



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

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.

Salomé Mariotti C.

Departamento de Ingeniería
Química y de Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica.

**“CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD SENSORIAL DE PAN TIPO
HALLULLA MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL”**

Memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos

NATALIA QUEZADA CATALÁN

Santiago- Chile

2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a familia (Padres: Alicia, Juan; Hermanos: Mauricio, Jorge) que me comprenden y acompañan día a día. Gracias por su confianza y amor.

A mis amigas, Alejandra y Daniela, que sin ellas la tarea hubiese sido difícil, siendo un apoyo fundamental para que el trabajo tuviese frutos, ya que una parte de la tesis fue con ellas. A los “panelistas estrellas”, compañeros de universidad, que sin ellos no tendría resultados en la parte sensorial, que fueron a evaluar incluso en días de paro o que no tenían que ir a la universidad.

A mi Directora de Tesis y Profesora Patrocinante, Andrea Bungler, por su constante apoyo, confianza y dedicación. A Salomé Mariotti, por la dedicación en mi tema de Memoria. Al Profesor Franco Pedreschi por la confianza depositada, y a Iván Lillo, por su ayuda y conocimientos entregados en el área de visión computacional.

Finalmente agradezco al Proyecto FONDECYT N° 1110510 por el financiamiento otorgado para la realización de esta memoria y a todas aquellas personas de la Universidad Católica que me ayudaron de una u otra forma, secretarías y auxiliares.

LA PRESENTE MEMORIA ES PARTE DEL PROYECTO FONDECYT 1110510
TITULADO “TECHNOLOGIES FOR FURAN MITIGATION IN HIGHLY
CONSUMED CHILEAN FOODS PROCESSED AT HIGH TEMPERATURES”

INDICE

RESUMEN	xii
SUMMARY	xiv
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 Materias primas para elaboración de hallulla	4
1.1.1 Harina	4
1.1.2 Sal.	4
1.1.3 Levadura	4
1.1.4 Agua.....	5
1.1.5 Azúcar.....	5
1.1.6 Leche	6
1.1.7 Materia Grasa	6
1.2 Cambios Físicos y Químicos durante el amasado.....	7
1.3 Cambios Físicos Y Químicos de la Masa Panadera durante el amasado.....	7
1.4 Características Físico-Químicas típicas de una hallulla del mercado	9
1.5 Característica de un pan para una buena calidad sensorial.....	10
1.6 Técnica de Visión Computacional	11
1.6.1 Adquisición de la imágenes	12
1.6.2 Pre-procesamiento.....	12
1.6.3 Segmentación de la imagen.....	12
1.6.4 Extracción de características	12
1.6.5 Clasificación	12
1.7 Hipotesis.....	13
1.8 Objetivos.....	14
1.8.1 Objetivo General.....	14
1.8.2 Objetivos Específicos	14

2	METODOLOGÍA	15
2.1	Formulaciones de pan tipo hallulla	15
2.2	Entrenamiento del panel	16
2.2.1	Elección del panel	16
2.2.2	Selección del panel	16
2.2.2.1	Identificación de umbral salado	16
2.2.2.2	Test de ordenamiento de colores	18
2.2.2.3	Test triangular	19
2.2.3	Entrenamiento propiamente del panel	20
2.3	Método de Superficie de Respuesta	22
2.3.1	Análisis de resultados	23
2.4	Evaluación Sensorial de las corridas diseño experimental	23
2.5	Determinación de humedades, en las 11 corridas	24
2.6	Caracterización de la formula optimizada	25
2.7	Visión computacional	25
2.7.1	Adquisición de imágenes	25
2.7.2	Calibración	26
2.7.3	Toma de fotografías	26
2.7.4	Segmentación de Imagenes	26
2.7.5	Extracción de características, clasificación y validación cruzada	26
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1	Fórmula para elaborar pan tipo hallulla	28
3.1.1	Diagrama de bloque: Elaboración de hallullas	29
3.1.2	Etapas del proceso de elaboración de hallullas	30
3.2	Entrenamiento del panel	31
3.2.1	Elección del panel	31
3.2.2	Selección del panel	31
3.2.3	Entrenamiento propiamente del panel	32
3.3	Diseño experimental	34
3.4	Evaluación Sensorial de las corridas del diseño	35
3.5	Optimización del diseño experimental	36
3.5.1	Color	37

3.5.2	Olor	38
3.5.3	Sabor	39
3.5.4	Textura.....	41
3.5.5	Optimización múltiple	42
3.6	Determinación de las Humedades	44
3.7	Caracterización de fórmula optimizada	45
3.8	Determinación de calidad mediante visión computacional	46
4	CONCLUSIONES.....	50
5	BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS.....		55
	ANEXO 1: Fichas de análisis sensorial	55
	Ficha de Respuesta N°1 Umbral de Identificación.....	55
	Ficha de Respuesta N°2 Ranking de Colores	56
	Ficha de respuesta N°3 Test Triangular	57
	Ficha de respuesta N°4 Descripción de productos	58
	ANEXO 2: Método de AOAC, para determinar humedad	60
	ANEXO 3: Matlab.....	61
	Toma de Fotografía.....	61
	ANEXO 4: Curvas de calibración	63
	ANEXO 5: Selección del panel.....	65
	Identificación de umbral salado.....	65
	Test de ordenamiento de colores	65
	Test triangular.....	66
	ANEXO 6: Descripción de atributos para pan tipo hallulla.....	67
	ANEXO 7: Resultados de evaluación sensorial, de las 11 corridas	68
	ANEXO 8: Resultados, del método de superficie de respuesta en Statgrafiphs.....	74
	ANEXO 9: Superficie de apariencia.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Principales consumidores de pan a nivel mundial.....	1
Tabla N°2: Consumo de alimentos de acuerdo al nivel socio-económico, de niños entre 9-12 años de edad, de la región Metropolitana de Santiago, Chile.....	3
Tabla N°3: Características físico-químicas de una hallulla.....	10
Tabla N°4: Formulación inicial de pan tipo hallulla.....	15
Tabla N°5: Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado.....	17
Tabla N°6: Ordenamiento de colores.....	18
Tabla N°7: Aplicación de los 10 test triangulares.....	19
Tabla N°8: Primera sesión descriptiva.....	20
Tabla N°9: Grados de calidad, calificación verbal y calificación numérica.....	21
Tabla N°10: Formulación final de pan tipo Hallulla.....	28
Tabla N°11: Resumen de la selección panel.....	31
Tabla N°12: Tabla de valoración de calidad de hallulla con escala Karlsruhe.....	33
Tabla N°13: Tiempos de fermentación y tiempos de horneado en minutos del diseño experimental.....	34
Tabla N°14: Modelo central rotacional compuesto.....	34
Tabla N°15: Resultados ANOVA para muestras y jueces.....	35

Tabla N°16: Puntaje por atributo de las corridas experimentales.....	36
Tabla N°17: Factores óptimos para cada atributo y optimización múltiple.....	42
Tabla N°18: Humedades de las corridas.....	44
Tabla N°19: Datos comparativos para pan tipo hallulla optimizado y comercial.....	45
Tabla N°20: Análisis Químico Proximal de pan tipo Hallulla.....	45
Tabla N°21: Mejores características encontrada por el programa Matlab.....	46
Tabla N°22: Resultados por cada juez en la identificación de umbral de gusto salado.....	65
Tabla N°23: Resultados del ordenamiento de colores.....	65
Tabla N°24: Resultados de los test triangulares.....	66
Tabla N°25: Corrida: 0 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de Calidad 1....	68
Tabla N°26: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de Calidad 1...68	
Tabla N°27: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1...69	
Tabla N°28: Corrida: 2,9 min. Fermentado, 17,2 min. Horneado, grado de calidad 2.....	69
Tabla N°29: Corrida: 20 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1...70	
Tabla N°30: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1...70	
Tabla N°31: Corrida: 2,9 min. Fermentado, 8,7 min. Horneado, grado de calidad 3..71	
Tabla N°32: Corrida: 10 min. Fermentado, 19 min. Horneado, grado de calidad 2...71	

Tabla N°33: Corrida: 17,1 min. Fermentado, 17, 2 min. Horneado, grado de calidad 2.....	72
Tabla N°34: Corrida: 10 min. Fermentado, 7 min. Horneado, grado de calidad 3.....	72
Tabla N°35: Corrida: 17,1 min. Fermentado, 8,7 min. Horneado, grado de calidad 3.....	73
Tabla N°36: Análisis de la Varianza para Color.....	74
Tabla N°37: Análisis de la Varianza para Apariencia.....	75
Tabla N°38: Análisis de la Varianza para Olor.....	76
Tabla N°39: Análisis de la Varianza para Sabor.....	77
Tabla N°40: Análisis de la Varianza para Textura.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Productos elaborados en la industria panadera.....	1
Figura 2: Distribución de ventas en pan por producto.....	2
Figura 3: Zonas de evaporación del agua. 1. Corteza. 2. Miga firme. 3 .Vapor. 4 .Zona instantánea de evaporación. 5 .Masa calentada.....	8
Figura 4: (K): Imagen de un pan; (R): Imagen segmentada el mismo pan.....	12
Figura 5: Diseño central rotacional compuesto.....	22
Figura 6: Diagrama de Pareto para color (solo variables significativas).....	37
Figura 7: Optimización para atributo color	37
Figura 8: Diagrama de Pareto para olor (solo variables significativas).....	38
Figura 9: Optimización para atributo olor.....	38
Figura 10: Diagrama de Pareto para sabor (solo variables significativas).....	39
Figura 11: Optimización para atributo sabor.....	40
Figura 12: Diagrama de Pareto para textura (solo variables significativas).....	41
Figura 13: Optimización para atributo textura.....	41
Figura 14: Optimización múltiple.....	43
Figura 15: Imágenes que corresponden a la Calidad Sensorial 1,2 y 3.	46

Figura 16: Mejor característica encontrada v/s función de densidad de probabilidad.....	47
Figura 17: Relación entre las dos mejores características encontradas.....	48
Figura 18: Relación entre las tres mejores características encontradas.....	48
Figura 19: Gráfico de L*reales v/s L*estimados.....	63
Figura 20: Gráfico de a*reales v/s a*estimados.....	63
Figura 21: Gráfico de b*reales v/s b*estimados.....	64
Figura 22: Gráfico de Jueces v/s Color.....	74
Figura 23: Gráfico de Muestras v/s Color.....	74
Figura 24: Gráfico de Jueces v/s Apariencia.....	75
Figura 25: Gráfico de Muestras v/s Apariencia.....	75
Figura 26: Gráfico de Jueces v/s Olor.....	76
Figura 27: Gráfico de Muestras v/s Olor.....	76
Figura 28: Gráfico de Jueces v/s Sabor.....	77
Figura 29: Gráfico de Muestras v/s Sabor.....	77
Figura 30: Gráfico de Jueces v/s Textura.....	78
Figura 31: Gráfico de Muestra v/s Textura.....	78
Figura 32: Diagrama de Pareto para apariencia (solo variables significativas).....	79

RESUMEN

(Clasificación de la calidad sensorial de pan tipo hallulla mediante visión computacional)

La alta frecuencia de consumo de productos amiláceos procesados a altas temperaturas tales como el pan, caracteriza la dieta de gran parte de la población occidental. Chile es el segundo consumidor de pan en el mundo, y primer consumidor en Latinoamérica, alcanzando los 96 kilos per cápita de pan al año. Además cerca de un 59% de la población consume al menos 3 veces por semana pan, siendo indispensable en la canasta alimenticia de los chilenos.

El objetivo de esta investigación fue optimizar la calidad sensorial de una formulación de pan tipo hallulla, y obtener un clasificador de calidad a través de visión computacional.

Se entrenó un panel sensorial de diez jueces previamente seleccionados, con descriptores de color de corteza, textura, apariencia, sabor y olor; y se diseñó una tabla de valoración de calidad Karlsruhe específica para pan tipo hallulla.

Se aplicó un diseño central rotacional compuesto con 3 puntos centrales, los factores experimentales fueron tiempo de fermentación (0 a 20 minutos) y tiempo de horneado (7 a 19 minutos) y las variables respuesta fueron la calidad sensorial de color, textura, apariencia, sabor y olor.

Con los resultados obtenidos para las corridas del diseño, se optimizaron los atributos color, olor, sabor y textura; ya que no arrojaron diferencias entre jueces ($p > 0,05$) pero sí entre las muestras ($p < 0,05$). Estos cuatro atributos presentaron un muy buen ajuste al optimizar en forma separada, con un coeficiente de determinación R^2 mayor o igual a 0,85; por lo que se realizó una optimización múltiple, que dio como resultados un óptimo con 17,6 minutos de fermentación y 15 minutos de horneado, con una función de deseabilidad de 0,97. El análisis de la fórmula optimizada, dio una humedad de un 24%, aportando en energía 317 kcal por 100 gramos de pan tipo hallulla, con a_w 0,87.

Con los resultados de la evaluación del panel sensorial para pan tipo hallulla, se logró definir el grado de calidad para cada corrida del diseño experimental, las cuales se utilizaron para entrenar el programa Matlab para la técnica de visión computacional.

Con la obtención de las imágenes digitales de las corridas del diseño experimental, segmentación y extracción de características de color mediante la técnica de visión computacional, se pudo obtener un clasificador qda (discriminante de análisis cuadrático), con un porcentaje de 83% de acierto, con las 7 mejores características seleccionadas por el programa.

ABSTRACT

(Clasificación de la calidad sensorial de pan tipo hallulla mediante visión computacional)

The high consumption frequency of starchy products processed at high temperatures such as bread, characterizes the diet of much of the Western population. Chile is the second largest consumer of bread in the world, and is also the first one in Latin America, reaching 96 kilos per capita of bread per year. In addition, nearly 59% of the population consumes bread at least 3 times per week, being indispensable in the food basket of the Chileans.

The objective of this research was to optimize the sensory quality of bread formulation “*hallulla*” type and also to obtain a quality classifier by using computer vision.

For accomplishing this purpose, a sensory panel of ten sensory assessors, previously selected, was trained in color, texture, appearance, taste and aroma, descriptors. A Karlsruhe quality assessment table was designed specifically for “*hallulla*” type bread.

A central composite rotatable design with 3 central points was applied. The experimental factors were fermentation time (0 to 20 minutes) and baking time (7 to 19 minutes) and the response variables were the sensory quality of color, texture, appearance, taste and aroma.

The color, aroma, taste and texture attributes were optimized by using the results obtained from the experimental design, as there were differences between the samples ($p < 0,05$) but not between assessors ($p > 0,05$). These four attributes presented a very good fit when they were optimized separately, with a determination coefficient R^2 greater than or equal to 0,85 so that a multiple optimization was performed, resulting in optimum fermentation and baking times of 17.6 minutes and 15 minutes respectively, with a desirability function of 0.97. The optimized formula presented a 24 % moisture, 317 kcal per 100 grams of hallulla type bread, with a_w 0.87.

The sensory results of “*hallulla*” type bread were used to define the quality degree for each run of the experimental design. These quality degrees were used to train the Matlab program for computer vision technique.

Digital images of the experimental design runs were taken, segmented and the color features were extracted. Finally, by using this information, a quadratic discriminant analysis classifier (qda), with an average of 83% accuracy, with the 7 best features selected by the program was obtained.

1. INTRODUCCIÓN

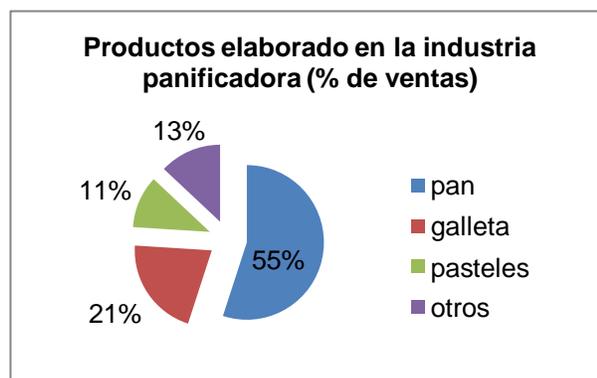
El pan se ha consolidado como un producto de primera necesidad en la canasta familiar del país, el 59% de la población chilena consume pan al menos 3 veces semana (Revista Médica de Chile, 2008). Chile es el segundo consumidor de pan en el mundo y primero en Latino América, con un consumo percapita al año de 96 kilos.

Tabla N°1: Principales consumidores de pan a nivel mundial

País	Consumo Per Cápita (kgs)
Alemania	106
Chile	96
Francia	56
Estados Unidos	48
Brasil	27
Colombia	24

Fuente: Cohen, 2011

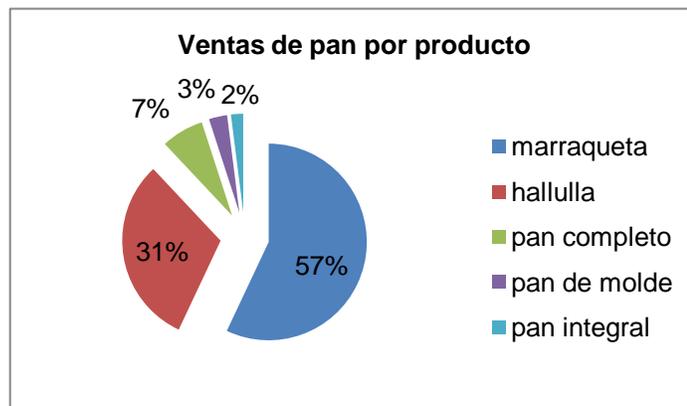
Como se ve en la Figura 1, el principal producto vendido en la industria panadera chilena es de pan (55%), donde las ventas bordean US\$1.000 millones anuales, con un volumen de 400 toneladas anuales, datos entregados por el INE para el año 2006 y publicados por Fechipan.



Fuente: Fechipan, 2006.

. Figura 1: Productos elaborados en la industria panadera.

En la Figura 2 aparece la distribución de ventas de pan en Chile, la que sitúa a la marraqueta en primer lugar (57%), seguido de la hallulla (31%), según la encuesta realizada por el INE el año 2006.



Fuente, Fechipan, 2006.

Figura 2: Distribución de ventas en pan por producto.

En Chile, se ha reducido el consumo de frutas, vegetales, legumbres y pescado; mientras que ha aumentado el consumo de cereales, carnes rojas, grasas y aceites. Según estudios en niños entre 9-12 años de edad de niveles socio-económico bajos, éstos consumen mayor cantidad de pan (214 g/día) y azúcar (21,9 g/día) (en comparación con los niveles socio-económicos altos), mostrando con ello una tendencia a la obesidad. A su vez, este mismo estudio, mostró que las familias con alto niveles de ingreso consumen más proteínas que las de bajo niveles de ingreso (por ejemplo 12,3 g/día en pescado v/s 6,7 g/día de pescado), mientras que las familias con bajos niveles de ingreso consumen mayor cantidad de carbohidratos que las familias de altos niveles de ingreso (por ejemplo 214 g/día de pan v/s 88,5 g/día de pan), al ser este último más económico, esto resultado se muestran en Tabla N°2 (Liberona y cols., 2010).

Tabla N°2: Consumo de alimentos de acuerdo al nivel socio-económico, en niños entre 9-12 años de edad, de la región Metropolitana de Santiago, Chile.

Estrato socio-económico	Muy alto y alto	Medio alto	Medio	Medio bajo y bajo
Productos	Promedios de consumo (g/día)			
cereales	187	127	142	147
pan	88,5	136	174	214
legumbres	5,6	10,7	12,5	10,6
frutas	155	149	123	118
vegetales	77,6	61,6	63,0	52,9
carne roja	70,0	67,3	53,7	56,3
pescado	12,3	5,6	7,5	6,7
productos lácteos	417	433	359	282
grasas y aceites	38,5	31,3	29,6	30,8
azúcares	16,2	14,6	17,8	21,9
dulces	50,5	42,7	57,4	55,9

Fuente: Adaptación de Liberona y cols, 2010. Publicado por Health Nutrition, 2010

Por otro lado el pan es un alimento que ha acompañado a la humanidad desde sus orígenes. Según estudios realizados por Odepa (2009), respecto a los hábitos de los consumidores chilenos, dicen: “el pan es indispensable en la canasta alimenticia, y no se imaginan una once sin pan”. No obstante, los consumidores no le atribuyen beneficios nutricionales, sino lo consideran “placer culpable”, asociándolo al incremento de peso (Odepa, 2009).

1.1 MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACION DE HALLULLA

1.1.1 HARINA

Es el producto de la molienda del grano de trigo, una vez eliminado el afrecho (cáscara) y el germen. La harina más utilizada en la industria panadera es la fuerte, que se obtiene de la molienda de trigo fuerte, que da un buen volumen en los panes, acepta más agua y por ello produce mayor rendimiento (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004).

La principal proteína de la harina es el gluten (formado por la mezcla de la harina y el agua), asociado al almidón. Tiene la importante propiedad de formar una masa elástica al humedecerse y trabajarse por acción mecánica. Estas dos estructuras forman un batido pastoso o una masa, dependiendo de la cantidad de agua empleada. Tanto el gluten como el almidón contribuyen a formar estructuras semirrígidas y menos frágiles, que resultan del calentamiento, donde el gluten coagula y el almidón se gelatiniza (Potter y Hotchkiss, 2007).

1.1.2 SAL

La sal influye en el fortalecimiento del gluten, disminuye la actividad de la levadura en la masa, por lo tanto retarda la producción de gas, y aumenta el sabor del pan (Lynch y cols., 2009). Al regular el tiempo de fermentación, permite obtener un producto de miga más blanco, de corteza más firme y de un sabor característico (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004).

1.1.3 LEVADURA

La levadura está constituida por células vivas de *Saccharomyces cerevisiae*, capaces de crecer y reproducirse cuando encuentran el ambiente propicio. Esta actúa sobre los azúcares produciendo alcohol y anhídrido carbónico (CO₂), por lo que hacen al pan más liviano y de mejor apariencia, entregándole un sabor característico.

Son utilizadas en la industria de la panadería como agentes capaces de aumentar el volumen de la masa. Su acción se refuerza con la expansión del vapor de agua y el aire producido por el calor de horneado (Potter y Hotchkiss, 2007).

Cuando la levadura se rehidrata, comienza su metabolismo y fermentación, produciendo CO₂ y alcohol. Esta fermentación comienza lentamente y se acelera con el tiempo (Potter y Hotchkiss, 2007).

Durante el tiempo fermentación (entre 28-30°C) la levadura produce sobre todo alcohol y un poco de gas carbónico, consiguiendo así una acidez, volumen y aroma adecuado.

El calor del horneado destruye la levadura e inactiva sus enzimas, por ello cesa la fermentación y producción de CO₂. Pero las burbujas ya formadas aumentan el tamaño bajo la influencia del calor debido a la expansión del CO₂, del aire atrapado y la conversión del agua en vapor (Potter y Hotchkiss, 2007)

1.1.4 AGUA

Es indispensable para formar la masa, ya que disuelve los ingredientes, permitiendo una total incorporación de ellos, dando consistencia a la masa de acuerdo al tipo de pan que se va a fabricar. Además ayuda a la hidratación de las proteínas y formación del gluten (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004).

1.1.5 AZÚCAR

El azúcar es importante, ya que es el alimento de las levaduras, además tiene otras funciones como ayudar a la formación de la corteza, mejorar su conservación y dar mayor suavidad al pan, mejorar textura y grano de miga y aumentar su valor nutritivo (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004). El azúcar también posee la propiedad de retener humedad en los productos horneados (Potter y Hotchkiss, 2007).

1.1.6 LECHE

La leche utilizada normalmente en la panificación es la descremada en polvo por su fácil almacenamiento y manejo para pesar. Entre sus funciones son mejorar el color de la corteza, mejorar el sabor del pan, aumentar el valor nutritivo, mejorar el brillo a la miga y aumentar el volumen del pan (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004).

1.1.7 MATERIA GRASA

Las grasas son lípidos compuestos por triglicéridos, vitaminas liposolubles (A y E), carotenos, ácidos grasos esenciales y otros micronutrientes como los esteroides. Éstas pueden ser, (1) saturadas, formadas por cadenas simples de carbono-carbono, sólidas a temperatura ambiente, que aumentan el nivel de colesterol en la sangre, siendo un factor de riesgo importante en enfermedades cardíacas, (2) insaturadas, formadas por cadenas con dobles enlaces entre carbono-carbono, líquidas a temperatura ambiente, que tienden a reducir los niveles de colesterol en la sangre y por tanto ayudan a reducir el factor de riesgo enfermedades cardíacas, (3) poliinsaturadas, formadas por varias cadenas de dobles enlaces entre carbono-carbono, que reducen los niveles de colesterol en la sangre, por lo que también disminuyen el riesgo de enfermedades cardíacas.

Las grasas trans se producen principalmente en el proceso de hidrogenación parcial de las grasas. Son mucho más perjudiciales que las grasas saturadas, debido a que aumentan el colesterol LDL y los triglicéridos. También reducen la absorción de los ácidos grasos esenciales (Kuller, 2006).

La materia grasa utilizada para la panificación puede ser tanto, animal (que aporta sabor) como vegetal hidrogenada (que aumenta el volumen). La función de esta en la panificación es mejorar la apariencia del producto, producir un efecto lubricante y una masa suave y manejable, generar una buena uniformidad de la miga de pan, aumentar el valor nutricional, y mejorar el volumen y corteza del pan (Cía. Molinera San Cristóbal, 2004).

1.2 CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE EL AMASADO

Durante el amasado, se produce un aumento de volumen, que es producido en primer lugar por el contacto con el oxígeno y luego por la incorporación de levadura; por lo cual se produce una pequeña fermentación, ya que comienza la metabolización de los azúcares libres de la harina. Durante el amasado también se produce un aumento de la temperatura de la masa (entre un 24°C a 28°C), producto del roce entre las partículas de harina y de la fricción con las paletas y las paredes de la amasadora, con lo cual además se favorecen los procesos de humectación, ya que se renueva constantemente la superficie expuesta a la fase acuosa. Producto de la acción de la amasadora las partículas van disminuyendo de tamaño y se hidratan, especialmente sus componentes: almidón y proteínas, aumentando paralelamente la resistencia a la extensión hasta alcanzar un máximo que corresponde al tiempo de desarrollo de la masa (Hoseney, 1991).

1.3 CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LA MASA PANADERA DURANTE EL HORNEADO

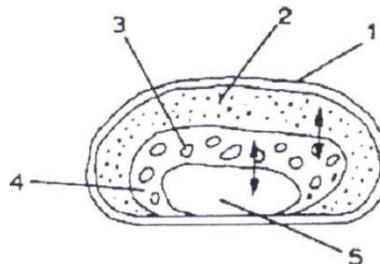
Los efectos del calor se manifiestan a través de cambios físicos y químicos en una masa panadera durante la cocción, incluyendo el aumento de volumen de los alveolos, denaturación y coagulación de proteínas, gelatinización de almidón, formación de corteza, reacciones de pardeamiento, evaporación de agua y desarrollo de estructura porosa (Ozilgen et al, 1994).

La aplicación de calor transforma una masa madura, difícil de digerir y de poca duración, en un producto atractivo de textura liviana y porosa, digerible, de mayor duración y óptimas condiciones para el consumo (Kriems y Hermann, 1994).

Al introducir la masa al horno, se produce un aumento de volumen (salto de horno); durante éste la masa debe tener una viscosidad y extensibilidad suficiente hasta que ocurra el hinchamiento final del almidón, que aumenta la fuerza de la estructura de la masa. Paralelamente se genera gas dentro de la masa, el cual se expande, y parte de este gas es retenido al producirse la solidificación de una película elástica alrededor de

cada burbuja de gas. El conjunto de este desarrollo determina el volumen final de la hogaza de pan (Stear, 1990).

Durante la etapa inicial de cocción, las capas externas de la masa aumentan su temperatura hasta alcanzar un nivel cercano a los 60°C a 70°C. La superficie alcanza los 100°C dentro de los 3 primeros minutos. Por el contrario, la transferencia de calor al centro de la miga es relativamente lenta, esto se debe al rápido calentamiento de la superficie de la masa a 100°C, generando un gradiente de temperaturas entre la superficie de la masa y el centro de la miga de 60 a 70°C. Entonces, la transferencia de calor se produce desde el exterior al interior, la humedad libre de la masa se evapora en la llamada “zona de evaporación”, tan pronto como las capas de la masa alcanzan los 100°C o más. En la Figura 3, se indican las zonas de evaporación de las capas periféricas hasta el centro de la miga (Stear, 1990).



(Fuente: Schwate,W.; Ulrich, U.,1986)

Figura 3: Zonas de evaporación del agua. 1. Corteza. 2. Miga firme. 3 .Vapor. 4 .Zona instantánea de evaporación. 5 .Masa calentada.

La gelatinización corresponde a la capacidad de hinchamiento (aumento de volumen) que tienen los gránulos de almidón en presencia de agua y por efecto de aumento de temperatura (Belitz y Grosch, 1988).

Como la temperatura dentro de la masa se incrementa progresivamente desde 30°C a 70 °C, tienen lugar una serie de cambios dentro de este rango de temperaturas con el tiempo. El aumento en la temperatura desde 30°C a 40°C acelera el hinchamiento del almidón, la actividad enzimática y el crecimiento de las levaduras. Todos los azúcares fermentables continúan siendo fermentados por acción de las enzimas de las levaduras, hasta alcanzar una temperatura cercana a los 60°C. El almidón comienza a

gelatinizar a los 55°C y continúa hasta los 65°C, durante este período se produce una intensa actividad de las enzimas α y β amilasas generando nuevos azúcares fermentables. El rango de temperatura para la coagulación de la proteína es de 50 a 70°C, dependiendo del peso molecular. Cuando se alcanzan los 50°C a 60°C en el centro de la miga, todo el CO₂ generado contribuye a la expansión de la masa. Alrededor de los 60°C, aumenta el espesor de la corteza de la superficie, perdiendo su elasticidad y dando lugar a los primeros signos de pardeamiento (Stear, 1990).

Durante la etapa final, aproximadamente a los 14 minutos, la temperatura del horno que se elija (entre 200° a 220°C) se mantiene constante. El interior de la masa se transforma en una estructura de miga horneda desde las capas exteriores hacia el centro. Cuando la temperatura de la corteza alcanza los 170°C a 200°C la corteza adquiere la típica coloración café debido a reacciones de pardeamiento y simultáneamente se forman las sustancias aromáticas del pan, producidas principalmente por la reacción de Maillard (entre azúcar reductor y grupo amina, que lo diferencia de la caramelización en donde sólo participan azúcares) en la región de la corteza. En la etapa final del proceso de cocción la temperatura del horno se mantiene constante, sirviendo para formar la corteza y producir la intensidad del color de la corteza deseada (Stear, 1990).

1.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS TÍPICAS DE UNA HALLULLA DEL MERCADO

En la Tabla N°3, se presentan las características típicas de 100 gramos de pan tipo hallulla, entre los cuales se pueden destacar su aporte calórico (315 kcal) y aporte de grasa (4 gramos), ambos más altos que un pan tipo marraqueta que para aporta en 100 gramos, 279 kcal y 0,7 gramos de grasa (SOSER, 2010).

Tabla N°3: Características físico-químicas de una hallulla.

Parámetro	Contenido en 100 g. Pan hallulla
Calorías (kcal)	315
Humedad (%)	24
Proteínas (g)	8,2
Grasa total (g)	4
Carbohidratos (g)	61,6
Fibra (g)	0,2
Sodio (mg)	580
Densidad (g/cc)	0,22-0,24
Color	Corteza café- Miga blanca

Fuente: SOSER, 2010

1.5 CARACTERÍSTICAS DE UN PAN PARA UNA BUENA CALIDAD SENSORIAL

La calidad sensorial del pan se percibe a través de los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto (Meilgaard y cols., 1999), y juega un papel muy importante en la dimensión de la calidad total del producto (Khilberg, 2004). Desde el punto de vista del consumidor, la calidad sensorial es uno de los factores más importantes para la aceptación de un producto (Dewettinck y cols., 2008).

El pan debe presentar un buen volumen, que es posible gracias a una buena capacidad para producir gas, adecuada estabilidad de la masa, buena capacidad para la retención de gases y tiempo de fermentación prolongado. Naturalmente el aroma debe ser agradable al consumidor, teniendo influencia positiva en prolongados tiempos de fermentación, ya que producen un buen aroma. Además debe presentar una miga suave y blanda, y corteza crocante, que para obtenerlos se debe lograr que parte del agua que se evapora de la superficie durante la cocción, quede retenida en la miga. Así mismo, estas características deben mantenerse durante el almacenamiento (Rincón del Molinero, 2011).

La retrogradación del almidón, es una causa del envejecimiento y endurecimiento del pan (Rincón del Molinero, 2011). La corta vida útil de este y la pérdida de frescura de la

miga están fundamentalmente asociados con dos parámetros de textura: el incremento de firmeza y pérdida de elasticidad (Callejo y cols., 1999, Lassoued y cols., 2008).

En resumen, hay que tener en cuenta los siguientes atributos:

- I. **Color:** tanto en la corteza, dorado natural, como la miga, blanco crema.
- II. **Apariencia:** lisa y simétrica, con volumen adecuado y exento de manchas.
- III. **Aroma:** característico, a tostado, a levadura.
- IV. **Sabor:** característico, salado, dulce, a tostado.
- V. **Textura:** tanto en corteza (crocante).

Una de las formas de evaluar estos atributos, es mediante el test de valoración de calidad Karlsruhe, desarrollado en Alemania, se describe en la norma DIN 10952, el que permite evaluar diferentes parámetros de la calidad sensorial; color, apariencia, olor, sabor y textura, en una escala de 9 puntos subdividida en tres grados de calidad. Se emplea con bastante éxito para la optimización de formulaciones y para evaluar la calidad sensorial en estudios de vida útil, pudiendo clasificar los alimentos según el grado de calidad (Wittig, 1981). Se utilizan paneles de jueces entrenados, lo cuales deben estar familiarizados con cada atributo (Katina, 2005). A su vez otra de las formas para determinar la calidad es mediante la evaluación de los atributos color y apariencia por visión computacional.

1.6 TÉCNICA DE VISIÓN COMPUTACIONAL

La visión computacional, es un factor importante en el desarrollo de la calidad, clasificación y evaluación de productos dentro de diferentes procesos de la automatización industrial. Este sistema captura la imagen y procede a la identificación de parámetros para su control, como color, textura, forma, etc. Esta inspección visual automática, mediante técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones, determina rápidamente si un producto se desvía, ya sea de las especificaciones del fabricante o de alguna norma reguladora (Mery, 2002). Se aplica tanto a productos de panadería, carnes y pescados, frutos, alimentos listos para

consumo, entre otros (Brosnan y Sun, 2004). Los pasos que involucra el análisis de imágenes son:

1.6.1 Adquisición de la imagen: Se obtiene la imagen adecuada del objeto en estudio la cual es capturada y almacenada en el computador. Para esto es importante considerar el efecto de la intensidad de la iluminación y la orientación relativa de la muestra a la fuente de iluminación, así como también repetir las mismas condiciones para todas las imágenes. Una cámara digital, ofrece tres imágenes digitales: rojo (R), verde (G) y azul (B), correspondiente al espacio de color RGB, en la cual queda almacenada la foto.

1.6.2 Pre-procesamiento: Se realiza con el fin de mejorar la calidad de la imagen obtenida, donde se elimina el ruido en la imagen o bien aumentan el contraste.

1.6.3 Segmentación de la imagen: La imagen del alimento es aislada del fondo de la escena, produciéndose así una separación de la imagen digital en regiones no sobrepuestas (Castleman, 1996). Esta imagen segmentada es una imagen binaria que consiste solo de píxeles blancos y negros, en donde “0” es negro y “1” es blanco los cuales significan fondo y objeto respectivamente tal como se muestra en la Figura 4. Donde la finalidad es detectar la región de interés dentro de la imagen.

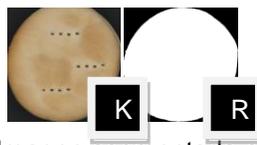


Figura 4: (K): Imagen de un pan; (R): Imagen segmentada el mismo pan.

1.6.4 Extracción de características: La extracción de características se centra en la medición de las propiedades geométricas (área, perímetro, factores de forma, descriptores de Fourier, entre otros), como también sobre la intensidad y coloración de las regiones (nivel de gris, componentes de color, características de textura, entre otras) (Mery, 2002).

1.6.5 Clasificación: Se interpretan las características extraídas usando un cierto conocimiento sobre el objeto analizado. Generalmente, la interpretación clasifica cada

región dividida en segmentos a una de las clases predefinidas. Un clasificador se diseña después de un entrenamiento supervisado (Castleman, 1996; Mery y cols, 2003).

Los Clasificadores comúnmente utilizados son:

- **Linear discriminant analysis (Lda)** (análisis discriminante lineal): se puede considerar como un análisis de regresión donde la variable dependiente es categórica y las variables independientes son continuas y determinan a qué categoría pertenecen los objetos. Se utiliza para predecir la pertenencia de los objetos a una u otra categoría, en donde maximizan la varianza entre clases, a la vez que minimizan las varianzas inter-clases (Talabera y Rodríguez, 2008).
- **Quadratic discriminant analysis (Qda)** (análisis de discriminante cuadrático): se puede considerar como un análisis en donde la variable dependiente es la categoría y variables independientes son continuas y determinan a qué categoría pertenecen los objetos. Se utiliza cuando la variable dependiente o categoría tiene varianzas altas o bajas en sus respectivas direcciones (Talabera y Rodríguez, 2008).
- **K nearest neighbor (knn)** (k vecinos más cercanos): es un método de clasificación no paramétrico, que estima el valor de la probabilidad, a posterior, de que un elemento x pertenezca a la clase C_j a partir de la información proporcionada por el conjunto de prototipos. En el reconocimiento de los patrones, el algoritmo k-nn es usado como método de clasificación de objetos (elementos) basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de los elementos (Torrás, S., 2004).

1.7 HIPOTESIS

Es posible obtener un clasificador de grados de calidad sensorial en el pan tipo hallulla mediante la aplicación de visión computacional.

1.8 OBJETIVOS

1.8.1 Objetivo general

- El objetivo de este estudio es obtener una formulación óptima de pan tipo hallulla a través de evaluación de calidad sensorial, y obtener un clasificador de calidad a través de visión computacional.

1.8.2 Objetivos específicos

- Seleccionar y entrenar un panel sensorial para la evaluación del pan tipo hallulla.
- Diseñar una tabla de valoración de calidad específica para el pan tipo hallulla con escala Karlsruhe y enseñar su uso al panel sensorial.
- Realizar un diseño experimental de las corridas de pan tipo hallulla para determinar una fórmula óptima.
- Evaluar la calidad sensorial de las corridas del diseño experimental a través de una escala de valoración de Karlsruhe mediante el panel entrenado.
- Optimizar la fórmula del diseño, mediando el método de superficie de respuesta.
- Caracterizar la fórmula optimizada a través de la composición nutricional y medición de Aw.
- Obtener imágenes digitales de las corridas del diseño experimental y realizar el análisis a través de la técnica de visión computacional, extrayendo características de intensidad de color.
- Con los datos obtenidos de la técnica de visión computacional y la evaluación sensorial, determinar el mejor clasificador para predecir la calidad de las distintas formulaciones del pan tipo hallulla.

2. METODOLOGÍA

2.1 Formulaciones de pan tipo hallulla:

Con el objetivo de encontrar las variables que influyen en las características sensoriales para la elaboración de pan tipo hallulla, se evaluaron tanto condiciones del proceso, como ingredientes de la fórmula. En la Tabla N°4 aparece la formulación inicial usada.

Tabla N°4: Formulación inicial de pan tipo hallulla

Ingredientes	Cantidad (g)
Harina (Selecta)	100
Agua tibia	40
Manteca (Crucifeira)	6
Sal (Lobos)	2
Levadura instantánea (Lefersa)	2
Leche en polvo semidescremada (Svelty)	0,5
Azúcar (Iansa)	0,5

Fuente: Maquipan Chile, 2010

Las variables estudiadas en esta etapa fueron:

- Temperatura de horneado: 180°C y 200°C
- Tiempos de fermentación: 0, 15 y 30 minutos
- Tiempo de horneado: variando de un producto al límite de crudo, hasta un producto recocado
- Cantidad de levadura (gramos).

Con el fin de estandarizar el tamaño y forma de la hallulla, se ocupó un molde de acero inoxidable, con un diámetro de 7 centímetros y una laminadora eléctrica (Malta 1001, Brasil), ajustada a un espesor de 6 milímetros. Además se utilizaron los siguientes equipos:

- Batidora Eléctrica, Marca Kitchenaid Ita, Italia
- Horno Eléctrico por convección, Marca: UNOX, Modelo: XF-030, Estados Unidos

2.2 Entrenamiento del panel:

Constó de tres etapas: elección del panel, selección del panel y entrenamiento propiamente tal.

2.2.1 Elección del panel

Los evaluadores fueron elegidos entre alumnos de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, que estaban cursando la asignatura evaluación sensorial, o bien ya la habían cursado con anterioridad, además de contar con disponibilidad de tiempo y motivación.

2.2.2 Selección del panel

Para la selección se aplicaron las pruebas descritas a continuación.

2.2.2.1 Identificación de umbrales para gusto salado

Se preparó una solución madre pesando 25 gramos de NaCl en balanza con precisión 0,1 g, luego se disolvió en un vaso de precipitado y se llevó a un matraz aforado de 250 ml.

Se prepararon las respectivas diluciones que se muestran en la Tabla N°5, junto con las concentraciones usadas. Se llevaron las alícuotas indicadas a 1000 ml y se guardaron 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.

Tabla N°5: Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado.

Compuesto	Diluciones(ml) (llevar a 1000 ml)*	Concentración (g/100ml)	Clave	Asignación de Aciertos (%)**
NaCl (pro 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

*A partir de una solución madre de 25g en 250 mL de NaCl pro análisis.

** Asignación de Aciertos (%): asignación de porcentaje de acierto por jueces, según la concentración a la que presenta el umbral de identificación.

Se pidió a los jueces que degustaran cuidadosamente la serie de 10 muestras entregadas en orden creciente de concentración, la que podía corresponder a cualquiera de los cuatro gustos básicos (dulce, ácido, salado o amargo). La tarea del juez consistió en describir las sensaciones percibidas y traspasarlas a la ficha de respuesta (Anexo 1), usando a siguiente nomenclatura:

- 0: Igual a 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. Se le asignó un porcentaje de aciertos a cada juez según la concentración a la que presenta su umbral de identificación, mostrado en la Tabla N°5, de 100%, 70% y 30% respectivamente.

Para aprobar este test, el juez debió identificar el gusto salado a una concentración límite superior de 0,1 g/100 ml, que equivale a un 70% de aciertos. Para la realización de este test, se ocupó 1 sesión.

2.2.2.2 Test de ordenamiento de colores

Se le presentó a cada juez una serie de 10 tubos de un mismo color pero en distintas diluciones y se les pidió que los ordenaran de manera creciente según su intensidad de color, de izquierda a derecha, con un descanso de 20 minutos entre cada evaluación. El panelista debió anotar la respuesta en la hoja de evaluación (Anexo 1).

Para la preparación de la solución madre se utilizó colorantes artificiales marca Gourmet: para el color verde (azul brillante, tartrazina y amarillo crepúsculo), para el color rojo (ponceau 4R) y para el color amarillo (tartrazina y amarillo crepúsculo).

Se muestran en la Tabla N°6, las diluciones y concentraciones respectivas de los tubos.

Tabla N°6: Ordenamiento de colores.

ordenamiento para rojo		ordenamiento para verde		ordenamiento para amarillo	
Concentración (ml solución madre/ml de solución)	código	Concentración (ml solución madre/ml de solución)	código	Concentración (ml solución madre/ml de solución)	código
0	O	0	R	0	Z
10	F	10	L	10	K
20	L	20	S	20	W
25	A	25	W	25	R
30	W	30	Z	30	M
35	K	35	F	35	S
40	P	40	K	40	A
45	S	45	M	45	P
50	R	50	P	50	F
55	M	55	A	55	L

Para la aceptación o rechazo de los jueces se calculó el porcentaje de aciertos en base a las tres pruebas. Fueron aceptados y pasaron a la siguiente etapa de entrenamiento aquellos participantes que obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de aciertos en los tres ordenamientos. Para la realización de este test, se ocupó 1 sesión.

2.2.2.3 Test triangular

Se presentaron tríos de muestras, en cada trío hay dos muestras iguales y una distinta, se pidió identificar la muestra distinta e indicar la razón para su elección. La ficha de respuesta se encuentra en el Anexo 1.

Se aplicaron test triangulares con productos hechos en el laboratorio como pan y sopaipillas, así como también con productos comerciales como arroz, yogurt y pulpa de fruta. Los productos usados se presentan en la Tabla N°7, con sus diferencias para producir las dos muestras distintas:

Tabla N°7: Aplicación de los 10 test triangulares.

Test	Producto	Diferencias entre las dos muestras evaluadas
1	Hallulla	Tiempo de fermentación (0 min-20 min), lo demás igual para ambos
2	Hallulla	Temperatura de horneado (180°C-200°C), lo demás igual para ambos
3	Sopaipilla	Cantidad zapallo (100 g-20 g), a 170°C, por 4 minutos
4	Sopaipilla	Temperatura de fritura (150°C-170°C), 60 g. de zapallo
5	Arroz	Tiempo de cocción de arroz preparado (20 min-30 min)
6	Arroz	Adición de sal a un paquete de arroz preparado de 210 g. (0 g-1,5 g)
7	Arroz	Marcas de arroz preparado con espárragos: Lider /Tucapel
8	Pulpa de fruta	Natural y liofilizada de frambuesa
9	Yogurt	Next con trozos de fruta y next con pulpa natural
10	Yogurt	Next con pulpa natural y next con pulpa liofilizada

El orden de las muestras dentro del trío se sortearon entre las 6 combinaciones posibles (AAB/ABA/BAA/BBA/BAB/ABB).

Para la aceptación o rechazo de los jueces se contabilizaron los resultados de los 10 test triangulares a través del porcentaje de aciertos. 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. Para la realización de este test, se ocuparon 5 sesiones.

2.2.3 Entrenamiento propiamente del panel

Los participantes que pasaron la etapa de selección, es decir, que tuvieron 50% o más de aciertos de el ordenamiento de colores, 50% o más de aciertos en el test triangular, 70% o más en la identificación de umbrales para gusto salado y además una asistencia de mínimo de 80%, fueron entrenados para la evaluación de panes tipo hallulla.

Para ello se procedió a la evaluación descriptiva de pan tipo hallulla. En una primera sesión (mesa redonda), se presentaron los tres grados de calidad de los panes producidos en el laboratorio. Éstos fueron elaborados con la misma formulación de la Tabla N°4, variando condiciones de horneado, manteniendo constante 10 minutos de fermentación y 200°C temperatura de horneado. Se presentaron muestras con 7 minutos de horneado, 14 minutos de horneado y 21 minutos de horneado.

A los jueces se les pidió la evaluación de cada atributo individualmente y luego se realizó una discusión abierta de estos atributos para analizar diferencias de sus descripciones (Ficha en Anexo 1). Los atributos para pan se muestran en la Tabla N°8.

Tabla N°8: Primera sesión descriptiva

Atributo	Características Principales
Color de la corteza	Tostada, dorada, pálida, oscura, manchada
Apariencia	Superficie lisa, plana. Defectos como grietas, arrugas, globos.
Textura	Corteza: blanda-dura, delgada-gruesa. Miga: suave-áspera, blanda-dura
Olor	Natural, a materia grasa, a levadura
Sabor	Tostado, quemado, crudo

Fuente: María Helena Damásio (1999)

Luego se agruparon los resultados obtenidos para cada atributo de acuerdo al siguiente criterio:

1. Frecuencia con la que se repitió cada característica.
2. Si la característica era positiva o negativa para el producto.

3. A qué grado de calidad correspondería cada una de ellas.

Se calificó de forma positiva (+) aquellas comentarios que reflejaran características típicas deseables en el producto, por ejemplo, color natural, dorado típico. Por el contrario, se agruparon de forma negativa (-) aquellas descripciones que reflejaran un deterioro, como por ejemplo muy oscuro, muy pálido.

La asignación de grado de calidad se realizó de la siguiente manera: si la característica es positiva corresponde a grado 1, y si la característica es negativa, puede ser grado 2 (si se considera un deterioro leve) o 3 (si se considera un deterioro no tolerable).

Con los resultados de la agrupación se procedió a construir la Tabla de Valoración de Calidad específica para pan tipo hallulla. La Tabla consta de 9 puntos, que se agrupan en tres grados de calidad, los cuales a su vez se subdividen en tres subgrupos, tal como se muestra en la Tabla N°9.

Tabla N°9: Grados de calidad, calificación verbal y calificación numérica

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

Nota 1: grado de calidad 1 entre 7,0 a 9,9; grado de calidad 2 entre 4,0 a 6,9; grado de calidad 3 entre 1,0 a 3,9.

Una vez listo el pre-diseño de esta tabla, se realizó una segunda sesión con el panel para evaluar con la Tabla diseñada las mismas formulaciones de pan descritas en la primera sesión. También se realizó una discusión grupal de las respuestas, y una discusión de los descriptores de la tabla preliminar, con la finalidad de obtener una tabla específica para la evaluación de calidad de pan tipo hallulla.

2.3 Método de superficie de respuesta (MSR):

Se creó un diseño rotacional compuesto con 2 factores y 5 variables de respuestas, en Statgraphics Centurion XV.I.

Los factores (X_1 , X_2) se eligieron entre los siguientes a través de ensayos preliminares:

- Tiempo de fermentación
- Tiempo de horneado
- Temperatura de horneado
- Cantidad de levadura

Se estudió el efecto de cada factor en las características sensoriales para elegir dos de ellos, de acuerdo a su importancia en el producto final, y sus respectivos límites mínimo y máximo.

Variables de respuesta (Y) consideradas fueron las variables sensoriales: color, apariencia/forma, olor, sabor y textura.

Se aplicó un modelo de central rotacional compuesto (2^2 +estrella) con tres puntos centrales para determinar el error experimental, para lo cual se obtuvo 11 corridas experimentales.

La Figura 5 muestra, el diseño central rotacional compuesto, con tres puntos centrales en cada eje respectivamente $-\sqrt{2}$, -1 , 0 , 1 y $\sqrt{2}$.

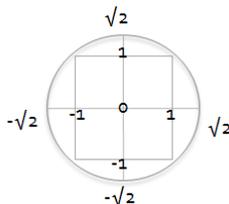


Figura 5: Diseño central rotacional compuesto.

2.3.1 Análisis de resultados

Se realizó un ANOVA de dos factores (muestras y jueces) para cada uno de los atributos evaluados (color, apariencia, olor, sabor y textura) para las 11 corridas. Los atributos a optimizar no debían presentar diferencias entre jueces ($p \leq 0,05$), pero sí entre muestras ($p \geq 0,05$), se utilizó para este análisis el programa Statgraphics Centurion XV.I.

La optimización se realizó a través del método de superficie de respuesta con el criterio de maximización de calidad, obteniendo valores para cada uno de los factores que optimizaron la calidad. La optimización por ajuste de ecuaciones de regresión cuadráticas ($Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_{11} * X_1^2 + \beta_{22} * X_2^2 + \beta_{12} * X_1 * X_2$; siendo $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}$ coeficiente de regresión respectivos) se realizó para cada atributo que presentó diferencias entre muestras y no entre jueces. Se eliminaron los factores no significativos ($p \geq 0,05$) del modelo, hasta llegar a la ecuación final, en la cual se reemplazaron los valores óptimos para obtener un puntaje al cual se le otorga un grado de calidad. Como criterio para un buen ajuste del modelo, se consideró un coeficiente de determinación R^2 lo más cercano a 1, aceptando valores mayores o iguales a 0,85 en el programa Statgraphics Centurion XV.I.

Con el fin de maximizar la respuesta para todos los atributos que pudieron ser optimizados por separado, se realizó una optimización múltiple, en la que se graficó la superficie de respuesta estimada, y se obtuvieron los factores óptimos que maximizan la deseabilidad del producto, con la mejor calidad sensorial. Se obtuvo una función de deseabilidad en escala de 0 a 1, que maximiza las variables de respuesta, en donde se busca una deseabilidad cercana a 1 para un buen ajuste del modelo, en el programa Statgraphics Centurion XV.I.

2.4 Evaluación sensorial de las corridas del diseño

Una vez diseñada de la tabla específica, se elaboraron las 11 corridas de panes tipo hallulla en forma exclusiva para el análisis sensorial, las cuales fueron evaluadas en 4 sesiones.

En cada sesión se evaluaron 3 corridas experimentales elegidas al azar. Se presentó un pan de cada corrida por persona, en un plato codificado, junto con la Tabla de Valoración de Calidad Karlsruhe, la hoja de respuesta, un lápiz y vaso con agua. Las muestras fueron evaluadas en forma monádica, es decir, se presentaron de a una sin posibilidad de realizar comparaciones entre muestras.

Se pidió realizar una descripción visual externa para color y apariencia de la corteza, para luego partir el pan con la mano para la descripción de textura, olor y sabor; y finalmente buscar en la Tabla la nota correspondiente para cada descripción realizada.

El grado de calidad de cada muestra se determinó por el atributo limitante, que corresponde al de peor promedio entre los atributos, y se expresó con un decimal (sin aproximación).

2.5 Determinación de Humedades, en las 11 corridas

Se utilizó el método gravimétrico AOAC(1990) en estufa de aire forzado, a una temperatura de 105°C (Binder, FD-115, Alemania), hasta un peso constante (detalle de método en Anexo 2). Además se usó el método rápido con medidor de humedad por infrarrojo (A&D Instrument, MS-70, Japón), el cual trabaja con una lámpara halógena y un sensor infrarrojo que registra variaciones de peso, el cual se ajustó a un programa de 120°C, con un tiempo de medición entre 25 a 40 minutos, según el contenido de humedad de la muestra. Para ambos métodos en duplicado, la muestra se molió y homogenizó en forma previa para posterior comparación de los métodos.

Se determinaron las humedades finales de cada una de las corridas del diseño experimental, para poder ver el efecto del tiempo de horneado. Con el resultado de las humedades de todas las corridas, se realizó la optimización para este atributo mediante el método de superficie de respuesta, el cual se describió en análisis de resultados 2.3.1.

2.6 Caracterización de la fórmula optimizada

La fórmula optimizada por el método de superficie de respuesta, se caracterizó mediante Aw (NOVASINA MS1-aw, Suiza) en duplicado y análisis proximal que se realizó en forma externa en laboratorio del Dictuc, en el cual informo proteínas, lípidos, cenizas, fibra, ENN (extracto no nitrogenado) y energía.

Con los resultados se comparó tanto humedad (por método rápido) como actividad del agua de la fórmula optimizada con las hallullas comerciales Lider y Castaño, en duplicado.

Finalmente se comparó la humedad optimizada teórica a través del método de superficie de respuesta con la humedad experimental.

2.7 Visión computacional

Para la realización de esta etapa, se ocuparon corridas experimentales elaboradas exclusivamente para visión computacional, hechas de la misma manera que para la evaluación sensorial.

2.7.1 Adquisición de Imágenes: Se utilizó una cámara fotográfica digital (Canon, Power Shot G3, 4Megapixel, Japón), ubicada dentro de una caja cúbica de paredes interiores negras, con un sistema de iluminación y soporte para la cámara, la cual fue conectada a un Computador (CPU Phenm (tm) II X2 555; 3,21 GHz, 3 GB en Ram) para su manejo.

El sistema de captura consistió en una cámara, ubicada verticalmente a una distancia de 22,5 cm del objeto. Las imágenes capturadas fueron conectadas al puerto USB del computador, en donde se pueden ver desde el programa del computador PSRemote (permite un manejo remoto de la cámara digital). (Anexo 3).

Para obtener el clasificador de pan tipo hallulla, mediante visión computacional, se siguieron los pasos detallados a continuación:

2.7.2 Calibración: Se realizó para estandarizar los parámetros de color entregados en el análisis de imágenes, con un colorímetro (HunterLab, MiniScan XE, USA) en donde se midió los L^*a^*b de cartulinas, con la finalidad de relacionarlos con los R,G,B de la cámara. Las imágenes obtenidas fueron analizadas en el programa Matlab, en donde se procedió a realizar una correlación entre los valores entregados por el colorímetro y la cámara, obteniendo así 3 gráficas, tomando los valores de colorímetro como los valores reales (Anexo 4).

2.7.3 Toma de fotografías: Se obtuvieron imágenes de la superficie superior e inferior de cada pan, y por ambos lados de la miga una vez abierto con un cuchillo. Se capturó la imagen tomada por la cámara y se llevo mediante puerto USB al computador, desde donde se abrió el programa PSRemote para ver la imagen y luego utilizando el programa Zoom browser Ex, se paso a formato Tif. Este formato fue utilizado, ya que la imagen está descomprimida, es decir, tiene la cantidad original de pixeles.

2.7.4 Segmentación de las imágenes: se realizó con el software MATLAB, herramienta que posee funciones que facilitan el trabajo y la visualización de los resultados mediante gráficas e imágenes.

2.7.5 Extracción de características, clasificación y validación cruzada de los resultados: se empleo el Toolbox Balu de Matlab 7.0 diseñado por Mery (2010). El programa consiste en la creación de un clasificador que permita determinar los diferentes grados de calidad de las imágenes digitales para simular los resultados obtenidos sensorialmente por los jueces con en el Test de valoración de calidad con escala Karlsruhe para pan tipo hallulla.

Para esto se utilizo los L^*a^*b , con la conversión realizada desde los R,G,B obtenidos por la cámara, mediante el Toolbox Balu.

La extracción de características utilizadas fue con el discriminante Fisher el cual mide la separabilidad de las clases, para esto maximiza la dispersión entre las clases

mientras que se minimiza la dispersión dentro de cada clase (Chiang y Cols., 2001) y para la clasificación se ocupó lda, qda, detallados en introducción 1.6.5.

Con los resultados del clasificador, se graficó tanto la mejor característica, así como las dos mejores características y las tres mejores características.

El programa realizó internamente una validación cruzada con los datos divididos en subconjuntos v . Este experimento se repitió internamente v veces variando el conjunto de entrenamiento para evaluar la estabilidad del clasificador. De esta manera 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 et al, 2010).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Fórmula para elaborar pan tipo hallulla

Luego de los ensayos preliminares descritos en 2.1, se modifico la fórmula inicial mostrada en la Tabla N°4, quedando la fórmula final en la Tabla N°10.

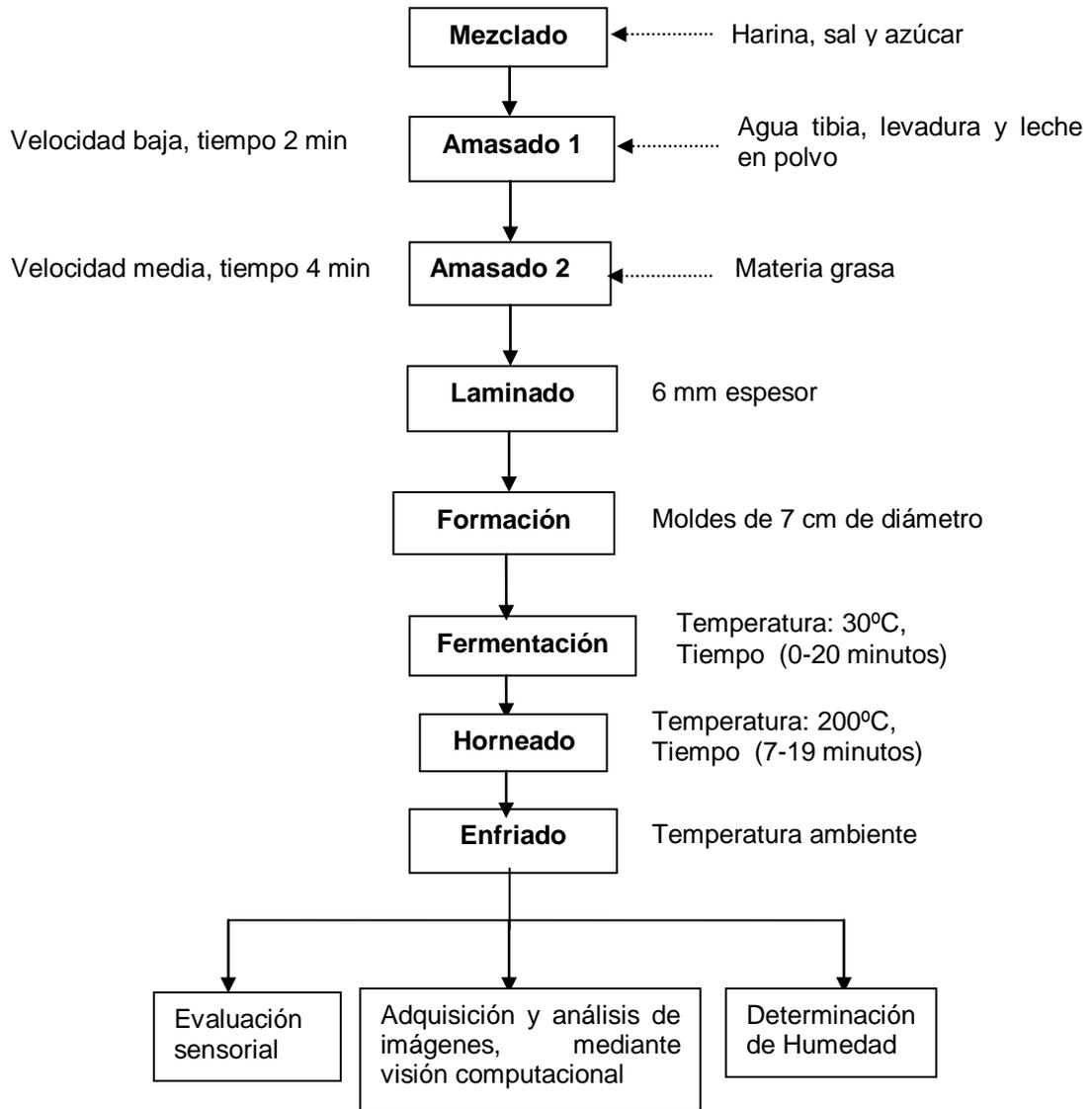
Tabla N°10: Formula final de pan tipo hallulla

Ingredientes	Cantidad (g)	Cantidad (g)
Harina (Selecta)	100	500
Agua tibia	44	220
Manteca (Crucifeira)	6	30
Sal (Lobos)	2	10
Levadura instantánea (Lefersa)	1	5
Leche en polvo (Svelty)	0,6	3
Azúcar (Iansa)	0,5	2,5

Con respecto a la fórmula inicial se disminuyó la levadura de 2 gramos a 1 gramo, se aumentó la leche en polvo de 0,5 gramos a 0,6 gramos y se aumentó el agua de 40 gramos a 44 gramos para hacer la masa manejable, siendo la última columna de la Tabla N°4, la cantidad de ingredientes para cada corrida.

Se decidió fijar a nivel de proceso la temperatura de horneado a 200°C para elaborar pan tipo hallulla, como resultado de probar dos temperaturas (180°C y 200°C respectivamente) en un mismo tiempo de horneado, obteniendo a los 200°C un mejor color y formación de corteza.

3.1.1 Diagrama de bloque: Elaboración de hallullas:



3.1.2 Etapas del proceso de elaboración de hallulla

Mezclado:

Se pesaron los ingredientes, de acuerdo a la formulación en balanza granataria (AND, modelo NX4100, Japón) y se mezclaron en la amasadora: harina, azúcar y sal.

Amasado 1:

Se introdujo a la amasadora (Kitchenaid, Italia), el agua tibia previamente mezclada con levadura y leche, y se trabajó a una velocidad baja por 2 minutos.

Amasado 2:

Se adicionó a la amasadora, la materia grasa derretida, y se trabajó a una velocidad media por 4 minutos.

Laminado:

Una vez formada la masa, se pasó 6 veces por la laminadora (Malta 1001, Brasil), dando el espesor deseado de 6 mm.

Formado:

Una vez laminado, se procedió a cortar las unidades, utilizando moldes de 7 cm de diámetro para el corte. En esta etapa también se pinchó la superficie de las hallullas, con un tenedor.

Fermentación:

Se realizó una fermentación entre 0 minutos a 20 minutos, según corrida del diseño experimental, a una temperatura de 30°C.

Horneado:

Se llevó a cabo en un horno eléctrico (UNOX, modelo XF-030, Estados Unidos), utilizando una temperatura de 200°C, un tiempo entre 7 a 19 minutos, según la corrida del diseño, con 14 panes en una misma bandeja.

Análisis de las corridas:

Se realizó; la evaluación sensorial descrita en metodología 2.2.4, visión computacional descrita en metodología 2.6 y determinación de humedad descrita en metodología 2.4.

3.2 Entrenamiento del panel

3.2.1 Elección del panel

Se citó a 14 alumnos de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, que habían cursado la asignatura de Evaluación Sensorial o estuviesen cursándola, además de contar con disponibilidad y motivación para formar parte del panel.

3.2.2 Selección del panel

Los resultados de los tres test de selección (identificación umbral salado, ordenamiento de colores y test triangulares, detallados en Anexo 5) se muestran en la Tabla N°11, donde quedan seleccionados aquellos jueces con un mínimo de 70% de aciertos en umbral de identificación, con un mínimo de 50% de aciertos en ordenamiento de colores y un mínimo de 50% de aciertos en los test triangulares.

Tabla N° 11: Resumen de la selección de 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: en negrita representa los jueces que fueron eliminados, ya sea por no cumplir el criterio de aciertos y con cursiva el juez que fue eliminado por disponibilidad de ser parte del panel.

Como se observa en la Tabla N°11, para el test de identificación de umbral salado todos los jueces presentaron un porcentaje igual o superior de un 70% de aciertos. Para el test de ordenamiento de colores, ningún juez presentó un 100% de aciertos, y hay tres jueces (I, IV, XIII) con un promedio inferior a un 50% aciertos. Para el test triangular, se observa que un juez (II) presentó un 100% aciertos y sólo un juez (I) presentó un porcentaje de aciertos inferior a un 50%.

Quedando eliminados los jueces I, IV, XIII (en negrita) por sus resultados en la etapa de selección, ya que obtuvieron menos de un 50% de aciertos en el ordenamiento de colores y/o en los test triangulares. También se eliminó al juez XIV (en cursiva) por motivos personales, a pesar que había presentado buenos resultados en la selección. Pasando a la siguiente etapa finalmente diez jueces.

3.2.3 Entrenamiento propiamente del panel

En la primera sesión de entrenamiento de 2 horas de duración, los jueces describieron color (muy pálido, pálido, dorado, muy tostado), apariencia/forma (lisa/simétrica, abultado, con arrugas), olor (tostado, levadura, a materia grasa) sabor (tostado, salado, dulce) y textura (corteza blanda/ ni blanda ni dura /dura y gruesa, miga suave/áspera), de tres tipos de pan tipo hallulla horneados durante distinto tiempo. Los resultados obtenidos se agruparon según la metodología descrita en 2.2.3 (Anexo 6).

Con estos resultados se elaboró la Tabla de valoración de calidad de 9 puntos específica para pan tipo hallulla.

En la segunda sesión se realizaron los ajustes a la Tabla, con los comentarios que realizaron los jueces, mostrándose la Tabla final de Valoración de Calidad Karlsruhe en la Tabla N°12.

Tabla N°12: TABLA PARA VALORACIÓN DE CALIDAD DE HALLULLA 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	Dorado, natural, típico, tostado, excepcional, uniforme, homogéneo.	Natural, típico, uniforme, levemente tostada.	Natural, típico, algo pálido u oscuro, aun uniforme y homogéneo.	Ligeramente alterado por ej. Algo claro o algo oscuro, algo desuniforme, poco homogéneo.	Alterado, algo descompensado, muy claro; muy oscuro. Desuniforme no homogéneo.	Muy descompensado. Presencia de manchas.	Demasiado quemado o demasiado pálida, o con apariencia cruda o quemado. Color atípico.	Color totalmente atípico.	Inaceptable, totalmente alterada, atípica.
Apariencia/ Forma	Completamente bien conservada, Lisa, plana, redonda, bien cocida, sin arrugas.	Muy bien conservada, algunas unidades ligeramente modificada, aun redondas, sin arrugas y lisa.	Corteza aun conservada, sin grietas, aun redonda, con algo de arrugas o abultado o englobado.	Poco lisa, ligeramente modificada, algunas grietas suaves en la superficie. Forma algo modificada, ovalada no redonda, con arrugas o abultado o englobado.	Presencia de grietas visibles, forma modificada, aplastada, asimétrica, muy abultado o arrugada.	Hundida, agrietada, forma muy modificada. Muchas grietas.	Desagradable, intensamente hundida, y/o asimétrica, con aberturas.	Muy alterada, apretada, rota, con deformaciones.	Completamente alterada.
Olor	Muy característico a muy típico, natural, intenso, equilibrado.	Característico, típico y natural, algo leve de olor a levadura	Característico, típico y natural. Leve olor a levadura, poco intenso.	Algo plano, no redondeado, no característico, más intenso a levadura.	Plano, alterado, algo intenso a levadura, leve a materia grasa.	Alterado, algo intenso a levadura, algo intenso a materia grasa, aun aceptable. ,	Claramente alterado, atípico, algo ácido.	Alterado, rancio, olor a masa cruda.	Francamente deteriorado.
Sabor	Específico, muy característico y natural. Muy equilibrado.	Característico, típico y natural, con sabor tostado.	Característico, aún equilibrado. Algo salado o leve falta de sal. Aún típico y natural con menos sabor a tostado.	Ligeramente plano, no redondeado. Aún aceptable. No tan típico. Algo salado o falta de al, con leve sabor a tostado.	Plano, no redondeado, aun aceptable. Dulce o salado, o con algo a sabor a materia grasa.	No típico, insípido, amargo, claramente dañado con sabor a materia grasa.	Alterado. Completamente atípico. Amargo, ácido, crudo.	Alterado, desagradable. Rancio, muy amargo.	Extraño, desagradable, fermentado. Francamente deteriorado.
Textura	Característica ni corteza dura ni blanda y delgada, miga suave y blanda, crocante. Muy típica y característica.	Buena, típica, corteza aun ni blanda ni dura, aun delgada, miga suave y blanda, menos crocante. Típica característica.	Normal, típica, corteza levemente blanda o dura y algo gruesa, miga menos suave y menos blanda o levemente dura. Menos típica menos característica.	Ligeramente alterada. Corteza algo blanda o algo dura y gruesa, miga algo dura.	Alterada, con desuniformidad, corteza dura y muy gruesa, miga dura con algo de sequedad, textura seca.	Claramente alterada. Desuniforme: corteza dura y demasiado gruesa, con miga muy dura, con sequedad. La corteza se presenta algo latiguda o húmeda.	Claramente alterada, corteza muy dura y excesivamente gruesa, miga excesivamente dura o muy seca. La corteza se presenta húmeda o latiguda.	Desagradable, modificada, excesivamente dura, gruesa la corteza y miga. Tanto corteza y miga muy latiguda o muy húmeda o chiclosa.	Completamente alterada, inaceptable.

3.3 Diseño experimental

Los factores de respuesta, que se eligieron después de los ensayos preliminares fueron:

- Tiempo de fermentación entre 0 minutos a 20 minutos
- Tiempo de horneado entre 7 minutos a 19 minutos

Se eligieron estos factores de respuesta, por su incidencia en las variaciones de color y textura en el pan tipo hallulla. Los límites se eligieron para el tiempo de fermentación en un rango en que se mantuviera apariencia lisa, plana y simétrica y para el tiempo de horneado en el rango entre el límite de lo crudo con el límite de lo recocado.

Utilizando el modelo central rotacional compuesto con los dos factores, se obtuvieron los puntos del diseño experimental, que se muestran en la Tabla N°13.

Tabla N°13: Tiempos de fermentación y tiempos de horneado en minutos del diseño experimental.

	$-\sqrt{2}$	-1	0	1	$\sqrt{2}$
tiempos de fermentación (min)	0	2,9	10	17,1	20
tiempos de horneado (min)	7	8,7	13	17,2	19

Las combinaciones de los puntos, se muestran en la Tabla N°14.

La Tabla N°14: Modelo central rotacional compuesto.

Valores Codificados (x_1, x_2)	Tiempo de Fermentación (x_1), min	Tiempo de Horneado (x_2), min
(0,0)*	10	13
(0, $\sqrt{2}$)	10	19
(1,1)	17,1	17,2
(1,-1)	17,1	8,7
($-\sqrt{2}$,0)	0	13
(-1,-1)	2,9	8,7
(0, $-\sqrt{2}$)	10	7
(-1,1)	2,9	17,2
($\sqrt{2}$,0)	20	13

Nota: *corresponde al punto central, que se realiza en 3 repeticiones

3.3 Evaluación sensorial de las corridas del diseño

Se evaluaron las 11 corridas del diseño en 4 sesiones, de acuerdo a la metodología descrita en 2.4. Los resultados detallados se encuentra en el Anexo N°7.

Se realizó un ANOVA entre muestras y jueces para cada atributo evaluado, cuyos resultados se muestran en la Tabla N°15.

Tabla N°15: Resultados del ANOVA para muestras y jueces

Atributo	Muestras		Jueces	
	Nivel de significancia (P-Value)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)	Nivel de significancia (P-Value)	Diferencia significativa ($p \leq 0,05$)
Color	0	SI	0,0973	NO
Apariencia/forma	0	SI	0,1893	NO
Olor	0	SI	0,0837	NO
Sabor	0	SI	0,6393	NO
Textura	0	SI	0,1270	NO

Como se observa en la Tabla N°15, no hubo diferencias significativas entre jueces para ningún atributo (debido al correcto entrenamiento y al uso de la Tabla específica de pan tipo Hallulla) y para el caso de las muestras se observaron diferencias significativas para todos los atributos (Anexo N°8), por lo que todos los atributos son susceptibles de ser optimizados a través de método de superficie de respuesta.

En la Tabla N°16 se muestra el resumen de puntaje para cada atributo en las corridas y grado de calidad asignado.

Tabla N°16: Puntajes por atributo de las corridas experimentales

Tiempo (fermentado/horneado)	Color	Apariencia/forma	Olor	Sabor	Textura	Grado de calidad
20 min /13 min	7,2	8,3	7,8	7,6	7,8	1
0 min /13 min	7	7,4	6,5	6,8	7,5	2
10 min /13 min	6,9	7,1	6,9	6,7	7,4	2
17,1 min /17,2 min	8,2	7,7	8,3	7,4	5,7	2
2,9 min /17,2 min	7,8	7,2	7,2	6,8	5,1	2
2,9 min /8,7 min	3,4	6,5	4,6	4,7	4,4	3
10 min /19 min	6,5	7,7	6,7	6,7	4,7	2
17,1 min /8,7 min	4,2	6,6	5,8	6,8	3,4	3
10 min /13 min	6,7	7,4	7,3	7,4	7,2	2
10 min /7 min	3,2	4,1	4,3	4	3,2	3
10 min /13 min	6,9	7,3	7,5	7	7,1	2

Nota 1: celdas amarillas indican el atributo limitante, peor evaluado

Nota 2: color verde indica grado de calidad 1, color rojo indica grado de calidad 2, color azul indica grado de calidad 3.

El grado de calidad de cada corrida quedó definido según el atributo limitante, es decir, el atributo con menor calificación, como se muestra en la Tabla N°16. Los atributos limitantes para todos los casos fueron color o textura, indicando la importancia que tienen en la calidad del pan.

3.5 Optimización del diseño experimental

Se realizó la optimización de las variables de respuesta color, apariencia, olor, sabor y textura, a través de la metodología de superficie de respuesta, descrita en el punto 2.3. La optimización de apariencia presentó un ajuste no tan bueno con un R^2 0,78, por lo que sus resultados se encuentran en el Anexo N°9.

A continuación se presentan los resultados para los atributos que presentaron un buen ajuste a través de la Metodología de Superficie de Respuesta.

3.5.1 Color

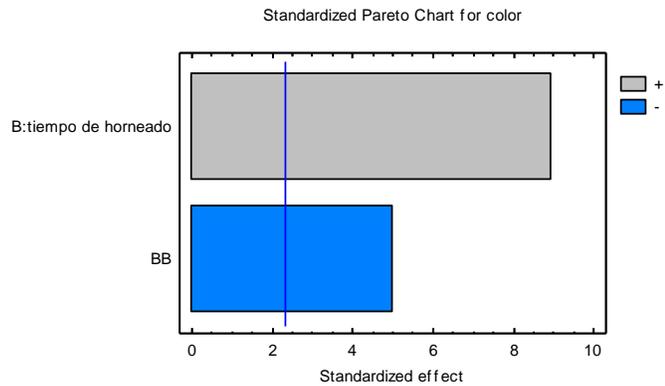


Figura 6: Diagrama de Pareto para color (solo variables significativas)

Como se observa en el Diagrama de Pareto en la Figura 6, el color sólo depende del tiempo de horneado, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,93, cercano a 1, lo que indica un muy buen ajuste.

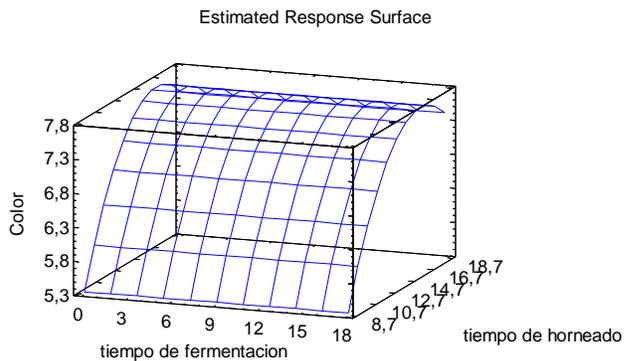


Figura 7: Optimización para atributo color

$$\text{Color} = -7,84 + 1,89 \cdot \text{tiempo de horneado} - 0,06 \cdot \text{tiempo de horneado}^2$$

Como se observa en la superficie de respuesta de la Figura 7, al aumentar el tiempo de horneado, aumenta el color llegando a un puntaje de aproximadamente 7,7 en escala de 9 puntos, en un tiempo de horneado de aproximadamente 16 minutos, luego

comienza a descender la respuesta para este atributo. El tiempo de fermentación no influye en el color. Con la ecuación optimizada se obtiene al reemplazar el tiempo óptimo de horneado (15,5 min) un puntaje de 7,0 en escala de 9 puntos, es decir, se obtiene calidad grado 1 para el color.

3.5.2 Olor

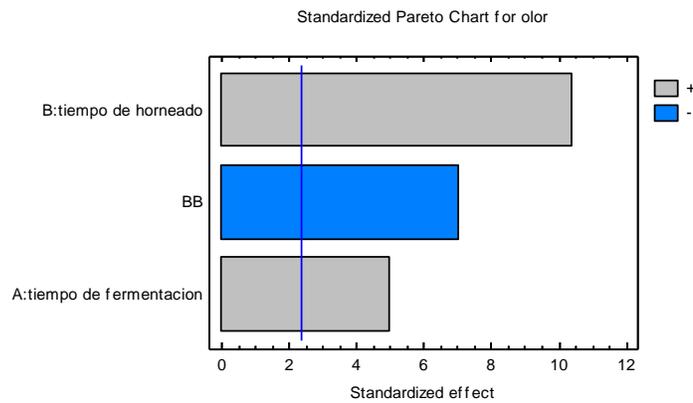


Figura 8: Diagrama de Pareto para olor (solo variables significativas)

Como se observa en el Diagrama de Pareto en la Figura 8, el olor depende del tiempo de horneado y del tiempo de fermentación, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,96, lo cual es cercano a 1, es decir, presenta un muy buen ajuste.

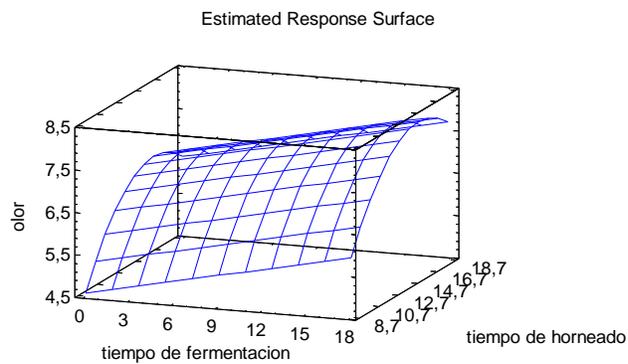


Figura 9: Optimización para atributo olor

$$\text{Olor} = -4,49 + 0,07 \cdot \text{tiempo de fermentación} + 1,44 \cdot \text{tiempo de horneado} - 0,05 \cdot \text{tiempo de horneado}^2$$

Como se muestra en la superficie de respuesta de la Figura 9, al aumentar el tiempo de fermentación aumenta la respuesta del atributo olor en forma directa, siendo óptima a los 20 minutos. Lo mismo pasa con el tiempo de horneado hasta llegar a un puntaje 8 en escala de 9 puntos, equivalente a aproximadamente 16 minutos de horneado, donde comienza a descender al seguir aumentando el tiempo de horneado. Con la ecuación optimizada se obtiene al reemplazar el tiempo óptimo de fermentación (20 min) y el tiempo óptimo de horneado (15,7 min), un puntaje de 7,0 en escala de 9 puntos, es decir, se obtiene calidad grado 1 para el olor.

3.5.3 Sabor

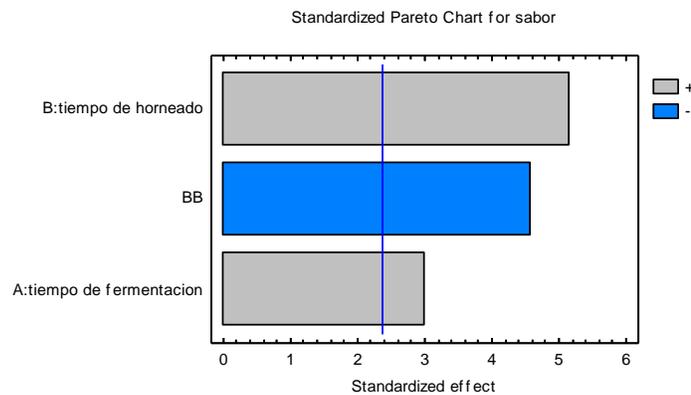


Figura 10: Diagrama de Pareto para olor (solo variables significativas)

Como se observa en el Diagrama de Pareto en la Figura 10, el sabor depende del tiempo de horneado y del tiempo de fermentación, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,89, lo cual es cercano a 1, es decir, presenta un muy buen ajuste.

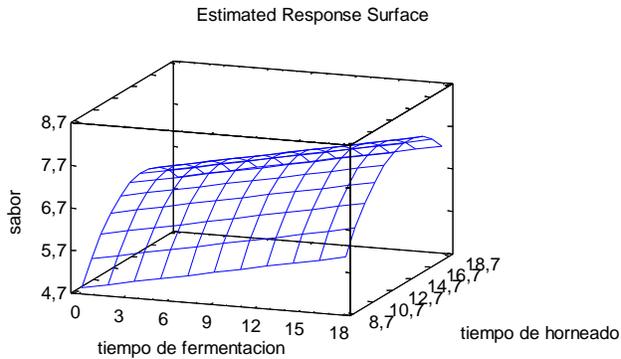


Figura 11: Optimización para atributo sabor

$$\text{Sabor} = -3,83 + 0,07 \cdot \text{tiempo de fermentación} + 1,39 \cdot \text{tiempo de horneado} - 0,05 \cdot \text{tiempo de horneado}^2$$

Como se muestra en la superficie de respuesta de la Figura 11, al aumentar el tiempo de fermentación aumenta la respuesta del sabor en forma directa, siendo óptima a los 20 minutos. Con el tiempo de horneado aumenta la respuesta hasta llegar a un máximo de sabor alrededor de puntaje 8, equivalente a aproximadamente 15 minutos de horneado, en donde comienza a descender la respuesta para el sabor. Con la ecuación optimizada se obtiene al reemplazar el tiempo óptimo de fermentación (20 min) y el tiempo óptimo de horneado (15 min), un puntaje de 7,2 en escala de 9 puntos, es decir, se obtiene calidad grado 1 para el sabor.

3.5.4 Textura

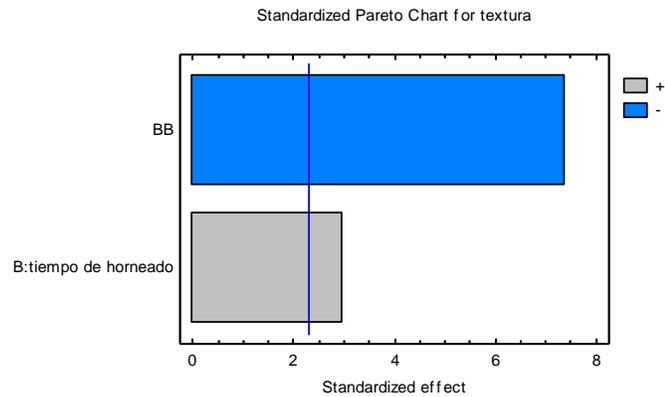


Figura 12: Diagrama de Pareto para textura (solo variables significativas)

Como se observa en el Diagrama de Pareto en la Figura 12, la textura sólo depende del tiempo de horneado, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,89, lo cual es cercano a 1, es decir, presenta un muy buen ajuste.

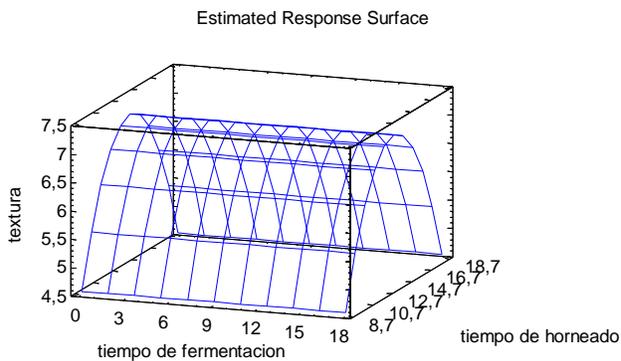


Figura 13: Optimización para atributo textura

$$\text{Textura} = -12,45 + 2,87 \cdot \text{tiempo de horneado} - 0,10 \cdot \text{tiempo de horneado}^2$$

Como se muestra en la superficie de respuesta de la Figura 13, al aumentar el tiempo de horneado, se llega hasta una respuesta máxima de alrededor de puntaje 7; para

aproximadamente 14 minutos de horneado, comenzando a disminuir la respuesta de textura a partir de ese punto. El tiempo de fermentación no influye en la respuesta. Con la ecuación optimizada se obtiene al reemplazar el tiempo óptimo de horneado (13,7 min) un puntaje de 8,1 en escala de 9 puntos, es decir, se obtiene calidad grado 1 para textura, con un puntaje muy alto.

3.5.5 Optimización múltiple

Se consideraron los atributos optimizados color, sabor, olor y textura, por presentar un buen ajuste (excluyendo apariencia, R^2 de 0,78).

Se muestran en la Tabla N°17 los valores de tiempo de fermentación como el tiempo de horneado, de cada uno de los atributos optimizados individualmente, así como la optimización múltiple. En la Figura 14 aparece la optimización múltiple.

Tabla N°17: Factores óptimos de cada atributo y optimización múltiple

Respuesta	R^2 optimizado	Función de deseabilidad	Factor	Optimos (min)
Color	0,93	-	- tiempo de horneado	- 15,5
Olor	0,96	-	tiempo de fermentación tiempo de horneado	20 15,7
Sabor	0,89	-	tiempo de fermentación tiempo de horneado	20 15
Textura	0,89	-	- tiempo de horneado	- 13,7
Optimización múltiple	-	0,97	tiempo de fermentación tiempo de horneado	17,6 15

Nota: Tiempo de fermentación, límite inferior 0 y límite superior 20 minutos
Tiempo de horneado, límite inferior 7 y límite superior 19 minutos.

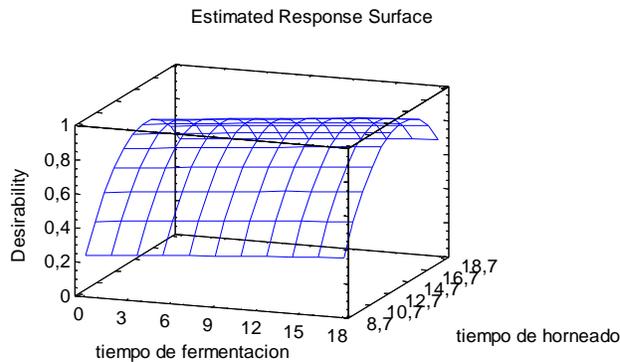


Figura 14: Optimización Múltiple

El tiempo de fermentación óptimo es 17,6 minutos, estando cercano al límite superior del diseño de 20 minutos. Un tiempo mayor implicaría que el producto pierda la forma lisa y plana característica del producto.

El tiempo de horneado óptimo es de 15 minutos, estando al medio entre los niveles del diseño de 7 a 19 minutos de tiempo de horneado. Con un tiempo de horneado menor, no se alcanza a formar corteza y el producto es muy pálido; y con un tiempo de horneado mayor se forma una corteza muy dura y muy tostada.

Al reemplazar los valores óptimos de la optimización múltiple (17,6 min de fermentación y 15 minutos de horneado) en cada atributo optimizado, se obtiene en todos ellos valores sobre 7,0 en escala de 9 puntos, es decir, calidad grado 1 para el producto optimizado, al igual que al optimizar cada atributo por separado.

El valor óptimo de la optimización deseada es de 0,97, en una escala de 0 a 1, con lo que se puede concluir que es un buen modelo. La variable tiempo de horneado estuvo presente en las ecuaciones optimizadas de todos los atributos, ya que este factor en su tiempo óptimo contribuye a un color dorado, textura de corteza ni blanda ni dura, miga suave, olor y sabor a tostado; mientras que el tiempo de fermentación sólo estuvo presente en las ecuaciones optimizadas de olor y sabor, ya que influye en el olor y

sabor a levadura o materia grasa, que el juez lo identificó con el menor tiempo de fermentación.

3.6 Determinación de humedad

Se muestra en la Tabla N°18, los resultados de las humedades, obtenidas por método lento y rápido.

Tabla N°18: Humedades de las corridas.

Tiempo (fermentado/horneado)	Humedad Método Lento (%) (1)	Humedad Método Rápido (%) (2)	(1)- (2)
masa cruda	<i>36,61±0,12</i>	<i>36,95±0,09</i>	-0,34
20 min /13 min	25,22±0,06	25,26±0,11	-0,04
0 min /13 min	26,92±0,10	26,20±0,12	0,72
10 min /13 min	25,58±0,16	26,01±0,16	-0,43
17,09 min /17,22 min	22,15±0,04	21,92±0,09	0,23
2,91 min /17,22 min	23,18±0,12	22,31±0,08	0,87
2,91 min /8,74 min	28,21±0,07	28,30±0,07	-0,09
10 min /19 min	20,80±0,09	20,64±0,05	0,16
17,09 min /8,74 min	28,32±0,08	28,60±0,08	-0,28
10 min /7 min	31,94±0,11	31,65±0,08	0,29

Nota: en cursiva muestra la humedad de la masa cruda y en negrita muestra la humedad de la corrida con mayor tiempo de horneado.

Ambos métodos presentan resultados similares, por lo que se podría utilizar solo método rápido para la obtención de resultados, para evitar demora en resultados.

La humedad de las muestras varía desde un 36% en base húmeda para la masa cruda (color azul) a un 21% para el producto horneado por 19 minutos (color rojo), se observa que a medida que aumenta el tiempo de horneado va disminuyendo la humedad, además esto se refleja en los cambios de la corteza, ya que adquiere más color y se reseca.

Además con el resultado de las humedades de todas las corridas, se optimizó esta respuesta a través del método de superficie de respuesta, obteniendo un coeficiente de determinación R^2 de 0,96 y la siguiente ecuación: $\text{humedad} = 36,68 - 0,85 \cdot \text{tiempo de}$

horneado. Esta ecuación puede servir para predecir la humedad conociendo el tiempo de horneado.

Reemplazando el valor de tiempo de horneado optimo de 15 minutos, dio una humedad de aproximadamente de un 24%.

3.7 Caracterización de la fórmula optimizada

Tabla N°19: Datos comparativos de pan tipo hallulla optimizado y comercial

Productos	% humedad (base húmeda)	Aw
Fórmula optimizada	24,086	0,87
Hallulla Castaño	24,210	0,88
Hallulla Lider	26,597	0,90

Se puede observar en la Tabla N°20 el resultado del análisis proximal para el pan tipo hallulla optimizada:

Tabla N°20: Análisis Químico Proximal de pan tipo Hallulla

Energía (Kcal/100 g)	317
ENN (%)*	60,2
Humedad %	24,2
Proteínas % (f=6,25)	8,9
Lípidos (%)	4,5
Ceniza (%)	2,1
Fibra (%)	0,1

*ENN: extracto no nitrogenado

Como se puede observar en la Tabla N°19 y N°20, las humedad del pan optimizado es similar a los productos comerciales del mismo tipo y similar a la optimización de humedad, resultante del método de superficie de respuesta.

El aporte de energía del producto es 317 kcal por 100 gramos de producto, lo cual concuerda con lo estudiado en marco teórico del punto 1.3, que tiene mayor aporte calórico que una marraqueta.

La actividad del agua, como se muestra en la Tabla N°19, bordea 0,9, tanto en la fórmula optimizada como en las comerciales, lo cual permite el desarrollo de levaduras (aw mínima de 0,88) y mohos (aw mínima de 0,80) (Nelson, 1993).

3.8 Determinación de calidad mediante Visión Computacional

Luego de la adquisición de las 360 imágenes (fotos de los panes por sus 4 lados), y la segmentación de éstas, se entrenó el programa Matlab con la calidad obtenida por el atributo limitante de la calidad sensorial. A modo de ejemplo, en la Figura 15, se presentan imágenes para cada calidad.

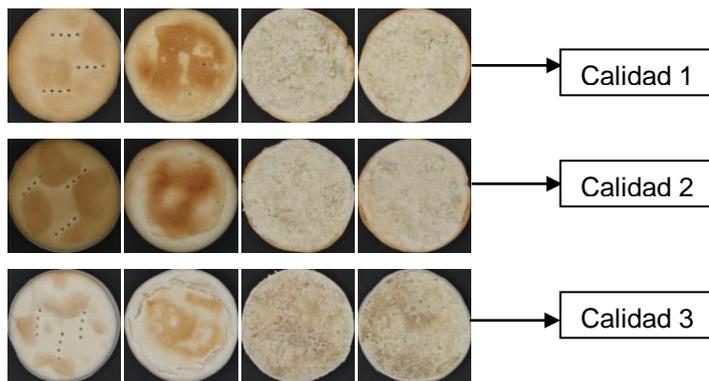


Figura 15: Imágenes que corresponden a la Calidad Sensorial 1,2 y 3.

A partir de las imágenes el programa Matlab extrajo características para posterior clasificación, utilizando el espacio de color L^*a^*b .

El programa seleccionó las 10, 20 y 30 mejores características de las características totales, de las cuales se obtienen los porcentajes de aciertos que se muestra en la Tabla N°21.

Tabla N°21: Mejores características encontrada por el programa Matlab.

Cantidad de Características	Clasificador	Nº de características	Aciertos %	Rango de Aciertos %
10	qda	7	82,5	77,97-87,03
20	qda	15	88,61	84,82-92,40
30	lda	28	90,00	86,42-93,58

Qda (análisis de discriminante cuadrático)

Lda (análisis de discriminante lineal)

En la Tabla N°21 se observa que a medida que se seleccionan más características, mejora el porcentaje de acierto, siendo para las 10 mejores características de un 83% y al triplicar las características aumenta el porcentaje a un 90%.

El porcentaje de aciertos entregado por el programa, como ejemplo para a las 28 mejores características, indica que con un 95% de probabilidad se obtendrá un porcentaje de aciertos entre 86,42% y 93,58%, con un promedio de 90%, lo que implica, por lo tanto, un 10% de error, usando el clasificador análisis discriminante lineal (lda).

El objetivo de buscar el mejor clasificador, es usar la menor cantidad de características seleccionadas, por ello se elige las 7 mejores características con un porcentaje de aciertos promedio de 83%, lo que implica, por lo tanto, un 17% de error. El clasificador seleccionado es análisis discriminante cuadrático (qda) (Mery et al., 2010).

La Figura 16 relaciona la mejor característica (L-Intensity Mean) encontrada en función de densidad de probabilidad. Un 100% de aciertos en la clasificación mostraría que no existe traslape entre las clases para la mejor característica. A diferencia de esto, se observa, que existe traslape entre las tres clases, lo que se podría interpretar como que no se logra diferenciar las tres clases usando sólo la mejor característica.

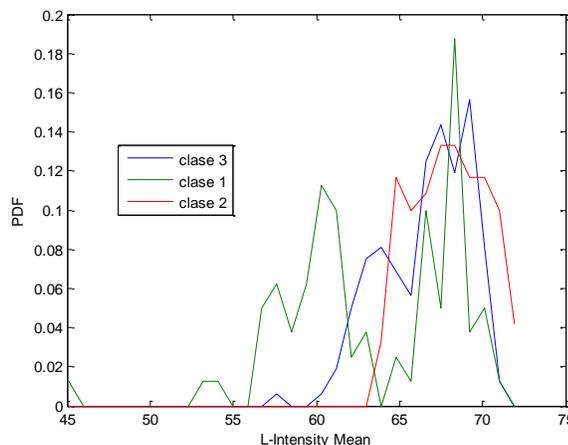


Figura 16: Mejor característica encontrada v/s función de densidad de probabilidad.

Las Figura 17 representa las dos mejores características (L-Intensity Mean y a-Intensity Kurtosis) encontradas por el clasificador. Se esperaría encontrar una nube de puntos separadas para las tres clases, lo que no ocurre así por el traslape entre las clases, en que no se logra diferenciar cada una de las clases con las 2 mejores características.

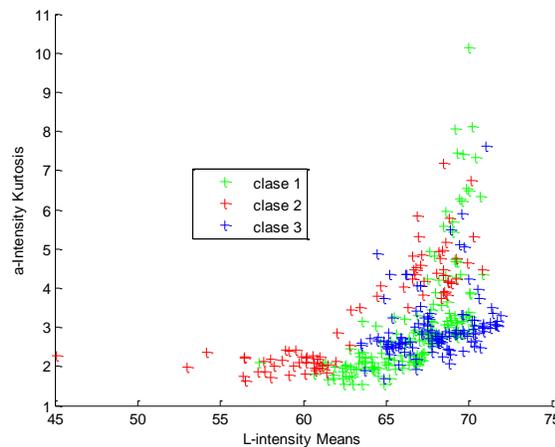


Figura 17: Relación entre las dos mejores características encontradas.

En, la Figura 18, representa un espacio tridimensional de las tres mejores características (L-Intensity Mean, a-Intensity Kurtosis y b-Intensity Skewness) encontradas para hacer la clasificación del pan tipo hallulla. Nuevamente encontramos un traslape entre las tres clases, siendo éste menor que en las Figuras 18 y 19, al seleccionar más características.

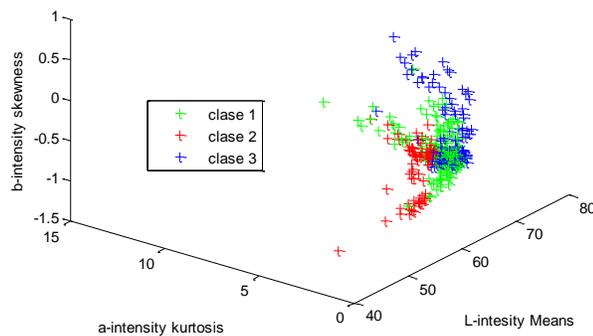


Figura 18: Relación entre las tres mejores características encontradas.

Finalmente, con una alta probabilidad de aciertos (83%) arrojada por el programa para las 7 mejores características, se produce el traslape en los gráficos porque sólo se puede representar la mejor, las dos mejores y las tres mejores características; es decir, el traslape de las distintas clases sería mucho menor si se pudieran representar todas las características seleccionadas por el programa.

Además es importante mencionar que en el proceso de horneado se produce una variabilidad de color entre unidades pertenecientes a una misma corrida, debido a la posición en el horno, pudiendo generar un error en el porcentaje de acierto para obtener el clasificador.

Para productos sometidos a altas temperaturas (140°C y 180°C), K.Moya (2011) obtuvo mediante visión computacional aplicada a la determinación de calidad de papas fritas tipo french fries 85% y 87% de aciertos, respectivamente, que es muy similar al obtenido en esta memoria. Esto indica que la visión computacional es una medición aplicable a productos expuestos a altas temperaturas, ya que se logran cambios de color que permiten obtener distintos grados de calidad (1, 2 y 3).

Finalmente, considerando productos de panadería semi-artesanales como el pan tipo hallulla, se considera poco recomendable la implementación de visión computacional en las líneas de procesos para reemplazar al operador humano en cuanto a la clasificación por calidad, por el porcentaje de error obtenido debido a la variabilidad entre unidades. Se podría implementar este método en productos de panadería más industriales, tales como pan de molde o galletas, ya que el producto es más homogéneo y uniforme.

4. CONCLUSIONES

- Se logró clasificar pan tipo hallulla en grados de calidad de mediante evaluación sensorial, con la participación de un panel conformado por 10 jueces, no presentando diferencias significativas entre ellos para ningún atributo, lo que demostró un buen entrenamiento.
- Se creó un test de valoración de calidad, para la evaluación del diseño, específica para el pan tipo hallulla con escala Karlsruhe.
- Se aplicó el modelo central rotacional compuesto con los factores tiempo de fermentación (0 a 20 minutos) y tiempo de horneado (7 a 19 minutos), el cual permitió optimizar la condiciones de proceso para elaborar pan tipo hallulla, resultando un tiempo óptimo de fermentación de 17,6 minutos y un tiempo optimo de horneado de 15,0 minutos con función de deseabilidad de 0,97 (en una escala de 0 a 1) lo que representa un muy buen modelo. El análisis para esta fórmula, dio una humedad de un 24%, aportando en energía 317 kcal por 100 gramos de pan tipo hallulla, con a_w 0,87.
- Con los resultados de la evaluación del panel sensorial mediante el entrenamiento previo al programa de Matlab, se obtuvo el clasificador qda (discriminante análisis cuadrático) por visión computacional, con un 83% de aciertos usando las 7 mejores características seleccionadas por el programa.
- La implementación de la visión computacional en la línea de procesos de pan tipo hallulla, no es recomendable para reemplazar al operador humano en cuanto a la clasificación por calidad, por la alta variabilidad entre unidades debido a que se trata de un producto semi-artesanal.

5. BIBLIOGRAFÍA

Belitz, H; Grosch, W. (1988). "Química de los alimentos". Ed. Acribia.S.A.Cap.15:571-578

Brosnan, T y Sun, D. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision - a review. *Journal of Food Engineering* 61: 3-16.

Callejo, M.J., Gil, M.J., Rodriguez, G., & Ruiz M.V. (1999): Effect of gluten content and storage time on white pan bread quality: instrumental evaluation. *Z. Lebensm. Unters. Forsch. A.*, 208, 27-32.

Castleman, K. (1996). *Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Chiang, L., Russell, E. and Braatz, R. (2001). "Fault detection and diagnosis in industrial systems". Springer-Verlag. UK.

Cía. Molinera San Cristóbal, 2004. "Curso de panadería básica". Centro de desarrollo e Demonstraciones.

Damásio, M. (Ed) (1999). "Manual de conceptos para análisis sensorial de los alimentos"

Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T.M. & Gellynck, X. (2008): Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception, *Journal of Cereal Science*. 48 (2), 243-257.

Fechipan, (2010). Revelador análisis de Fundación Chile: Competitividad panadera, disponible en línea: http://fechipan.cl/pdf/estudio_Diagnostico_Competitividad.pdf

Horwitz, W. (Ed) (2005). Official methods of Analysis of AOAC International, 18th edition, AOAC International, Maryland, USA.

Hoseney, R.C. (1991). "Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales". Ed. Acribia. S.A. 10:199-212.

James, C.S. (1999). Analytical Chemistry of Foods: An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.

Katina K. (2005): Thesis Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. Thesis. VTT Technical Research Centre of Finland.

Kihlberg, I. (2004): Sensory Quality and consumer perception of wheat bread. Thesis. Acta Universitatis Uppsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Social Sciences 139, 86 pp. Uppsala, Sweden.

Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A. & Risvik, E. (2004): Sensory qualities of whole wheat pan bread influence of farming system, milling and baking technique. Journal of Cereal Science. 39, 67-84.

Kriems, P; Hermann, C. (1994). "New information on the effect of baking temperature, the turbo effect and oven air moisture content on crust and crumb development in mixed rye bread". Getreide,-Mehl-und-Brot; 48 (1):41-46.

Kuller LH. Nutrition, lipids, and cardiovascular disease. *Nutr Rev.* 2006;64:S15-26.

Liberona, Y. Castillo, O. Engler, V. Villaroel, L and Rozowski, J. (2010): Nutritional profile of schoolchildren from different socio-economic levels, in Santiago, Chile. Public Health Nutrition: page 1 of 8.

Lynch, E. Dal Bello, F. Sheehan, E.M. Cashman K.D. and Arendt, E.K. (2009): "Fundamental studies on the reduction of salt on dough and bread characteristics". Food Research International 42 (2009) 885-891.

Lassoued, N., Delarue, J., Launay, B. & Michon, C. (2008): Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *Journal of Cereal Science*, 48 (1), 133-143.

Meilgaard, M., Civille, G.V. y Carr, B. (1999). *Sensory Evaluation techniques*. 2nd edition. CRC press, inc., Estados Unidos.

Mery, D. (2003). Crossing line profile: a new approach to detecting defects in aluminum castings. In: Bigun J, Gustavsson T, editors. *Proc. Scandinavian Conf. Image Anal. 2003 (SCIA 2003)*. *Lect Notes Comput Sci* 2749:725–32.

Mery, D. (2008). Jefe del Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Comunicación personal.

Mery, D., y Pedreschi, F. (2005). "Segmentation of color food images using a robust algorithm". *Journal of Food Engineering*, 66, 353-360.

Moya, K. (2011). Tesis: Determinación de calidad en papas tipo French fries mediante visión computacional y estudio de sus propiedades físicas. Universidad de Chile.

Nelson, C. (1993): Strategies of Mold Control in Dairy Feeds. *J. Dairy Sci.*, 76: 898 – 902.

NIELSEN S. (ed). (2003). *Food Analysis Laboratory Manual*; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York.

Odepa, (2009). "Boletín de los consumidores", disponible en línea: <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2254.pdf>

Özilgen, M; Heil, J.R. (1994). "Thermal Properties of Foods and agricultural Material". Gordon and Breach, New York.

Potter, N. y Hotchkiss, J. (2007). "Ciencia de los alimentos", 5th edición. España, página 421-450.

Rincón del molinero, (2010): Requisitos para la calidad total, disponible en línea:
<http://www.trigopan.com.ar/TecdelTrigo/Pages/rinconmolino/calidadtotal.htm>

Revista Médica de Chile, 2008. "Estilos de vida y estado nutricional de los trabajadores de empresas públicas y privadas de dos regiones de Chile". V.136 n.11. Santiago, Noviembre, 2008.

Schwate, W y Ulrich, V. (1986). VEB_Fachbuchverlag, Leipzig.

Soser, S.A. (2010). Fichas técnicas de materias primas, disponibles en línea:
<http://www.soser.cl/fichas/abarrotes.pdf>

Stear, C.A. (1990). "Aims and requirements of the Baking Process". Handbook of Breadmaking Technology. 539-580.

Talavera, I. y Rodríguez, J. (2008): "Estado del Arte del Reconocimiento de Patrones, REPORTE TÉCNICO", disponible en línea
http://www.cenatav.co.cu/doc/RTecnicos/RT%20SerieAzul_002web.pdf

Torras, S. (2004): "Siniestralidad en seguros de consumo anual de las entidades de previsión social, La. Perspectiva probabilística y econométrica". Tesis Doctoral de la Universidad de Barcelona. Capítulo II: Herramientas de extracción de información: Redes Neuronales, disponible en línea:
http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UB/AVAILABLE/TDX-0929104-094807//3.CAP%CDTULO_2.pdf

Wittig de Penna E. (1981): Evaluación Sensorial, una metódica que mide calidad. II Evaluación de calidad mediante el test de valoración con escala de Karlsruhe. Alimentos, 25-31.

ANEXOS

Anexo 1 "FICHAS DE ANÁLISIS SENSORIALES"

Para Selección

FICHA DE RESPUESTA N° 1

UMBRAL DE IDENTIFICACIÓN

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 1 "FICHAS DE ANÁLISIS SENSORIALES"

Para Selección

FICHA DE RESPUESTA N°2

RANKING DE COLOR

Nombre: _____ Fecha: _____

Set: (Verde)

Test: Ordenamiento

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.

(Más débil)

(Más intenso)

FICHA DE RESPUESTA N°2

RANKING DE COLOR

Nombre: _____ Fecha: _____

Set: (Amarillo)

Test: Ordenamiento

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.

(Más débil)

(Más intenso)

FICHA DE RESPUESTA N°2

RANKING DE COLOR

Nombre: _____ Fecha: _____

Set: (Rojo)

Test: Ordenamiento

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.

(Más débil)

(Más intenso)

FICHA DE RESPUESTA N°3

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 1 "FICHAS DE ANÁLISIS SENSORIALES"

Para Entrenamiento

FICHA DE RESPUESTA N° 4

DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS

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 corteza	W	
	X	
	Y	
Apariencia/ Forma	W	
	X	
	Y	

ATRIBUTO	MUESTRA	DESCRIPCION
Olor	W	
	X	
	Y	
Sabor	W	
	X	
	Y	
Textura	W	
	X	
	Y	

Anexo N°2 “Método de AOAC, para determinar humedad”

Determinación de Humedad AOAC (1990)

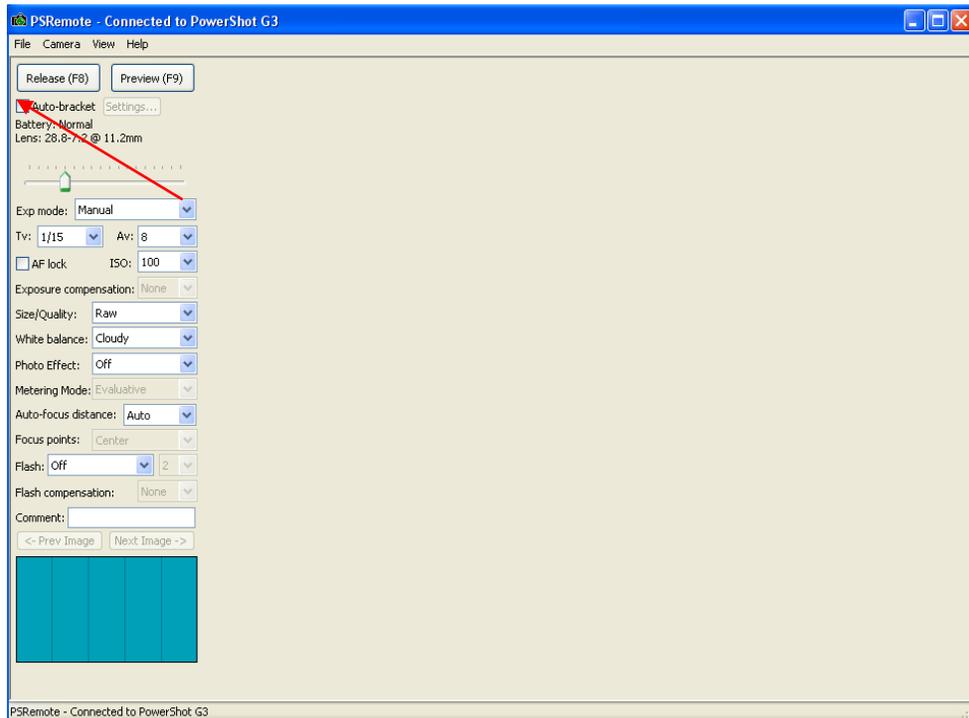
Fundamento: El método utilizado se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire.

Procedimiento: Se colocaron aproximadamente 3 g de muestra en una cápsula de aluminio, cuidadosamente picados y pesados en balanza analítica (GR-200), para luego ser ubicadas en la estufa a 105°C hasta peso constante. Posteriormente se dejó en desecador 30 minutos, para finalmente pesar nuevamente la cápsula con la muestra desecada.

Anexo 3“Matlab”

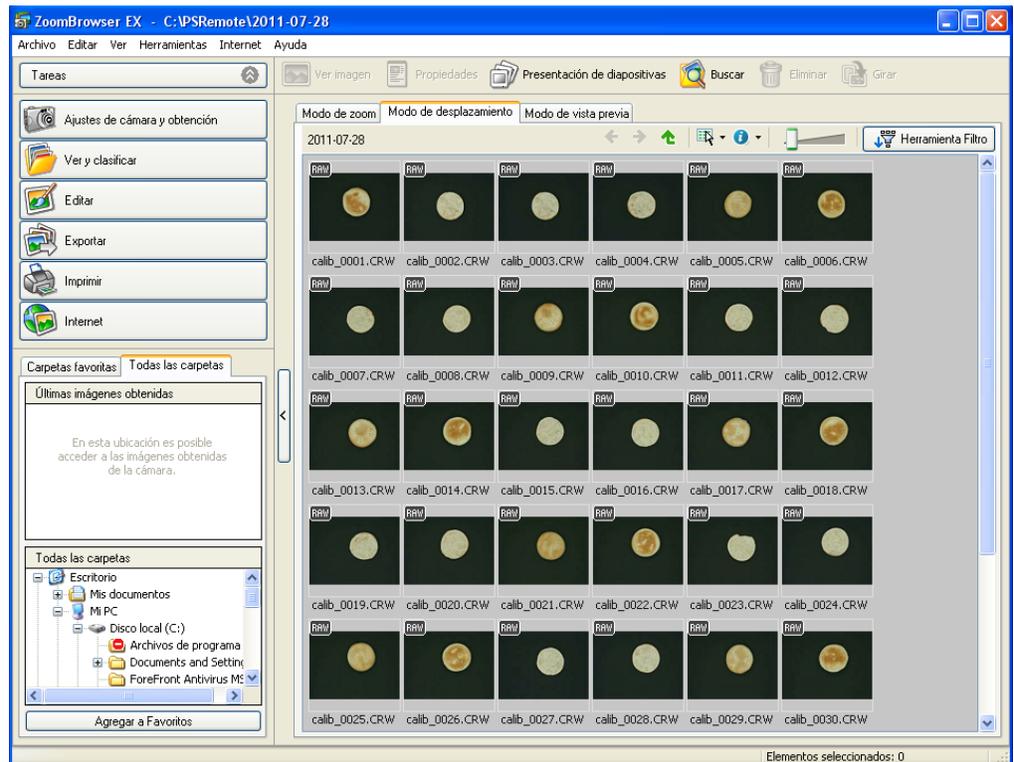
Toma de fotografías

- 1) Prender cámara y luego conectarla al computador
- 2) Abrir programa PS Remote. Hacer clic en Camera y luego en Viewfinder para ajustar imagen.
- 3) Ajustar parámetros:
 - Modo de disparo: Manual
 - Velocidad de obturación Tv: 1/15
 - Valor de abertura Av: 8
 - Velocidad ISO: 100
 - Tamaño/calidad: Raw
 - Balance de blancos: Cloudy
 - Efecto de fotografía : Apagado
 - Distancia focal : Auto
 - Flash: Apagado
- 4) Una vez ajustada la imagen y los comandos, sacar fotografía haciendo clic en Release.



- 5) Las fotografías quedaran almacenadas en C:/archivos de programa/PS Remote/Carpeta con la fecha correspondiente.

- 6) Guardar imágenes de la calibración en formato tif. Para esto, se abre el programa Zoom Browser y se agrega la carpeta con las fotos de la calibración. Haciendo doble clic en cada imagen, aparecerá una ventana, hacer clic en el botón: Mostrar imagen original.



- 7) Posteriormente, en el mismo programa Zoom Browser, ir a Archivo→ Guardar como: tif.

Anexo 4 “Curvas de calibración, L*a*b reales y estimados”

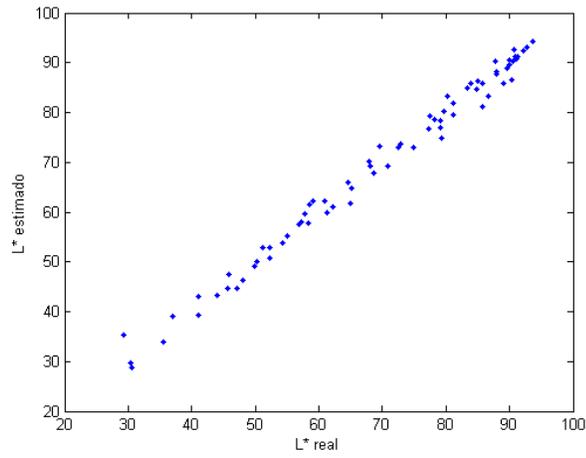


Figura 19: Gráfico de L*reales v/s L*estimados

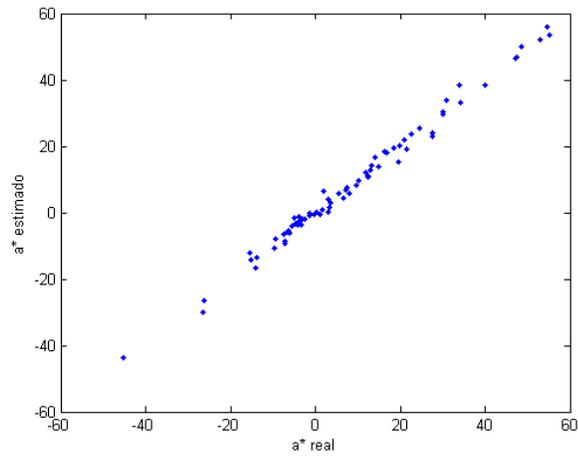


Figura 20: Gráfico de a*reales v/s a*estimados.

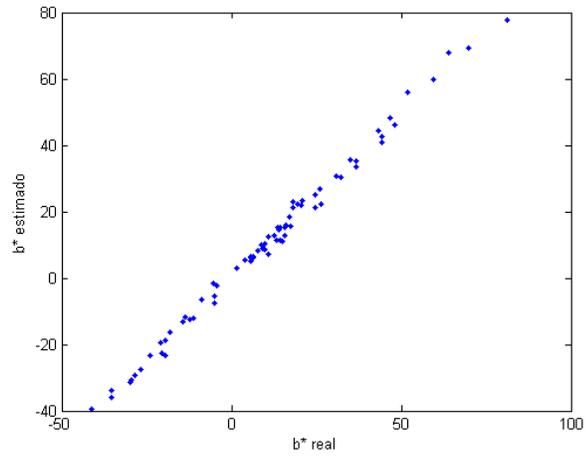


Figura 21: Gráfico de b*reales v/s b*estimados.

Anexo 5 “Selección del panel”

Identificación de umbral de gusto salado

Tabla N°22: Resultados por cada juez en la identificación de umbral de gusto salado.

Juez	Umbral de identificación de gusto salado (g NaCl/100ml)	Aciertos Asignados %
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

Ordenamiento de colores

Tabla N°23: Resultados del ordenamiento de colores.

Juez	Rojo (%)	Verde (%)	Amarillo (%)	Acierto promedio entre los 3 colores (%)
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

Test triangulares

Tabla N°24: Resultados de los test triangulares

Juez	Aciertos	Ausencias	Total de tríos evaluados por cada juez	% Acierto Totales
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

Anexo N°6 “Descripción de atributos para pan tipo hallulla”

Atributo	Descriptor	Frecuencia	Dirección de la característica	Grado de calidad
Color	Muy Pálido/ blanco homogéneo	6	-	3
	Dorado natural homogéneo	16	+	1
	Semitostado/ no homogéneo	1	+	1
	Tostado intenso/ dorado intenso/homogéneo	3	-	2
Apariencia /Forma	Lisa/ simétrica/ redonda bien conservada/cocida	32	+	1
	Poca lisa/ asimétrica/ poco conservada/cocida	3	-	2
	Ruptura superficie/ grietas/arrugas/cocida	4	-	2
	Con deformaciones/aberturas/partida	0	-	3
	Cruda	1	-	3
Olor	Leve a levadura	5	+	1
	Intenso a levadura	6	-	2
	Olor a tostado	4	+	1
	Olor materia grasa	4	-	3
	Suave/ específico a masa	10	+	1
	Plano/no específico	5	-	2
	Olor a masa cruda	3	-	3
Sabor	Salado	9	-	2
	Dulce	4	-	2
	Amargo	2	-	3
	Sabor a tostado	1	+	1
	Acido	2	-	3
	Agradable específico	9	+	1
	Insípido	7	-	2
	Artificial/ poco característico/ alterado	2	-	3
Textura	Corteza blanda/ no característica	13	-	3
	Corteza ni blanda ni dura /normal característica	12	+	1
	Corteza dura/ gruesa/crujiente	6	-	2
	Corteza muy dura/gruesa	8	-	2
	Miga blanda/suave		+	1
	Miga dura	4	-	2
	Latiguda, chiclosa	1	-	3

Anexo 7 “Resultados de la evaluación sensorial, de las 11 corridas”

Tabla N°25: Corrida: 0 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de Calidad 1

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	B	6	7	6	6	7
II	B	7	9	7	8	8
III	B	7	9	7	8	8
IV	B	7	7	7	8	8
V	B	8	7	7	7	8
VI	B	7	7	7	6	8
VII	B	6	7	6	6	6
VIII	B	8	8	6	7	8
IX	B	6	6	6	6	7
X	B	8	7	6	6	7
PROMEDIO		7,0	7,4	6,5	6,8	7,5

Tabla N°26: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1

juez	Producto	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	C	6	7	6	6	7
II	C	7	7	7	7	7
III	C	7	7	8	8	7
IV	C	7	7	7	7	8
V	C	7	7	8	7	8
VI	C	7	8	6	6	8
VII	C	6	7	6	6	7
VIII	C	7	6	7	7	7
IX	C	8	7	7	6	7
X	C	7	8	7	7	8
PROMEDIO		6,9	7,1	6,9	6,7	7,4

Tabla N°27: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	I	7	7	6	5	6
II	I	6	7	7	7	7
III	I	6	8	8	8	6
IV	I	6	7	7	6	6
V	I	7	7	8	8	8
VI	I	7	7	8	8	8
VII	I	7	8	6	8	7
VIII	I	7	8	7	8	8
IX	I	7	8	8	8	8
X	I	7	7	8	8	8
PROMEDIO		6,7	7,4	7,3	7,4	7,2

Tabla N°28: Corrida: 2,9 min. Fermentado, 17,2 min. Horneado, grado de calidad 2

juez	Producto	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	E	7	7	8	7	5
II	E	8	8	7	7	5
III	E	7	5	7	6	5
IV	E	7	7	6	5	4
V	E	8	8	6	7	6
VI	E	9	8	8	8	6
VII	E	8	8	8	8	5
VIII	E	9	9	7	6	4
IX	E	7	5	7	6	5
X	E	8	7	8	8	6
PROMEDIO		7,8	7,2	7,2	6,8	5,1

Tabla N°29: Corrida: 20 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1

juez	Producto	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	A	8	9	8	9	8
II	A	7	8	8	8	8
III	A	7	8	8	8	8
IV	A	8	8	8	8	8
V	A	7	8	7	6	7
VI	A	6	8	8	6	8
VII	A	6	9	7	7	8
VIII	A	8	9	8	9	8
IX	A	7	8	8	8	8
X	A	8	8	8	7	7
PROMEDIO		7,2	8,3	7,8	7,6	7,6

Tabla N°30: Corrida: 10 min. Fermentado, 13 min. Horneado, grado de calidad 1

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	L	7	7	7	5	6
II	L	7	7	7	7	7
III	L	7	8	8	8	8
IV	L	6	7	7	6	6
V	L	7	7	8	7	8
VI	L	7	7	8	8	6
VII	L	7	8	7	8	7
VIII	L	7	7	7	7	8
IX	L	7	8	8	8	7
X	L	7	7	8	6	8
PROMEDIO		6,9	7,3	7,5	7,0	7,1

Tabla N°31: Corrida: 2,9 min. Fermentado, 8,7 min. Horneado, grado de calidad 3

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	F	3	7	4	3	4
II	F	4	7	5	5	5
III	F	4	6	5	4	5
IV	F	4	7	4	3	4
V	F	3	7	5	4	5
VI	F	4	6	5	6	5
VII	F	3	5	4	5	5
VIII	F	3	7	4	5	4
IX	F	3	7	5	5	4
X	F	3	6	5	7	3
PROMEDIO		3,4	6,5	4,6	4,7	4,4

Tabla N°32: Corrida: 10 min. Fermentado, 19 min. Horneado, grado de calidad 2

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	G	7	6	6	8	4
II	G	7	8	7	7	5
III	G	6	8	7	7	5
IV	G	6	6	6	3	4
V	G	7	8	7	8	5
VI	G	6	8	7	8	5
VII	G	6	9	7	7	5
VIII	G	6	9	7	7	5
IX	G	7	8	7	8	5
X	G	7	7	6	4	4
PROMEDIO		6,5	7,7	6,7	6,7	4,7

Tabla N°33: Corrida: 17,1 min. Fermentado, 17, 2 min. Horneado, grado de calidad 2

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	D	8	7	9	7	5
II	D	8	7	8	7	6
III	D	8	8	8	7	6
IV	D	8	9	8	9	6
V	D	9	7	9	8	6
VI	D	8	7	9	7	5
VII	D	8	9	8	8	6
VIII	D	8	8	8	6	5
IX	D	8	7	8	7	6
X	D	9	8	8	8	6
PROMEDIO		8,2	7,7	8,3	7,4	5,7

Tabla N°34: Corrida: 10 min. Fermentado, 7 min. Horneado, grado de calidad 3

juez	PRODUCTO	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	K	3	3	4	5	3
II	K	3	3	4	4	3
III	K	3	4	4	4	4
IV	K	3	4	5	5	2
V	K	3	4	5	4	4
VI	K	4	5	5	4	3
VII	K	3	4	4	3	3
VIII	K	4	4	4	3	3
IX	K	3	5	3	3	4
X	K	3	5	5	5	3
PROMEDIO		3,2	4,1	4,3	4	3,2

Tabla N°35: Corrida: 17,1 min. Fermentado, 8,7 min. Horneado, grado de calidad 3

juez	Producto	color	apariencia/forma	olor	sabor	textura
I	H	4	5	6	7	4
II	H	5	7	6	7	3
III	H	4	6	5	7	3
IV	H	4	5	6	5	4
V	H	5	6	6	7	3
VI	H	5	6	5	8	4
VII	H	4	8	6	6	3
VIII	H	4	8	6	7	4
IX	H	4	7	6	7	3
X	H	3	8	6	7	3
PROMEDIO		4,2	6,6	5,8	6,8	3,4

Anexo 8 “Resultados, del método de superficie de respuesta en Statgraphics”

COLOR

Tabla N°36: Análisis de la Varianza para Color

Analysis of Variance for color - Type III Sums of Squares

Source	Sum Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:jueces	5,09091	9	0,565657	1,71	0,0973
B:muestras	303,564	10	30,3564	91,96	0,0000
RESIDUAL	29,7091	90	0,330101		
TOTAL (CORRECTED)	338,364	109			

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

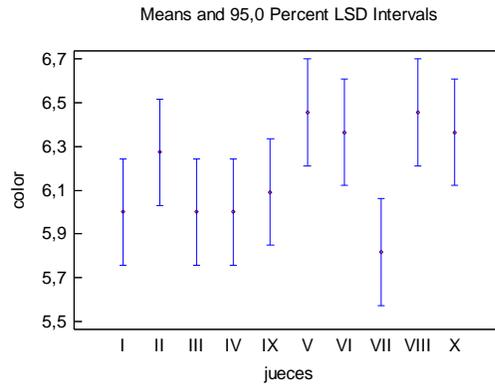


Figura 22: Gráfico de Jueces v/s Color

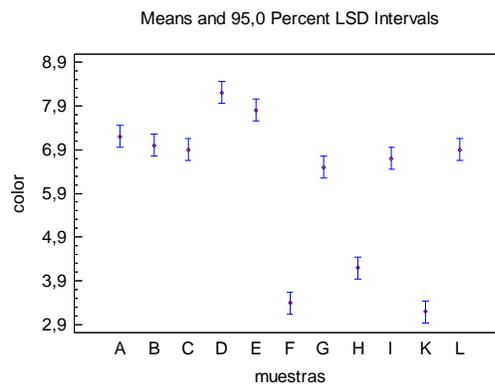


Figura 23: Gráfico de Muestras v/s Color.

APARIENCIA

Tabla N°37: Análisis de la Varianza para Apariencia

Análisis de Varianza para apariencia - Suma de Cuadrados Tipo III

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:jueces	8,91818	9	0,990909	1,43	0,1893
B:muestras	119,418	10	11,9418	17,17	0,0000
RESIDUOS	62,5818	90	0,695354		
TOTAL (CORRECTED)	190,918	109			

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

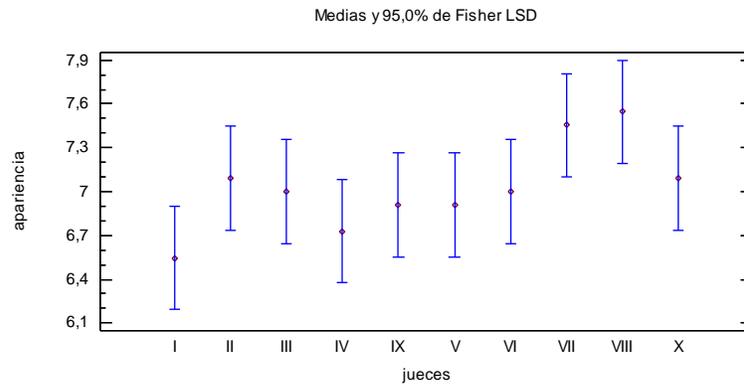


Figura 24: Gráfico de Jueces v/s Apariencia

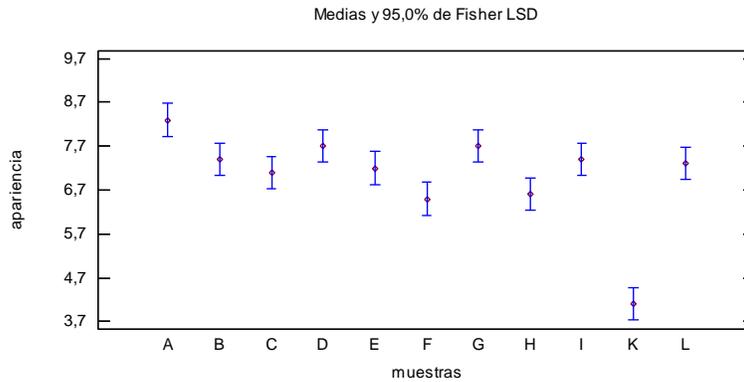


Figura 25: Gráfico de Muestras v/s Apariencia

OLOR

Tabla N°38: Análisis de la Varianza para Olor

Analysis of Variance for olor - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:jueces	5,35455	9	0,594949	1,78	0,0837
B:muestras	160,218	10	16,0218	47,83	0,0000
RESIDUAL	30,1455	90	0,334949		
TOTAL (CORRECTED)	195,718	109			

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

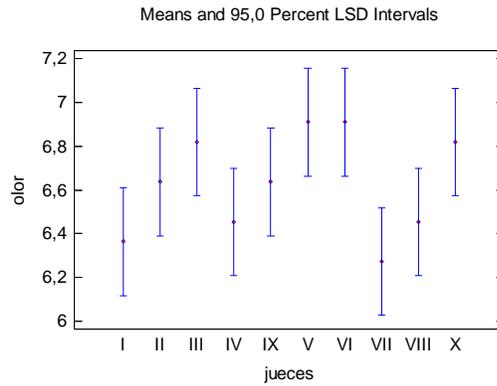


Figura 26: Gráfico de Jueces v/s Olor

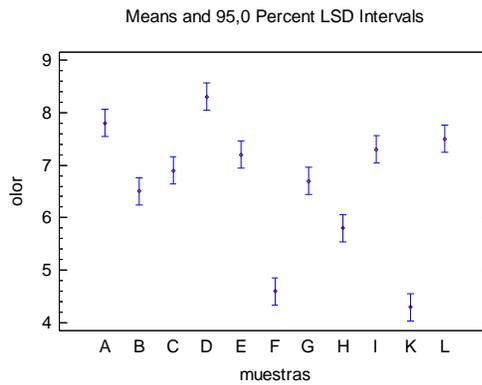


Figura 27: Gráfico de Muestras v/s Olor

SABOR

Tabla N°39: Análisis de la Varianza para Sabor

Analysis of Variance for sabor - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:jueces	8,08182	9	0,89798	0,78	0,6393
B:muestras	129,055	10	12,9055	11,14	0,0000
RESIDUAL	104,218	90	1,15798		
TOTAL (CORRECTED)	241,355	109			

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

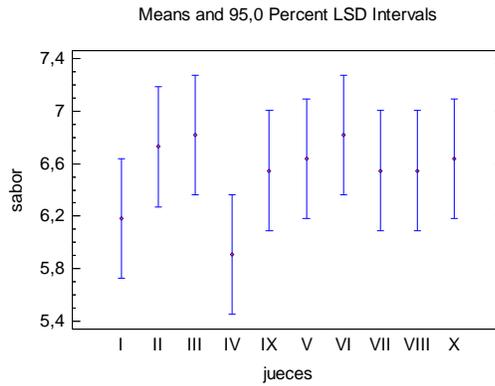


Figura 28: Gráfico de Jueces v/s Sabor

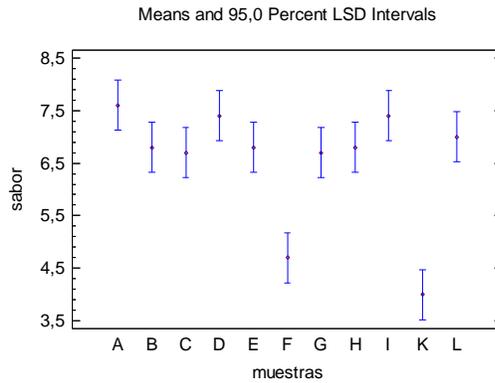


Figura 29: Gráfico de Muestras v/s Sabor

TEXTURA

Tabla N°40: Análisis de la Varianza para Textura

Analysis of Variance for textura - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:jueces	5,86364	9	0,651515	1,60	0,1270
B:muestras	292,818	10	29,2818	71,93	0,0000
RESIDUAL	36,6364	90	0,407071		
TOTAL (CORRECTED)	335,318	109			

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

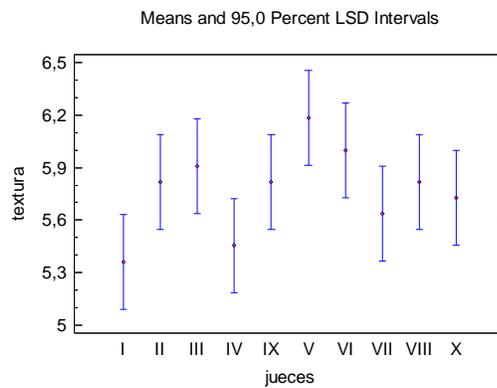


Figura 30: Gráfico de Jueces v/s Textura

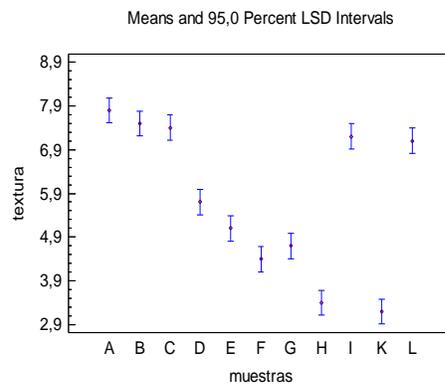


Figura 31: Gráfico de Muestra v/s Textura

Anexo N°9 “Superficie Apariencia”

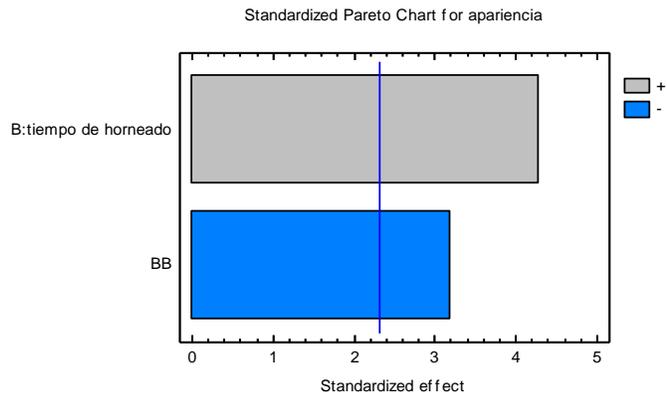


Figura 32: Diagrama de Pareto para apariencia (solo variables significativas)

$$R^2 = 0,78$$