los elementos de las matrices son los píxeles, los cuales presentan dos tipos de información: información geométrica (por ejemplo, ubicación de los píxeles en las imágenes) e información de la superficie (valores de intensidad asociados con los píxeles). Luego, la extracción de características se centra principalmente en la medición de propiedades geométricas (área, perímetro, factores de forma, descriptores de Fourier, momentos invariantes, etc.) y también sobre la intensidad y color de las regiones (Zheng et al., 2006). Las características geométricas son calculadas desde la imagen segmentada (S), los parámetros de intensidad son extraídas de la intensidad de imagen (I) y los parámetros de color desde las imágenes RGB (Pedreschi et al, 2004).

Es importante conocer con anticipación cuales características proveen información relevante para la clasificación y seleccionarlás, con el fin de reducir el tiempo requerido en el proceso de reconocimiento de patrones.

1.1.9.5 Interpretación o clasificación

La técnica de clasificación es una de las características esenciales para la evaluación de calidad de alimentos usando visión computacional, dado que su propósito, en última instancia, es reemplazar la inspección visual humana en el proceso de decisión por procedimientos automáticos (Sun, 2008).

Por lo general, la clasificación asigna los objetos a uno de los conjuntos finitos de clases, usando un conjunto de aprendizaje, del cual ya se conoce la información de la clasificación y se usa para entrenar al sistema, es decir, se comparan las características de un nuevo objeto con las de un objeto conocido u otros criterios conocidos y finalmente se determina si el nuevo objeto pertenece a una categoría particular. Esta estrategia es conocida como aprendizaje supervisado (Castleman, 1996; Mery y Cols, 2003).

1.1.10 Método de superficie de respuesta

Una de las técnicas más eficientes para la optimización de procesos es la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR); la cual tiene como objetivo principal determinar las condiciones de operación óptima para un sistema, o determinar la región del espacio de los factores en la que se satisfacen las condiciones de operación.

La MSR se basa en un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas, a través de las cuales es posible modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es determinada por varias variables, siendo el objetivo de la misma optimizar esta respuesta de interés, al determinar las condiciones óptimas de operación. Esta metodología tiene la particularidad de determinar la influencia e importancia de los parámetros estudiados y las interacciones entre éstos, con un mínimo de ensayos. Esto último contrasta con la metodología clásica, que consiste en hacer variar cada factor manteniendo los demás constantes, lo cual conduce por una parte a un número considerable de experiencias y por otra a ignorar la interacción que pueda existir entre los factores considerados (Montgomery, 1986).

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Obtener una formulación óptima de sopaipillas a través de evaluación sensorial y encontrar el mejor clasificador de calidad, por medio de la aplicación de visión computacional, que permita reconocer distintos grados de calidad y predecir características sensoriales para líneas de procesos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar y entrenar un panel sensorial para la evaluación de sopaipillas.
- Realizar un diseño experimental de distintas formulaciones de sopaipillas, variando factores que afecten su calidad.
- Diseñar una tabla de valoración de calidad específica para sopaipillas con escala Karlsruhe y enseñar su uso al panel sensorial.
- Evaluar las formulaciones de sopaipillas mediante un panel entrenado, mediante Test de Calidad.
- Obtener y analizar imágenes digitales de sopaipillas a través de un sistema de visión computacional, y extraer sus características de color.
- Determinar el contenido de humedad de las distintas formulaciones de sopaipillas
- Optimizar una formulación de sopaipillas, determinar su Aw y su composición nutricional mediante análisis proximal.
- Encontrar el clasificador que mejor pueda predecir los valores sensoriales evaluados a partir de los correspondientes valores medidos computacionalmente.

1.3. Hipótesis de trabajo

Es posible utilizar la técnica de visión computacional como predictor de grados de calidad de sopaipillas en una línea de proceso.

2. METODOLOGIA

2.1 Elaboración de sopaipillas

Se prepararon las muestras de sopaipillas en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile. Se comenzó con una receta base de sopaipillas (Tabla 2.1), para luego variar ingredientes o condiciones de proceso con el fin de encontrar las variables que influyen en mayor manera en sus características sensoriales. Con esta receta, se elaboraron distintas formulaciones, variando la temperatura, tiempo de fritura, cantidad de zapallo y de agua.

Tabla 2.1: Formulación base masa de sopaipilla.

Ingrediente	Cantidad
Harina	1 Kg
Manteca	100 g
Zapallo	300 g
Agua	½ Lt
Sal	25 g
Polvo de Hornear	30 g

(Fuente: Recetas Chilenas, 2004)

2.1.1 Etapas elaboración de las muestras

2.1.1.1 Recepción y selección de materia prima

A continuación se detallan las materias primas utilizadas en la elaboración de sopaipillas:

- **Zapallo:** Para la realización de este estudio se escogió zapallo tipo camote, variedad ampliamente consumida en el país y con la cual se elaboran sopaipillas. Este fue obtenido en supermercados.
- **Aceite:** El tipo de aceite escogido fue aceite 100% maravilla marca Natura, (Aceitera General Deheza). Este aceite se eligió, debido a su capacidad para

someterse a altas temperaturas de fritura. El aceite fue almacenado a temperatura ambiente.

- **Manteca:** Se utilizó manteca “Crucina Panadera” (Watts), la cual es una manteca emulsionada elaborada en base de aceites vegetales hidrogenados, grasa animal, agua y aditivos permitidos. Ésta se mantuvo refrigerada a 3°C durante todo el estudio.
- **Polvo de hornear, sal y harina:** Se utilizó polvo de hornear Royal (Kraft Foods), sal Lobos (Sociedad Punta de Lobos S.A) y harina Selecta (Molino San Cristóbal). Estos ingredientes en polvo fueron almacenados a temperatura ambiente en envases sellados herméticamente para evitar intercambio gaseoso con el exterior y aumento de humedad.

2.1.1.2 Procesamiento del zapallo

Luego de seleccionar el zapallo, este se peló manualmente con cuchillo, eliminando su cascara y se trozó en cubos de aproximadamente 27cm³, luego fue lavado para eliminar residuos y almacenado en bolsas herméticas en un congelador a -18°C. Para su uso fue descongelado y cocido a 105°C por 15 min , finalmente se molió manualmente hasta formar un puré.

2.1.1.3 Pesado materia prima

Se pesaron las cantidades calculadas de harina, sal y polvo de hornear, zapallo molido y manteca en una balanza granataria (AND, modelo 4100, Japón)

2.1.1.4 Adición de agua

Se agregó una cantidad específica de agua potable a 80°C previamente hervida, según la formulación a elaborar.

2.1.1.5 Mezclado y amasado

Los ingredientes se incorporaron en la batidora eléctrica (Marca Kitchen Aid, Italia. Capacidad 4,3 L, 250 W), mezclándose por 10 minutos, 5 minutos a velocidad media (80 rpm), y 5 minutos a velocidad alta (140 rpm). La masa resultante tuvo una humedad de 40 ± 2 % b.h.

2.1.1.6 Laminado

La masa proveniente de la batidora se introdujo en una laminadora eléctrica (Marca Malta, Brasil. Modelo 1001, motor ¼ HP), hasta obtener un espesor de masa de 4 mm.

2.1.1.7 Moldeado

La masa laminada se moldeó en círculos, con un molde metálico de 5 cm de diámetro.

2.1.1.8 Fritura por inmersión

La fritura se llevó a cabo en una freidora eléctrica (Marca Súper Chacón F2-C, capacidad 18 L de aceite), la cual fue complementada con un sistema de control de temperatura (Watlow, Serie SD).

En cada batch se frieron 6 sopaipillas, las cuales fueron distribuidas al interior de un sistema de rejilla-canastillo, de tal manera de asegurar que se mantuvieran en posición horizontal y sumergidas durante todo el proceso, como se observa en la figura N°4.

La freidora se llenó con 4 L de aceite, con lo que la relación sopaipilla/aceite fue de ~ 27 g/L (considerando el peso de una sopaipilla cruda ~ 18 g), de tal forma que la temperatura del aceite permaneciera constante, con una variación de ± 2 °C de la temperatura fijada. Una vez terminado el proceso de fritura, se levantó la rejilla-canastillo y se drenó el exceso de aceite mediante vibración manual. Luego de esto, las sopaipillas fueron colocadas sobre una superficie de papel absorbente y posteriormente en un desecador hasta su enfriamiento.

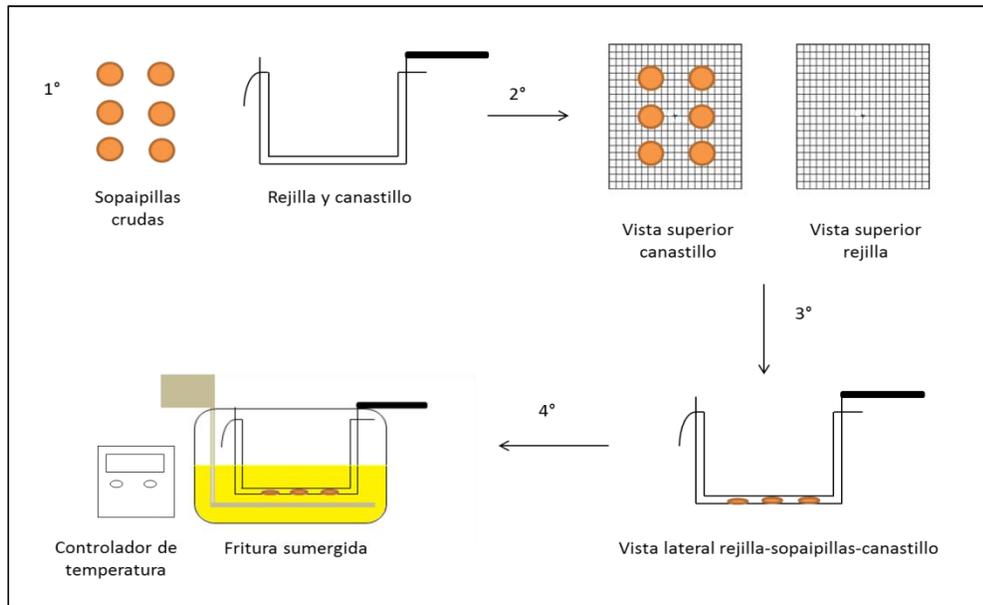


Figura 2.1: Esquema del proceso de fritura para sopaipillas

Una vez frías, las muestras se trasladaron en bolsas herméticas hasta el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, para su análisis con jueces entrenados el mismo día de su preparación. Para la toma de fotografías, se realizó el batch en las mismas condiciones ya descritas, y esperando el mismo intervalo de tiempo que se esperó en el caso de la evaluación sensorial con los jueces, el que fue de 2 horas aproximadamente.

2.2 Evaluación sensorial

2.2.1 Elección de evaluadores

Fueron elegidos estudiantes de la carrera de Ingeniería en Alimentos, pertenecientes a la Universidad de Chile, que cumplieran con el requisito de estar cursado o haber cursado el ramo de Evaluación Sensorial y que tuviesen disponibilidad de horario, tanto en la etapa de entrenamiento como en las posteriores evaluaciones.

2.2.2 Selección de evaluadores

Se inició la etapa de selección con 14 candidatos, tomando en cuenta que luego de la etapa de selección y entrenamiento se requería un mínimo de 8 jueces entrenados. Las pruebas a aplicar para su selección fueron:

2.2.2.1 Test triangular

Prueba de diferencias en la que se presentan tres muestras marcadas en clave, dos de las cuales son idénticas y una diferente. El juez debe indicar cuál de las muestras es diferente (Anexo 1). Este test permite establecer si existen diferencias entre dos o más muestras, pero sin indicar la magnitud y el sentido de las diferencias (Costell, 2002). En esta etapa de selección de jueces, se realizó un total de 10 test triangulares, con distintos productos, tal como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Test triangulares realizados en la etapa de selección de evaluadores.

Producto	Diferencia entre las muestras para cada test
Hallulla	Variación tiempo de fermentación, (0-20 min)
	Variación temperatura de horneado (180-200°C)
Sopaipilla	Variación cantidad de zapallo (20-100 g)
	Variación temperatura de fritura (150-170°C)
Arroz	Variación tiempo de cocción (20-30 min)
	Adición de sal a un paquete de 210 g (0-1,5 g)
	Diferentes marcas (Líder con espárragos/Tucapel con espárragos)
Frambuesa	Pulpa de frambuesa natural y liofilizada
	Yogurt Next con trozos de frambuesa y con pulpa natural de frambuesa
	Yogurt Next con pulpa natural de frambuesa y con pulpa liofilizada de frambuesa.

Para la aceptación o rechazo de los jueces se contabilizó el porcentaje de aciertos de los 10 test triangulares. Fueron aceptados y pasaron a la siguiente etapa de entrenamiento, aquellos participantes que obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de aciertos como mínimo en los 10 tríos evaluados.

2.2.2.2 Ordenamiento de color

La prueba de ordenamiento de colores se realizó para evaluar la habilidad visual de los jueces en el reconocimiento y discriminación de colores.

Este ordenamiento se realizó para tres colores: rojo, amarillo y verde. Se presentó a cada participante una serie de 10 tubos del mismo color pero en distintas concentraciones y se pidió que los ordenaran de manera creciente según su intensidad de color, descansando 20 minutos entre cada evaluación.

Para la preparación de las soluciones madre, se utilizaron colorantes artificiales (Marca Gourmet), la solución de color verde se realizó mezclando los colorantes azul brillante, tartrazina y amarillo crepúsculo, la solución de color rojo se preparó con el colorante ponceau 4R y por último, la solución amarilla se preparó mezclando tartrazina y amarillo crepúsculo. Se preparó un litro de cada solución madre.

Las soluciones se presentaron en tubos de ensayo dispuestos en gradillas, rotulados y que contenían 10 ml aproximadamente. Cada una de las gradillas presentaba el set completo de las diluciones y la ubicación de los tubos en éstas se realizó al azar. Posteriormente, los jueces ordenaron los tubos de ensayo del color más débil al más intenso y registraron sus respuestas a la ficha de evaluación entregada (Anexo 2). Se muestran en la Tabla 2.3, las concentraciones respectivas de los tubos.

Tabla 2.3: Concentración de soluciones para ordenamiento de color rojo, verde y amarillo.

Código solución roja	Código solución verde	Código solución amarilla	Solución madre (ml)	Agua (ml)
O	R	Z	45	55
F	L	K	50	50
L	S	W	55	45
A	W	R	60	40
W	Z	M	65	35
K	F	S	70	30
P	K	A	75	25

S	M	P	80	20
R	P	F	90	10
M	A	L	100	0

Para la aceptación o rechazo de los jueces se calculó el porcentaje de aciertos en las tres series. Fueron aceptados y pasaron a la siguiente etapa de selección aquellos participantes que obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de aciertos en las tres series de diluciones.

2.2.2.3 Umbral de identificación del gusto salado

Se preparó una solución madre de Cloruro de Sodio para análisis, a partir de la cual se realizaron diluciones, de acuerdo al siguiente protocolo:

La solución madre se preparó pesando 25 g de NaCl en balanza con precisión 0,1 g, luego se disolvió con agua destilada en un vaso de precipitado y aforo a 250 ml. Luego se procedió a hacer las respectivas diluciones que se presentan en la Tabla 2.4. Se llevaron las alícuotas indicadas a 1000 ml y se mantuvieron en botellas de vidrio codificadas con las letras indicadas en la última columna de la misma tabla.

Se usaron por persona 10 vasos plásticos desechables marcados del 1 al 10. En la Tabla 2.4 se señalan las concentraciones usadas para la preparación.

Tabla 2.4: Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado a partir de una solución madre de 25 g de NaCl en 250 ml de agua.

Compuesto	Diluciones(ml) (llevar a 1000 ml)	Concentración (g/100ml)	Clave	Asignación de aciertos %
NaCl (para análisis)	0	0,00	S1	100
	2	0,02	S2	100
	4	0,04	S3	100
	6	0,06	S4	100
	8	0,08	S5	70
	10	0,10	S6	70

	13	0,13	S7	30
	15	0,15	S8	30
	18	0,18	S9	30
	20	0,20	S10	30

Se pidió a los participantes que degustaran la serie de 10 muestras entregadas en orden creciente de concentración, que podía corresponder a cualquiera de los cuatro gustos básicos (dulce, ácido, salado o amargo), y que posteriormente registraran sus respuestas a la ficha de evaluación entregada (Anexo 3). La tarea del juez consistió en describir las sensaciones percibidas, utilizando los siguientes símbolos:

- 0 Igual al agua.
- ? Distinto al agua, pero no lo identifica. Corresponde al umbral de estímulo.
-)(Se reconoce de qué gusto se trata. Corresponde al umbral de identificación.
- 1-5 Corresponde a una escala de intensidad creciente posterior al umbral de identificación.

Como umbral de identificación se consideró la concentración a la cual el juez reconoció correctamente el gusto salado y no volvió a equivocarse en las concentraciones posteriores.

Fue asignado un 100% de acierto a la identificación de umbral salado a una concentración igual o menor a 0,06 g/100ml, un 70% de acierto a la identificación de umbral salado a una concentración entre 0,08 y 0,1 g/100 ml y un 30% acierto a la identificación de umbral salado a una concentración entre 0,13 y 0,2 g/100ml. Para aprobar este test, el juez debió presentar un umbral de identificación igual o inferior a 0,1 g/100ml, equivalente a un 70% de aciertos.

2.2.3 Entrenamiento

Los participantes que aprobaron la etapa de selección, es decir, que además de cumplir con los requisitos de cada test de selección, tuvieron un mínimo de 80% de asistencia y fueron puntuales, pasaron a la etapa de entrenamiento para la evaluación de sopaipillas.

2.3 Diseño y uso de tabla de valoración de calidad con escala Karlsruhe específica para sopaipillas.

Para implementar el test de valoración de calidad con escala Karlsruhe se pidió a los jueces en una primera sesión realizar una descripción de los parámetros sensoriales de las sopaipillas de acuerdo a las características de calidad sensorial descritas en la Tabla General del Test de Valoración de Calidad de Karlsruhe: color, apariencia/forma, olor, sabor textura. Se presentaron tres muestras de sopaipillas en forma simultánea en platos al centro de una mesa redonda, con las siguientes características y codificados como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Muestras de sopaipillas evaluadas en sesión descriptiva

Muestra	Zapallo(g /370 g masa)	Agua (ml)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Grado de calidad
A	60	40	150	4	2
B	100	20	170	4	1
C	20	100	190	3	3

Se pidió que describieran para el conjunto de unidades el color y la apariencia de cada muestra, y luego con una unidad individual olor, sabor y textura, siguiendo las instrucciones de la ficha de descripción entregada (Anexo 4). Al finalizar la descripción individual se realizó una discusión abierta dirigida, en donde cada juez expuso la descripción hecha a cada una de las tres diferentes muestras de sopaipillas. Luego se agruparon los resultados obtenidos para cada parámetro y se procedió a la elaboración de la Tabla de valoración de calidad con escala Karlsruhe específica para sopaipillas.

Los datos se agruparon de acuerdo al siguiente criterio:

- Frecuencia con la que se repitió cada característica.
- Si la característica era positiva o negativa para el producto.
- A qué grado de calidad correspondía cada una de ellas

Se consideraron como características positivas, los comentarios que reflejaran características típicas del producto, como son: color típico, tostado homogéneo, aceitosidad equilibrada, entre otros. Por otro lado, se calificaron de forma negativa los descriptores que reflejaran un deterioro, como por ejemplo muy tostado, sabor a quemado, color atípico, des uniforme, aceitosidad excesiva, etc.

Con los resultados de la descripción hecha por los jueces, se procedió a la elaboración de la Tabla de Valoración de Calidad específica para Sopaipillas. Esta tabla consta de nueve puntos, agrupados en tres grados de calidad, los cuales a su vez se subdividen en tres subgrupos, como se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Grados y Sub-grados de calidad

Grados	Calificación verbal	Calificación numérica
Grado 1 Características típicas	Excelente	9
	Muy Buena	8
	Buena	7
Grado 2 Deterioro tolerable	Satisfactoria	6
	Regular	5
	Suficiente	4
Grado 3 Deterioro indeseable	Defectuosa	3
	Mala	2
	Muy Mala	1

Al finalizar el diseño de la tabla, en una segunda sesión se pidió al panel que evaluara con la tabla específica elaborada, de forma individual, tres muestras de sopaipillas (iguales a las evaluadas en la sesión descriptiva). Se pidió a los jueces que anotaran todas las observaciones pertinentes para mejorar la tabla y luego se discutieron las respuestas en forma grupal, hasta la obtención final de la Tabla específica para sopaipillas.

2.4 Diseño experimental

Con el programa Statgraphic Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, U.S.A.), se desarrolló un diseño rotacional central compuesto (2^2 +estrella) con tres puntos centrales, con el fin de obtener una superficie de respuesta. Las variables de respuesta (Y) correspondieron a las variables sensoriales evaluadas con la tabla de valoración de calidad específica para sopaipillas, es decir, color, apariencia/forma, olor, sabor y textura. Las variables del proceso (X_1 y X_2) se determinaron mediante ensayos preliminares variando concentración de zapallo, temperatura de fritura y tiempo de fritura. Los límites inferiores, superiores y el punto central del diseño fueron codificados como $-\sqrt{2}$, $\sqrt{2}$ y 0 respectivamente, tal como se muestra en la Figura 2.2.

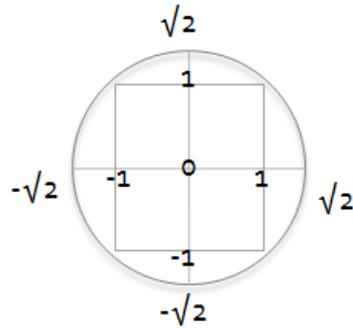


Figura 2.2: Puntos del diseño central rotacional compuesto

Estos puntos fueron codificados y se planteó una matriz que se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Matriz del diseño de experimentos.

Experimento	X_1	X_2
1	0	$\sqrt{2}$
2	1	1
3	1	-1
4	$-\sqrt{2}$	0
5	-1	-1
6	0	$-\sqrt{2}$
7	-1	1
8	$\sqrt{2}$	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Las variables de respuesta fueron ajustadas a modelos de segundo orden (ecuación 1) utilizando el método de mínimos cuadrados, obteniéndose así modelos de regresión. El efecto de las variables del proceso (X_1 , X_2) sobre las respuestas estudiadas (Y = color, sabor, olor, forma/apariencia, textura), fue modelado mediante la ecuación (1) que representa matemáticamente la superficie de respuesta (Khuri y Cornell, 1987):

$$(1) Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + e$$

Dónde:

β_0 : Constante o intercepto

X_1 : Variable 1 de proceso

X_2 : Variable 2 de proceso

β_1 y β_2 : Coeficientes para el efecto lineal de X_1 y X_2 respectivamente.

β_{11} y β_{22} : Coeficientes para el efecto cuadrático de X_1 y X_2 respectivamente

β_{12} : Coeficiente para el efecto de la interacción de X_1 y X_2

e: Error estándar

2.5 Análisis de resultados

Al finalizar las evaluaciones sensoriales de las formulaciones con la escala de valoración de calidad de Karlsruhe, se verificó la reproducibilidad del criterio de cada evaluador y la consistencia del panel, mediante el uso del análisis ANOVA de dos vías (muestras y jueces), con el programa Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, U.S.A.). Se debían encontrar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre muestras, pero no entre jueces ($P > 0,05$) para continuar con la optimización de cada atributo. En el caso de encontrar diferencias entre jueces, se realizó el test de Tukey, para eliminar de todo el diseño experimental a el/los jueces que producían las diferencias.

2.5.1 Método de optimización

La optimización por ajuste de ecuaciones de regresión cuadráticas se realizó para cada atributo que presentó diferencias entre muestras y no entre jueces, mediante el programa Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, U.S.A.).

En el proceso de optimización, se eliminaron los factores no significativos del modelo, mediante el uso del gráfico de Pareto, en donde se muestran los efectos en orden decreciente de importancia. Luego de eliminar los factores no significativos del modelo, se llegó a la ecuación final. Para un buen ajuste del modelo, se consideró un coeficiente de determinación R^2 lo más cercano a 1. En el diagrama de Pareto resultante para todos los atributos, se eliminaron las variables no significativas,

exceptuando el caso en que fuese significativo el factor cuadrático, en donde el factor individual no se eliminó.

Con el fin de maximizar la respuesta para todos los atributos que permitieron ser optimizados por separado, se realizó una optimización múltiple del diseño para determinar la combinación de factores que optimizan simultáneamente las respuestas de dicho diseño experimental, según el método propuesto por Derringer y Suich (1980), en donde se maximiza la deseabilidad total del sistema. Esta función resulta de promediar (media geométrica) las deseabilidades individuales de cada respuesta (color, sabor, textura, apariencia/forma, aroma). La deseabilidad total toma valores dentro del intervalo [0, 1]; se aproxima a la unidad a medida que las respuestas se aproximan al valor deseado. El criterio de optimización fue la maximización de la calidad, con el fin de obtener los niveles para cada uno de los factores que optimizaran la calidad.

2.6 Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó según el método gravimétrico AOAC (1990) (Anexo 5) en estufa con aire forzado (UNOX XF030-TG) a una temperatura de 105°C hasta peso constante. El análisis se realizó en triplicado para todas las formulaciones del diseño experimental. Además se midió la humedad de dos muestras de sopaipillas comerciales, en triplicado: de la panadería Castaño, y de un carro móvil ubicado en las afueras del metro San Joaquín, con el fin de obtener una referencia de la humedad a la que debían llegar las muestras.

2.7 Análisis fórmula optimizada

Los análisis que se llevaron a cabo a la formulación optimizada, resultante del método de superficie de respuesta, fueron los siguientes:

2.7.1 Análisis proximal

El análisis proximal se realizó en forma externa en laboratorio Dictuc, Área Alimentos y Análisis Químico, de la Universidad Católica de Chile, en el cual se

realizaron análisis de proteínas, lípidos, cenizas, fibra, ENN (extracto no nitrogenado) y energía, según las siguientes metodologías:

- Humedad: NCh 841 Of 78
- Lípidos, proteínas, ceniza, fibra: Manual de Métodos de Análisis Físico-Químico de Alimentos, Aguas y Suelo, ISP1998
- Valor Calórico de los Alimentos: Factor de Atwater

2.7.2 Actividad de agua

Se realizó usando el equipo portátil Novasina MS1, el cual consta de una celda electrolítica de gran precisión y calibración automática de 5 puntos, con sales patrones de calibración SAL-T (11-33-53-75-90% HR).

2.8 Análisis de imágenes mediante sistema de visión computacional

Para el análisis de las imágenes se utilizó el programa Matlab 7.0, una herramienta que por medio del uso de un lenguaje de programación, permite analizar datos, visualizar estos mismos mediante gráficas y realizar cálculos numéricos simples o bien de un grado de mayor complejidad.

Por medio de investigaciones anteriores, efectuadas a productos como chips de papas, french fries o tortillas, se han realizado y establecido una serie de comandos que hacen posible que Matlab 7.0, pueda procesar las imágenes de alimentos y extraerles una serie de características tanto geométricas como de intensidad.

2.8.1 Calibración sistema de visión computacional

Antes de utilizar el sistema de visión computacional, este debió ser calibrado para estandarizar los parámetros de color entregados (Anexo 6).

2.8.2 Adquisición de imágenes.

La adquisición de las fotografías se realizó mediante el montaje de un sistema de visión computacional, consistente en una caja cúbica de paredes negras, un sistema de iluminación y soporte para la cámara fotográfica digital, la cual fue conectada a un

computador para el manejo remoto de la misma, tal como lo muestra el esquema de la Figura 2.3.

Se tomó una imagen digital a cada una de las 10 muestras evaluadas por los jueces, por ambos lados, una a la vez. Esto se hizo con cada una de las 11 formulaciones dadas por el método de superficie de respuesta, es decir, se tomaron 220 fotografías.

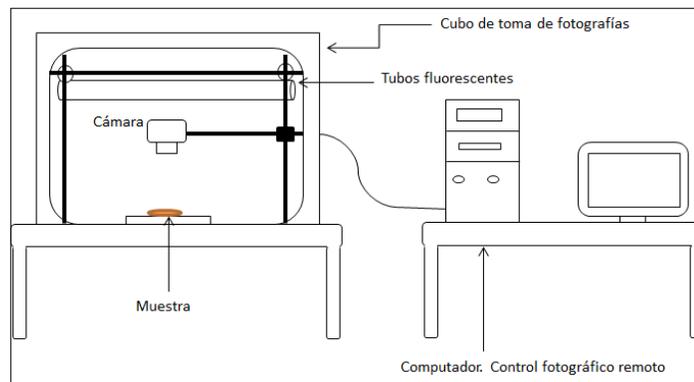


Figura 2.3: Cubo y sistema de iluminación. (Adaptado de León, 2005)

2.8.3 Sistema de iluminación y captura

El sistema de iluminación consta de cuatro tubos fluorescente Philips, Natural Daylight 18 W (longitud de 60 cm.), con una temperatura de color de 6500°K, correspondiente a la luz día, y un índice de color (Ra) cercano al 95%. Los cuatro tubos se ubicaron horizontalmente, formando un cuadrado por sobre la cámara para que al iluminar se crease un núcleo de luz homogéneo en el lugar donde se ubicaron las sopaipillas. La muestra para la toma de imágenes, se ubicó sobre una cartulina negra, con el fin de evitar alteraciones producidas por brillo sobre la cámara y muestras (León y cols, 2006).

La caja posee un soporte para la cámara digital Canon Powershot G3 de 4 Mega píxeles (Figura 2.4), ubicada verticalmente a 22,5 cm. de distancia de la muestra, con un ángulo alrededor de 45° entre el eje de la cámara y las fuentes de iluminación. La

cámara fue conectada al puerto USB de un computador (Phenm (tm) II X2 555; 3,21 GHz, 3 GB en Ram), donde fueron guardadas para su posterior procesamiento.

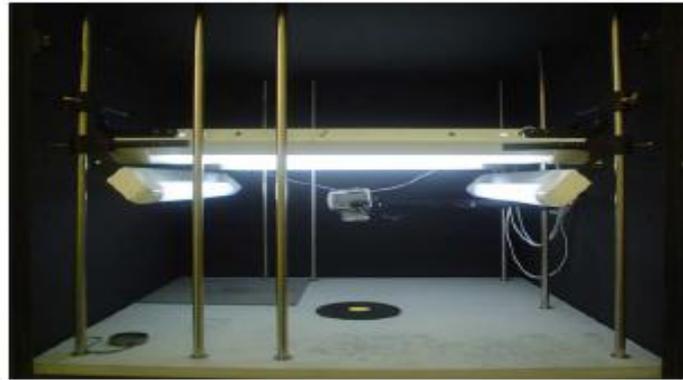


Figura 2.4: Cubo de fotografía, sistema de iluminación y cámara.

2.8.4 Software de captura

Con el programa de disparo remoto PS Remote Capture (Remote Capture versión 2.6.0.15, Canon Cámara Library versión 5.0.0.13), se realizaron los ajustes de la cámara para la obtención de fotografías (Anexo 7).

El manejo remoto de la cámara se realizó mediante el software ZOOMBROWSER EX (Zoom Browser EX, versión 5.7, Canon inc. USA) (Anexo 8), el cual permite administrar imágenes tomadas con una cámara digital y sacar el máximo provecho de las funciones integradas de la cámara. En este caso, las imágenes fueron capturadas en resolución RAW y posteriormente convertidas a formato tif, donde la imagen se encuentra en su máxima resolución ya que está totalmente descomprimida.

2.8.5 Segmentación de imágenes

Las regiones de interés en las imágenes, fueron encontradas y aisladas del resto de la imagen. Primero se separaron las imágenes por canales y se enmascararon. Luego se removieron los objetos pequeños de la imagen binaria (como pueden ser los orificios hechos con el tenedor en el producto), para lograr un mejor análisis de la imagen.

2.8.6 Clasificación de imágenes

En esta etapa se empleó el Toolbox Balu de Matlab 7.0 diseñado por Mery (2010). El programa crea un clasificador que permite determinar los diferentes grados de calidad de las imágenes digitales para simular los resultados obtenidos sensorialmente por los jueces. Para la clasificación, se utilizaron las fotografías digitales de las sopaipillas en RGB, transformadas a valores L^*a^*b , puesto que es el formato que se utiliza generalmente para la clasificación de imágenes en alimentos.

Para realizar esta clasificación, se ingresaron al programa las categorías de calidad de cada formulación de sopaipillas, usando para ello los grados 1, 2 y 3 provenientes de la evaluación sensorial.

Se eligió el clasificador que mejor simule o que mejor se comporte como un juez real, y para esto se utilizaron los siguientes criterios:

- Escoger, en lo posible, el clasificador con el mayor porcentaje de aciertos entre los datos entregados por la evaluación sensorial de los jueces y la predicción del programa.
- Y que a la vez, sea aquel que menos características necesite analizar (Anexo 9).

Con el fin de evaluar y validar el desempeño de la clasificación de manera objetiva, la metodología propuesta utiliza la técnica de validación cruzada. En esta técnica, los datos se dividen en subconjuntos v . Una porción $(v-1)/v$ de todos los datos se utiliza para entrenar y el resto $(1/v)$ para la prueba. Este experimento se repite v veces variando el conjunto de entrenamiento y el de prueba, para evaluar la estabilidad del clasificador. Entonces, cuando el entrenamiento se realiza, las muestras que se extrajeron inicialmente se pueden utilizar para probar el rendimiento del clasificador con estos datos de prueba. De este modo, se puede evaluar qué tan bien el método puede clasificar muestras que no hayan sido examinadas. También se logra que los resultados no sean sensibles a los conjuntos definidos, sino que sean absolutos con respecto al total de los datos (Mery y cols, 2010).

Con los resultados de la clasificación, se graficó la mejor característica en función de la densidad de probabilidad, la relación entre las dos mejores características y las tres mejores características.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Selección del panel sensorial

Los resultados de los tres test de selección se muestran en la Tabla 3.1, donde fueron seleccionados aquellos jueces que tuvieron un porcentaje de aciertos igual o superior a 70% en el test de umbral de identificación de gusto salado, igual o superior a 50% en el test de ordenamiento de colores e igual o superior a 50% en los test triangulares (Anexo 10).

Tabla 3.1: Resumen selección del panel

Juez	% Acierto identificación umbral salado	% Acierto de test de ordenamiento de colores	% Acierto de test triangulares
I	70	40	43
II	100	63	100
III	100	53	67
IV	100	43	67
V	100	67	80
VI	70	50	50
VII	100	50	80
VIII	100	73	56
IX	100	50	50
X	100	73	50
XI	70	70	86
XII	100	87	83
XIII	70	47	70
XIV	100	70	71

Nota: Las marcas de color rojo corresponden a los jueces que no continuaron en el panel.

Se eliminaron 3 jueces (marcados de color rojo), debido a que no cumplieron con los criterios de selección, y el juez XIV que por razones personales decidió marginarse del panel. Finalmente pasaron a la siguiente etapa de entrenamiento, diez jueces.

3.2 Entrenamiento del panel sensorial

En la primera sesión de entrenamiento, los jueces describieron los atributos color, apariencia/forma, olor, sabor y textura, de tres tipos de sopaipillas de distintas calidades. Se agruparon los descriptores mencionados, su frecuencia, dirección de la característica y grado de calidad, para cada atributo (Anexo 11), y con ellos se elaboró la Tabla de valoración de calidad de 9 puntos específica para sopaipillas. Posteriormente, se realizó otra sesión, en donde los jueces evaluaron las mismas muestras de la sesión descriptiva con la Tabla preliminar diseñada. La Tabla se ajustó y modificó de acuerdo a los comentarios realizados por ellos, dando como resultado la Tabla final de Valoración de Calidad Karlsruhe específica para sopaipillas, Tabla 3.2.

Tabla 3.2: TABLA DE VALORACIÓN DE CALIDAD DE SOPAIPILLAS CON ESCALA DE KARLSRUHE

Características	Calidad Grado 1: Características Típicas			Calidad Grado 2: Deterioro Tolerable			Calidad Grado 3: Deterioro Indeseable		
	Excelente 9	Muy Buena 8	Buena 7	Satisfactoria 6	Regular 5	Suficiente 4	Defectuosa 3	Mala 2	Muy Mala 1
Color	Extremadamente natural, típico, específico, tostado homogéneo. Color miga natural, muy típico, naranja.	Muy natural, típico, algunas unidades con diferencias leves de color, algo tostadas o pálidas. Color miga natural, algo menos naranja.	Natural, típico, algo pálido u oscuro, algunas unidades con coloración algo desuniforme. Color miga naranja algo pálido.	Ligeramente alterado, pálido o tostado disparejo, Dorado algo artificial. Color miga naranja pálido o algo amarillo.	Alterado, muy pálida o muy tostada, unidades desuniformes entre ellas. Dorado Artificial. Color miga muy pálida o amarillo, atípico	Posee algunas manchas blancas. Muy oscuras o muy pálidas. Desequilibrado. Color miga muy pálida o muy oscura,	Muy desuniforme, atípico, con zonas quemadas o crudas. Color miga artificial, aun aceptable.	Superficie intensamente teñida. Totalmente atípico, muy oscuro	Color totalmente alterado. Inaceptable. Color miga totalmente alterada, atípica, inaceptable.
Apariencia / Forma	Bien lograda, perfecta. Superficie uniforme y lisa, Completamente bien conservada, simétrica, no dañada. Aceitosidad típica, moderada, no exudada.	Muy bien conservada, algunas unidades con bordes levemente modificados, superficie regular. Aceitosidad levemente aumentada, algo de exudación.	Bien conservada, algunas unidades algo modificadas. Superficie ligeramente regular. Algo aceitosas y exudadas.	Aún conservada, algunas unidades ligeramente modificadas, algunas grietas suaves, algo infladas o manchadas. Algunas unidades exudadas y aceitosas	Algo alterada, algo hundida, asimétrica. Algunas unidades con grietas más profundas, manchadas o infladas. Muy exudadas o muy aceitosas.	Muy hundida o agrietada. Muchas unidades dañadas, manchadas o infladas. Aceitosidad excesiva, alterada, aun aceptable	Muy alterada, Intensamente hundida, Muy atrofiadas, manchadas. Pérdida de forma. Exudación y aceitosidad excesiva, atípica.	Totalmente alterada, arrugada. Deforme. Aceitosidad muy atípica, excesiva o disminuida, muy alterada.	Completamente alterada. Aceitosidad y exudación inaceptable.
Aroma	Específico del producto, característico. Excepcionalmente pronunciado, muy equilibrado.	Típico, suave, específico, armónico, Equilibrado, natural.	Específico, natural, algo suave o intenso, aún equilibrado.	Levemente perjudicado, Ligeramente plano, no redondeado, algo artificial.	Algo perjudicado, desequilibrado, plano. Leve olor a fritura, tostado.	Algo, atípico, perfumado, olor a humo, tostado o a fritura.	Claramente alterado, atípico, dañado. Completamente disminuido, algo rancio. Intenso a fritura o tostado.	Muy alterado, dañado, rancio, Nada típico.	Extraño, putrefacto, Francamente deteriorado.
Sabor	Muy específico del producto, armónico excepcionalmente pronunciado. Muy equilibrado, típico y natural.	Específico completo, equilibrado, bastante natural.	Aún específico, natural equilibrado y típico. Algo suave o intenso.	Levemente perjudicado, plano, no redondeado, algo artificial. Levemente bajo o sobre el sabor típico.	Aceptable, poco armónico, algo desequilibrado, Artificial, graso, atípico.	Aún aceptable, muy aromatizado, tostado, graso, Amargo o insípido, Deficiente, algo rancio, añejo.	Alterado. Completamente disminuido, rancio, crudo, añejo, quemado, muy aceitoso.	Muy alterado, nada típico. Muy rancio, crudo, añejo, quemado.	Completamente alterado. Extraño, desagradable, putrefacto. Francamente deteriorado.
Textura	Excepcionalmente buena, específica, típica, firme, grasitud equilibrada.	Muy buena, típica, firme, esponjosidad adecuada.	Buena, típica en general. Algo grasosa al tacto. Levemente blanda o dura.	Levemente alterada. Algo blanda o dura, grasosa al tacto y al degustar, algo seca. Algo aceitosa	Algo alterada, algo des uniforme, blanda o dura. Seca, aceitosa, añeja.	Alterada, des uniforme muy blandas o muy duras. Muy seca, muy grasosa, muy aceitosa.	Claramente alterada, modificada. Muy des uniforme extremadamente blanda o dura. Atípica, añeja.	Extremadamente e alterada. Muy modificada, grasosa, seca, añeja, aceitosa. Nada típica.	Completamente alterada, deteriorada, grasitud excesiva.

3.3 Diseño experimental

Luego de pruebas preliminares, variando cantidad de zapallo, temperatura de fritura, tiempo de fritura y cantidad de sal, se determinó que las variables que tenían mayor influencia en la calidad sensorial de las sopaipillas, eran la cantidad de zapallo y la temperatura de fritura, por lo tanto, éstos fueron los dos factores considerados en el diseño, resultando ser la cantidad de zapallo (X_1) y la temperatura de fritura (X_2). El diseño generó 9 combinaciones dentro de los rangos de 20 a 100 g de zapallo (5,5 a 27% con respecto a la masa cruda) y temperatura desde 150 a 190°C, el punto central se realizó por triplicado. Los límites de la cantidad de zapallo se escogieron de acuerdo a la manejabilidad de la masa y también al color resultante, ya que con menos de 20 g de zapallo en 200 g de harina, el producto perdía la apariencia típica de una sopaipilla. Por otro lado, con cantidades mayores a 100 g de zapallo en 200 g de harina, la masa ya no era manejable. En cuanto a las temperaturas de fritura, se trabajó dentro de los rangos en que normalmente se fríen los alimentos (150-200°C) para asegurar su cocción.

Los experimentos se realizaron siguiendo un orden aleatorio y con un triplicado. Las corridas resultantes se muestran en la Tabla 3.3

Tabla 3.3: Corridas experimentales del diseño rotacional central compuesto

Corrida	Cantidad de zapallo (g/masa total)	Temperatura (°C)
1	32	156
2	32	184
3	60	170
4	60	190
5	20	170
6	60	170
7	60	150
8	60	170
9	88,4	184
10	100	170
11	88,4	156

Nota: Las corridas 3, 6 y 8, marcadas de color rojo, corresponden a los puntos centrales del diseño.

3.4 Ajuste de humedad de la fórmula

3.4.1 Ajuste de humedad masa cruda

El porcentaje de agua indicado en una masa corresponde al 60% de la harina agregada (Schmidt-Hebel, 1992). Según lo anterior, la humedad de la masa cruda debe mantenerse en un $40\% \pm 2$, que es el porcentaje indicado para que la masa sea manejable.

Según el diseño experimental, la cantidad de zapallo varía desde 20 a 100 g (5,5 a 27% del total de masa cruda). Para calcular la cantidad de agua que se debe agregar a la fórmula y mantener la humedad requerida, se utilizó un balance de masa, conociendo el peso final de la masa cruda y las humedades de todos los ingredientes, como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Humedad de ingredientes masa de sopaipilla

Ingrediente	Humedad (%) b.h
Harina	15
Manteca	50
Zapallo	89
Agua	100
Sal	2
Polvo de Hornear	4,5

El balance de masa finalmente es:

$$\text{ml de agua} = (0,4 * \text{peso masa}) - (\text{g harina} * 0,15 + \text{g manteca} * 0,5 + \text{g zapallo} * 0,89 + \text{g sal} * 0,02 + \text{g polvo de hornear} * 0,045)$$

Utilizando el balance de masa, se obtuvo la cantidad de agua que se debe agregar a cada formulación, como se aprecia en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Cantidad de ingredientes y humedad de la masa resultante de las formulaciones de sopaipillas del diseño experimental

Formulación	Zapallo (g/370g masa)	Harina (g/370 g masa)	Manteca (g/370 g masa)	Agua (ml/370g masa)	Sal (g/370g masa)	Polvo de hornear (g/370g masa)	Humedad masa cruda (% b.h)
1	20	200	20	90	5	5	39,8
2	32	200	20	79	5	5	39,4
3	60	200	20	55	5	5	38,8
4	88,4	200	20	29	5	5	38,6
5	100	200	20	19	5	5	39,4

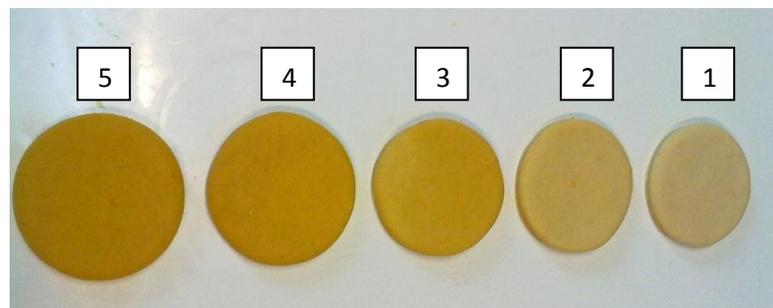


Figura 3.1: Formulaciones de masa de sopaipillas arrojadas por el diseño experimental

3.4.2 Ajuste de humedad de las formulaciones

El proceso de fritura se llevó a cabo a las 5 temperaturas arrojadas por el diseño experimental: 150, 156, 170, 184 y 190°C.

Posteriormente, fueron determinados los tiempos de fritura para las distintas formulaciones mediante ensayos preliminares, hasta alcanzar una humedad de $23 \pm 2\%$. Esta humedad final, se determinó variando tiempo y temperatura de fritura, considerando además que las muestras resultaran organolépticamente aceptables para los consumidores, es decir, ni muy pálidas ni muy tostadas (Anexo 12). Los tiempos de fritura variaron desde 2,5 a 5,5 minutos, como se aprecia en la Tabla 3.6.

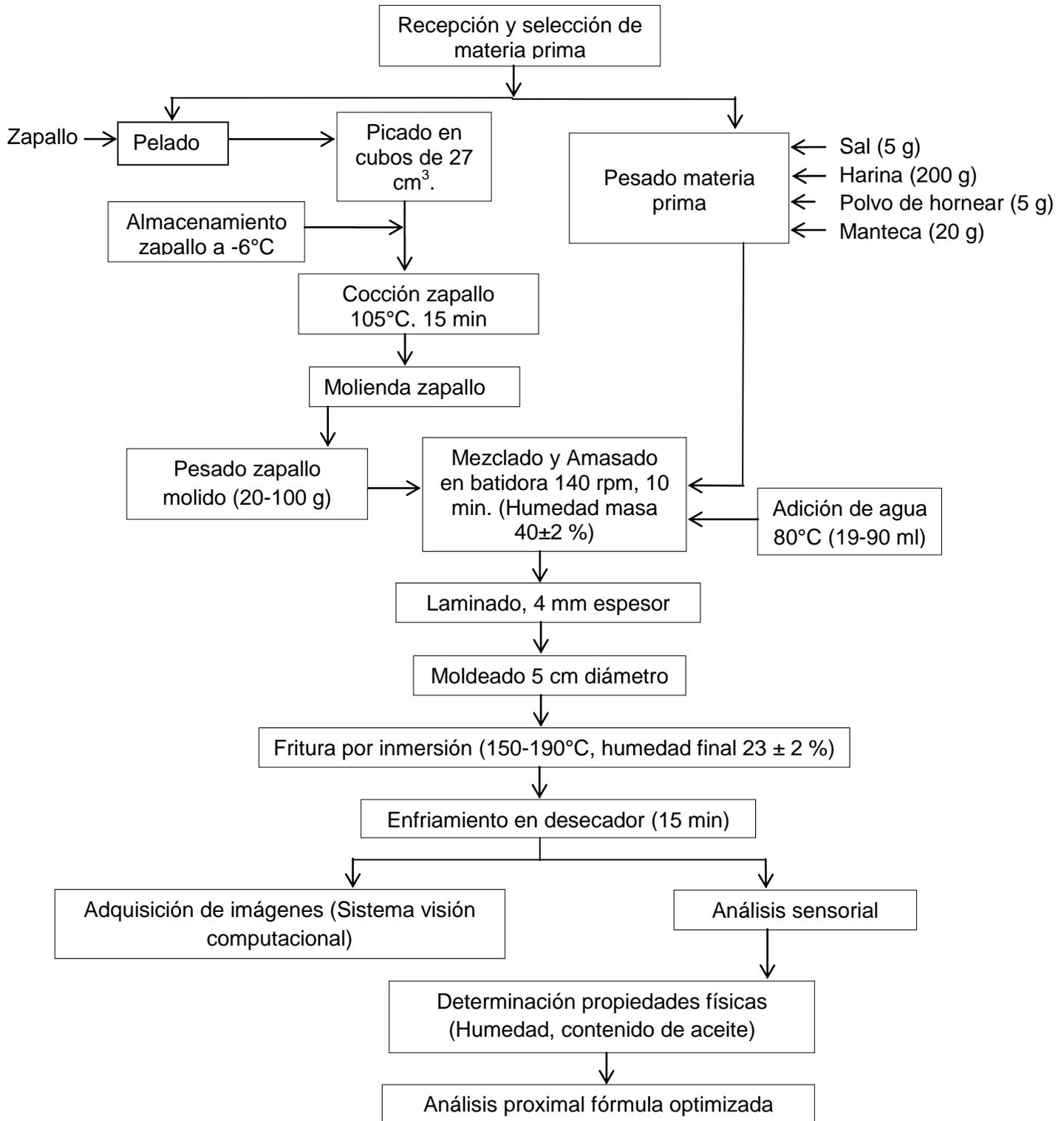
Tabla 3.6: Tiempo de fritura y humedad de formulaciones del diseño experimental

Corrida	Cantidad de zapallo (g/370 g de masa)	Temperatura (°C)	Tiempo de fritura (min)	Humedad final % (b.h)
1	32	156°C	5,5	21,65
2	32	184°C	3	24,75
3	60	170°C	4	23,23
4	60	190°C	2,5	24,93
5	20	170°C	4	24,25
6	60	170°C	4	23,23
7	60	150°C	5,5	23,18
8	60	170°C	4	23,23
9	88,4	184°C	3	24,70
10	100	170°C	4	23,22
11	88,4	156°C	5,5	21,67

Como se observa en la Tabla 3.6, a mayor tiempo y temperatura de fritura, la humedad del producto disminuye. Con tiempos de fritura cortos y temperatura de fritura elevadas, se observa una rápida formación de costra en el producto, lo cual evita el desplazamiento del agua desde interior del alimento hacia la superficie del mismo, quedando atrapada en las paredes del producto (Bertrand, 2007).

3.5 Diagrama de bloques del proceso

Se indican las operaciones efectuadas y las condiciones finales de cada una de ellas.



3.6 Evaluación sensorial con escala de Karlsruhe específica de sopaipillas

En la Tabla 3.7, se muestra el resumen de calidad promedio para cada atributo, luego de realizar las evaluaciones con la tabla de valoración de calidad específica de sopaipillas, para las 11 corridas del diseño, arrojadas por el programa Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corporation, U.S.A.).(Anexo 13). Se consideró el atributo limitante, es decir, la nota del atributo con menor calificación, para obtener finalmente el grado de calidad final.

Tabla 3.7: Calidad promedio por atributo de las corridas experimentales

N° Formulación	Cantidad de zapallo en 370 g de masa/T°	Color (1 a 9)	Apariencia/ forma (1 a 9)	Aroma (1 a 9)	Sabor (1 a 9)	Textura (1 a 9)	Grado de calidad final
1	32 g/156°C	3,4	6,4	5,4	4,2	4,9	3
2	32 g/184°C	5,9	7,1	4,7	4,8	5,3	2
3	60 g/170°C	6,1	5,3	6,2	6,0	6,1	2
4	60 g/190°C	5,4	7,2	3,7	5,1	5,9	2
5	20 g/170°C	5,6	6,7	5,8	5,0	6,2	2
6	60 g/170°C	7,1	5,4	6,2	6,1	5,9	2
7	60 g/150°C	3,3	6,6	4,6	4,1	4,6	3
8	60 g/170°C	5,9	5,3	6,2	6,1	5,9	2
9	88,4 g/184°C	6,8	7,4	6,7	7,1	6,8	1
10	100 g/170°C	8,0	7,6	7,4	6,6	7,7	1
11	88,4 g/156°C	7,1	7,9	6,6	6,7	6,8	1

Nota: Los puntajes marcados de color rojo, corresponden al atributo limitante en cada formulación.

Como se aprecia en la Tabla 3.7, las formulaciones sometidas a menor temperatura, fueron calificadas por los jueces con los puntajes más bajos, obteniendo

un grado de calidad 3, esto debido principalmente al color obtenido, el cual resultó muy pálido, a su textura cruda, sabor atípico y a su excesiva cantidad de aceite. Las formulaciones calificadas grado 2, son la mayoría de las corridas experimentales (6 de 11), y en ellas se observa un balance entre cantidad de zapallo y temperatura, es decir, aquellas formulaciones con menor cantidad de zapallo fueron sometidas a altas temperaturas, y viceversa. Además, un factor importante a considerar, y que pudo influir en la calificación de estas formulaciones, es que los tiempos de fritura fueron calculados y adecuados para obtener muestras con la misma humedad (Tabla 3.6), lo que hizo que estas fuesen relativamente homogéneas, dando como resultado que los jueces no percibieran en gran medida el aumento o disminución de los factores experimentales (cantidad de zapallo y temperatura), calificando estas muestras de forma intermedia. Hubo 3 formulaciones que obtuvieron calidad grado 1, y fueron las que contenían la mayor cantidad de zapallo, lo que indica que el aumento de zapallo mejoró la calidad de las sopaipillas, debido principalmente al sabor y textura que le imparte al producto. En la figura 3.2, se muestran imágenes de sopaipillas clasificadas en los tres grados de calidad definidos en la escala de valoración de calidad de Karlsruhe específica para sopaipillas.

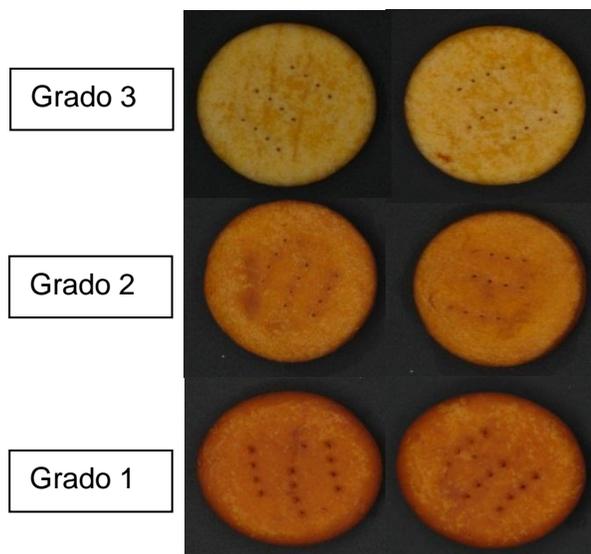


Figura 3.2: Sopaipillas clasificadas en los 3 grados de calidad

En la Figura 3.2, se observa que las sopaipillas clasificadas grado 3 poseen un color pálido poco deseado por los jueces, bordes irregulares, superficie aceitosa y presencia de manchas blancas en su superficie. Las sopaipillas clasificadas como grado 2, presentan pequeños deterioros aún tolerables en el producto, su color es algo heterogéneo puesto que se encuentran algunas manchas y burbujas en la superficie, además de poseer una textura levemente aceitosa. Por último, las muestras clasificadas como grado 1, tienen un color homogéneo, presentan bordes bien definidos, tamaño uniforme y superficie lisa, con menos manchas y burbujas que las presentes en las sopaipillas clasificadas como grado 2.

3.7 Análisis de varianza

Luego de la evaluación de los jueces, se realizó el análisis de resultados mediante el uso de Anova multifactorial para muestras y jueces (Anexo 14). No existieron diferencias significativas entre jueces en la mayoría de los atributos excepto para textura. Esto demuestra que los jueces no fueron adecuadamente entrenados en este atributo. Debido a esto, se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey entre jueces, y se eliminó al juez 8 (Anexo 15). Se realizó nuevamente el análisis de varianza para todos los atributos (Anexo 16), obteniendo los resultados expuestos en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: ANOVA corregido para muestras y jueces

Atributo	Formulación		Jueces	
	P-Value (Nivel de significancia)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)	P-Value (Nivel de significancia)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)
Color	0,0000	SI	0,6013	NO
Apariencia/forma	0,0000	SI	0,1929	NO
Aroma	0,0000	SI	0,0709	NO
Sabor	0,0000	SI	0,4464	NO
Textura	0,0000	SI	0,1327	NO

Con estos valores fue posible optimizar todas las variables, ya que no existen diferencias significativas entre jueces. En el caso de las muestras, se observaron

diferencias significativas entre ellas para todos los atributos, lo que quiere decir que las formulaciones fueron claramente diferenciadas por el panel entrenado.

3.8 Optimización del diseño experimental

Se llevó a cabo la optimización para todos los atributos tal como se describe en la metodología en el punto 2.5.1.

3.8.1 Color

En la Figura 3.3 se observa el diagrama de Pareto para el atributo color, en donde fueron eliminadas las variables no significativas. De este diagrama se desprende que el color es dependiente de la cantidad de zapallo (B) y del factor temperatura al cuadrado (AA).

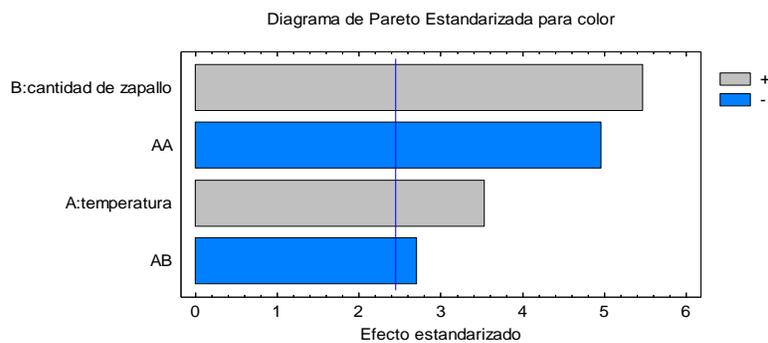


Figura 3.3: Diagrama de Pareto para color

Al optimizar la respuesta del color, se obtuvo la superficie de la Figura 3.4, con su respectiva ecuación (2):

$$(2) \text{ Color} = -173,721 + 1,943 \cdot \text{temperatura} + 0,336 \cdot \text{cantidad de zapallo} - 0,005 \cdot \text{temperatura}^2 - 0,001 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{cantidad de zapallo}$$
$$R^2 = 0,90$$

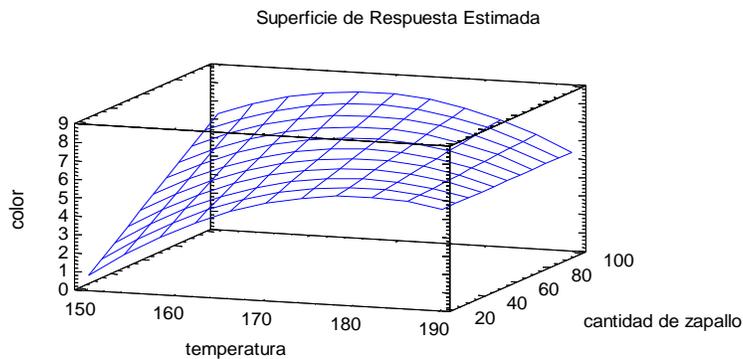


Figura 3.4: Superficie de respuesta para color

Como se ve en superficie de respuesta de la Figura 3.4, la cantidad de zapallo posee una mayor influencia en la respuesta del parámetro color, alcanzando su punto máximo con una cantidad de zapallo de 100 gr (27,1%). Por otro lado, al aumentar la temperatura, como es de esperar, también aumenta el color, llegando a un máximo de 6,8 a una temperatura de 175°C, luego de lo cual disminuye.

3.8.2 Aroma

La Figura 3.5 muestra el diagrama de Pareto para el atributo aroma, luego de eliminar las variables no significativas

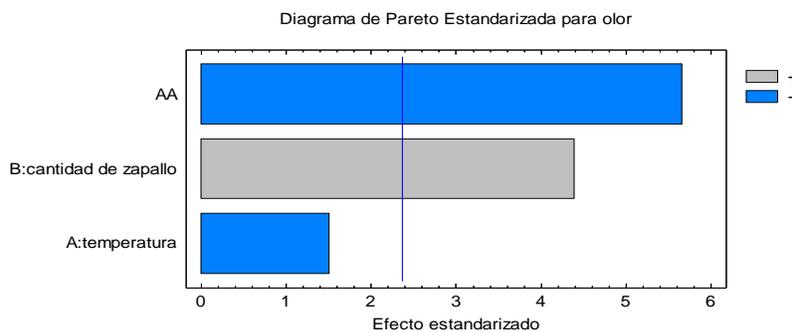


Figura 3.5: Diagrama de Pareto para Aroma

En el diagrama se aprecia que el factor cuadrático de la temperatura (AA), resulta ser un factor significativo en la respuesta del atributo, al igual que la cantidad de zapallo (B). Al optimizar la respuesta del atributo olor, se obtuvo la superficie de respuesta de la figura 3.8, con su respectiva ecuación (4)

$$(4) \text{ Aroma} = -139,564 + 1,717 * \text{temperatura} + 0,024 * \text{cantidad de zapallo} - 0,005 * \text{temperatura}^2$$

$$R^2 = 0,88$$

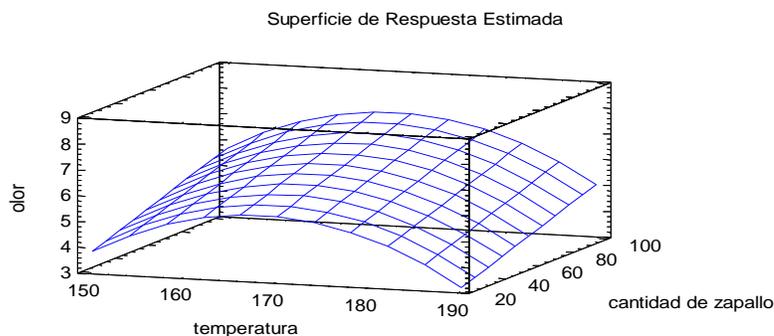


Figura 3.6: Superficie de respuesta para Aroma

En la Figura 3.6 se observa que la respuesta del atributo aroma aumenta linealmente con el aumento de la cantidad de zapallo, hasta llegar a un puntaje máximo de 7,2, con una cantidad de zapallo de 100 gr (27,1%). Por otro lado, la temperatura no ejerce mayor influencia en el atributo, observándose un máximo de 6,5 a 170°C, y luego una disminución significativa con el aumento de la temperatura.

3.8.3 Forma

No fue posible ajustar una ecuación al atributo forma, puesto que la superficie óptima toma un valor fuera del rango de 9 puntos establecido, por lo que no es posible incluirla en la optimización múltiple posterior (Anexo 17).

3.8.4 Sabor

En la Figura 3.7, se observa el diagrama de Pareto para el atributo sabor, luego de eliminar las variables no significativas.

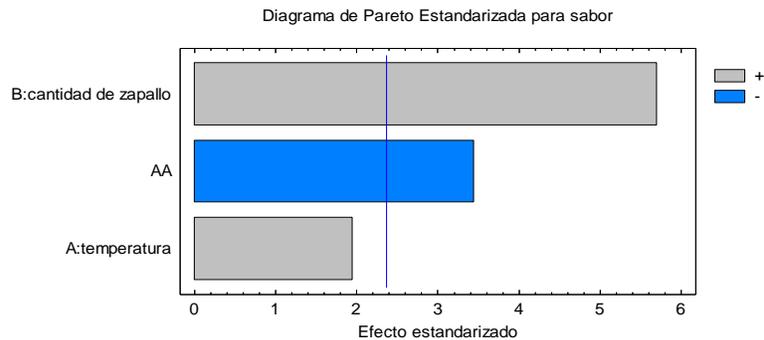


Figura 3.7: Diagrama de Pareto para Sabor

De la figura, se desprende que el sabor depende principalmente de la cantidad de zapallo (B) y del factor cuadrático de temperatura (AA), ajustándose en una ecuación (3) con una correlación aceptable.

$$(3) \text{ Sabor} = -88,826 + 1,07257 * \text{temperatura} + 0,031 * \text{cantidad de zapallo} - 0,003 * \text{temperatura}^2$$
$$R^2 = 0,87$$

En la figura 3.8, se observa la superficie de respuesta para el atributo sabor, en donde se aprecia que al aumentar la cantidad de zapallo, aumenta la respuesta del atributo de manera lineal, observándose un puntaje máximo de 7 de un total de 9, con una cantidad de zapallo de 100 gr (27,1%). El factor cuadrático de la temperatura, también posee influencia en el sabor, observándose un máximo a los 173°C, con un puntaje de 6,2, luego de esto, disminuye y el aumento de temperatura no posee significancia en el sabor.

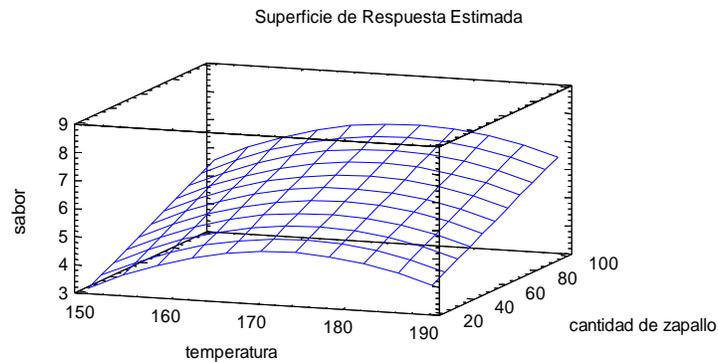


Figura 3.8: Superficie de respuesta para sabor

3.8.5 Textura

La Figura 3.9 muestra el diagrama de Pareto para la variable textura, al eliminar las variables no significativas.

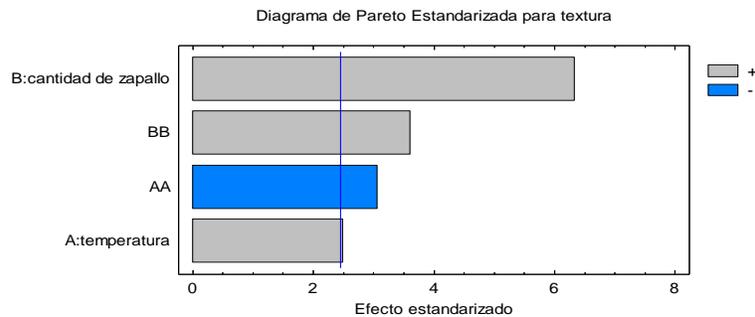


Figura 3.9: Diagrama de Pareto para Textura

De la figura se desprende que el factor cantidad de zapallo (B), es el que influye de mayor manera en la textura del producto. El factor cuadrático de temperatura (AA) también ejerce un efecto significativo en la respuesta del atributo. El modelo se ajusta a una ecuación (6), con una buena correlación.

$$(6) \text{ Textura} = -55,199 + 0,706 \cdot \text{temperatura} - 0,044 \cdot \text{cantidad de zapallo} - 0,002 \cdot \text{temperatura}^2 + 0,0005 \cdot \text{cantidad de zapallo}^2$$

$$R^2 = 0,92$$

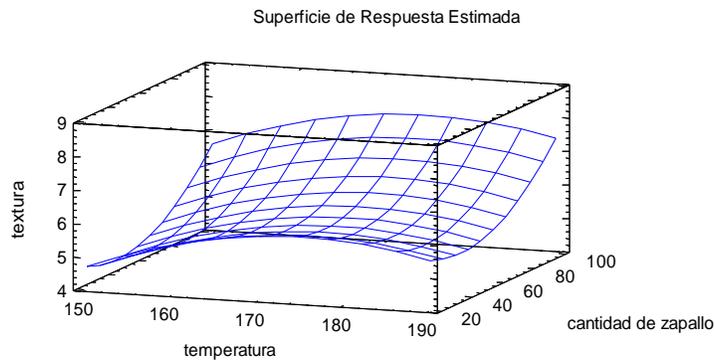


Figura 3.10: Superficie de respuesta para Textura

En la Figura 3.10, se aprecia la superficie de respuesta del atributo textura, en donde se observa que ésta aumenta linealmente con el aumento de la cantidad de zapallo, hasta llegar a un puntaje máximo de 7,1, con una cantidad de zapallo de 100 gr (27,1%). En cuanto a la temperatura, el factor cuadrático ejerce influencia en el atributo, observándose un máximo de 6 a 170°C, y luego una disminución con el aumento de la temperatura.

3.9 Optimización Múltiple

Se determinó la combinación de los factores experimentales (temperatura y cantidad de zapallo) que simultáneamente optimizan las respuestas de los atributos color, olor sabor y textura, maximizando la función de 'deseabilidad'.

La combinación de factores que alcanzan la deseabilidad global óptima y de cada atributo, se observa en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Valores de los factores obtenidos de la optimización de cada atributo y múltiple

Atributo	Temperatura Optima (°C)	Cantidad de zapallo Optima (g/370 g de masa)	% de zapallo óptimo
Aroma	168,3	100,1	27,1
Sabor	173,4	100,1	27,1
Color	167,6	100,1	27,1
Textura	174,9	100,1	27,1
Optimización Múltiple	169,8	99,7	27,0

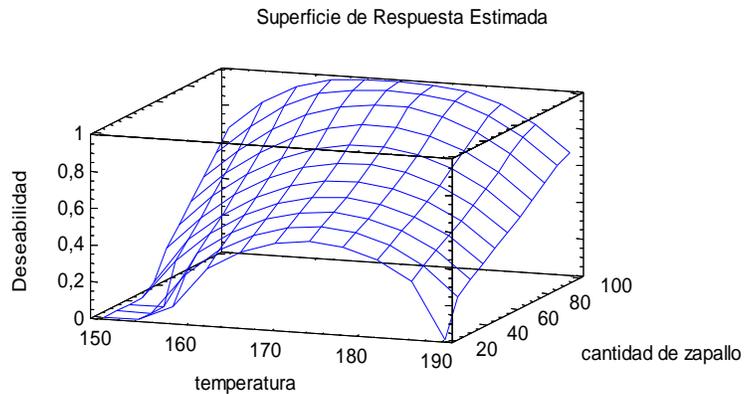


Figura 3.11: Superficie de Optimización Múltiple

La Figura 3.11 muestra la superficie de respuesta de la optimización múltiple, en donde al aumentar la cantidad de zapallo, la deseabilidad general del producto también aumenta. La cantidad de zapallo que optimiza la deseabilidad fue de 99,7 g en 370 g de masa (27%), coincidiendo con la calificación general de los jueces, dado que las muestras con mayor cantidad de zapallo fueron las mejor evaluadas, por su sabor más casero y menos artificial.

La temperatura de fritura óptima fue 170°C, de un rango de 150 a 190°C, esta es una temperatura intermedia, que asegura que el producto mantenga su color y olor

típico y no adquiriera una excesiva coloración y sabor crudo ni quemado. Como se observa en la Figura 3.11, al pasar esta temperatura, la deseabilidad disminuye considerablemente, hasta un valor mínimo a 190°C. La optimización para todos los atributos antes mencionados, se alcanza en el nivel máximo de zapallo agregado, 100 g en 370 g de masa (27,1%), lo cual hace suponer que, si se agregara mayor cantidad de zapallo, esta seguiría aumentando. Sin embargo, ésta fue la cantidad máxima de zapallo que pudo agregarse para obtener una masa manejable.

3.10 Caracterización de la fórmula optimizada

Luego de conocer los valores óptimos de los factores experimentales, se elaboró la fórmula optimizada de sopaipillas, que contenía 99,7 g de zapallo en 370 g de masa (27%) y se frió por 3 minutos a 170°C, tal como arrojó la optimización múltiple descrita anteriormente.

3.10.1 Análisis Proximal fórmula optimizada

Los resultados del análisis proximal entregado por DICTUC, se muestran a continuación, en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Análisis proximal de la fórmula optimizada de sopaipilla y comparación con muestra comercial

Componente	Análisis Proximal fórmula optimizada DICTUC	Etiquetado nutricional sopaipilla "Castaño"
Humedad (%)	21,4	-
Proteínas (%) (f=6,25)	7,4	7,6
Lípidos (%)	15,2	24,8
Ceniza (%)	2,9	-
Fibra (%)	0,6	-
ENN (%)	52,5	44,8
Energía (Kcal/100 g)	376	432

ENN: extracto no nitrogenado

Del análisis proximal realizado, destaca la gran cantidad de calorías y de grasa que poseen las sopaipillas. Esto debido a que en su formulación, para la formación de la masa, es necesario agregar manteca y luego freír en aceite, con lo cual la cantidad de lípidos y calorías del producto aumenta significativamente, en comparación a otros alimentos fritos que en su preparación no requieren la adición de grasa. Las sopaipillas de la panadería Castaño, informan en su etiqueta un 24,8% de grasa y 432 kcal/100, que es mayor que el contenido de las sopaipillas formuladas, por lo que su contenido energético también es mayor.

3.10.2 Actividad de agua fórmula optimizada

La medición de actividad de agua de la fórmula optimizada arrojó que ésta posee un $a_w = 0,88$. La a_w establece el límite para el desarrollo de muchos microorganismos, en este caso, es posible el desarrollo de levaduras osmófilas ($a_w=0,60$), bacterias halófilas ($a_w=0,75$), mohos ($a_w=0,80$) y levaduras ($a_w=0,88$). Entre las bacterias conocidas, sólo *Staphylococcus aureus*, ($a_w=0,86$) es capaz de producir intoxicación alimentaria a estos niveles de a_w .

3.11 Determinación de calidad mediante Visión Computacional

Luego de la adquisición y segmentación de las imágenes digitales en formato $L*a*b$, se utilizó el programa Matlab para extraer características de las imágenes y finalmente obtener un clasificador. Para esto, se ingresaron al programa los grados de calidad obtenidos en la evaluación sensorial. El criterio para escoger la mejor clasificación, fue el mayor porcentaje de aciertos con una menor cantidad de características a analizar, dada la menor complejidad y variabilidad al trabajar con un menor número de características. De esta forma, se escogió dentro de los 4 clasificadores (lda, qda, dmin, maha) el que mejor resultados arrojara y de manera más simple.

El programa seleccionó las 5 mejores características de intensidad de color de un total de 195 características. La búsqueda de estas 5 características se realizó mediante el discriminante de Fisher, el cual mide la separabilidad de las clases, siendo la primera característica encontrada la que más se separa de las otras 4 por medio del

clasificador análisis discriminante cuadrático (qda), el cual indica que con un 95% de probabilidad, se obtendrá con un porcentaje de aciertos entre 91,33 a 98,67%, con un promedio de 95%, tal como se observa en la Figura 3.12.

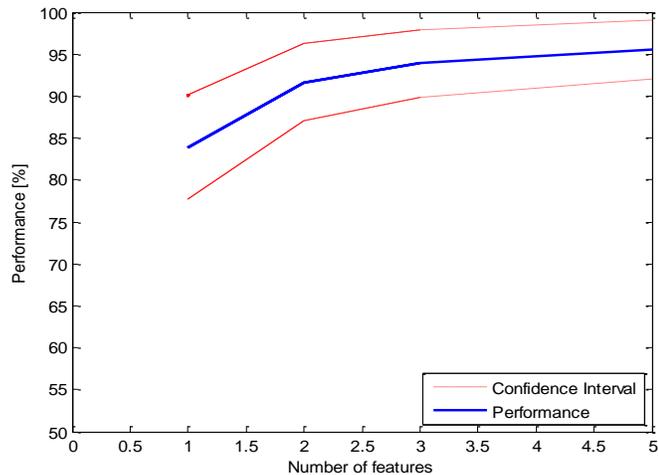


Figura 3.12: Desempeño del clasificador qda, versus características seleccionadas.

La Figura 3.13 relaciona la mejor característica encontrada en función de densidad de probabilidad.

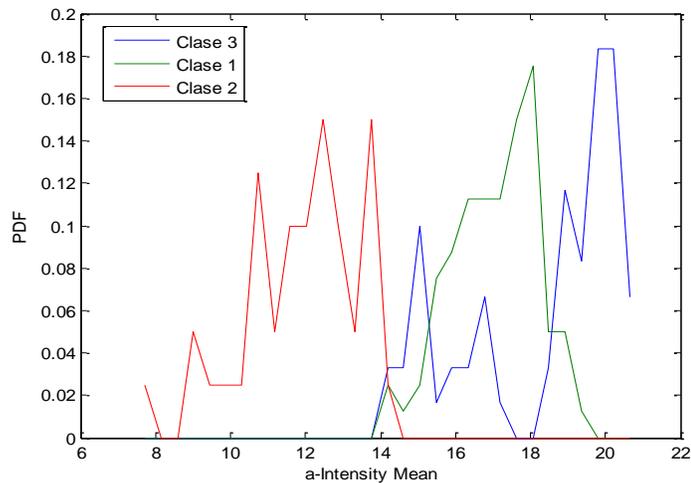


Figura 3.13: Mejor característica encontrada v/s función de densidad de probabilidad.

Lo que se espera encontrar para obtener un porcentaje de 100% de aciertos es que no se observe traslape entre las clases, lo cual es casi imposible, puesto que aunque el

panel esté entrenado siempre hay pequeñas diferencias. En la figura se observa una zona de intersección entre las clases 3 y 1, lo que indica que no se logró la diferenciación completa de clases al graficar sólo la primera característica. Por el contrario la Clase 2 está claramente diferenciada tal como se aprecia en la gráfica.

La Figura 3.14, relaciona las dos mejores características encontradas. En ella se espera encontrar tres nubes de puntos completamente separadas, correspondientes a los 3 grados de calidad.

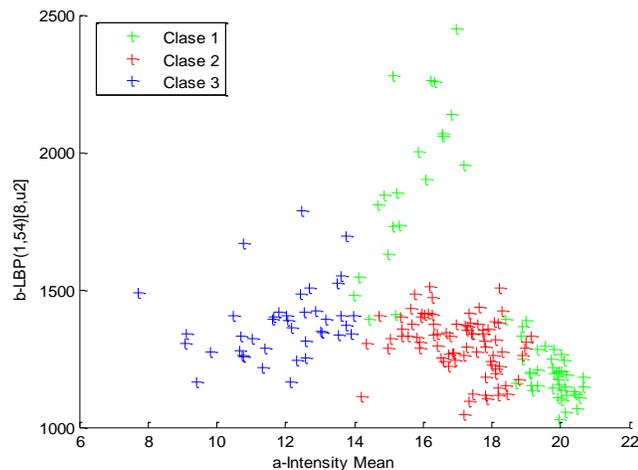


Figura 3.14: Relación entre las dos mejores características encontradas

En la Figura 3.14. es posible diferenciar las zonas correspondientes a las 3 clases o categorías de calidad, con menor traslape entre clases que el observado en la figura que relaciona sólo la mejor característica. En este caso, se observa una mayor zona de intersección entre las clases 1 y 2, que entre las clases 1 y 3. Entre las clases 2 y 3 no se observa traslape, lo que indica que el clasificador, con las dos mejores características, fue capaz de realizar una buena diferenciación.

En la Figura 3.15 se representan en un espacio tridimensional, las tres mejores características encontradas, y al igual que en la figura anterior, se espera encontrar tres nubes de puntos lo más separadas posibles para asegurar un buen porcentaje de aciertos en la posterior clasificación.

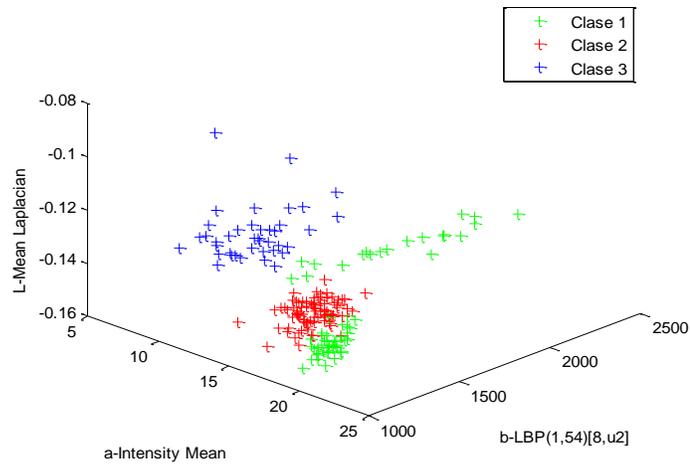


Figura 3.15: Relación entre las tres mejores características encontradas

En la Figura 3.15 nuevamente se observa una zona de intersección entre las clases 1 y 2, tal como en la figura 3.20, que relaciona las dos mejores características, sin embargo, en este caso, el traslape entre clases es menor y la clase 3 se encuentra claramente diferenciada de las otras dos clases, por lo tanto, al graficar las 3 mejores características se verifica el buen porcentaje de aciertos resultante de la clasificación (95%).

Finalmente, la visión computacional aplicada a la determinación de calidad a través del color para sopaipillas es posible, ya que los resultados obtenidos se consideran buenos (sobre un 85% de aciertos). En otros estudios en donde se ha implementado visión computacional, el resultado obtenido en la clasificación ha sido inferior, como en el caso de papas tipo *french fries*, en donde se obtuvo un 87,2% de aciertos (Moya, 2011), por otro lado, en papas chips, se obtuvo un 89,8% (Allen y Rojas, 2009) y en la clasificación de pan tipo hallulla, el porcentaje de aciertos fue de 83% (Quezada, 2011). Esta diferencia en el porcentaje de aciertos del clasificador, se debe en gran medida a la homogeneidad del producto frito y a que en las formulaciones de sopaipillas estudiadas se varió el contenido de zapallo, lo que influyó en su mayor diferenciación por color.

4. CONCLUSIONES

- Se entrenó un panel de 10 jueces para la evaluación sensorial de sopaipillas, los cuales cumplieron con asistencia y puntualidad a las sesiones acordadas durante todo el estudio.
- Se construyó una tabla de valoración de calidad de Karlsruhe específica para sopaipillas, basándose en la Tabla General, la cual se logró en dos sesiones de entrenamiento. La tabla de valoración de calidad específica para sopaipillas fue una herramienta útil que permitió establecer con claridad el grado de calidad de las distintas formulaciones de sopaipillas.
- El diseño central rotacional compuesto permitió obtener distintas formulaciones de sopaipillas (11 corridas), cuyas variables experimentales fueron temperatura de fritura (150 a 190°C) y cantidad de zapallo (5,5 a 27%).
- Fue posible optimizar las variables de respuesta del diseño, mediante el método de superficie de respuesta, obteniendo ajustes adecuados para cada atributo, excepto para forma.
- La optimización múltiple se realizó con los atributos que pudieron ser optimizados de manera individual, tomando como criterio la maximización de la calidad. Esta optimización generó la fórmula optimizada de sopaipilla, con 99,7 g de zapallo para 370 g de masa (27%), frita a 170°C durante 3 min.
- Se logró clasificar automáticamente las imágenes de todas las formulaciones de sopaipillas obtenidas digitalmente. Utilizando la metodología de validación cruzada, se pudo establecer que el clasificador que mejor predice la calidad sensorial, es el clasificador qda, el cual seleccionó las 5 mejores características de intensidad de color, obteniendo un porcentaje de aciertos promedio de 95%. Dado lo anterior, es posible la implementación de un sistema de visión

computacional que permita reconocer automáticamente el grado de calidad de sopapillas en una línea de procesos. Es recomendable hacer uso de este sistema especialmente para atributos externos como color y apariencia/forma, debido a que en este estudio, fueron analizadas solo las características de intensidad de color para clasificar los distintos grados de calidad sensorial.

5. REFERENCIAS

AGUILERA, J. M. Temas en Tecnología de Alimentos, volumen 1. CYTED, Programa iberoamericano de ciencias y tecnología para el desarrollo. Instituto Politécnico Nacional, Santiago, Chile.1997.

AGUILERA, J. STANLEY, D. Microstructural principles of food processing and engineering. 2th ed. Aspen, Maryland, USA. 450 p.1999.

ALLEN P., ROJAS X. Determinación de la calidad y predicción de propiedades físicas en chips de papa frita mediante visión computacional. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Santiago de Chile. 2009.

ÁLVAREZ GIL. La Fritura de los Alimentos. Instituto de Farmacia y Alimentos (IFAL) de la Universidad de La Habana, Ciudad de La Habana, Cuba. 2005.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. Publicado por AOAC International, 15th edición, volumen 1 y 2, USA. 1995.

BERTRAND, M. Utilization of high-oleic rapeseed oil for deep-fat frying of French fries compared to other commonly used edible oils. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 108 (3): 200 – 211. 2007.

BOUCHON P, HOLLINS P, PEARSON M, PYLE DL, TOBIN MJ. Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared micro spectroscopy. J Food Sci. 66:918-23. 2001.

BOUCHON, P. AGUILERA J.M Y PYLE, D.L. Structure oil-absorption relationships during deep fat frying. J Food Sci. 2003.

BROSNAN, T and SUN, D. Improving quality inspection of food products by computer vision- a review. J Food Engineering. 61:3-16. 2003.

CASTELMAN, K.R. Digital Imaging Processing. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. 1996.

CODEX STAN. Norma General del Codex para el Etiquetado de los Alimentos Pre envasados. 1985.

COSTELL, E. Evaluación sensorial de la textura de los alimentos. Laboratorio de Propiedades Físicas y Sensoriales Departamento de Conservación y Calidad de Alimentos, IATA. CSIC. Valencia. 2002.

DERRINGER, G., AND SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables," Journal of Quality Technology, 12, (4): 214-219.1980.

DOBARGANES, C., MÁRQUEZ-RUIZ, G. Y VELASCO, J. Interactions between fat and food during deep-frying. European Journal of Lipid Science and Technology, 102: 521-528. 2000.

ETIMOLOGÍAS DE CHILE. "Sopaipilla" recurso electrónico: <http://etimologias.dechile.net/?sopaipilla>. 2007.

FARKAS, B. E., SINGH, R. P. Y RUMSEY, T. Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model Development J Food Engineering, 29: 211-226. 1996.

FAO/OMS. Consecuencias para la salud de acrilamida en los alimentos. Informe de consulta conjunta FAO/OMS. Ginebra. 2002.

FELLOWS, P. Frying technology, In: Food processing technology: principles and practice, by Cambridge, p. 355-360. Woodhead, England. 1998.

FILLION L, HENRY CJK. Nutrient losses and gains during frying: a review. Inter J Food Scien Nutr.; 49:157-268. 1998.

FOOD-INFO. Pan y productos de panadería. Recurso electrónico: <http://www.food-info.net/es/qa/qa-fi29.htm>. 2011.

GAMBLE M. H., & RICE, P. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. International Journal of Food Science and Technology, 22: 233.1987.

GEBHARDT, S.E., R.H. MATTHEWS. Nutritive value of foods. USDA-HNIS, Home and Garden Bull. 72, U.S. Govern. Printing Office, Washington, DC, U.S.A., 72p. 1988.

GRUPO DE INGENIERIA GRAFICA. El Color. Universidad Politécnica de Madrid. Recurso electrónico: http://gigserver.gig.etsii.upm.es/pdf/doctorado/EL_COLOR.pdf. 2004.

HURTADO, M. Presente y Perspectivas de la Industria de Snack en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N°50. Santiago, Chile. 2001.

HUNT R.W.G., Revised color-appearance model for related and unrelated colors. Col. Res. Appl., 16: 146-165. 1991.

KHURI A.I., CORNELL J.A. Response Surfaces. Marcel Dekker, New York. Mapham W.R. (1975), Some Biometrical Aspects of Soil Calibration. M.Sc. thesis, University of Natal, South Africa. 1987.

KROKIDA, M. K., OREOPOULOU, V., MAROULIS, Z. B. Y MARINOS-KOURIS, D. Color changes during deep fat frying". J Food Engineering, 48: 219-225. 2001.

LEON, J. Estudio de la cinética de color en rodajas de papa frita empleando visión computacional. Memoria para optar al título de ingeniero en alimentos. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad Tecnológica. 2005.

LEON, L., MERY, D., PEDRESCHI, F. Color measurement in L*a*b units from RGB digital images. Food Research International. 39: 1084-1091. 2006.

MERY, D. Inspección Visual Automática. En: Primer Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica. Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Informática. Abril 2002

MERY, D. DA SILVA, R., CALOBA, L.P., REBELLO, J.M.A. Pattern recognition in the automatic inspection of aluminum castings. Insight. 45:475-483. 2003.

MERY, D., y PEDRESCHI, F. Segmentation of color food images using a robust algorithm. J Food Engineering, 66: 353-360. 2005.

MERY D., PEDRESCHI, F. SOTO, A. Automated Design of a Computer Vision System for Food Quality Evaluation. Pontificia Universidad Católica de Chile. Enero 2010.

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

MONTGOMERY. D. Design and Analysis of Experiments. Cap 16 pp 467-403. John Wiley & Sons USA. 1986.

MOYA K. Determinación de la calidad en papas tipo *french fries* mediante visión computacional y estudio de sus propiedades físicas. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Chile. 2011.

NATIONAL COTTONSEED PRODUCTS ASSOCIATION. Aplicaciones. Grasas y Aceites en Panadería. Recurso electrónico: <http://www.cottonseed.com/enespanol/application.asp>. 2002.

PASCHOS, G. Perceptually Uniform Color Spaces for Color Texture Analysis. An Empirical Evaluation. IEEE Transactions on Image Processing, 10 (6): 932-937. 2001.

PAPADAKIS S.E., ABDUL-MALEK S., KAMDEM R.E., YAM K.L. A versatile and inexpensive technique for measuring colour of foods. Food Technology 54:48-51. 2000.

PEDRESCHI, F. MERY, D. MENDOZA, F. AGUILERA J.M. Classification of Potato Chips Using Pattern Recognition. Food Engineering and Physical Properties. 69: 263-269. 2004.

PELEG M. Glass transitions and the physical stability of food powders. The Glassy State in Foods, Eds, J.M.V Blanshard and P.J. Lillford, pp. 435-451. Nottingham. 1993.

PETRYK. E. Los Componentes del Pan. Alimentación Sana. Recurso electrónico: <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/chef/pan%20componentes.htm>. 2011.

QUEZADA N. Clasificación de calidad sensorial de pan tipo hallulla mediante visión computacional. Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Chile. 2011.

REVISTA MÉDICA DE CHILE. Estilos de vida y estado nutricional de trabajadores en empresas públicas y privadas de dos regiones de Chile. v.136 n.11 Santiago de Chile. 2008.

SAGUY, I.S Y PHINTUS, E.J. Oil uptake during deep fat frying: factors and mechanisms. Food Technology. 49(4): 142-145, 152.1995.

SAGUY, I. S. Y DANA, D. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering, 56: 143-152. 2003.

SAHIN, S. Effect of frying parameters on the colour development of fried potatoes. European Food Research and Technology, 211: 165-168. 2000.

SCHMIDT-HEBBEL H. Y COLS. Tabla de Composición Química de los Alimentos Chilenos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Universidad de Chile. Chile 1992.

SINGH, R. P. Heat and Mass Transfer in Foods During Deep-Fat Frying. Food Technology, April, 49: 134-137. 1995.

SPEARS M, VADEN A. Foodservice organizations. New York: Macmillan.1985.

STIER, R. F. Frying as a science - An introduction. European Journal of Lipid Science and Technology, 106: 715-721.2004.

SUN, DA-WEN. Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation. San Diego, California, USA: Academic Press / Elsevier, 608 pp. 2008.

VITRAC, O., TRYSTRAM, G. Y RAOULT-WACK, A.-L. Deep-fat frying of food: heat and mass transfer, transformations and reactions inside the frying material. European Journal of Lipid Science and Technology, 102: 529-538, 2000.

WHITAKER, T.W., G.N. DAVIS. Cucurbits. Botany, cultivation, and utilization. InterScience Pub., New York, U.S.A., 250 p.1962.

WILLIS, B. Funcionalidad de las levaduras en la panificación. PANamericano. 2002

ZHENG, Y., R.X. NING, J.H. LIUET AND L. DU. Survey on key techniques of virtual assembly.J.Syst.Simulat. 18:649-654.2006.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha de respuesta test triangular

FICHA DE RESPUESTA N°1

Nombre: _____

Fecha: _____

Set:

Test: Triangular

Se presentan dos muestras iguales y una distinta. Determinar qué muestra del trío es distinta.

A qué atribuye lo distinto en la muestra que escogió.

Anexo 2: Ficha de respuesta test de ordenamiento de colores

FICHA DE RESPUESTA N°2

Nombre: _____ Fecha: _____

Por favor ordene los tubos que contienen las soluciones coloreadas de acuerdo al aumento de intensidad de color, de izquierda a derecha.

Anote en la línea inferior la letra de cada tubo en el orden que haya establecido.

Set: (Verde)

(Más débil) _____ (Más intenso)

Set: (Amarillo)

(Más débil) _____ (Más intenso)

Set: (Rojo)

(Más débil) _____ (Más intenso)

Anexo 3: Ficha de respuesta Umbral de Identificación.

FICHA DE RESPUESTA N°3

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Deguste cuidadosamente la serie de 10 muestras entregadas; corresponden a concentraciones crecientes de **uno de los gustos básicos** (dulce, ácido, salado o amargo).

No está permitido volver atrás en la degustación. Enjuague con agua entre muestras. **No trague las muestras.** Describa el gusto y factores que Ud. perciba de cada muestra (por ejemplo: astringente, áspero, seco, etc.) e informe acerca de la intensidad según la escala siguiente:

0 = Igual a agua.

? = Diferente del agua, pero el gusto no es identificable.

) (= Se reconoce de qué gusto se trata. Corresponde al umbral de identificación.

1 = Débil

2 = Medio

3 = Intenso, marcado

4 = Muy intenso, muy marcado

5 = Extremadamente intenso, extremadamente marcado.

Solución N°	Descripción del gusto y factores percibidos	Intensidad (en escala 0 a 5, o símbolos)(o ?)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Anexo 4: Ficha de respuesta test descriptivo para entrenamiento de jueces

FICHA DE RESPUESTA N° 4

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Por favor describa lo más detalladamente que pueda cada una de las características del alimento.
NO COLOQUE PALABRAS como “agradable”, “desagradable”, “bueno” o “malo”.

ATRIBUTO	MUESTRA	DESCRIPCION
Color externo	A	
	B	
	C	
Color interno	A	
	B	
	C	

Apariencia/ Forma	A	
	B	
	C	
Aroma	A	
	B	
	C	
Sabor	A	
	B	
	C	
Textura	A	
	B	
	C	

Anexo 5: Método gravimétrico de determinación de humedad (AOAC, 1995)

Objetivo

Determinar el contenido de agua de la muestra.

Alcance y campo de aplicación

El método es aplicable a alimentos sólidos, líquidos o pastosos no susceptibles a degradación al ser sometidos a temperaturas superiores a 105 °C. Este método es inadecuado para productos ricos en sustancias volátiles distintas del agua.

Fundamento

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire.

Material y equipo

Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
Cápsulas de vidrio, porcelana o metálica, con tapa
Desecador con deshidratante adecuado
Estufa regulada a 103±2 °C
Material usual de laboratorio

Procedimiento

Colocar la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.

Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m1).

Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m2).

Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C x 5 horas.

Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.

Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m3).

Cálculo y expresión de resultados

La humedad del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} \times 100$$

Donde:

m1: masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos

m2: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos

m3: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos

Anexo 6: Calibración sistema de visión computacional

Se tomaron fotografías a 60 cartulinas de colores previamente enumeradas, estas fotografías se tomaron con una cámara digital Canon Powershot G3 de 4 Mega píxeles y se procesaron con el programa de disparo remoto PS Remote Capture (Remote Capture versión 2.6.0.15, Canon Cámara Library versión 5.0.0.13).

Luego, las imágenes se transformaron a formato tif y se convirtieron con el programa de Matlab 7.0, *Get RGB*, en valores RGB. Posteriormente, los valores RGB de las cartulinas, fueron transformados a L^*a^*b , mediante el programa de Matlab 7.0, *RGB to L*a*b*.

Finalmente, se midieron con un colorímetro (HunterLab, MiniScan XE, USA) directamente los valores L^*a^*b del set de cartulinas, estos valores, se compararon con los valores L^*a^*b entregados por la toma de fotografías y la conversión anteriormente descrita. Con esto, se realizó una correlación entre los valores L^*a^*b obtenidos con el colorímetro y los valores L^*a^*b de la transformación de las imágenes digitales, obteniendo 3 curvas de calibración:

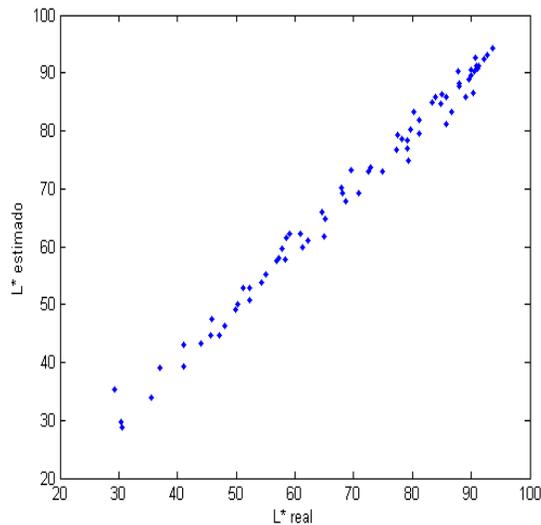


Figura A.1: Gráfico de L^* reales v/s L^* estimados

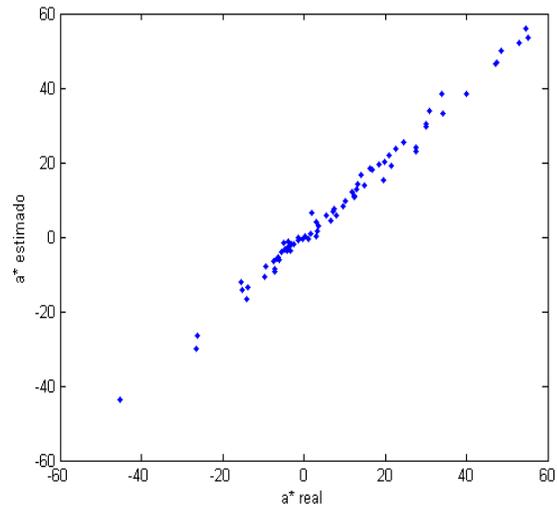


Figura A.2: Gráfico de a*reales v/s a*estimados

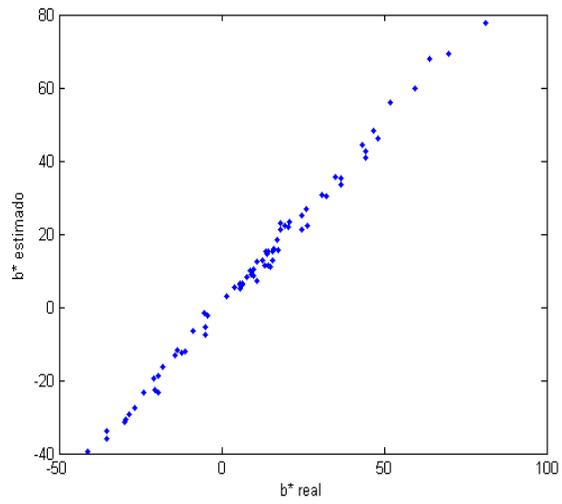


Figura A.3: Gráfico de b*reales v/s b*estimados

Anexo 7: Programa de disparo remoto PS Remote.

Este programa se utiliza para calibración y posterior manejo de la cámara y toma de fotografías de las muestras. A continuación se presentan los ajustes realizados:

Ajustes de disparo

- Modo de disparo: Manual
- Velocidad de obturación Tv: 1/15
- Valor de abertura Av: 8
- Velocidad ISO: 100
- Balance de blancos: Cloudy
- Efecto de fotografía : Apagado
- Flash: Apagado

Ajustes de ángulo

- Tamaño /Calidad: RAW
- Distancia focal: Auto

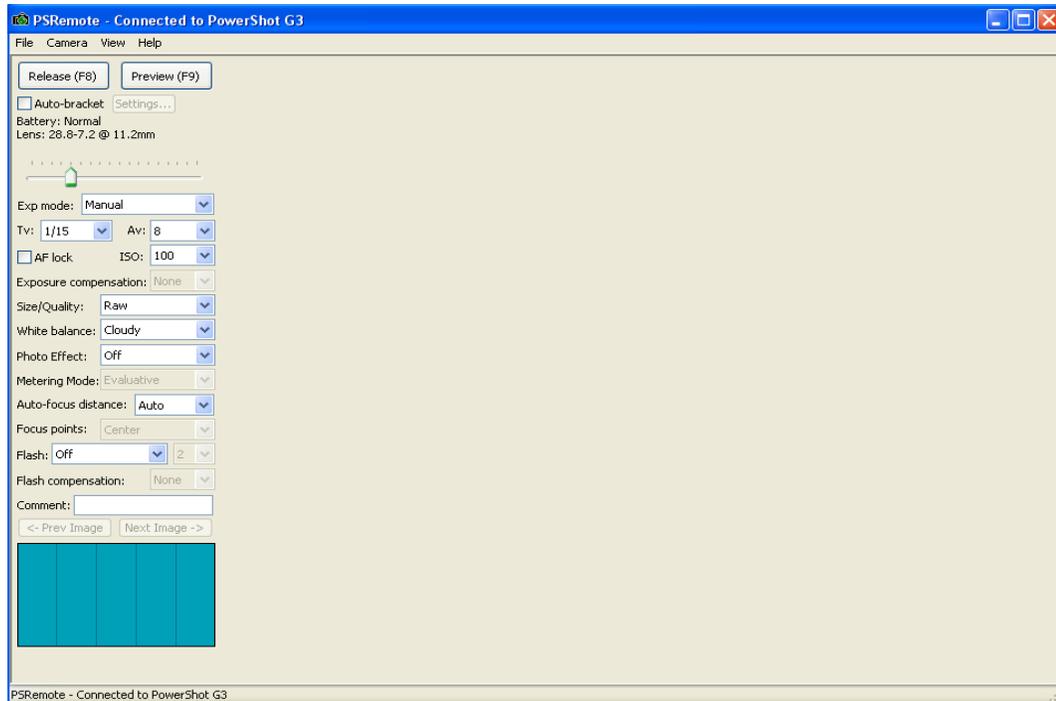


Figura A.4: Programa de disparo remoto PS Remote

Anexo 8: Programa Zoom Browser para procesamiento de imágenes.

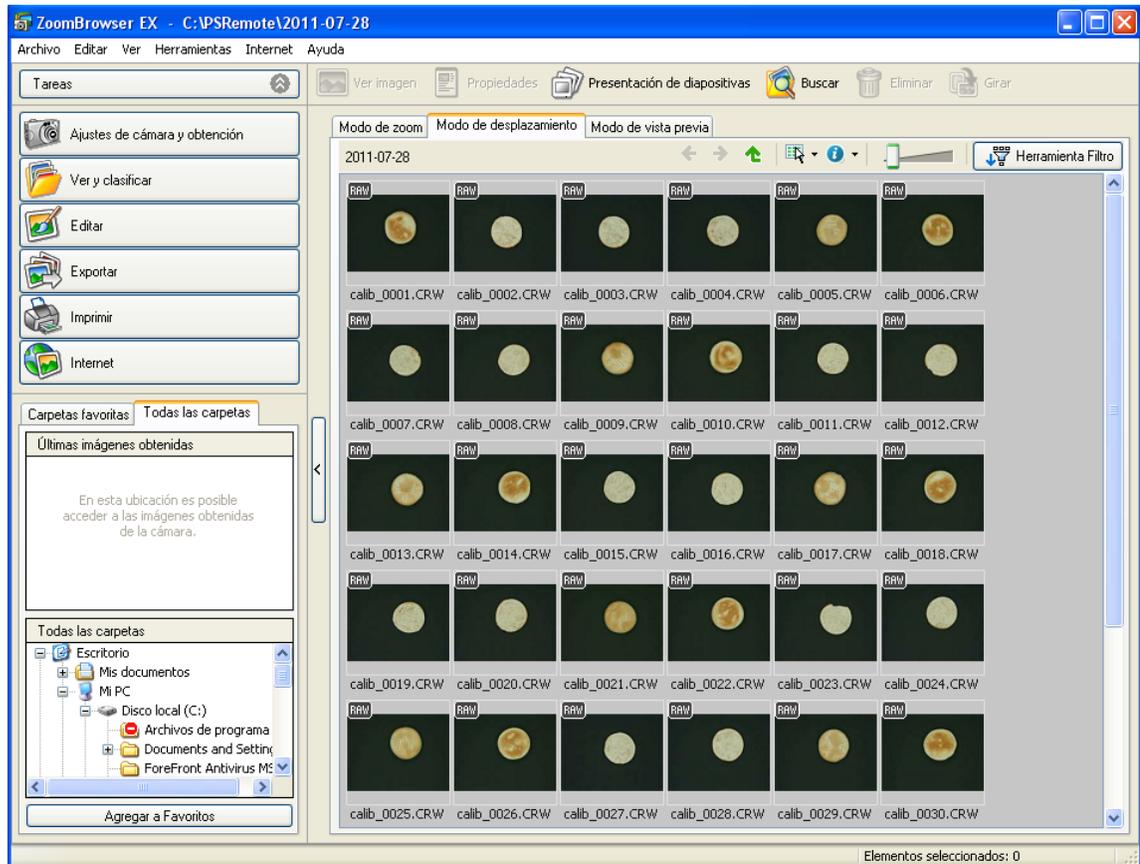


Figura A.5: Programa Zoom Browser

Anexo 9: Clasificación de imágenes

Para encontrar un clasificador, el programa debe en primer lugar, seleccionar características, para lo cual utilizo el discriminante de Fisher (sfs-fisher) y el comando de rango de características (Rank-roc). El discriminante Fisher mide la separabilidad de las clases, para esto maximiza la dispersión entre las clases mientras que se minimiza la dispersión de cada clase (Chiang et al., 2002), por otro lado, Rank-roc, selecciona ocupando el rango de las características clave de los criterios de separabilidad de clases.

Las características que se analizaron en las imágenes fueron: Local binary patterns (lbp), que son características de textura y Basic intensity features (basic int), las cuales son características básicas en intensidad de color, que se analizaron en los tres canales (l, a y b).

Una vez escogidas las características, se escogen los clasificadores, en este caso, fueron cuatro: dmin, maha, lda y qda

- **Dmin: Distancia mínima:** Se clasifica un pixel en una categoría incluyéndolo en la más cercana a él, es decir en aquella que minimice la distancia entre ese pixel y el centroide de clase. Esta distancia no es una distancia geográfica sino espectral, como consecuencia de comparar cada pixel con los del centro de las distintas categorías, para todas las bandas que intervienen en el análisis (García, P., 2005).
- **Maha: Distancia de Mahalanovis:** Es una medida de distancia útil para determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales (García, P., 2005).
- **Lda: Análisis discriminante lineal:** El análisis discriminante lineal se puede considerar como un análisis de regresión, donde la variable dependiente es categórica. Las categorías de la variable son la etiqueta de cada uno de los grupos. Las variables independientes son continuas y determinan a que grupos pertenecen las muestras. Se pretende encontrar relaciones lineales entre las variables continuas que mejor discriminen en los grupos dados a las muestras (Munisch, J. 2007).
- **Qda: Análisis discriminante cuadrático:** Un clasificador cuadrático se utiliza en el aprendizaje automático y la clasificación estadística de mediciones separadas de dos o más clases de objetos o acontecimientos de una superficie cuadrática. Se trata de una

versión más general del clasificador lineal. El análisis discriminante cuadrático (QDA) está estrechamente relacionado con el análisis discriminante lineal (LDA), donde se supone que las mediciones se distribuyen normalmente.

Finalmente, las características extraídas de cada región fueron analizadas y asignadas a una de las clases definidas (1, 2 o 3).

Anexo 10: Resultados de test de selección de jueces

a) Identificación de umbral salado

En la Tabla se presentan los resultados obtenidos en la selección de jueces del panel sensorial, que corresponden a la identificación de umbral de gusto salado.

Tabla A.1: Resultados por cada juez en la identificación de umbral de gusto salado.

Juez	Umbral de identificación de gusto salado (g NaCl/100ml)	Aciertos %
1	0,08	70
2	0,06	100
3	0,06	100
4	0.06	100
5	0,06	100
6	0,1	70
7	0,04	100
8	0,04	100
9	0,06	100
10	0,06	100
11	0.08	70
12	0.06	100
13	0.08	70
14	0,04	100

Entre un 0,04 a 0,06 g NaCl/100 ml, se asigna un 100% de aciertos, entre un 0,07 a 0,1 g NaCl/100 ml, se asigna un 70% de aciertos.

El juez pasa a la siguiente etapa con un porcentaje de acierto igual o superior de un 70%, por lo tanto, los 14 jueces pasaron a la siguiente etapa.

b) Ordenamiento de colores

En la Tabla A.2 se presentan los resultados para el test de ordenamiento de colores, en la cual se observa el porcentaje de aciertos en cada color y el promedio de aciertos totales.

Tabla A.2: Aciertos de ordenamiento de color rojo, verde y amarillo y acierto general.

Juez	Rojo %	Verde %	Amarillo %	Acierto promedio %
I	10	80	30	40
II	60	80	50	63
III	50	60	50	53
IV	50	50	30	43
V	80	80	40	67
VI	30	80	40	50
VII	50	50	50	50
VIII	80	100	40	73
IX	50	60	40	50
X	60	80	80	73
XI	80	80	50	70
XII	100	80	80	87
XIII	60	60	20	47
XIV	80	80	50	70

Nota: Como se observa en la tabla, los tres jueces marcados de color rojo presentaron un promedio inferior al 50% requerido, por lo que no cumplen con los requisitos exigidos en este test, para formar parte del panel.

c) Test triangular

Los resultados de los 10 test triangulares con distintos productos se observan en la tabla A.3 en donde se observan los aciertos, ausencias y total de tríos evaluados por cada juez. El porcentaje de aciertos correspondió a las evaluaciones en que el juez estuvo presente y acertó.

Tabla A.3: Resumen de resultados de test triangulares

Juez	Aciertos	Ausencias	Total de tríos evaluados por cada juez	Aciertos %
I	3	3	7	43
II	10	0	10	100
III	6	1	9	67
IV	4	4	6	67
V	8	0	10	80
VI	5	0	10	50
VII	8	0	10	80
VIII	5	1	9	56
IX	5	0	10	50
X	5	0	10	50
XI	6	3	7	86
XII	5	4	6	83
XIII	7	0	10	70
XIV	5	3	7	71

Nota: Existió sólo un juez (marcado de color rojo) que obtuvo un porcentaje inferior al 50% de aciertos, por lo que no cumple con los requisitos exigidos en este test.

Anexo 11

Tabla A.4: Agrupación de datos para la elaboración de la Tabla con Escala Karlsruhe Específica para Sopaipillas

Atributo	Descriptor	Frecuencia	Dirección de la característica	Grado de calidad
Color	Tostado Intenso	13	-	3
	Típico, esperado	16	+	1
	Pálido	13	-	3
	Artificial/Atípico	9	-	3
	Heterogéneo	8	-	3
Color miga	Naranja Intenso	12	+	1
	Pálido	10	+/-	2
	Típico, específico	11	+	1
	Muy pálido	7	-	3
	Artificial	9	-	3
Apariencia /forma	Uniforme	7	+	1
	Conservada	18	+/-	2
	Modificada	2	-	3
	Simétrica, lisa	7	+	1
	Dañada	7	-	3
	Manchada	2	+/-	2
	Inflada	2	+/-	2
	Esperada, típica	5	+	1
	Irregular	7	-	3
Deforme	2	-	3	
Aroma	A zapallo	2	+	1
	A fritura	11	+/-	2
	Tostado	4	-	3
	Suave/plano	5	+/-	2
	Característico	9	+	1
	Intenso (fritura)	10	-	3
Sabor	A zapallo	11	+	1
	A aceite	15	-	3
	Intenso (zapallo)	6	+	1
	Tostado	2	-	3
	Atípico	3	-	3
	Neutro	4	+/-	2
	Esperado, típico	4	+	1
Textura	Blanda	19	+/-	2
	Crujiente	10	+	1
	Firme	11	+	1
	Típica, esperada	12	+	1
	Seca	1	+/-	2
	Aceitosa	4	-	3
	Dura	10	-	3
	Atípica	1	-	3
	Esponjosa	4	+/-	2
	Añeja	1	-	3

Anexo 12

Tabla A.5: Tiempos de fritura y humedad de las formulaciones del diseño experimental y muestras comerciales.

Formulación (Cantidad de zapallo/temperatura)	Tiempo de fritura (min)	% Humedad
32 g/156°C	3,5	23,9
	4,5	22,5
	5,5	21,74
32 g/184°C	2,5	26,1
	3	24,7
	3,5	23,9
60 g/170°C	3	23,5
	4	22,7
	5	22,2
60 g/190°C	2,5	24,6
	3	24,3
	3,5	23,9
20 g/170°C	3	25,5
	4	24,2
	5	23,6
60 g/150°C	4	25,1
	4,5	24,9
	5,5	23,6
88,4 g/184°C	2,5	24,9
	3	24,6
	3,5	24,9
100 g/170°C	3	23,9
	4	23,2
	5	22,8
88,4 g/156°C	4	22,5
	4,5	22,3
	5,5	21,9
Panadería Castaño	-	22,31
Carro	-	23,04

Anexo 13: Resultado de la evaluación sensorial de todas las formulaciones con la tabla de valoración de calidad específica para sopaipillas.

Formulación 1: 32 g zapallo, 156° C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	3	7	6	5	4
II	4	7	5	4	5
III	3	6	5	4	5
IV	4	6	6	4	5
V	3	6	5	5	4
VI	4	6	6	4	5
VII	4	7	5	4	5
VIII	3	7	5	4	6
IX	3	6	6	4	5
Promedio	3,4	6,4	5,4	4,2	4,9
Grado de calidad	3				

Formulación 2: 32 g zapallo, 184°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	5	7	4	4	6
II	7	8	5	4	5
III	6	7	6	5	5
IV	6	7	4	5	6
V	7	8	4	5	5
VI	6	6	4	4	5
VII	6	7	5	5	5
VIII	5	7	5	5	6
IX	5	7	5	6	5
Promedio	5,9	7,1	4,7	4,8	5,3
Grado de calidad	2				

Formulación 3: 60 g zapallo, 170°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	5	5	6	5	6
II	6	6	5	6	6
III	6	5	6	6	7
IV	7	5	7	6	6
V	5	5	7	7	6
VI	6	6	6	6	6
VII	6	6	6	6	7
VIII	7	5	6	7	5
IX	7	5	7	5	6
Promedio	6,1	5,3	6,2	6,0	6,1
Grado de calidad	2				

Formulación 4: 60 g zapallo, 190°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	5	6	4	6	6
II	6	7	4	5	6
III	5	7	3	5	7
IV	6	8	4	4	5
V	5	7	4	4	7
VI	5	7	3	5	6
VII	6	8	5	5	6
VIII	6	8	3	6	5
IX	5	7	3	6	5
Promedio	5,4	7,2	3,7	5,1	5,9
Grado de calidad	2				

Formulación 5: 20 g zapallo 170°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	6	7	5	5	6
II	5	6	6	4	7
III	5	7	5	4	6
IV	6	7	6	5	7
V	5	6	5	6	6
VI	6	6	6	5	6
VII	5	7	6	5	6
VIII	6	7	6	6	6
IX	6	7	7	5	6
Promedio	5,6	6,7	5,8	5,0	6,2
Grado de calidad	2				

Formulación 6: 60 g zapallo, 170°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	7	6	6	7	6
II	7	6	5	6	6
III	8	5	6	6	7
IV	7	5	7	6	6
V	7	6	7	7	6
VI	7	6	6	5	6
VII	8	5	6	6	5
VIII	6	5	6	7	6
IX	7	5	7	5	5
Promedio	7,1	5,4	6,2	6,1	5,9
Grado de calidad	2				

Formulación 7: 60 g zapallo, 150°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	3	7	5	4	5
II	4	7	4	5	5
III	3	6	4	3	5
IV	3	6	5	5	4
V	4	6	5	4	4
VI	3	7	4	5	4
VII	4	6	4	3	5
VIII	3	7	5	3	4
IX	3	7	5	5	5
Promedio	3,3	6,6	4,6	4,1	4,6
Grado de calidad	3				

Formulación 8: 60 g zapallo, 170°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	7	6	6	7	6
II	6	6	5	6	6
III	6	5	6	6	7
IV	5	5	7	6	6
V	5	6	7	7	6
VI	6	6	6	5	6
VII	6	4	6	6	5
VIII	6	5	6	7	6
IX	6	5	7	5	5
Promedio	5,9	5,3	6,2	6,1	5,9
Grado de calidad	2				

Formulación 9: 88,4 g zapallo, 184°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	7	6	7	7	7
II	6	8	7	8	7
III	7	8	6	7	7
IV	7	8	6	8	8
V	8	8	7	6	6
VI	7	8	7	7	7
VII	6	6	6	7	7
VIII	6	7	7	8	6
IX	7	8	7	6	6
Promedio	6,8	7,4	6,7	7,1	6,8
Grado de calidad	1				

Formulación 10: 100 g zapallo, 170°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	8	6	7	7	7
II	8	8	8	7	8
III	9	8	7	6	7
IV	9	8	8	7	8
V	8	9	7	6	8
VI	7	8	8	6	8
VII	8	6	7	7	8
VIII	8	7	7	6	7
IX	7	8	8	7	8
Promedio	8,0	7,6	7,4	6,6	7,7
Grado de calidad	1				

Formulación 11: 88,4 g zapallo, 156°C					
Juez	Color	Forma	Aroma	Sabor	Textura
I	6	7	6	6	7
II	8	9	6	5	7
III	8	8	7	7	6
IV	7	8	7	7	8
V	8	9	7	8	7
VI	6	8	7	6	7
VII	7	8	7	7	7
VIII	7	7	6	6	6
IX	7	7	6	8	6
Promedio	7,1	7,9	6,6	6,7	6,8
Grado de calidad	1				

Anexo 14: Análisis de varianza para muestras y jueces considerando todos los jueces

Tabla A.6: Análisis de varianza para muestras y jueces

Atributo	Muestras		Jueces	
	P-Value (Nivel de significancia)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)	P-Value (Nivel de significancia)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)
Color	0	SI	0,6089	NO
Apariencia/forma	0	SI	0,0619	NO
Aroma	0	SI	0,0934	NO
Sabor	0	SI	0,4625	NO
Textura	0	SI	0,0040	SI

Anexo 15

Tabla A.7: Pruebas de Múltiple Rangos para Textura para Jueces (Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD)

Jueces	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
10	11	5,63636	0,169155	X
9	11	5,72727	0,169155	X
5	11	5,90909	0,169155	XX
6	11	6,0	0,169155	XX
7	11	6,0	0,169155	XX
1	11	6,0	0,169155	XX
2	11	6,18182	0,169155	XX
4	11	6,27273	0,169155	XX
3	11	6,27273	0,169155	XX
8	11	6,63636	0,169155	X

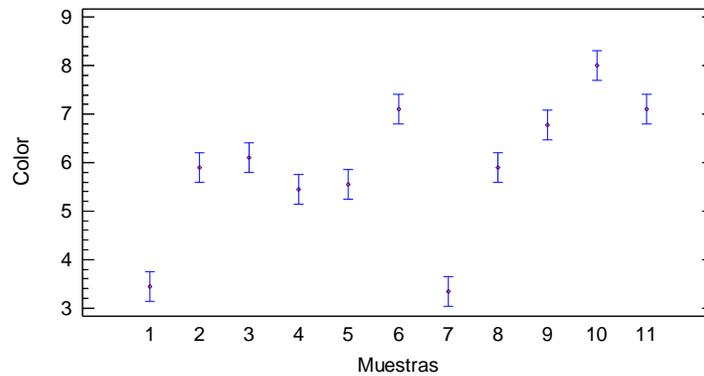
Anexo 16: Análisis de varianza para muestras y jueces luego de eliminar un juez.

Tabla A.8: Análisis de Varianza para Color

<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:Jueces	2,72727	8	0,340909	0,80	0,6013
B:Muestras	189,879	10	18,9879	44,76	0,0000
RESIDUOS	33,9394	80	0,424242		
TOTAL (CORREGIDO)	226,545	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD

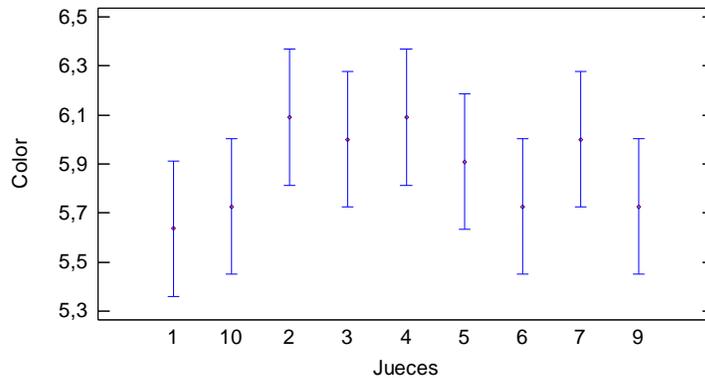
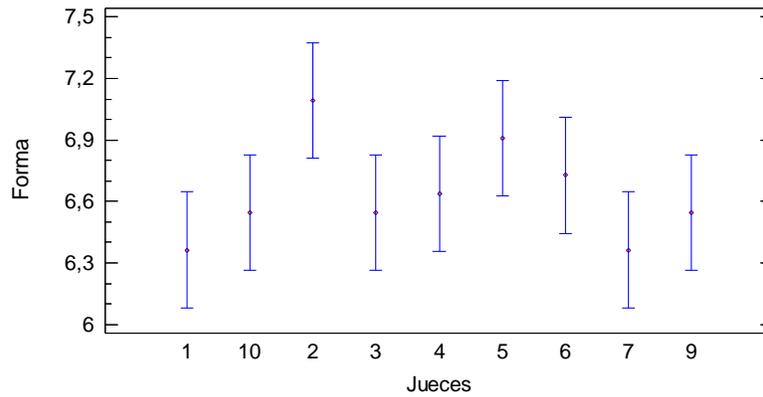


Tabla A.9: Análisis de Varianza para Forma

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Jueces	5,09091	8	0,636364	1,44	0,1929
B:Muestras	76,4646	10	7,64646	17,30	0,0000
RESIDUOS	35,3535	80	0,441919		
TOTAL (CORREGIDO)	116,909	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD

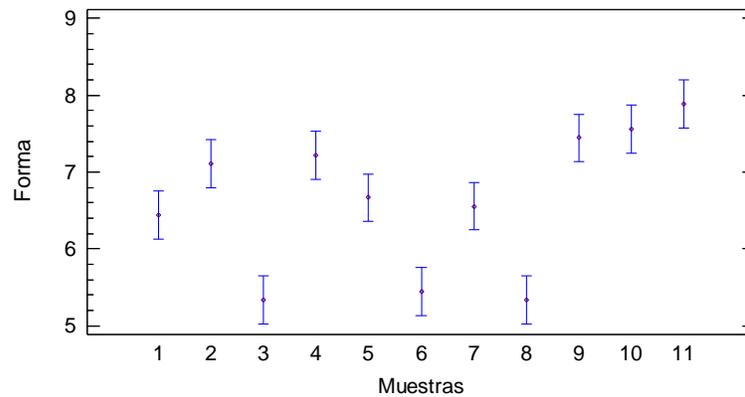
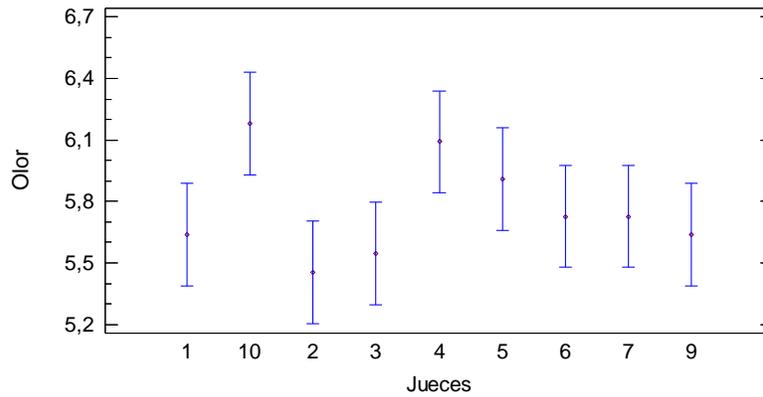


Tabla A.10: Análisis de Varianza para Aroma

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Jueces	5,29293	8	0,661616	1,90	0,0709
B:Muestras	108,545	10	10,8545	31,22	0,0000
RESIDUOS	27,8182	80	0,347727		
TOTAL (CORREGIDO)	141,657	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD

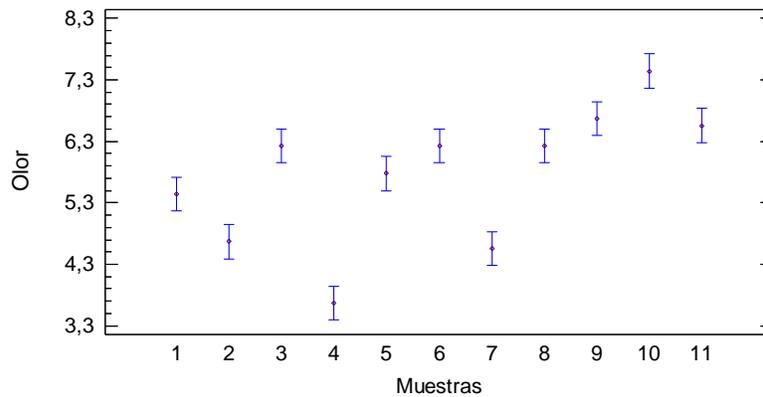
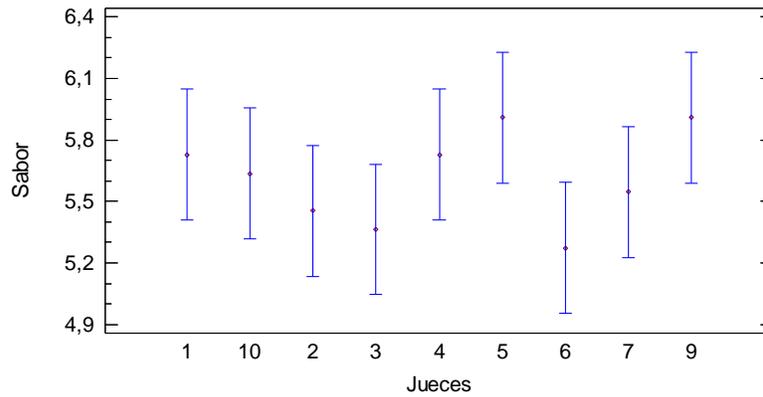


Tabla A.11: Análisis de Varianza para Sabor

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Jueces	4,50505	8	0,563131	1,00	0,4464
B:Muestras	93,6364	10	9,36364	16,55	0,0000
RESIDUOS	45,2727	80	0,565909		
TOTAL (CORREGIDO)	143,414	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD

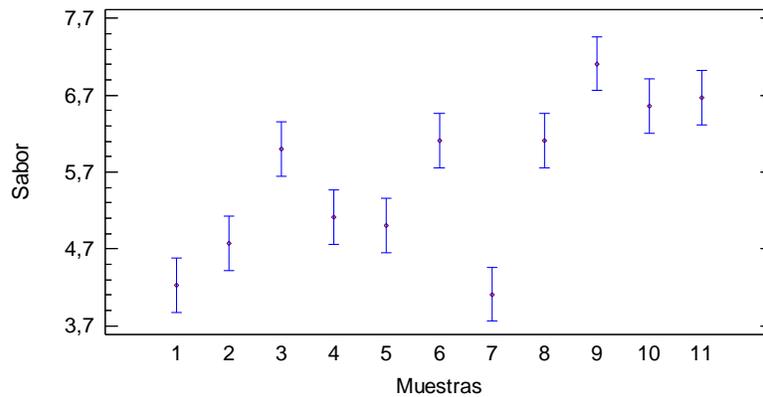
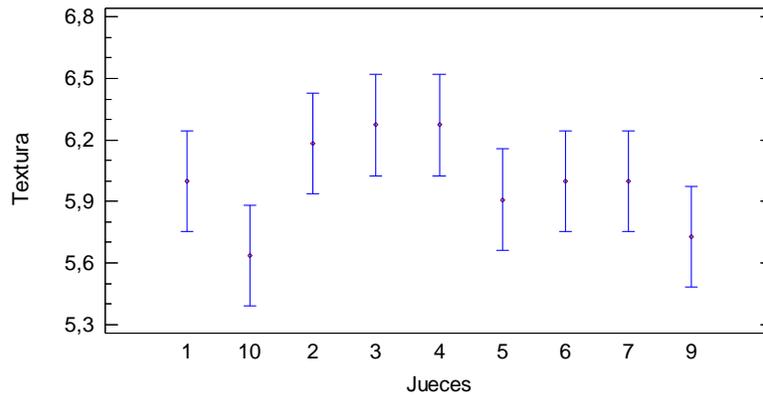


Tabla A.12: Análisis de Varianza para Textura

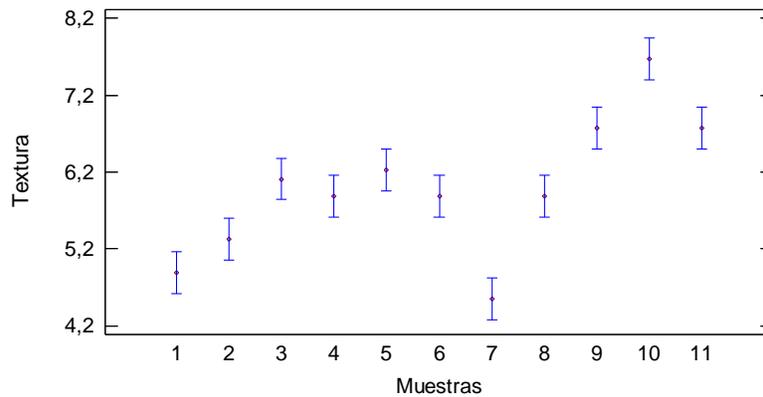
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Jueces	4,36364	8	0,545455	1,62	0,1327
B:Muestras	70,6667	10	7,06667	20,96	0,0000
RESIDUOS	26,9697	80	0,337121		
TOTAL (CORREGIDO)	102,0	98			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



Anexo 17: Optimización del parámetro forma

En la figura A6 se aprecia el diagrama de Pareto para el atributo forma. Observando solo el diagrama, es posible deducir que el factor cuadrático de cantidad de zapallo (BB), es el que influye de mayor manera en la respuesta de este atributo, junto con el factor cuadrático de temperatura (AA), obteniendo la ecuación (5), con una buena correlación, $R^2 = 0,98$. Sin embargo, como se ve en la figura A7, su superficie no se ajusta adecuadamente.

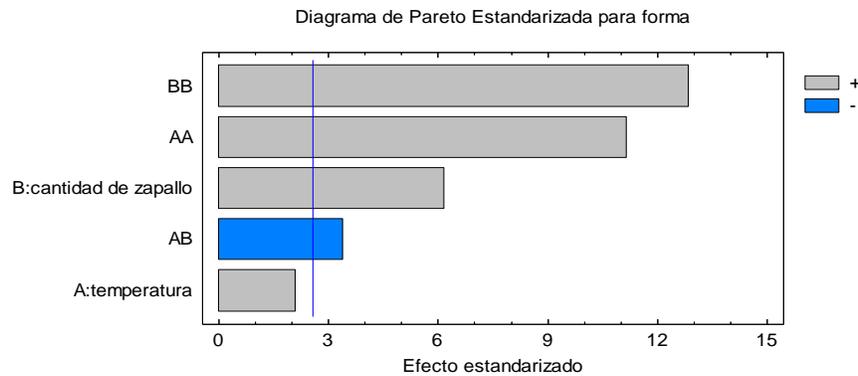


Figura A.6: Diagrama de Pareto para Forma

$$(5) \text{ Forma} = 121,437 - 1,379 \cdot \text{temperatura} - 0,001 \cdot \text{cantidad de zapallo} + 0,004 \cdot \text{temperatura}^2 - 0,0007 \cdot \text{temperatura} \cdot \text{cantidad de zapallo} + 0,001 \cdot \text{cantidad de zapallo}^2$$

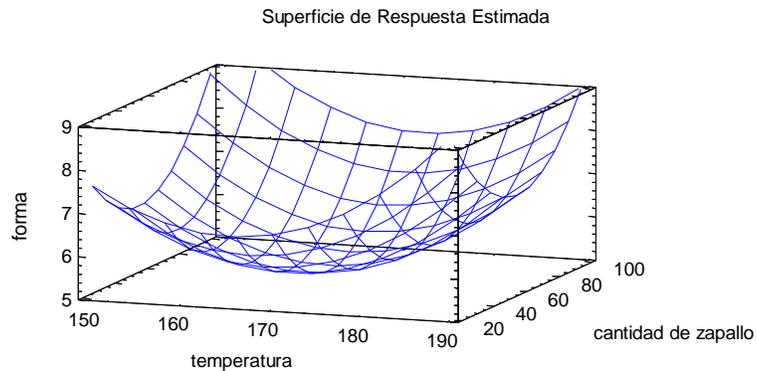


Figura A.7: Superficie de respuesta para Forma