

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



UNA INSTITUCIÓN ADVENTISTA

Tesis

**OPTIMIZACIÓN DE MEZCLAS DE HARINAS (*Chenopodium quinoa*,
Solanum tuberosum y *Zea mays*) PARA LA ELABORACIÓN DE CAKE
LIBRE DE GLUTEN**

**INFORME DE TESIS PRESENTADO COMO REQUERIMIENTO PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO DE ALIMENTOS**

Autor:

Rojas Palomino, Wilder Nilo

Asesor:

Ing. Coaquira Quispe, Joel

Villa Unión, Marzo de 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Nilo Rojas Villano y Roció Palomino de Rojas por el sustento y el apoyo incorporado brindado en la realización de esta tesis.

A Gladys Palomino y a mi hija Sophye Alice quienes pasaron tiempo brindándome alegrías y paciencia para el desarrollo de la tesis.

A mi asesor de tesis Ing. Joel Coaquira Quispe por su apoyo, paciencia incondicional y por todo el tiempo brindado durante el desarrollo de la investigación.

A la Facultad de Ingeniería y Arquitectura presidida por la Dra. Leonor Bustinza Cabala

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. Introducción.....	1
II. Marco teórico.....	4
II.1. Productos libres de gluten.....	4
II.2. El cake.....	6
II.2.1. Función de los ingredientes en el cake	7
II.2.1.1. Harina de trigo.....	9
II.2.1.2. Grasas.....	10
II.2.1.3. Huevo	12
II.2.1.4. Azúcar	12
II.2.1.5. El agua	13
II.2.1.6. Leudante.....	13
II.2.2. Sustitutos del gluten.....	14
II.2.2.1. Quinoa.....	15
II.2.2.2. Papa	18
II.2.2.3. Maíz.....	20
II.3. Propiedades físicas	23
II.3.1. Volumen	24
II.3.2. Porosidad	25

II.3.3.	Color	26
II.3.3.1.	Equipos de medición de color	27
II.3.4.	Actividad de agua	29
II.4.	Diseño de mezclas.....	30
II.4.1.	Diseño de mezclas simplex reticular	30
II.4.2.	Diseño de mezcla simplex de centroide	31
II.4.3.	Modelos de la mezcla	32
II.4.4.	Ubicación de los puntos de prueba	33
III.	Materiales y métodos	36
III.1.	Lugar de ejecución	36
III.2.	Materiales e insumos.....	36
III.2.1.	Materia prima	36
III.2.2.	Insumos.....	37
III.2.3.	Reactivos	37
III.2.4.	Materiales y equipos	37
III.3.	Método de análisis	38
III.3.1.	Materia prima	38
III.3.1.1.	Características de la harina.....	38
III.3.1.2.	Prueba de gluten.....	39
III.3.1.3.	Análisis proximal	39

III.3.2.	Producto terminado.....	39
III.3.2.1.	Determinación de índice de volumen, simetría y uniformidad para cake	39
III.3.2.2.	Determinación de porosidad por el procesamiento de imagen	40
III.3.2.3.	Determinación del color	41
III.3.2.4.	Evaluación de la Aw del cake	41
III.4.	Metodología experimental.....	41
III.4.1.	Elaboración de cakes usando el método de Diseño de Mezclas	41
III.5.	Diseño estadístico.....	44
IV.	Resultados y discusiones	46
IV.1.	Características físicas de la harina	46
IV.1.1.	Presencia de gluten	47
IV.2.	Análisis proximal de las harinas	48
IV.3.	Efectos de la mezcla para cake libre de gluten.....	51
IV.3.1.	Influencia de la adición de los componentes en el volumen.	53
IV.3.1.1.	Análisis estadístico de la influencia del volumen del cake	55
IV.3.2.	Influencia de la adición de los componentes en la porosidad	59
IV.3.2.1.	Análisis estadístico de la influencia de la adición de la porosidad.....	61
IV.3.3.	Influencia de la adición de los componentes en el color	68
IV.3.3.1.	Análisis estadístico de la influencia del análisis del color del cake	70

IV.3.4. Influencia de la adición de los componentes en la Actividad de agua y humedad del cake libre de gluten	77
IV.3.4.1. Actividad de agua en el cake LG.....	77
IV.3.4.1.1. Análisis estadístico de la Actividad de agua.....	78
IV.3.4.2. Humedad del cake final.....	80
IV.3.4.2.1. Análisis estadístico de la humedad.....	82
IV.4. Optimización de los parámetros de la mezcla en la elaboración de cake lg.....	84
IV.4.1. Análisis del tratamiento patrón	84
V. Conclusiones.....	89
VI. Recomendaciones.....	90
VII. Referencias	91
Anexos.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Formulación para cake</i> (AACC, 1999).....	6
Tabla 2 <i>Composición proximal en g/100g de muestra</i>	17
Tabla 3 <i>Composición proximal de la papa blanca y harina de papa</i>	19
Tabla 4 <i>Contenido nutricional de algunas variedades de maíz en el Perú</i>	22
Tabla 5 <i>Puntos experimentales del diseño de mezclas simplex con centroide ampliado</i>	35
Tabla 6 <i>Formulación para la elaboración del cake</i>	42

Tabla 7 <i>Las variables independientes y sus codificadas y los valores reales utilizados para la optimización</i>	44
Tabla 8 <i>Diseño de mezclas para el proceso de elaboración de cake libre de gluten</i>	44
Tabla 9 <i>Características de las harinas de quinua, papa y maíz por color y tamaño de partícula</i> 47	
Tabla 10 <i>Prueba de presencia de gluten</i>	48
Tabla 11 <i>Comparación de las características fisicoquímicas de la harina de quinua</i>	49
Tabla 12 <i>Comparación de las características fisicoquímicas de la harina de papa</i>	50
Tabla 13 <i>Comparación de las características fisicoquímicas de la harina de Maíz</i>	49
Tabla 14 <i>Valores del volumen, simetría y uniformidad con su Desviación estándar del diseño de mezclas</i>	54
Tabla 15 <i>Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta volumen</i>	55
Tabla 16 <i>Resultados del análisis obtenido del software ImageJ para la porosidad</i>	60
Tabla 17 <i>Análisis de varianza del modelo para la variable cantidad de poros</i>	62
Tabla 18 <i>Resultados obtenidos del color interno, miga interna y miga externa.</i>	69
Tabla 19 <i>Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta color</i>	71
Tabla 20 <i>Resultados de la Actividad de agua de la miga de los cakes LG</i>	78
Tabla 21 <i>Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta para la A_w</i>	79
Tabla 22 <i>Valores de humedad de los tratamientos</i>	81
Tabla 23 <i>Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta humedad</i>	82
Tabla 24 <i>Valores obtenidos para volumen, porosidad y color, del tratamiento patrón</i>	85
Tabla 25 <i>Límites establecidos por el software con restricción del tratamiento patrón</i>	85

Tabla 26 Respuesta estimada del diseño para la optimización de la mezcla de componentes (quinua, papa y maíz)	86
Tabla 27 Restricciones para la optimización de la mezcla de componentes (quinua, papa y maíz)	87

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Representación de etiquetas referenciales para productos sin gluten (Un mundo sin Gluten, 2014).	5
<i>Figura 2.</i> ^a Representación adaptada de cremado, ^b proceso de batido Wilderjans et al. (2013) y ^c horneado de la masa del cake con mezcla de etapas múltiples de Shepherd & Yoell (1976).	8
<i>Figura 3.</i> ^a Representación de la quinua variedad Blanca de Junín (Agencia Agraria Trujillo, 2013), ^b Representación de la sección longitudinal media del grano de quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd.</i>) (Prego et al, 1998).	16
<i>Figura 4.</i> Representación de variedades de papa blanca Canchan (Mercado Surco, 2016)	18
<i>Figura 5.</i> ^a Representación de la estructura del grano de maíz (Imagui, 2012), ^b Representación de variedades de maíz en el Perú (MINAG, 2011).....	21
<i>Figura 6.</i> Variedades de maíz en el Perú ¹ Paro, ² Cuzco, ³ San Jerónimo, ⁴ Morocho, ⁵ . Pisccorunto, ⁶ Huancavelicano, ⁷ Chullpi, ⁸ Confite morocho, ⁹ San Jerónimo Huancavelicano, ¹⁰ Kculli, ¹¹ Granada y ¹² Confite Puntiaugudo. (Minagri, 2012).	22
<i>Figura 7.</i> Trazado esquemático de la sección transversal de un cake donde C es la altura en el centro y B y D son las alturas a tres quintos de distancia desde el centro al borde (Sahin & Sumnu, 2006).....	25

Figura 8. ^a Imagen digital de rebanada de pan donde la barra representa 1 cm. ^b Poros extraídos de pan utilizando ImageJ (Sahin & Sumnu, 2006).26

Figura 9. Diagrama del espacio de color CIE L*,a*,b* (Stephen Westland, 2001).....28

Figura 10. Diseño de mezclas diseño simplex reticular con p=3 y m=2 (Montgomery, 2004)31

Figura 11. Diseño Simplex de Centroide p=3 (Montgomery, 2004)32

Figura 12. Diseño simplex centroide P= (3,2) aumentado con los puntos axiales para una mezcla de 3 componentes Montgomery (2004).33

Figura 13. Diseño de 10 puntos. (Hare, 1974).34

Figura 14. American Association of Cereal Chemists AACC 10-90, Plantilla de medición de cake (AACC, 1999).....39

Figura 15. Sistema de procesamiento de imagen (Sabliov et al., 2002).40

Figura 16. Esquema general seguido para la investigación del cake libre de gluten43

Figura 17. Representación gráfica de los tratamientos del diseño de mezclas, T₁ (100% quinua), T₂ (100% papa), T₃ (100% maíz), T₄ (50% quinua- 50% papa), T₅ (50% quinua- 50% maíz), T₆ (50% papa- 50% maíz), T₇ (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T₈ (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T₉ (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T₁₀ (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).52

Figura 18. Valores promedios del volumen del cake (mm) de la mezcla de los componentes (quinua, papa y maíz) con sus respectivas desviaciones positivas y negativas.54

Figura 19. Superficie de respuesta del volumen del cake LG considerando valores codificados .57

Figura 20. Representación gráfica para la porosidad ^a Área medio de los poros, ^b Tamaño promedio de los poros, con su D.E.61

Figura 21. Superficie de respuesta para la porosidad del diseño de mezclas63

Figura 22. Imágenes obtenidas correspondientes al centro de las tajadas de cake de los tratamientos T ₁ (100% quinua), T ₂ (100% papa), T ₃ (100% maíz), T ₄ (50% quinua- 50% papa), T ₅ (50% quinua- 50% maíz), T ₆ (50% papa- 50% maíz).	66
Figura 23. Continuación de Imágenes obtenidas correspondientes al centro de las tajadas de cake de los tratamientos 7-10 del diseño de mezclas T ₇ (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T ₈ (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T ₉ (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T ₁₀ (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).	67
Figura 24. Representación gráfica del color para la miga externa del color L*, a* y b* para el diseño de mezclas	70
Figura 25. Superficie de respuesta para el color L* de los componentes de la mezcla	73
Figura 26. Superficie de respuesta para el color a* de los componentes de la mezcla	73
Figura 27. Superficie de respuesta del color b* de los componentes de la mezcla	74
Figura 28. Representación gráfica de los tratamientos con identificación de la miga externa con valores en el espacio CIE L*a*b*. Para los tratamientos T ₁ (100% quinua), T ₂ (100% papa), T ₃ (100% maíz), T ₄ (50% quinua- 50% papa), T ₅ (50% quinua- 50% maíz), T ₆ (50% papa- 50% maíz).	75
Figura 29. Continuación de la Representación gráfica de los tratamientos con identificación de la miga externa con valores en el espacio CIE L*a*b*. Para los tratamientos T ₇ (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T ₈ (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T ₉ (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T ₁₀ (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).	76
Figura 30. Valores promedios de la Aw de los tratamientos del diseño de mezclas	77
Figura 31. Superficie de respuesta de la Aw del cake considerando datos experimentales	79

Figura 32. Valores promedios de la humedad con su desviación para los tratamientos del diseño de mezclas.	81
<i>Figura 33.</i> Superficie de respuesta para la humedad del cake considerando valores codificados	83
<i>Figura 34.</i> Ubicación de la mezcla optima con el área de predicción	86
Figura 35. Región óptima para el volumen, porosidad, color L*, color a* y color b*).	87
<i>Figura 36.</i> ^a Representación gráfica del cake patrón, ^b cake optimo con incorporación de la mezcla de quinua-papa-maíz.	88

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de quinua variedad blanca de Junín.....	102
Anexo 2. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de papa variedad Chancan blanca.....	103
Anexo 3. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de maíz, variedad blanca amiláceo dulce	104
Anexo 4. Datos experimentales de la evaluación de humedad de las harinas	105
Anexo 5. Datos experimentales de la evaluación de Ceniza para las harinas.....	105
Anexo 6. Datos experimentales de la evaluación del extracto etéreo para los componentes (quinua-papa y maíz)	106
Anexo 7. Datos experimentales de la evaluación de volumen de la mezcla de harinas en el cake libre de gluten.	107
Anexo 8. Análisis estadístico del volumen determinado por el software Desing Expert	108
Anexo 9. Datos experimentales para la porosidad uniformidad y simetría para el cake LG.....	109

Anexo 10. Análisis estadístico de la porosidad determinado por el software Desing Expert	110
Anexo 11. Datos experimentales para el color de la miga del cake con valores L^* , a^* y b^* para el cake LG	111
Anexo 12 Evaluación del color del poro interno y miga interna del cake LG.....	112
Anexo 13 Representación gráfica de los tratamientos con identificación de: a: color interno, b: miga interna y c: miga externa, además su valores en el espacio CIE $L^*a^*b^*$. Para los tratamientos 1-6 del diseño de mezclas de quinua, papa y maíz.	113
Anexo 14. Variación de color para el cake LG.....	114
Anexo 15 Análisis del color L^* determinado por el software Desing Expert	116
Anexo 16. Análisis del color a^* determinado por el software Desing Expert	117
Anexo 17. Análisis de b^* determinado por el software Desing Expert	118
Anexo 18. Datos experimentales del contenido de actividad de agua en el cake LG	119
Anexo 19. Datos experimentales de la Humedad del cake LG.....	120
Anexo 20. Pérdida de humedad en el proceso	121
Anexo 21. Procedimiento para determinación de índice de volumen, simetría y uniformidad...	122
Anexo 22. Procedimiento para cálculo de porosidad	123
Anexo 23.Procedimiento para el color	124
Anexo 24. Procedimiento para A_w	125
Anexo 25.Proteo de límites para la optimización	125
Anexo 26. Cuarto oscuro diseñado para la investigación	128

SÍMBOLOS USADOS

AACC	American Association for Clemical Chemistry
Aw	Actividad de Agua
CIP	Centro Internacional de la Papa
cm	centímetro
°C	grados centígrados
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
g	gramo
h	hora
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agraria
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
kg	kilogramo
LG	Libre de gluten
MINAG	Ministerio de Agricultura
mg	miligramo
mm	milímetros
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar.
NTP	Norma Técnica Peruana
ppm	partes por millón

Resumen

En este estudio se examinó la optimización de la mezcla de los componentes (*Chenopodium quinoa*, *Solanum tuberosum* y *Zea mays*) para la elaboración del cake libre de gluten maximizando las propiedades físicas: volumen, porosidad y color L^* , a^* y b^* usando el método Diseño de mezclas. Se examinó la interacción de los tres componentes para la mezcla óptima aplicando el diseño simplex lattice con diez combinaciones experimentales. El porcentaje de incorporación de las variables de estudio: harina de quinua 0 a 1 % (X_1), harina de papa 0 a 1 % (X_2) y harina de maíz 0 a 1 % (X_3). A partir de los valores obtenidos, se seleccionó los modelos matemáticos para cada respuesta, mediante regresión múltiple. Los modelos seleccionados fueron el modelo especial cúbico para el volumen (97.4 %) y color L^* (82 %), modelo cuadrático para la porosidad (83.4 %) y color a^* (26.2 %) y, modelo lineal para la A_w (81.6 %) y color b^* (75.3 %) todos con su % de confianza. Se observó una diferencia significativa para todas estas variables estudiadas, por lo tanto se aceptaron los modelos como apropiados. El volumen, la porosidad y el color se elevan considerablemente al incorporar quinua, a diferencia de la incorporación de papa y maíz que presentan variaciones, además cuando se incorpora los tres componentes se consiguió una mejor percepción de las variables respuestas estudiadas. Establecidos los modelos y analizando los efectos, se determinó la zona de formulación factible, tomando como referencia los valores del tratamiento patrón (100% trigo): volumen (93.4), porosidad (347) y color L^* (93.4), a^* (-5.3) y b^* (43.6) utilizados como límites de restricción; logrando determinar la zona de formulación factible, con una deseabilidad del 0.69 (69 % de confianza) que permitió la optimización con valores de: quinua (35.6 %), papa (14.6 %) y maíz (49.7 %), y respuestas estimadas de: volumen (89.87 mm³), cantidad de poros (311.36) y color L^* (89.87), a^* (-7.43), b^* (45.33); a comparación con las respuestas observadas, se obtuvo valores similares para las variables estudiadas, mostrando una ligera variación para el volumen del cake libre de gluten.

I. Introducción

Existe una creciente demanda de los productos libres de gluten, lo cual genera un desafío importante en la búsqueda de alternativas que logren imitar sus propiedades en la producción de productos panificables aptos para celíacos, generando interés en la incorporación de almidones de diferente origen, proteínas lácteas y otras proteínas (Larrosa, 2014; Yalcin & Basman, 2008; Arendt, O'Brien, Schober, Gallagher, & Gormley, 2002). De ahí que el remplazo del gluten es debido a que su consumo se relaciona con un trastorno de mala absorción crónica, causado por la exposición en el individuo predispuesto genéticamente, es decir una enfermedad crónica conocida como enfermedad celíaca, en la que una inmuno-reacción al gluten provoca daño de la mucosa del intestino delgado (Hamer, 2005; Kagnoff, 2007; Laurin, Wolving & Fälth-Magnusson, 2002). consecuentemente esta condición ha sido reconocida a nivel mundial en Europa, América del Norte y del Sur, África del Norte y Australia, así como en Oriente Medio y la India, lo que sugiere que la enfermedad celíaca tiene un rostro verdaderamente internacional (Alaedini & Green, 2005; Niewinski, 2008). Por otra lado estudios de Gallagher, Gormley, & Arendt (2004) reportaron que incorporando distintos insumos sin gluten (quinua-arroz-maíz-papa, etc.) se puede imitar las propiedades viscoelásticas del gluten, logrando retener gas, mejorando el mantenimiento de la estructura, la sensación en la boca y vida útil de los productos terminados.

Según el instituto nacional de estadística e informática (INEI, 2009) el consumo per cápita de pasteles y tortas en el Perú es de 2043.32 Kg por persona, y en lima metropolitana es de 1.81Kg por persona, estos datos aumentaron hasta el 2014 en 2.15 y para el 2015 el consumo per cápita aumento 1 % esto permitió conocer que existe un nicho de mercado creciente en este tipo de producto.

Por consiguiente para desarrollar esta investigación es necesario establecer las variables estudiadas teniendo una secuencia lógica, planteando abordar el desarrollo de una mezcla óptima de harinas para la elaboración de cake sin gluten, utilizando para ello el método de diseño de mezclas, para lograr alcanzar al cake que contienen gluten. Para ello estudio de Cornell (2002) donde se menciona que el proceso de optimización en formulaciones alimenticias se realiza mediante el uso de técnicas adecuadas. Un ejemplo es el diseño de mezclas que asume una respuesta de interés en una mezcla, dependiendo de las proporciones de los ingredientes siendo estas positivas, dependientes entre sí y expresadas como fracción de la mezcla deben sumar siempre la unidad.

No obstante diversas investigaciones sobre productos sin gluten son realizadas en estos últimos años y en el Perú existe un crecimiento de productos libres de gluten lo que permite la necesidad de usar nuestros recursos e innovar en un producto como el cake. En definitiva aún no existen trabajos de investigación de cake libre de gluten usando combinaciones de harina de quinua, papa y maíz, aplicando la metodología de diseño de mezclas.

En el presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- ✓ Optimizar la mezcla de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Blanca de Junín, papa (*Solanum tuberosum*) var Canchan blanca y maíz (*Zea mays*) var. Blanco amiláceo para la elaboración de cake libre de gluten.
 - Determinar el análisis proximal de las harinas de: quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Blanca de Junín, papa (*Solanum tuberosum*) var Canchan blanca y maíz (*Zea mays*) var Blanco amiláceo.
 - Evaluar los efectos de la mezcla a partir de las propiedades físicas (volumen, color, porosidad y actividad de agua) por el método de Diseño de Mezclas, en el cake libre de gluten con harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Blanca de Junín, papa (*Solanum tuberosum*) var Canchan blanca y maíz (*Zea mays*) var Blanco amiláceo.
 - Determinar la mezcla óptima de las harinas en la elaboración de cake libre de gluten.

II. Marco teórico

II.1. Productos libres de gluten

La Food and Drug Administration, FDA (2014) menciona que el término sin gluten se relaciona con aquellos productos que no contiene ninguno de los siguientes ingredientes:

- ✓ Cualquier tipo de trigo, centeno, cebada o variedades híbridas de estos cereales
- ✓ Cualquier derivado de estos cereales que no haya sido procesado para eliminar el gluten.
- ✓ Cualquier derivado de estos cereales que haya sido procesado para eliminar el gluten, se resulta que si contenido en el alimento es de 20 ppm o más.

Algunos de los cereales que no contiene gluten y pueden ser consumidos son: el arroz, el maíz, quinua (pseudocereal) etc. Pudiendo ser procesados en forma de harina y adicionados a productos panificables, son considerados como productos libres de gluten o sin gluten, es mas en la fabricación de estos productos se garantiza la ausencia de la proteína formadora del gluten, siendo indispensable para los pacientes con enfermedad celiaca, que pueden reconocerse por la etiqueta o por su marca reconocida internacionalmente (Arendt & Bello,2008). En la **Figura 1**, se representa las distintas etiqueta referenciales para producto sin gluten, que cuentan con una marca

cruzada de espiga de trigo; también Sin gluten; Sin Trigo, Sin Avena, Sin Centeno y Sin Cebada (Sin T.A.C.C) que debe estar debidamente identificados en el empaque.



Figura 1. Representación de etiquetas referenciales para productos sin gluten (Un mundo sin Gluten, 2014).

Yalcin y Basman (2008) sugiere la búsqueda de ingredientes que tengan la capacidad para imitar las propiedades del gluten. Se puede utilizar la harina de sorgo y la harina de maíz, sin embargo la ausencia de gluten requiere un cambio en el proceso para la elaboración del producto que en muchos de los casos genera un aumento de agua de 100 - 150 % sobre la base de la harina para formar la masa, es más incluir la adición de hidrocoloides, almidones modificados y proteínas (Taylor, Schober, & Bean, 2006; Arendt & Bello 2008).

Las alergias al gluten aumentan y junto con ella las herramientas de diagnóstico para detectar la enfermedad celiaca, en consecuencia los productos libres de gluten son desarrollados cada vez más en los países desarrollados y, la formulación de productos sin gluten son generalmente más complicadas que los que contienen gluten debido a que se desea imitar el principal componente de la estructura, basándose en almidones puros, en productos como galletas, pasteles, pizzas y pastas (Arendt & Bello, 2008). Asimismo estudios realizados por Kivel y Kaukinen (2015) mencionan que durante las últimas décadas, la incidencia de la enfermedad ha aumentado significativamente; también Ludvigsson, Rubio-tapia, Dyke, Van, Iii, Zinsmeister,

Lahr & Murray (2013); McGowan, Castiglione, & Butzner (2009) mencionan que esto constituye un importante problema de salud que afecta hasta del 1-3 % de niños.

II.2. El cake

El cake es un producto del resultado de la emulsión del cremado (mezcla de margarina y azúcar), mezclado con huevo, harina y otros ingredientes que pueden interferir en la formación de la masa; adicionalmente otros ingredientes tales como polvo de hornear, sal, vainilla, colorantes y saborizantes que se utilizan en pequeñas cantidades (Penfield & Campbell, 1990).

En la **Tabla 1** se presenta la formulación básica para cake de acuerdo con “The American Association of Cereal Chemists 10-90” (AACC, 1999), la formulación es reconocida a nivel mundial y es adaptable a todas las condiciones climáticas, además diversas investigaciones se realizaron a partir de esta formulación.

Tabla 1

Formulación para cake (AACC, 1999)

Ingredientes	(% base de harina)
Harina de trigo *	100 %
Azúcar blanca	140 %
Margarina	50 %
Leche Polvo Desgrasada	12 %
Clara de huevo en polvo	9 %
Sal	3 %
Polvo de hornear	6 %
Agua	125 %

Nota. Baking Quality of Cake Flour presentado por la AACC (1999); *Las condiciones del uso son representadas en base al porcentaje de la harina de trigo, contenido de humedad 14 % para la harina.

II.2.1. Función de los ingredientes en el cake

Los ingredientes tiene importancia en la formación de la masa, cuando se modifica ligeramente se altera la calidad del producto final. Por lo tanto, un adecuado equilibrio de ingredientes en la producción de cakes logra una miga húmeda, elástica con celdas de aire de tamaño uniforme, corteza delgada y suave (Bennion, 1995). Además de ello en el proceso de batido de la masa se forma un sistema de emulsión de agua/aceite, donde la fase acuosa contiene el azúcar disuelto y partículas de harina, logrando que la formación de burbujas de aire se lleve a cabo en la grasa sólida y, cuando la mezcla se calienta (horneado) las burbujas de aire de la grasa se transfieren a la fase acuosa/espuma y se hinchan generado los poros en el cake (Arendt & Bello, 2008). Adicionalmente Arendt y Bello (2008) mencionan que en el batido de la masa del cake no existe ninguna formación de gluten y los pasos para la elaboración previenen la formación del gluten, generalmente porque está formada por una emulsión completa. Se complementa que el componente clave en la formación de la estructura del cake es el almidón presente en la harina de trigo y la modificación de sus características de gelatinización a través de la adición de azúcares y líquidos (Cauvain, 2003).

Por otra parte Wilderjans, Luyts, Brijs & Delcour (2013) mencionan que existe una dificultad asociada a diferentes definiciones del cake en distintas partes del mundo y que la funcionalidad de los ingredientes difieren entre los tipos de cakes en base de su receta que pueden ser clasificados como: queque, torta, pastel y biscocho. Los cakes tiene la relación de azúcar a la harina superior al de 1.0 % y los biscochos contienen proporciones inferiores o iguales niveles de azúcar y harina.

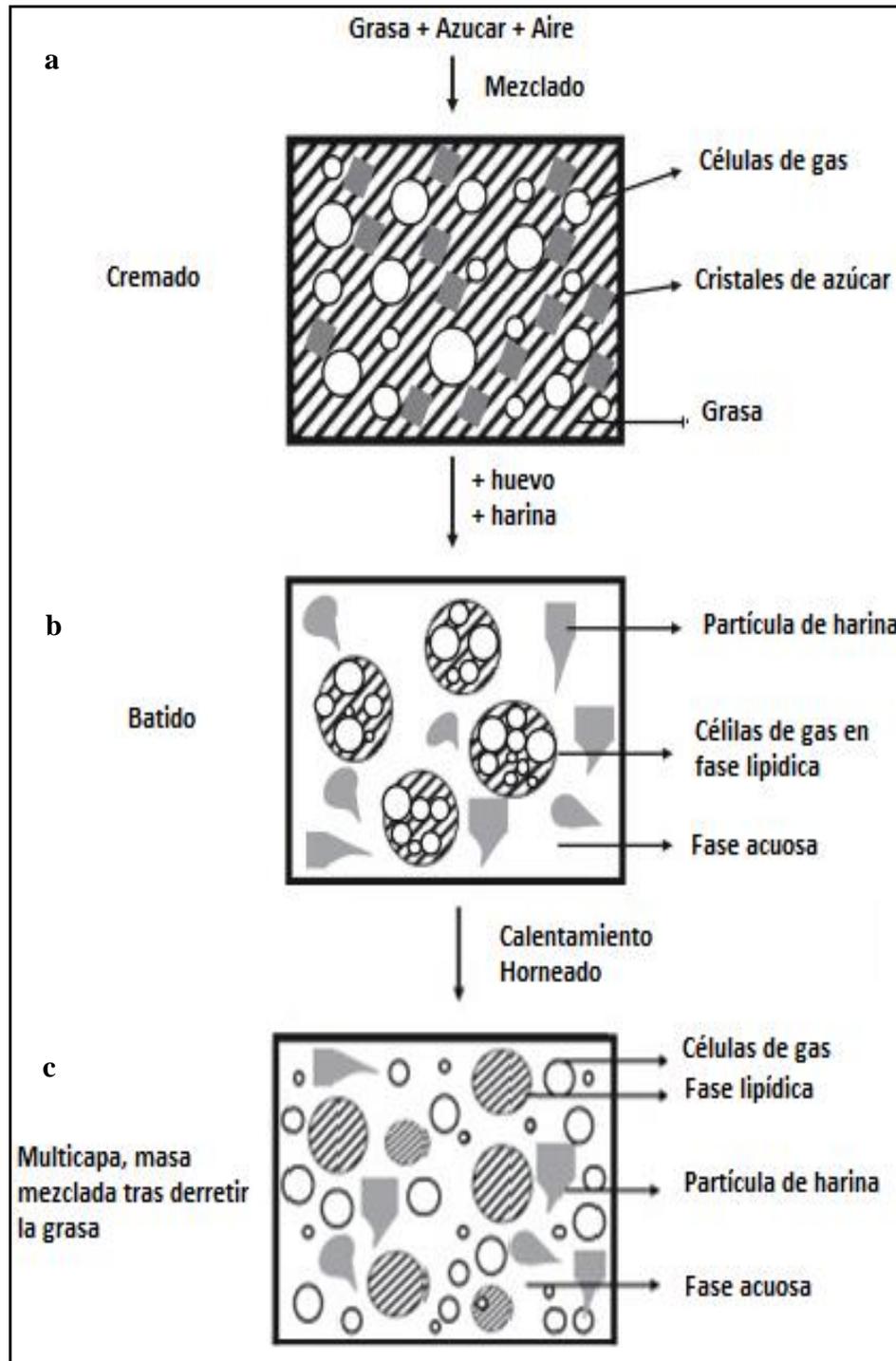


Figura 2. ^a Representación adaptada de cremado, ^b proceso de batido Wilderjans et al. (2013) y ^c horneado de la masa del cake con mezcla de etapas múltiples de Shepherd & Yoell (1976).

Los ingredientes que son usado en la elaboración de cake en etapas múltiples, son útiles para alcanzar un mayor volumen, en la **Figura 2a**, se observa que para el mezclado en varias etapas, se inicia mezclando margarina, azúcar y aire para formar una crema conteniendo celdas de gas con cristales de azúcar. Seguido del proceso de batido (**Figura 2b**), donde se añade huevos o agua completando el proceso de disolución de azúcar y por último se adiciona la harina, lo que genera en la masa, la formación las células de gas en fase lipídica, logrando que la emulsión de agua en aceite se convierta en una emulsión de aceite en agua. Finalmente en la última etapa (**Figura 2c**) el proceso de horneado todas las celdas de gas están en fase de grasa a temperatura ambiente, se funde y son expandidas liberando el gas de la fase acuosa convirtiéndose en la fase lipídica donde la grasa en fase dispersa forma gotas de líquido que lubrica al producto final.

II.2.1.1. Harina de trigo

La harina en buen estado, debe ser un polvo blanco cremoso, olor débil, agradable, de buen sabor, ligeramente dulce y cuando se comprime con la mano este debe tender a compactarse, si es mezclada con agua y sal forma una masa plástica y, cuando esta se calienta las células de almidón se expanden; y al entran en contacto con el agua, se disuelve; y cuando se enfría se formara un gel o pasta la que se fermenta dando lugar al gluten (AACC, 1999).

El porcentaje de proteína en la harina juega un papel importante: las harinas de trigo blando contiene menos de 10 % de proteína, harina de trigo durum con más de 10 %, harina pastelera con 7.5 % y harina suave con 10.5 %. Sin embargo en el cake el desarrollo de gluten es mínimo y las proteínas formadoras de gluten desempeñan un papel insignificante en el horneado (donde ocurre la coagulación). El almidón juega un rol importante en la formación de la estructura

del cake que con presencia de agua ocurre la hidratación, hinchazón y gelatinización de los gránulos (Scanlon & Zghal, 2001; Cauvain & Young, 2008).

II.2.1.2. Grasas

La importancia de las grasas en los productos de pastelería es el de ablandar al producto, mientras que la harina y los huevos forman la estructura y, la endurecen. La grasa la cual es usada en el proceso de cremado, la que consiste en airear formando burbujas de aire favorece a la estructura de la miga y al volumen final del cake, no solo causa la incorporación de aire, sino también aplica propiedades emulsionantes que favorecen la suavidad, aportan textura, sabor y humedad. La finura y uniformidad se realizan con grasas de buena calidad, que en comparación con las grasa blandas o líquidas no se obtiene buenos resultados (Bennion, 1995; Penfield & Campbell, 1990; Giese, 1996).

En el mercado existen las margarinas, mantecas los cuales son utilizados en los procesos panificables. Una de ellas es la margarina que realiza tres funciones básicas en el cake de acuerdo de los reportes de DesRochers, Seitz, & Walker (2003); Arendt et al. (2002):

1. Ayuda la aireación de la masa atrapando el aire durante el proceso de batido, y durante el horneado se genera la expansión de las burbujas mediante vapor y dióxido de carbono.
2. Recubre las partículas de proteína y almidón, evitando la hidratación y formación de la red continua gluten,
3. Finalmente participa en la emulsión líquida de la masa, aumentando la humedad de la miga y la textura.

Por otra parte las mantecas ayudan en la incorporación y retención del aire, estas forman pequeñas burbujas distribuidas a lo largo de la masa que sirven como núcleos de células del gas para el dióxido de carbono que se difunde en forma de vapor durante el horneado (Penfield & Campbell, 1990). Whiteley (1971) mencionan que cuanto mayor sea las celdas de aire, mayor será el volumen y más fina la miga en el cake, y cuanto menor sea las celdas de aire, el volumen será más bajo y más seca la miga.

La AACC (1999) menciona que la manteca hidrogenada para batidos de emulsión debe ser plástica y manejable a temperatura ambiente, libre de cualquier color, olor y sabor indeseable. Zhou (2010) uso porcentajes de grasa de 40 - 50 %, evaluó el volumen final en cakes, reportó que a medida que aumenta el porcentaje de grasa se desarrolla un producto con volumen reducido con textura frágil y suave, y con un bajo porcentaje mayor volumen con textura suave.

Ghotra, Dyal y Narine (2002) mencionan que el papel de la margarina durante la mezcla, que es la primera fase, es incorporar aire logrando distribuir las celdas de gas que proporciona una estructura para los gases, generando vapor de agua que es liberado durante el proceso de horneado (Shepherd & Yoell, 1976). Las propiedades del batido de la grasa se ven afectadas por el índice de grasa sólida, los tipos de cristales y el número de nuevas células de gas que pueden ser generadas durante el horneado (Brooker, 1996); mejorando la suavidad, humedad y el gusto en la boca, y cuanto mayor sea la dispersión de grasa, mayor es la suavidad de la miga. Bent, Bennion & Bamford (2013) mencionan que en el horneado los cristales de grasa son derretidas en partículas de aceite y se forman las celdas de gas (conocidas como poros). La superficie de la estructura del cake cocida es recubierta con grasa luego del enfriamiento del cake por debajo de 37°C permitiendo que la grasa se cristalice y actúe como una barrera parcial a la pérdida de humedad durante el almacenamiento.

II.2.1.3. Huevo

Los huevos contribuyen en la estructura, emulsión, volumen, textura, color, sabor y valor nutritivo. Cuando se agrega la cantidad óptima a una mezcla de grasa y azúcar formaran una emulsión estable mejorando la retención de aire y, aumentando el volumen del cake final, en contraste, la adición de demasiados huevos produce una miga dura, parecida a la goma (Bennion, 1995). Este ingrediente es altamente funcional cuenta con tres principales atributos: formación de espuma (incorporación de aire a la masa), emulsión (estabilización de la suspensión de un líquido en otro) y coagulación (conversión del huevo líquido a solido o semi-sólido, la proteína del huevo coagula sobre rangos de temperaturas) (Kiosseoglou, 2004). Durante el proceso de mezclado e integración de la masa este actuar como disolvente del azúcar logrando formar una emulsión estable (Pyler, 1988).

II.2.1.4. Azúcar

El azúcar proporciona el dulzor, los niveles y tipos de azúcares pueden provocar distintos efectos en masas, pero también juegan un papel importante en la aireación de la masa y afecta a la estructura física del cake. Tiene la capacidad de regular la gelatinización del almidón pero lo más importante es que afecta a la textura, volumen, retención de humedad y color. La Textura de cake se incrementa porque el azúcar favorece a la gelatinización del almidón y la retrasa en el proceso de horneado, lo que permite que las burbujas de aire se expandan correctamente, también interfiere con el desarrollo del gluten, aumenta el volumen de cake por la disminución de las fuerzas cohesivas (resistencia al movimiento de la masa de cake durante el horneado) que permite batir libremente la masa (Whiteley, 1971; Arendt & Bello, 2008); aumenta la retención de agua y afecta la calidad de cake mediante la absorción, añade color a través de la reacción de Maillard,

cantidades excesivas de azúcar produce un cake áspero, grueso con corteza azucarada y excesivamente la aparición del color marrón (Bennion, 1995).

La AACC (1999) mencionan que el uso de azúcar en batidos dulces, el uso de azúcar fina y granulada con porcentajes de 120, 130 y 140 %, con respecto al volumen final en cake se observó que afectan al volumen en proporciones de 123, 117 y 110 %, con características de ligeramente seco, pegajoso y superficie suaves.

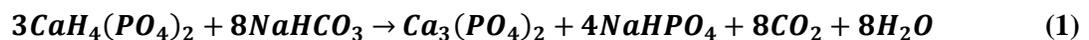
II.2.1.5. El agua

El agua sirven como disolvente para el azúcar, sal y otro ingredientes, además ayuda a dispersar las partículas de grasa y harina, hidrata las proteínas de la harina, gelatiniza el almidón y proporcionando humedad al cake (Bennion, 1995). Si el nivel de agua es elevado se puede generar un producto grueso con grandes agujeros, y si es bajo se genera un cake compacto con corteza gruesa. La AACC (1999) evaluó porcentajes de agua destilada adicionada a la masa de cake de 125, 135 y 145 %, reportando que excesivo contenido de agua afecta a la masa con un volumen de 124, 116 y 116 % con características de áspero, áspero con agujeros y áspero con grandes agujeros respectivamente para los porcentajes de agua. En el proceso de horneado, la cantidad adecuada de agua controla la calidad de: textura, sabor, olor, volumen, en los productos (Zhou, Therdthai, & Hui, 2014).

II.2.1.6. Leudante

Según ITINTEC (1986) los leudante son toda sustancia química u organismo que en presencia de agua con o sin acción de calor provoca anhídrido carbónico. Bennion (1995) menciona que la levadura y los polvos de hornear son los únicos agentes de esponjamiento

efectivos. Además que el polvo de hornear (utilizado como generador de aire) contiene una mezcla ácido seco o sales ácidas con bicarbonato de sodio que ayuda a liberar dióxido de carbono en dos diferentes momentos en el proceso de horneado. El primer momento es donde el dióxido de carbono es liberado cuando los ingredientes secos se humedecen y el fosfato de calcio reacciona con el bicarbonato de sodio a temperatura ambiente. El segundo es cuando el dióxido de carbono reacciona cuando se aplica calor (Bennion, 1995), afectando a sus tasas de reacción del gas en la masa (Cauvain & Young, 2008). El bicarbonato de sodio no se debe utilizar transcurrido más de 6 meses desde la compra, ya que dentro de este periodo tiene una marcada acción sobre el gluten controlando la generación de rancidez producida por la interacción con las (Whiteley, 1971). La reacción total, en forma simplificada de un polvo de hornear contiene fosfato mono cálcico como ácido se puede visualizar como sigue:



II.2.2. Sustitutos del gluten

La presencia de la harina de trigo en la formulación de cakes involucra la buena calidad del producto, desde modificar la viscosidad de la masa y establecer la estructura de la miga. Arendt y Bello (2008) mencionan que existen pocos trabajos publicados sobre el uso de fuentes alternativas de harina para la producción de cake sin gluten. Además el uso de las gomas es una de las alternativas porque en combinación con los emulsionantes durante el proceso de mezclado dan lugar a masas con la habilidad de atrapar más aire y aumentar la estabilidad de la emulsión. Se recomienda el uso de goma al 1 % (para aumentar la viscosidad de la mezcla y prevenir el colapso en el horno) y 3 % de emulsificante (que incrementa el volumen, porosidad y mayor suavidad).

La investigación de Rodríguez-Sandoval, Lascano y Sandoval (2012) menciona que el proceso de sustitución y uso de combinaciones de harinas libres de gluten, es una alternativa factible para remplazar las propiedades sin alterar el producto final y así mejorarlo, esto desarrollando es una buena opción en el mercado (Gutiérrez-Pulido & de la Vara-Salazar, 2008). A continuación se procede a detallar las características de las harinas como sustitutos de la harina de trigo.

II.2.2.1. Quinoa

Reconocida como un pseudocereal originaria de los andes, cultivada entre 2.000 y 3.850 msnm. Takhtajan (2009) propone la siguiente clasificación:

Reino: Vegetal
División: Fanerógamas
Clase: Dicotiledoneas
Sub clase: Angiospermas
Orden: Centrospermales
Familia: Quenopodiáceas
Selección: Chenopodia
Subsección: Cellulata
Especie: *Chenopodium quinoa*.

Mujica (1992) menciona que las quinuas cultivadas en el altiplano tienen una gran diversidad genética, mostrando variabilidad en la coloración de la planta, semilla, tipos de inflorescencia, en el contenido de proteína, saponina y betacianina en las hojas, con lo que se obtiene una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas (suelos, precipitación, temperatura, altitud, resistencia a heladas, sequía, salinidad o acidez). Su estimación de producción anual en el Perú fue de 52,129.8 Toneladas para enero-diciembre de 2013 y 114,342.8 Toneladas para el 2014 para Valor Bruto de la producción agropecuaria (VBP, 2014).

Existen diferentes variedades entre dulces y amargas, que se caracterizan por su contenido de saponina. Reportes de Mujica & Jacobsen (2006) quienes han realizado estudios a las siguientes variedades: amarilla maranganí, kancolla, blanca de juli, cheweca, witulla, Salcedo-INIA, iplla-INIA, Quillahuaman-INIA, camacani I, camacani II, huariponcho, chullpi, roja de coporaque, ayacuchana-INIA, Huancayo, hualhuas, Mantaro, huacataz, huacariz, rosada de Yanamango, Namora, tahuaco, yocará, wilacayuni, pacus, rosada de Junín, acostambo y blanca ayacuchann.

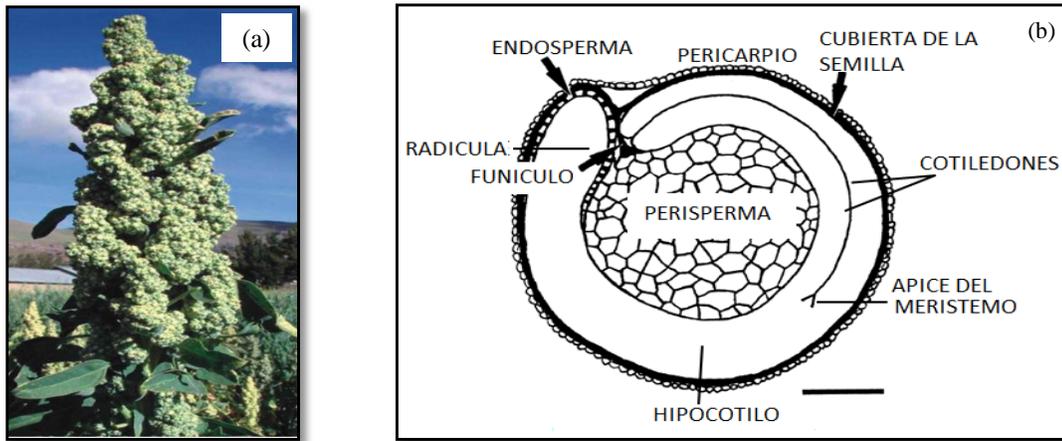


Figura 3. ^a Representación de la quinua variedad Blanca de Junín (Agencia Agraria Trujillo, 2013), ^b Representación de la sección longitudinal media del grano de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) (Prego et al, 1998).

Reportan que la quinua blanca de Junín se caracteriza por ser un grano dulce con un contenido de saponina de 0.014 %, grano con menor contenido de saponinas (Mujica & Jacobsen, 2006). Según la gerencia Agraria Trujillo (2013) la variedad Junín seleccionada del germoplasma de Huancayo presenta las siguientes características (**Figura 3**), tiene un periodo vegetativo de 160 días, porte mediano, grano color blanco, diámetro de 2.0 a 2.2 mm.

Uno de los productos que se pueden obtener del grano es la harina, es un polvo fino de color blanco destinado para la elaboración de productos horneados, utilizado como materia prima o ingrediente en la industria alimentaria. Lorenz y Coulter (1991) mencionan que la harina de

quinua es proveniente del lavado, molienda y tamizado, además que está compuesta por altos contenidos de proteína de 15 -18 % del tipo globulinas, parecidas a las del amaranto, distintas a las del trigo pero con calidad biológica superior, posee fitoestrogenos (daiszeina y cenisteina) que poseen propiedades medicinales vinculadas a la actividad hormonal. En la **Tabla 2** se presenta la composición nutricional de la quinua blanca de Junín y harina de quinua.

Tabla 2

Composición proximal en g/100g de muestra

Nombre del alimento	Grano de quinua¹	Grano de quinua blanca (Junín) %²	Harina de Quinua %³	Harina de quinua⁴
Energía (kcal)	354	352	341	341
Agua (g)	12.5	11.1	13.7	13.7
Proteínas (g)	12.5	11.1	9.1	9.1
Grasa total (g)	4.5	7.7	2.6	2.6
Carbohidratos totales (g)	70	67.4	72.1	72.1
Fibra cruda (g)	4.1	6	3.1	3.1
Cenizas (g)	2.4	2.7	2.5	-

Nota. ¹Adaptado de la tabla de composición de alimentos(Cobián-Vergara, 2015) no especifica la variedad, ^{2,3}Adaptados de la tabla peruanas de composición de alimentos (García, Prieto, Barrientos, Rebatta, & Morón, 2009) no especifica la variedad, ⁴Tabla de composición química de los alimentos (Francia, 1996) no especifica la variedad.

En la literatura se reporta trabajos de sustitución de harina de quinua en productos panificables, uno de ellos es la investigación de Rosada y Martínez (2011) quienes trabajaron con sustitución del 10 % encontrando características físicas en la masa parecidas a las del trigo. Por otra parte la investigación de Rodriguez-Sandoval et al. (2012) reportaron que la masa compuesta con harina de quinua presenta valores bajos de asentamiento y estabilidad al horneado, lo cual indica una disminución en el envejecimiento del producto.

II.2.2.2. Papa

Es originaria de los andes, se cultiva entre 2250 y 3942 msnm. Takhtajan (2009) propone la siguiente clasificación:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: Solanum tuberosum

En el Perú se producen infinidad de variedades de papa Vilchez, Días, & Quiroz (2013) reportaron que entre ellas se encuentra papa Tomasa, conocida como blanca, papa amarilla, papa Huayro, papa Huamantanga, papa Negra, papa Peruanita, papa Tarmeña, papa Perricholi. papa chancha conocida como blanca (*Figura 4*).



Figura 4. Representación de variedades de papa blanca Canchan (Mercado Surco, 2016)

El rendimiento promedio (Kg/ha) de las cinco regiones son: Ica, 35,339 Kg/ha; Arequipa, 32,538 kg/ha; Lima, 23,904 kg/ha; Apurímac, 17,761 Kg/ha y La Libertad, 16,310 Kg/ha Ramos-Benites, Mantilla-Zuazo, Ventura-Muro y Cordova-Salazar (2013). La agroindustria ha desarrollado diversos sub-productos de esta materia, como es la harina, es una alternativa que puede ser usada en mezcla con otras harinas de leguminosas y menestras, la cual no se promueve

teniendo muchas posibilidades de desarrollo y aplicaciones, a través del uso de tecnologías intermedias accesibles.

En el año 2008 el gobierno peruano, promovió el consumo de este tubérculo en forma de harina para la formulación de pan “papapán”, financiando a unos 150 productores que abastecían al programa social Pronaa (Programa Nacional de Asistencia Alimentaria). Para el 2012 el programa social realizo repartos de leche complementados con el papapán en Lima-callao, lo cual no tuvo mucho realce. Por otro lado la producción anual de la harina de papa en el Perú hasta el 2013 de 4.572 toneladas según MINAGRI, y en el departamento de Apurímac quien es el 6to productor de papa a alcanzando un total de 350.4 Kg/ha con una participación anual de 7.7 % (Ramos-Benites et al., 2013). En la **Tabla 3** se muestra la composición proximal de la papa blanca y la harina de papa.

Tabla 3

Composición proximal de la papa blanca y harina de papa

Nombre del alimento	Papa ¹	Papa blanca ²	Harina de Papa ³	harina de papa ⁴
Energía (kcal)	103	97	332	318
Agua (g)	77.2	74.5	10.9	7.2
Proteínas (g)	2	2.1	6.4	9.1
Grasa total (g)	0.4	0.1	0.4	0.8
Carbohidratos totales (g)	23.3	22.3	77.1	73.2
Cenizas (g)	1.1	1	5.2	-

Nota. ¹Adaptado de la tabla de composición de alimentos(Cobián-Vergara, 2015) no especifica la variedad, ^{2,3}Adaptados de la tabla peruanas de composición de alimentos (García et al., 2009) no especifica la variedad, ⁴Tabla de composición química de los alimentos (Francia, 1996) no especifica la variedad.

Misra y Kulshrestha (2003) trabajaron con harina de papa demostrando que por niveles superiores del 20 % se obtiene productos con características inaceptables, en términos de volumen, textura y de sabor.

II.2.2.3. Maíz

Es un producto oriundo del Perú que crece de 2000 a 4000 msnm. Takhtajan (2009) propone la siguiente clasificación:

Reino: Plantae
División: Magoliophyta
Clase: liliopsida
Subclase: Asteridae
Orden: Poales
Familia: Poacea
Género: Zea
Especie: Zea mays
Variedad: Zea mays amiláceo

Estudios realizado Grobman (2012) en los años 2007-2011 resalta la importancia del maíz peruano por su antigüedad tan igual y posiblemente mayor que la de México, además que el Perú es un centro primario para su clasificación y, ha tenido una evolución independiente que el maíz mexicano; la abundancia de variedades en el Perú superan enormemente a las cultivas en México, estos indica que el maíz ha tenido evolución independiente y muy antigua; donde se puede acceder a las fuentes más valiosas de germoplasma para mejoramiento. Además de ello el maíz amiláceo (**Figura 5**) después de la papa, es uno de los principales alimentos de los habitantes de la sierra del Perú. Con una producción es destinada al autoconsumo en forma de choclo, mote, harina precocida, entre otras formas de uso; Según el Minagri (2012) el rendimiento promedio nacional ascendió a 1,289 Kg/ha, Cajamarca mantiene la mayor superficie sembrada con 51,091 ha, con una participación del 20.0 %, seguido de Cusco con 28,882 ha, 11.3 %; Apurímac con 26, 925 ha, 10.5 %

y Ayacucho con 21,638 ha, 8.5 % de participación, estos departamentos concentran el 50.3 % de toda la superficie sembrada nacional.

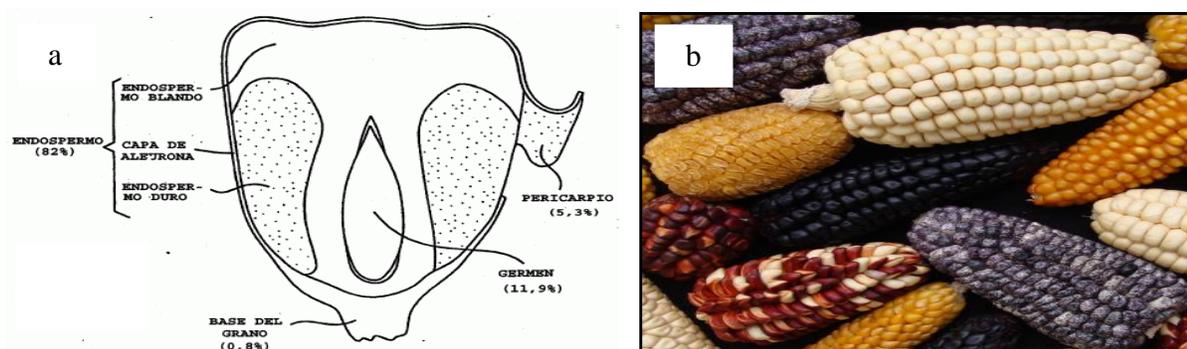


Figura 5. ^a Representación de la estructura del grano de maíz (Imagui, 2012),^b Representación de variedades de maíz en el Perú (MINAG, 2011).

El maíz es un grano harinoso, blando, suave y de colores variados (**Figura 6**), se encuentran las variedades más reconocidos, por ejemplo;: Ancashino, Huayleño, Chulpy, Paro y Pisco runto (su uso exclusivamente como cancha); la raza Kcully (Morado) para bebida chicha morada, Confite Puntigrupo y Confite Morocho como maíz reventón (mote). Las variedades de Cajamarca, la sierra de Piura y la Libertad, se usan principalmente como cancha, mote o para hacer chochoca o harina de maíz. También se puede obtener sub-productos como la harina de maíz que se obtiene de la molienda en seco mediante diferentes métodos, según el Codex Alimentarius (1995) la harina es obtenida por el proceso de molienda la cual se pulverizado, se quita el salvado y el germen; hasta que alcance un grado apropiado de tamaño de partícula con características como: color blanquecino, humedad de 15.0 %, ceniza 1 % y proteína 7.0 %. Además el producto resultante es prácticamente 100 % almidón, que cuando es mezclado con agua o leche y si se calienta a más de 75°C se hincha y gelatiniza con propiedades espesantes. No contiene gluten y por lo tanto puede ser consumida por personas intolerantes al gluten como parte de una dieta libre de gluten.



Figura 6. Variedades de maíz en el Perú ¹Paro, ²Cuzco, ³ San Jerónimo, ⁴ Morocho, ⁵. Pisccorunto, ⁶ Huancavelicano, ⁷ Chullpi, ⁸ Confite morocho, ⁹ San Jerónimo Huancavelicano, ¹⁰ Kculli, ¹¹ Granada y ¹² Confite Puntigudo. (Minagri, 2012).

En la **Tabla 4** se presenta la composición proximal del maíz.

Tabla 4

Composición proximal de algunas variedades de maíz

Nombre del alimento	Maíz ¹	Maíz blanco crudo ²	Harina de Maíz ³	Maíz amilaceo ⁴
Energía (kcal)	359	341	325	354
Agua (g)	13.4	12.7	11.9	12.5
Proteínas (g)	6.7	5.9	4.2	0.6
Grasa total (g)	2.7	4	6.5	0.7
Carbohidratos totales (g)	79.1	76.1	71.2	92
Fibra cruda (g)	4.3	1.9	3.9	-
Cenizas (g)	1.3	1.3	1.7	-

Nota. ¹Adaptado de la tabla de composición de alimentos (Cobián-Vergara, 2015),

^{2,3}Adaptados de la tabla peruanas de composición de alimentos (García et al., 2009) ⁴Tabla de composición química de los alimentos (Francia, 1996).

La literatura presenta antecedentes del uso de la harina de maíz en productos de panificación Sandoval (2007) trabajo con sustitución de 5 % y 10 % encontrando que no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos.

II.3. Propiedades físicas

La importancia del conocimiento de las propiedades físicas, como el volumen, la porosidad y el color son importantes para comprender la relación entre la física y las funciones de los alimentos ya que se combinan con las demás ciencias de los alimentos para obtener productos con la vida comercial y calidad deseada Sahin, Sumnu, & Ibarz-Ribas (2009).

Es importante el uso de las propiedades físicas como variables cuantitativas en la elaboración de productos horneados (pan, cake, galleta, pastas y otros); ayudan a identificar y descartar mejor las pruebas experimentales, así como evaluar la variación entre los tratamientos, sin embargo estas pruebas dependen de equipos estandarizados y calibrados. Entre ellos están:

- ✓ El tamaño, la forma son importantes atributos físicos de los alimentos que se utilizan en la detección, clasificación y control de calidad.
- ✓ El volumen, que afecta a la aceptación del consumidor, se puede calcular a partir de las dimensiones medidas o mediante el uso de varios métodos tales como desplazamiento de líquido, gas o sólido y procesado de imágenes.
- ✓ El volumen y la densidad se puede expresar en diferentes formas como: volumen y densidad del sólido, aparente y global dependiendo de los poros (Sahin & Sumnu, 2006).
- ✓ La porosidad caracteriza la textura y calidad de los alimentos, incluye los espacios vacíos dentro y entre las partículas.

- ✓ Por métodos ópticos, por métodos de densidad o mediante el uso de un picnómetro o un porosímetro.

Atzingen y Pinto (2005) mencionan que la expresión de la textura está relacionada principalmente con la suavidad, color, aspecto visual, siendo por tanto una de las formas de garantizar la satisfacción del consumidor en cuanto a sus expectativas sensoriales.

II.3.1. Volumen

Se define como la cantidad de espacio tridimensional ocupado por un objeto, normalmente expresado en unidades de longitud como pulgadas cúbicas, centímetros cúbicos, o en unidades de medida de líquidos, tales como galones y litros. En el sistema SI, la unidad de volumen es el m³ (Sahin et al., 2009). Este volumen de sólidos puede ser determinada mediante los métodos siguientes:

- ✓ El volumen se puede calcular a partir de dimensiones características en el caso de objetos con forma regular.
- ✓ Los volúmenes de los sólidos pueden determinarse experimentalmente mediante métodos de desplazamiento de líquido, gas o sólido.
- ✓ Se puede medirse por el método de procesamiento de imágenes la cual ha sido recientemente desarrollada para medir el volumen de productos agrícolas elipsoidales como huevos, limones, limas y duraznos (Sabliov, Boldor, Keener, & Farkas, 2002).

Para productos de panadería, especialmente para cakes, se utiliza un índice de volumen vasado en las dimensiones (Cloke, Davis, & Gordon, 1984). Este método consta en cortar mitades, luego utilizar una plantilla para medir la altura de diferentes posiciones de la sección transversal

(Figura 7). El Índice del volumen es determinado por la suma de las alturas en distintas posiciones según la AACC (1999).

$$\text{Índice de volumen} = B + C + D \quad (2)$$

También se mide el diámetro de la parte inferior (A , E) y se restar del diámetro de la bandeja de horneado para obtener valor de encogimiento. La uniformidad, que es una medida de la simetría del cake, se encuentra a través de la sustracción de las mediciones del punto medio:

$$\text{Uniformidad} = B - D \quad (3)$$

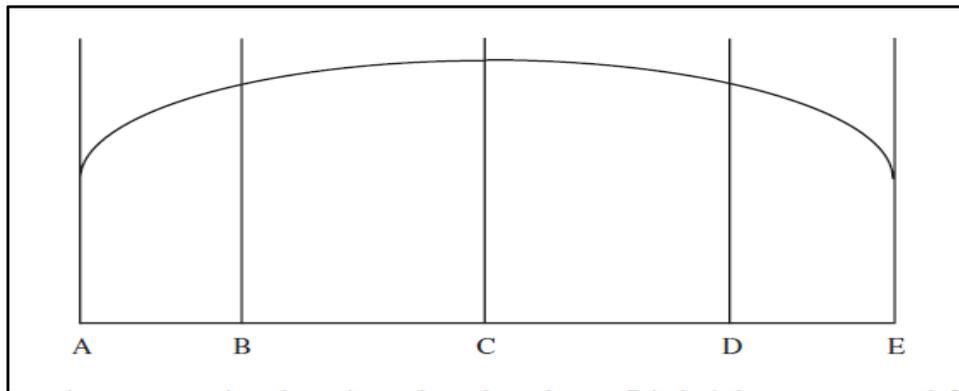


Figura 7. Trazado esquemático de la sección transversal de un cake donde C es la altura en el centro y B y D son las alturas a tres quintos de distancia desde el centro al borde (Sahin & Sumnu, 2006).

II.3.2. Porosidad

Se define como la fracción de volumen del aire o la fracción de vacía en la muestra y es expresada como: volumen vacío/ volumen total. Es una propiedad física importante en la caracterización de la textura y la calidad de los alimentos de humedad intermedia y seca. Se necesitan en la modelación y diseño de varios procesos de transferencia de calor y transferencia de materia tales como secado, fritura, horneado, calentamiento, refrigeración y extrusión. Ayuda

en la predicción de propiedades de los alimentos (Sahin et al., 2009). Existen métodos para la determinación de la porosidad, resumida como sigue:

El método óptico: Se determina desde la vista microscópica de una sección del medio poroso; es conveniente si la porosidad es uniforme a lo largo de la muestra, se puede determinar la distribución de tamaño de poros si se utiliza un software adecuado para analizar imágenes.

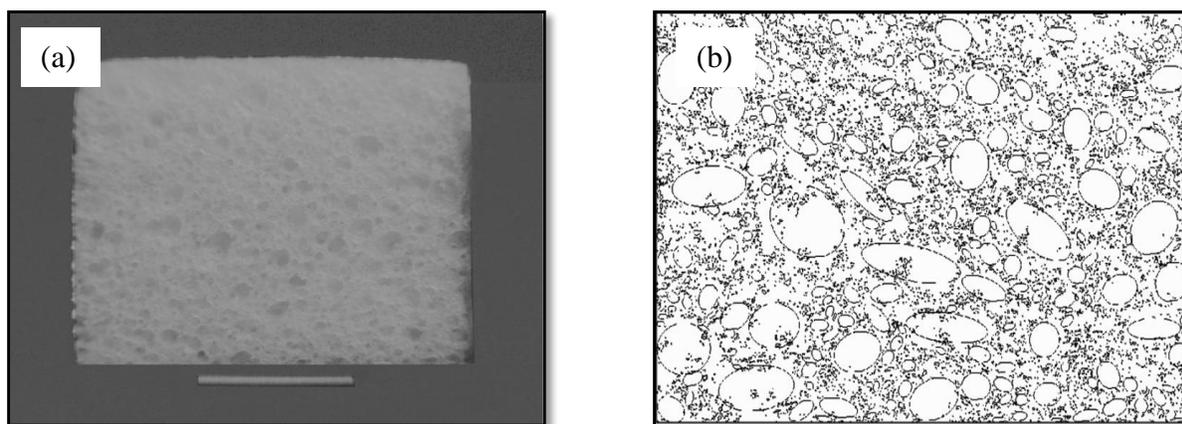


Figura 8. ^a Imagen digital de rebanada de pan donde la barra representa 1cm. ^b Poros extraídos de pan utilizando ImageJ (Sahin & Sumnu, 2006).

El software ImageJ 1.46 es utilizado para analizar los poros y determinar las áreas de los poros que utiliza el contraste entre fases (poros y parte sólida) de la imagen (**Figura 8a**). En primer lugar, se obtiene el color de la imagen a la que se convierte en escala de grises y por medio de barras de longitudes conocidas, los valores de píxeles se convierten en unidades de distancia, luego de la muestra de pan los poros son extraídos por el software (**Figura 8b**). La porosidad está basada en la fracción de área y distribución del tamaño del poro basado en el área del pan.

II.3.3. Color

La evaluación de color está considerada una propiedad electromagnética importante para determinar la aceptación de un alimento. Refleja los valores nutricionales de sabor o funcionalidad

de un producto; la medición del color se puede utilizar si se presenta una correlación entre la presencia del componente coloreado y el producto químico en el alimento, es más simple y rápida que el análisis químico, que depende del observador y condiciones en las que se observa en función de la luz, medible en términos de intensidad y longitud de onda. (Sahin et al., 2009).

Para describir los colores se ha desarrollado una diversidad de sistemas, entre ellos existen cinco sistemas de orden de color utilizados para los alimentos: Munsell, CIE, CIE $L^*a^*b^*$ (CIELAB), Hunter Lab y Lovibond.

II.3.3.1. Equipos de medición de color

Uno de los instrumentos de medición de color más utilizados es el **CIELAB**

✓ **Espacios de color CIE $L^* a^* b^*$ (CIELAB)**

El método de medición de color CIELAB fue desarrollado en 1976 y ofrece más ventajas sobre el sistema desarrollado en 1931. Es más uniforme y se basa en colores más útiles y aceptados, que describe una teoría de colores opuestos. La localización de cualquier color en el espacio CIELAB está determinada mediante sus coordenadas de color: L^* , a^* y b^* . Donde:

- ✓ L^* representa la diferencia entre la luz ($L^* = 100$) y la oscuridad ($L^* = 0$).
- ✓ a^* representa la diferencia entre el verde ($-a^*$) y el rojo ($+a^*$).
- ✓ b^* representa la diferencia entre azul ($-b^*$) y amarillo ($+b^*$).

Cuando se conoce las coordenadas L^* , a^* y b^* , entonces no solamente el color está descrito, sino que también se encuentra en el espacio CIE L, a^* y b^* ; y sus coordenadas se calculan a partir de valores según las ecuaciones 4, 5 y 6: (Marcus, 1998). En la Figura 9, se muestra el espacio de color CIELAB.

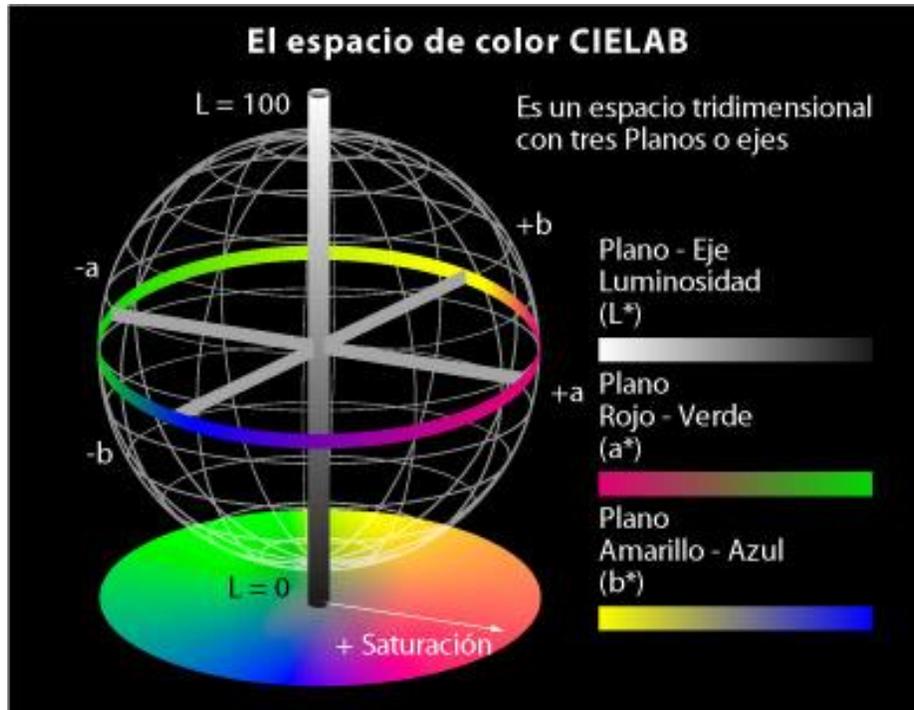


Figura 9. Diagrama del espacio de color CIE L^*, a^*, b^* (Stephen Westland, 2001).

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (4)$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (5)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (6)$$

Castro, Cerquera, & Gutiérrez (2014) mencionan que para construir la secuencia de evolución del color, se obtienen imágenes digitales de cada muestra, analizada con una cámara fotográfica digital con sensor CCD, marca Kodak EasyShare, modelo C180, (10,2 megapíxeles efectivos, zoom óptico 3X), definiendo como ángulo de observación 0° y distancia de captura 25 cm, la iluminación se realiza con lámparas fluorescentes ubicadas a un metro de distancia, las capturas se realiza en modo de fotografía automático y flash apagado, las imágenes digitales se obtuvieron en formato JPEG de 3280 x 2460 píxeles; se descargan en un computador y los píxeles

se promedian mediante el software Microsoft Paint, que a su vez indica las coordenadas R, G y B del espacio de color RGB, en la paleta de colores; el color promedio es resultante es tal como se presenta sin modificar el brillo y manchas. Esta metodología es propuesta por Berns (2000), validada por Padrón Pereira (2009). La transformación del modelo RGB al espacio CIE-L*a*b*, atendiendo lo indicado por Ortiz Zamora (2002) y acorde con la (CIE, 2009), se llevó a cabo utilizando el calculador de color en línea, Easy RGB, (2010).

II.3.4. Actividad de agua

La actividad de agua (A_w), una propiedad termodinámica, se define como la relación del vapor de agua de un sistema y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura, o como la humedad relativa de equilibrio del aire en contacto con el sistema a la misma temperatura (Rahman & Labuza, 2003) además el agua se encuentra presente en todos los productos alimenticios, alcanza desde trazas a valores muy altos, influyendo sobre las propiedades del producto en muchos aspectos, también es importante para el valor nutritivo y sabor de los productos la cual es uno de los análisis más usados frecuente en la industria alimentaria (Isengard, 2001). Estudios de Mathlouthi (2001) menciona que el método de determinación de agua más aceptado a nivel comercial es por desecación, este método se basa en la pérdida de masa después del secado de la muestra y parte de la pérdida de masa que podría proceder de la volatilidad de los otros gases. No sólo la desecación por "estufa" es criticable, sino también todos los métodos de determinación del contenido de agua tienen sus inconvenientes, en muchos laboratorios están equipados con dispositivos que permiten la determinación de la actividad de agua (A_w). Su determinación se puede realizar utilizando métodos directos o indirectos.

- ✓ Las determinaciones directas se basan en separación físicas como destilación, secado o reacciones químicas las que producen gases como el C_2H_2 que se miden usando técnicas específicas.
- ✓ Las determinaciones indirectas se basan en las propiedades espectroscópicas de las moléculas de agua como es el caso por resonancia magnetica nuclear (RMN), espectroscopía infrarroja y Raman, que son técnicas no destructiva para cuantificar el nivel de agua en una muestra.

II.4. Diseño de mezclas

En el desarrollo e innovación de nuevos productos, en la actualidad se están utilizando metodologías que permitan obtener resultados óptimos para el procesamiento de alimentos, entre ellos se destaca la metodología de Diseño de Mezclas la cual se usan para estudiar los efectos de los componentes a partir de una mezcla sobre la variable de la respuesta (Montgomery, 2004).

II.4.1. Diseño de mezclas simplex reticular

Un diseño simplex reticular (p, m) es usado para p componentes que consta de puntos definidos por arreglos de coordenadas: las proporciones asumidas por cada componente m + 1, los valores deben estar separados por una distancia igual de 0 a 1 (Ecuación 6 y 7).

$$X_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, p \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, p \quad (8)$$

Se usan todas las combinaciones posibles de las proporciones de la ecuación. Donde el diseño reticular consta de las seis corridas siguientes:

$$N = \frac{(p+m-1)}{m!(p-1)!} \quad (9)$$

$$X_1, X_2, X_3 = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0); (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}); (0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}). \quad (10)$$

En la Figura 10, se muestra el diseño simplex reticular con $p=3$ y $m=2$, contando de 6 puntos.

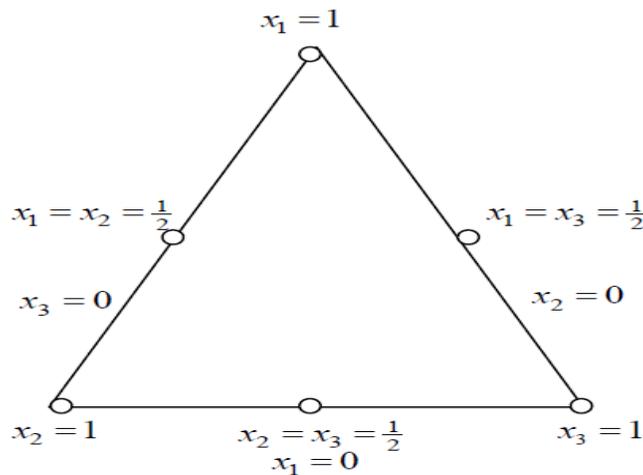


Figura 10. Diseño de mezclas diseño simplex reticular con $p=3$ y $m=2$ (Montgomery, 2004)

II.4.2. Diseño de mezcla simplex de centroide

Este diseño es una alternativa al diseño de mezclas reticular se componentes de p componentes, si hay $2p - 1$ puntos, que corresponden a las p permutaciones de $(1, 0, 0, \dots, 0)$ las $(p/2)$ permutaciones de $(1/2, 1/2, 0, \dots, 0)$, las $(p/3)$ permutaciones de $(1/3, 1/3, 1/3, 0, \dots, 0)$, Y el centroide engloba $(1/p, 1/p, \dots, 1/p)$. En la Figura 11 se observa el diseño simplex reticular con $p=3$ componentes consta de 7 puntos.

Montgomery (2004) menciona que una crítica que se le hace a estos diseños simplex es que la mayoría de las corridas ocurren en la frontera de la región y, por consiguiente, incluyen solo

$p-1$ de los p componentes. Sueles ser deseable aumentar el diseño simplex reticular o de centroide con puntos adicionales en el interior de la región donde las mezclas estarán formadas por la totalidad de los p componentes.

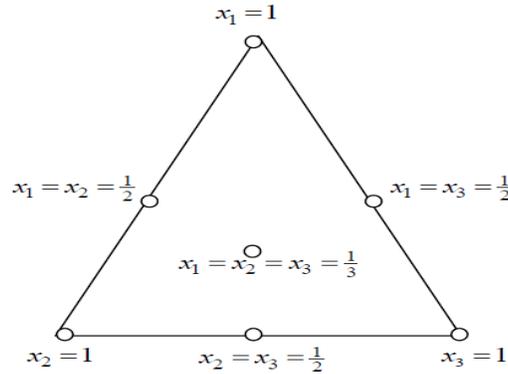


Figura 11. Diseño Simplex de Centroide $p=3$ (Montgomery, 2004)

II.4.3. Modelos de la mezcla

Montgomery (2002) afirma que estos modelos para mezclas difieren de los polinomios usuales empleados en los diseños de superficie de respuesta debido a las restricción $\sum x_i = 1$. Las forma estándares de los modelos para mezclas que se usan ampliamente son:

Lineal:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \tag{11}$$

Cuadrático:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i \leq 1 \leq j} \beta_{ij} X_i X_j \tag{12}$$

Cúbico especial:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i \leq 1 \leq j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i \leq 1 \leq j \leq k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k \tag{13}$$

Cúbico completo:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i \leq 1 \leq j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i \leq 1 \leq j} \nu_o X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{i \leq 1 \leq j \leq k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k \tag{14}$$

Donde:

q : Número total de componentes de la mezcla.

II.4.4. Ubicación de los puntos de prueba

Los diseños simplex reticular y simplex centroide son diseños de puntos frontera, si el experimentador quiere hacer predicciones acerca de las propiedades de mezcla completas, sería muy deseable contar con más corridas en el interior del simplex. Se recomienda aumentar los diseños simplex centroide ordinarios con corridas axiales y el centroide global. El diseño derivado de este aumento toma el nombre de diseño de mezclas simplex con centroide ampliado (Montgomery, 2004). En la Figura 12, se presenta el diseño simplex centroide (3,2) aumentado con los puntos axiales para una mezcla de 3 componentes. El diseño tiene 10 puntos, con cuatro de ellos en el interior del diseño simplex.

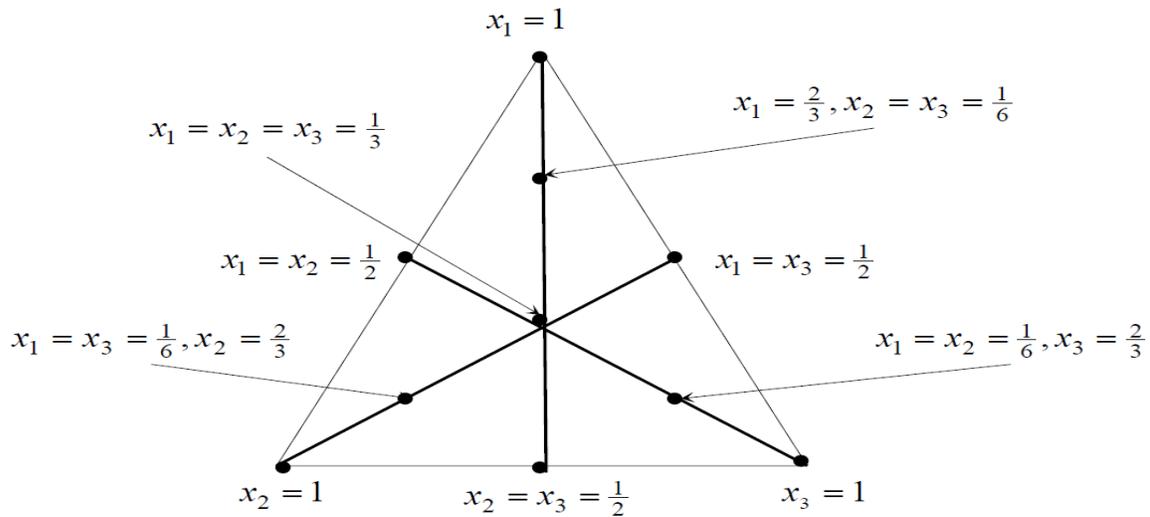


Figura 12. Diseño simplex centroide $P= (3,2)$ aumentado con los puntos axiales para una mezcla de 3 componentes Montgomery (2004).

Montgomery (2004) menciona que el diseño de mezcla simplex con centroide ampliado es superior para estudiar la respuesta de mezclas completas en el sentido de que puede detectar y modelar la curvatura en el interior del triángulo que no puede tomarse en consideración por los términos del modelo cúbico completo. También afirma que tiene más potencia para detectar la

falta de ajuste. El modelo es de particular utilidad cuando el experimentador no está seguro del modelo apropiado que debe usar. Planea construir un modelo secuencial, empezando con un polígono simple (quizá de primer orden), probar el modelo para la falta de ajuste, después aumentar el modelo con términos de órdenes superiores, probar el nuevo modelo para la falta de ajuste y así sucesivamente.

En el caso de 3 componentes, Hare (1974) recomienda un diseño de 10 puntos de prueba, el cual coincide con el diseño de mezclas simplex con centroide ampliado, los puntos experimentales se muestran en la Figura 13, los puntos 1, 2 y 3, cada uno representa el 100 % de un componente; los puntos 4, 5 y 6 representan la combinación del 50 % del par de cada componente; el punto central, 7, representa las cantidades iguales para cada componente. También, existen 3 puntos axiales internos, 8, 9 y 10, que representan el 66.6 % y 16.6 % para cada uno de los 2 componentes.

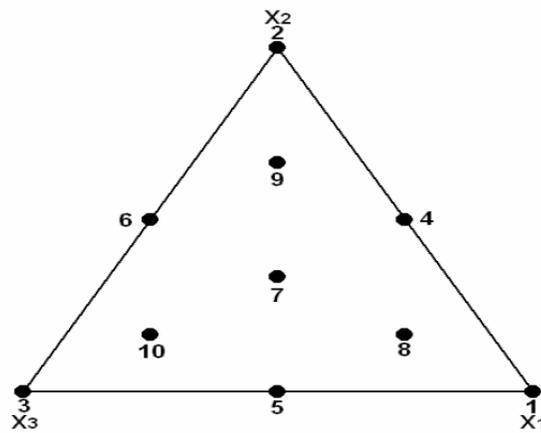


Figura 13. Diseño de 10 puntos. (Hare, 1974).

El diseño elegido para el análisis de datos fue el diseño simplex con centroide ampliado que se generó con la ayuda del programa Desing Expert 7.0.

Tabla 5*Puntos experimentales del diseño de mezclas simplex con centroide ampliado*

Pruebas N°	Componentes					
	X_1	X_1 (%)	X_2	X_2 (%)	X_3	X_3 (%)
T ₁	1	100	0	0	0	0
T ₂	0	0	1	100	0	0
T ₃	0	0	0	0	1	100
T ₄	1/2	50	1/2	50	0	0
T ₅	1/2	50	0		1/2	50
T ₆	0	0	1/2	50	1/2	50
T ₇	1/3	33.33	1/3	33.33	1/3	33.33
T ₈	2/3	66.66	1/6	16.67	1/6	16.67
T ₉	1/6	16.67	2/3	66.66	1/6	16.67
T ₁₀	1/6	16.67	1/6	16.67	2/3	66.66

Nota. Puntos del diseño propuestas por Hare, (1974).

III. Materiales y métodos

III.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, Lima (Km 19.5 Carretera Central, Ñaña – Lima), durante los meses de noviembre de 2015 a Enero del 2016.

III.2. Materiales e insumos

III.2.1. Materia prima

La materia prima utilizada para la investigación fueron: harina de quinua (*Chenopodium quínoa*) var. Blanca de Junín, papa (*Solanum tuberosum*) var. Canchan blanca y maíz (*Zea mays*) var. Blanco amiláceo, provenientes del valle de Apurímac, provincia de Andahuaylas la cual se encuentra a 2926 m.s.n.m, las harinas con tamaños de partícula heterogéneas se trasladaron independientemente en sacos de tocuyo con capacidad de 5 kg, y transportadas en cajas de cartón. Las cuales fueron recepcionadas, almacenadas en un ambiente seco y a temperatura ambiente, luego se procedió a clasificarlas por tamaño de partícula para los tres componentes.

III.2.2. Insumos

- ✓ Margarina (marca: Dorina).
- ✓ Azúcar blanca refinada.
- ✓ Polvo de hornear (proveedor: Puratos Perú).
- ✓ Clara de huevo en polvo (Proveedor: Ovosur, Perú).
- ✓ Sal común.
- ✓ Agua destilada (Proveedor: Laboratorio de química, UPeU, Perú).
- ✓ Leche en polvo (Proveedor: Peruanita, Perú).

III.2.3. Reactivos

- ✓ Éter de petróleo (98%)
- ✓ Éter de petróleo 96 %
- ✓ Hidróxido de sodio 0,1N
- ✓ Ácido sulfúrico 99 %
- ✓ Verde bromocresol
- ✓ Hidróxido de sodio 80%
- ✓ Ácido bórico
- ✓ Fenolftaleína 1%
- ✓ Indicador Jhiotshiro

III.2.4. Materiales y equipos

- ✓ Moldes de aluminio con dimensiones 20,3 cm (8 pulg); según norma AACC 10-90 (1999).
- ✓ Papel manteca.
- ✓ Recipientes de plásticos.
- ✓ Jarra medidora de 500 - 2000 ml.

- ✓ Tubos de ensayo.
- ✓ Pipetas 1 ml, 5 ml.
- ✓ Batidora semi industrial de 4.8L (kitchen Aid, Artisan, USA).
- ✓ Balanza de 300 g x 0,01 g (Precisión, ES300A, China).
- ✓ Horno a Gas (Rotativo, 1 coche, 12 bandejas) (Josisa, Rotativo, Perú).
- ✓ Estufa Esteriladora (Mettler, UNB200, Alemania).
- ✓ Mufla (Mettler, F1630).
- ✓ Equipo de extractor SOXHLET.
- ✓ Cámara fotográfica (Canon EO5, Rebel T3i, China).
- ✓ Escáner (HP-Scanjet, G3110).
- ✓ Bloque digestor (Tecnal, T.E.-04/25, Brasil).
- ✓ Sistema de empaque (Oster, vac-420-s1).
- ✓ Juego de tamices ((INNOVA, MMM, Perú).
- ✓ Determinador de Actividad de agua (Aqualab, 3TE, USA).
- ✓ Placas Petri

III.3. Método de análisis

III.3.1. Materia prima

III.3.1.1. Características de la harina

La materia prima utilizada para la investigación fue clasificada por tamaño de partícula y color L*, a* y b* metodología propuesta por Berns (2000).

III.3.1.2. Prueba de gluten

Para determinar la presencia de gluten en las harinas, se realizó la prueba de gluten de acuerdo de lo presentado por Quaglia (1991) la cual consto en mezclar la harina 100 %, con agua 50 % y sal 2 % hasta forma una masa, seguidamente procedió a realizar el lavado para eliminando toda presencia de almidón.

III.3.1.3. Análisis proximal

Los análisis de humedad (44.31 y 44-01), Ceniza (08-01), extracto etéreo (30-10) mediante métodos propuestos por la AACC (1999), y proteína por la NTP 205.042, el contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia.

III.3.2. Producto terminado

III.3.2.1. Determinación de índice de volumen, simetría y uniformidad para cake

El Índice de volumen y simetría se determinó con una plantilla para cake (**Figura 14**), como se describe en el método 10-91 (AACC, 1999) se analizó de acuerdo al Anexo 21.

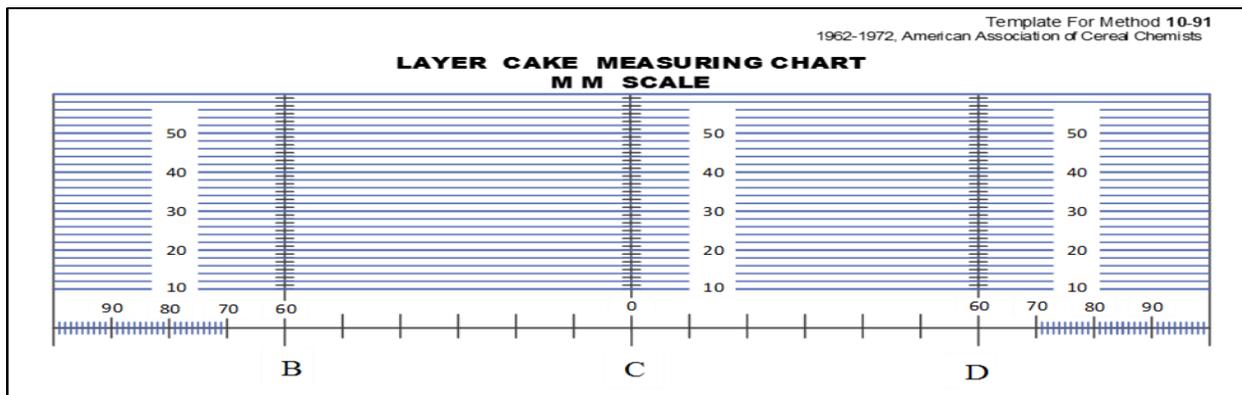


Figura 14. American Association of Cereal Chemists AACC 10-90, Plantilla (AACC, 1999)

III.3.2.2. Determinación de porosidad por el procesamiento de imagen

Como siguiente paso el lado de la mitad del cake se cortó (área de cortado 12 cm²), luego se rebanó horizontalmente y se procedió a construir la secuencia de evolución del color, para ello se realizó la adaptación de un equipo presentado por Sabliov et al. (2002) se realizó la adquisición de los componentes para imágenes (**Figura 15**), el equipo utilizado consto de una cabina oscura sin interferencia de luz exterior, con iluminación optima, mediante el uso de fuentes de luz tipo LED (36 Watts) de igual simetría que produce una iluminación igual muestra. Con un sostenedor para la cámara construido de espuma de poliestireno, la base donde se colocó la muestra es de color negro con un elevador hidráulico de laboratorio para ajustar la distancia entre la muestra y la cámara.

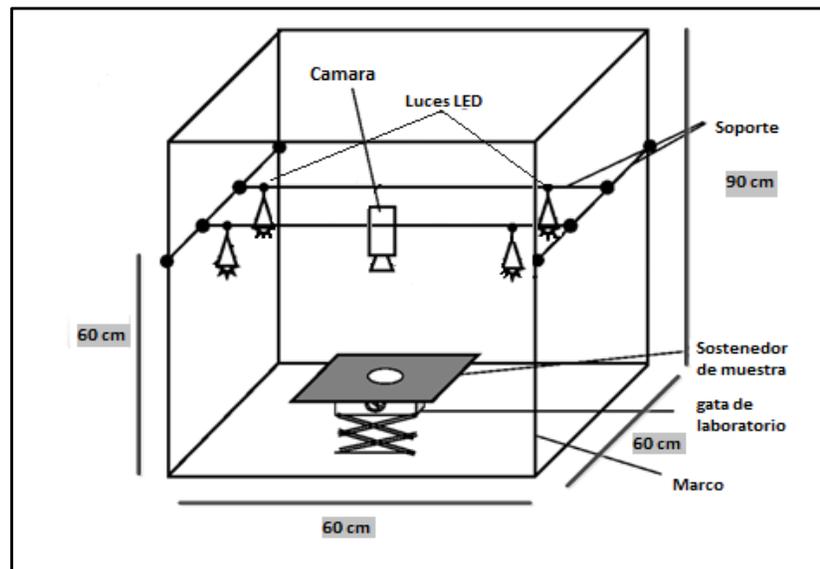


Figura 15. Sistema de procesamiento de imagen (Sabliov et al., 2002).

Se obtuvo las imágenes digitales de cada muestra analizada con una cámara fotográfica digital (*Canon EO5, Rebel T3i*) que cuenta con un lente focal (*EF-S 18-55mm*) y una máxima apertura de giro de 1: 3.5 a 5.5. Las imágenes se almacenaron en formato JPEG de 2304 x 3456

pixeles. El ángulo de captura fue de 0° y distancia de captura es 25 cm. Las imágenes se analizaron de acuerdo al procedimiento presentado por Abramoff, Magalhães, & Ram (2004), el procedimiento se detalla en el Anexo 22.

III.3.2.3. Determinación del color

La evaluación del color se llevó a cabo utilizando el lado rebanado horizontalmente utilizando un escáner (*HP-Scanjet G3110*), con una resolución de 300 dpi y en formato TIFF. Las imágenes se analizaron de acuerdo a lo presentado en el Anexo 23. Se realizaron 3 mediciones de color de cada tratamiento parte externa de la miga.

III.3.2.4. Evaluación de la Aw del cake

Para la evaluación de la Aw del cake para cada tratamiento se realizó por duplicado en el determinador de actividad de agua Aqualab. En el Anexo 24 se detalla el procedimiento.

III.4. Metodología experimental

III.4.1. Elaboración de cakes usando el método de Diseño de Mezclas

A partir de la formulación de los reportes de Zhou J. (2010) que usa la formulación adaptada de cake propuesta por la AACC 10-90 (Tabla 6), la cual será considerada como control para realizar las comparaciones con el cake libre de gluten con la sustitución total de la mezcla de harina de quinua, harina de papa y harina de maíz. El procedimiento para la elaboración del cake está en relación de tiempo de 4:2:2 presentado por la AACC 10-90 (AACC, 1999) con una batidora Kitchen Aid y adaptado por Wilderjans, et al., (2013) que menciona que el proceso de cremado es fundamental para alcanzar un mayor volumen en los cakes; es por ello que el primer paso es el batido de la masa por un tiempo de 3 minutos (el cremado). Además de ello se utilizó moldes de

aluminio para cake serán con dimensiones 20,3 cm (8 pulg); profundidad de 3,8 cm, según norma AACC 10-90 (AACC 1999) con grasa comercial (con papel pergamino) en la parte inferior de la bandeja, luego será agregada la masa de 400 - 425 g para cada tratamiento y serán hornadas a $140 \pm 5^\circ\text{C}$ por 18 min.

Tabla 6

Formulación para la elaboración del cake

Ingredientes	(% base de harina)
Harina de quinua	0 < X_1 < 1 o 100 %
Harina de papa	
Harina de maíz	
Azúcar blanca	130 %
Margarina	40 %
Leche Polvo Desgrasada	12 %
Clara de huevo en polvo	15 %
Sal	3 %
Polvo de hornear	6 %
Agua	135%

Terminado el tiempo de horneado se enfrió los cakes dentro de las bandejas por 30 min, desmoldo y siguió enfriando hasta igualar a la temperatura ambiente, luego ser empaquetado ligeramente con harina y envuelta en película de material para empaquetado (polietileno), para luego proceder a evaluar. Figura 16, se acondicionó pesando cada ingrediente, parte de las harinas se utilizó para el análisis proximal, luego el proceso de cremado (mezcla de grasa y azúcar) se mezcló los ingredientes secos adicionalmente se incluyó las harinas (tratamientos del diseño de mezclas donde X_1 , X_2 y X_3 son los niveles para la harina de quinua, harina de papa y harina de maíz respectivamente). Para obtener la masa se procedió al batido en 3 etapas (donde se adiciono agua), que se colocó en los moldes de aluminio para luego ser colocado en el horno a $130-140^\circ\text{C}$ por 17-20 minutos y se retiró para ser enfriado. A los cakes horneados enfriados se analizaron propiedades físicas: volumen, porosidad, color y A_w .

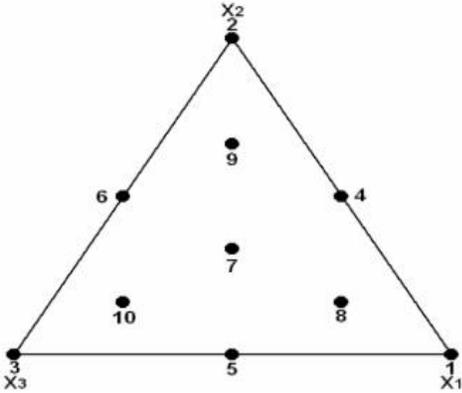
Operaciones Unitarias												
Operaciones Unitarias	Acondicionamiento	Cremado	Mezclado 1	Mezclado 2	Batido 1	Batido 2	Batido 3	Moldeado	Horneado	Enfriado, Desmoldado	Analisis	
Condiciones y parámetros	→ Pesado de los ingredientes para cake en función a 100% de harina	→ Margarina 50%, Azúcar Blanca refinada 120%	→ Leche en polvo desgrasada 12%, clara de huevo en polvo 9%, sal 3%, polvo de hornear 6%,		→ 60 % de agua	→ 35% de agua	→ 30% de agua	→ Molde de aluminio de 20.3 cm de diámetro (8 pulgs), con profundidad de 3.8 cm	→ T°: 130-140°C	→ Retirado del horno	→ Análisis del producto final	
Análisis y/o observaciones	Análisis Proximal de las materias primas, harina de quinua, harina de papa y harina de maíz por AACC (1999)	Mezclado 3 min a vel. Alta..	Tamizar y mezclar.	Harina de quinua X1; Harina de papa X2; Harina de maíz X3 : (0<X1<1 o 100 %) Con tres repeticiones. T: 0.5 min Tamizar y mezclar.	T: 0.5 min , luego a vel media por 4 min.	T: 0.5 min , luego a vel media por 2 min.	T: 0.5 min , luego a vel media por 2 min.	400 – 425 g de peso de la muestra son colocadas en el molde, previamente engrasado y con papel pergamino T: 1min	Tiempo: 17-20 min, hasta que el horneado este uniforme	Primer enfriado por T: 30 min, luego desmoldar y seguir enfriando por T: 4 horas	Análisis de Volumen, Color, Porosidad, Aw	

Figura 16. Esquema general seguido para la investigación del cake libre de gluten

III.5. Diseño estadístico

Para evaluar las propiedades físicas (volumen, porosidad, color, Aw) de los cakes elaborados se aplicó el diseño de mezclas, en la **Tabla 7 y 8** se muestran la utilización niveles codificados de 0-1 para las variables independientes (quinua-papa-maíz). El modelo propuesto consta de 3 componentes de la mezcla, además de 10 tratamientos, se realizó tres repeticiones del experimento con un total de 30 observaciones y se consideró un error del 5%.

Tabla 7

Las variables independientes y sus codificadas y los valores reales utilizados para la optimización

Variables independientes	Rangos
E₁: Harina de quinua (ξ_1)	$0 < X_1 < 1$ o 100 %
E₂: Harina de papa (ξ_2)	$0 < X_2 < 1$ o 100 %
E₃: Harina de maíz (ξ_3)	$0 < X_3 < 1$ o 100 %

Nota. ξ_1, ξ_2, ξ_3 variables codificadas.

Tabla 8

Diseño de mezclas para el proceso de elaboración de cake libre de gluten

Prueba	Tratamientos						Respuestas			
	N°	X₁	ξ_1 (%)	X₂	ξ_2 (%)	X₃	ξ_3 (%)	Porosidad	Color	Volumen
T₁	1	(100)	0	(0)	0	(0)	-	-	-	-
T₂	0	(0)	1	(100)	0	(0)	-	-	-	-
T₃	0	(0)	0	(0)	1	(100)	-	-	-	-
T₄	1/2	(50)	1/2	(50)	0	(0)	-	-	-	-
T₅	1/2	(50)	0	(0)	1/2	(50)	-	-	-	-
T₆	0	(0)	1/2	(50)	1/2	(50)	-	-	-	-
T₇	1/3	(33.33)	1/3	(33.33)	1/3	(33.33)	-	-	-	-
T₈	2/3	(66.66)	1/6	(16.67)	1/6	(16.67)	-	-	-	-
T₉	1/6	(16.67)	2/3	(66.66)	1/6	(16.66)	-	-	-	-
T₁₀	1/6	(16.67)	1/6	(16.67)	2/3	(66.67)	-	-	-	-

Nota. ξ_1, ξ_2, ξ_3 variables codificadas.

Se utilizara la función de las respuestas (Y) para explicar el modelo, que se muestra de la siguiente manera resumida:

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i \leq 1 \leq j}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i \leq 1 \leq j}^q v_o X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{i \leq 1 \leq j \leq k}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (15)$$

Donde Y es la respuesta estimada, β_0 se define como la constante, β_i el coeficiente lineal y β_{ii} el coeficiente cuadrático y β_{ij} el producto cruzado coeficiente son los coeficientes X_i y X_j son los niveles de las variables independientes, mientras que k es igual al número de los factores ensayados ($k = 3$). Se generaron tablas del análisis de la varianza (ANVA), se evaluaron: el efecto de la regresión, el coeficiente lineal individual y cuadrático de la interacción. Los valores significativos se consideraron estadísticamente mediante la significancia con una probabilidad (P) de 0.05. Los coeficientes de regresión serán utilizados para realizar los cálculos estáticos para generar la prueba de medias, el gráfico de contorno y la superficie de respuesta de los modelos de regresión.

IV. Resultados y discusiones

IV.1. Características físicas de la harina

El primer paso de obtención de las harinas de quinua, harina de papa y harina de maíz, es el tamizado que tiene como objetivo eliminar cualquier material extraño, además definir un tamaño de partícula homogéneo, en la Tabla 9 se muestra las características de los componentes (quinua-papa-maíz). Respecto al color y tamaño de partícula (μm) se reporta que el color de la harina de quinua blanca de Junín tiene una escala de $L^*= 95.57, a^*= -5.275$ y $b^*= 19.14$, presentó un color con luminosidad clara, con coordenadas $-a^*$ (verde) y $+b^*$ (amarillo) representando un color amarillo claro, indicando un color blanco amarillento; la harina de papa canchan tiene una escala de $L^*= 91.31, a^*= -4.97$ y $b^*= 26.63$, presentó un color que representa un amarillo más fuerte con tonalidad clara; la harina de maíz amiláceo es el más claro en la escala con valores de $L^*= 99.09, a^*= -3.82$ y $b^*= 9.76$, este tiende a ser blanco. Para todas las harinas se encontró valores de luminosidad superiores a 90, lo que indica que las harinas tiene un color bien claro. Respecto al tamaño de partícula de la harinas de quinua-papa y maíz, se trabajó con la malla con la se procedió a realizar las pruebas experimentales fue igual a $180 \mu\text{m}$, siendo este el diámetro promedio utilizado en diferentes investigaciones en el proceso de sustitución para las harinas.

Tabla 9***Características de las harinas de quinua, papa y maíz por color y tamaño de partícula***

Características	Unidad	Proporción (%)		
		Harina de quinua*	Harina de papa*	Harina de maíz*
Color	CIE	L*= 95.57;	L*= 91.31	L*= 99.09
	L*,	a*=-5.275;	a*=-4.97;	a*=-3.82
	a* b*	b*=19.14.	b*=26.63	b*=9.76
Extracción de la harina	%	43.1	69	74
Tamaño de partícula	µm	180	180	180

Nota: Valores representan el promedio de tres repeticiones

Estudios realizado por Dhen et al. (2016) evaluaron la granulometría de la harina de soja en cake libre de gluten demostraron que el tamaño de partículas afecta significativamente a la calidad del producto final. Elgeti et al. (2014) evaluaron el impacto de la harina de quinua en los parámetros de calidad del cake, donde se reemplazó de 40 a 100 % de la mezcla de harina de arroz y de maíz en una receta de cake libre de gluten, encontrándose un volumen con 33%. Debido al tamaño de partícula de la harina (200 µm) que influyó en el comportamiento de la masa.

IV.1.1. Presencia de gluten

En la **Tabla 10** se presentan los resultados del análisis cualitativo, donde se usó harina de trigo como un patrón referencia para la formación de gluten. Después de adicionar y mezclar con la fracción de agua en las harinas se adicionó agua hasta lograr formar una masa o encontrar un punto homogéneo, no se observó una formación de masa ni de presencia de gluten.

Tabla 10**Prueba de presencia de gluten**

Muestra	Resultado
Harina de trigo*	Formación de gluten
Harina de quinua	Masa líquida
Harina de papa	Masa líquida arenosa
Harina de maíz	Masa con presencia de grumos

Nota.* Usado como patrón de referencia.

Cobián-Vergara (2015) menciona que una fortaleza de la quinua y kiwicha es que son alimentos que no contiene gluten, recomendado para los que sufren intolerancia (individuos celíacos). Adicionalmente los que pueden ser consumidos son: el maíz, quinua (pseudocereal) (Arendt & Bello,2008). Un estudio reporta que el consumo diario de quinua ayuda a que los celíacos puedan regenerar la tolerancia al gluten. Comprobaron que si un celíaco lleva una dieta sin gluten pero rica en quinua, pueden recuperar la función del intestino en mucho menos tiempo (Zevallos et al., 2014).

IV.2. Análisis proximal de las harinas

El análisis proximal de las harinas se realizó por comparación, en la **Tabla 11**, se muestra que el contenido de humedad fue mayor con 14.49 ± 0.09 g/100 g para todos los resultados reportados estos se encuentran dentro de rangos de 11.1 g/100 g a 12.5 g/100 g para la variedad blanda de Junín. Al compararlo con otros autores que estudiaron la composición de la quinua de diferente variedad existe una ligera variación, entre ellos un rango de 11.00 g/100g de humedad para la quinua variedad rosa, también 12.21 g /100 g humedad para la harina de quinua variedad INIAP-Tunkahuan- cachi, similar a la variedad Juli con 12.5 g /100 g; El contenido de ceniza es 2.27 g/100 g, está dentro de los rangos presentados por los autores, presentan valores entre 0.06 g/100 g para la variedad blanca de Junín

y otro que es superior con valor de 3.43 g/100 g para las variedades dulce de Junín. Por otro lado respecto al contenido de proteína también se encuentra dentro de los rango, cuyos valores oscilan entre 7.21 g/100g para la variedad dulce de Junín, valor inferior y superior de 15.44 g/100 g para la variedad blanca de Junín.

Tabla 11

Comparación del análisis proximal para la harina de quinua

Quinua/ variedades	Humedad	Ceniza	Extracto	Proteína	Carbohidratos
	b.s.*	totales b.s.*	etéreo b.s.*	Cruda b.s.	
	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra
Harina de Quinua ¹	14.49±0.09	2.27±0.12	4.65 ± 0.14 ¹⁰	12 ¹¹	66.59 ¹²
Harina de quinua ²	-	1.98	3.99	13.55	77.87
Grano Quinua ³	11,8	2,6	6,2	12,20	67,2
Grano Quinua dulce ⁴	11,1	2,7	7,7	11,10	67,4
harina de quinua ⁵	13.1	0.06	-	15.44	-
Grano Quinua ⁶	10.8	3.43	0.34	7.21	76.51
Grano Quinua ⁷	12.21	2.57	5.31	12.68	63.73
Harina de quinua ⁸	12.5±0.1	2.26±0.02	6.37±0.02	-	66.59
Harina de quinua ⁹	11.00	2.15	7.06	11.5	66.21

Nota. * Valores promedio tres repeticiones, ¹ Variedad Blanca de Junín (experimental),² Variedad blanca (Junín) en base seca (Mendoza, 1994),³ Variedad Junín y ⁴ Quinua Dulce, Blanca Junín (García et al., 2009),⁵ Blanca de Junín (Sierra & Romero, 2006), ⁶ Blanca dulce de Junín (Fao 1992), ⁷ INIAP-Tunkahuan- cachi (Contreras Miranda, 2015), ⁸ blanca de Juli (Mujica, Ortiz, & Bonifacio, 2006), ⁹ Rosada (De La Cruz Quispe, 2009).¹⁰ (éter de petróleo),¹¹ N x 6,25,¹² Determinado por diferencia.

En cuanto a los resultados de la comparación para la harina de maíz, en la **Tabla 12**, el contenido de humedad, ceniza presentaron valores altos, se encontró que el maíz 13.57 ± 0.47 g/100 g y 2.27 ± 0.07 g/100 g para la variedad Amilaceo entre grano y harina con 11.2 g/100g a 12.7 g /100g para humedad y 1.2 g/100g a 1.7 g/100g; con respecto a extracto etéreo y proteína los valores reportados se encuentran dentro de rango presentados por los autores con valores de 2.2-5.7 g/100g y 66-75.9 g/100g.

Tabla 12

Comparación del análisis proximal para la harina de Maíz

Maíz/ variedades	Humedad	Ceniza	Extracto	Proteína	Carbohidratos
	b.s.*	totales b.s.*	etéreo b.s.*	Cruda b.s.	
	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra
Harina de Maíz¹	13.57±0.47	2.27±0.07	5.01±0.52 ⁸	5.2 ⁹	73.96 ¹⁰
Maíz grano²	12,7	1,3	4,0	5,90	76,1
Harina de Maíz³	11.9	1.7	6.5	4.2	71.2
Harina de Maíz⁴	11.31	1.25	5.07	10	72.01
Harina de Maíz⁵	11.2	1.5	4.5	9	73.8
Harina de Maíz⁶	-	1.7	4.7	10.2	81.1
Maíz grano⁷	9.5-12-5	1.2-2.9	2.2-5.7	5.2-13.7	66-75.9

Nota. *Los valores se representan el promedio de tres repeticiones, ¹ Variedad Maíz blanco amiláceo (experimental), ^{2,3} (García et al., 2009), ⁴ Harina de maíz (g/100g b.s.) (Pino, 2011), ⁵ (Reynoso, 1994), ⁶ Harina de maíz en base seca, (Koziol, 1992), ⁷ grano de maíz amiláceo (FAO, 1993), todas las variedades del maíz son Amiláceo, ⁸ (éter de petróleo), ⁹ N x 6,25, ¹⁰ Determinado por diferencia.

En cuanto a resultados de la harina de papa no hay muchas investigaciones respecto al análisis proximal, en la **Tabla 13** se muestra que los contenidos de humedad están por encima de los demás resultados, la harina de papa blanca alcanza el menor valor de humedad con 7.2 g/100g y en comparación de la papa blanca este es mayor con 10.9 g/100g, por otra parte el contenido de ceniza es superior al igual que el contenido de proteína y menor respecto al contenido de extracto etéreo.

Tabla 13

Comparación del análisis proximal para la harina de papa

Papa/ variedades	Humedad b.s.*	Ceniza totales b.s.*	Extracto etéreo b.s.*	Proteína Cruda b.s.	Carbohidratos
	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra	g/100g muestra
Harina de Papa ¹	11.48±0.17	5.47±0.19	0.30±0.02 ⁴	6.5 ⁵	76.25 ⁶
Papa blanca ²	10.9	5.2	0.4	6.4	77.1
Harina de papa ³	7.2	-	0.8	9.1	66.5

Nota. *Los valores se representan el promedio de tres repeticiones. ¹ Variedad Canchan blanca (experimental), ² Papa blanca (Reynoso, 1994) y ³ Harina de papa blanca (García et al., 2009), no se especifica la variedad, ⁴ (éter de petróleo), ⁵ N x 6,25, ⁶ Determinado por diferencia, ⁴

IV.3. Efectos de la mezcla para cake libre de gluten

Para la evaluación de la mezcla para el cake libre de gluten, se estandarizó el proceso y la formulación apropiada, se realizó de acuerdo a los reportes de Zhou (2010) que usa la formulación adaptada de cake propuesta por la AACCC 10-90. La caracterización de los cakes se realizó 24 horas después del horneado. Los cakes incorporados con las harinas no tuvieron problemas de desmoronamiento, ni de colapso como se muestra en la **Figura 17** que representa gráficamente; de acuerdo a una evaluación visual se observó que los tratamientos presentaron un ligero descenso de la altura en la etapa final del horneado (parte central del cake), este efecto es más claro incorporando harina de papa (T₂). Por otro lado el proceso de horneado fue homogéneo y las partículas de aire (poros) generadas por el batido no fueron de gran tamaño.

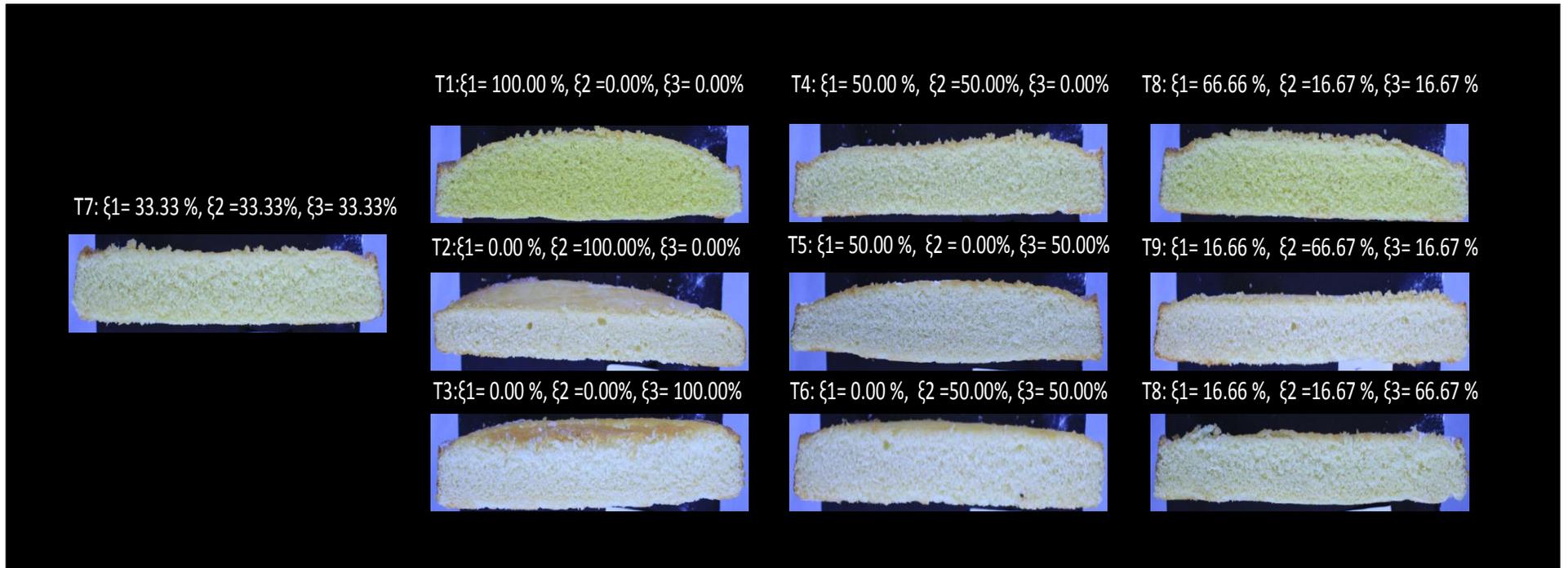


Figura 17. Representación gráfica de los tratamientos del diseño de mezclas, T₁ (100% quinua), T₂ (100% papa), T₃ (100% maíz), T₄ (50% quinua- 50% papa), T₅ (50% quinua- 50% maíz), T₆ (50% papa- 50% maíz), T₇ (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T₈ (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T₉ (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T₁₀ (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).

De hecho estudios realizados por Majzoobi & Hedayati (2014) reportaron que la masa con partículas de aire de gran tamaño pueden explotar en el horneado causando el colapso del cake. Además se puede afirmar que el efecto de las harinas, es para dar estructura a la masa del cake, Dhen et al. (2016) mencionan que la adición de harina de soja, influyó más en la estructura de la masa y en el tamaño de las burbujas, provocando un colapso después del horneado, enfriado. Seguidamente se evaluó el efecto de la influencia de la adición de los componentes (quinua-papa-maíz) respecto a las propiedades físicas: volumen, porosidad, color, Aw en el cake LG.

IV.3.1. Influencia de la adición de los componentes en el volumen.

Los resultados del volumen promedio del cake LG, se muestran en la **Tabla 14**, los cuales están en unidades de mm^2 , se observa que existe una variación significativa entre los tratamientos ($p < 005$) de acuerdo al análisis presentado en el Anexo 8, de otra parte se muestra que la incorporación de harina de quinua 100 % (T_1) presenta un volumen mayor entre los tratamientos (101.73 ± 2.03) con simetría positiva indicando que la parte central se elevó 3.77 mm por encima de los extremos, seguido por el tratamiento 8 (T_8) (66.66% de quinua, 16.67% de papa y 16.67% de maíz) con 91.77 mm^2 y simetría de 0.53 mm, el tratamiento 5 (T_5) (50% quinua, 50% de maíz) alcanzó un volumen de 86.5 mm y simetría positiva de 2.5 mm, indicando que las mezclas que se incorporaron quinua por encima del 50% alcanzó un volumen deseable con simetría positiva. También se observa que el tratamiento incorporado con 100 % papa (T_2) tuvo la altura más baja (59.83 ± 0.33) con una simetría negativa, indicando un colapso en la parte central del cake con 0.86 mm, respecto a la adición de 100 % maíz (T_3) se obtuvo una altura intermedia (79.17 ± 1.33) con simetría negativa de 0.17 mm, es decir con un colapso menos representativo cuando es incorporado papa. Finalmente no existe mucha variación incorporando el tratamiento puro (T_3)

(maíz) con el tratamiento 10 (T₁₀) con volumen de 79 mm de volumen y simetría positiva de 1.00 mm en la parte central del cake. Adicionalmente cuando se incorpora la mezcla de los tres componentes, el tratamiento 7 (T₇) (33.33% de quinua, 33.33% de papa y 33.33% de maíz), logró un volumen de 84.17 mm y una simetría de 0.33. Lo cual indica que usar proporciones iguales en la mezcla se obtiene un volumen deseable.

Tabla 14

Valores del volumen, simetría y uniformidad con su desviación estándar del diseño de mezclas

Prueba N ^o	X ₁	X ₂	X ₃	Volumen del cake		Simetría		Uniformidad	
	**ξ ₁ (%)	**ξ ₂ (%)	**ξ ₃ (%)	mm*		mm*		mm*	
T ₁	100	0	0	101.73	±2.03	3.77	±2.97	-1.10	±2.70
T ₂	0	100	0	59.83	±0.33	-0.83	±1.67	0.17	±0.17
T ₃	0	0	100	79.17	±1.33	-0.17	±0.67	0.50	±0.50
T ₄	50	50	0	78.50	±1.00	0.50	±0.00	-0.17	±1.83
T ₅	50	0	50	86.50	±3.00	2.50	±2.00	-2.17	±0.33
T ₆	0	50	50	68.67	±3.67	0.33	±0.83	0.67	±1.17
T ₇	33.33	33.33	33.33	84.17	±1.33	0.33	±2.67	0.00	±0.00
T ₈	66.66	16.67	16.67	91.77	±1.97	0.53	±0.93	-1.00	±2.00
T ₉	16.67	66.66	16.67	69.50	±2.00	0.50	±1.50	-0.17	±0.33
T ₁₀	16.67	16.67	66.66	79.00	±3.00	1.00	±1.00	0.00	±0.00

Nota. *Valores promedio de tres repeticiones. **X₁: quinua, X₂: papa, X₃: maíz

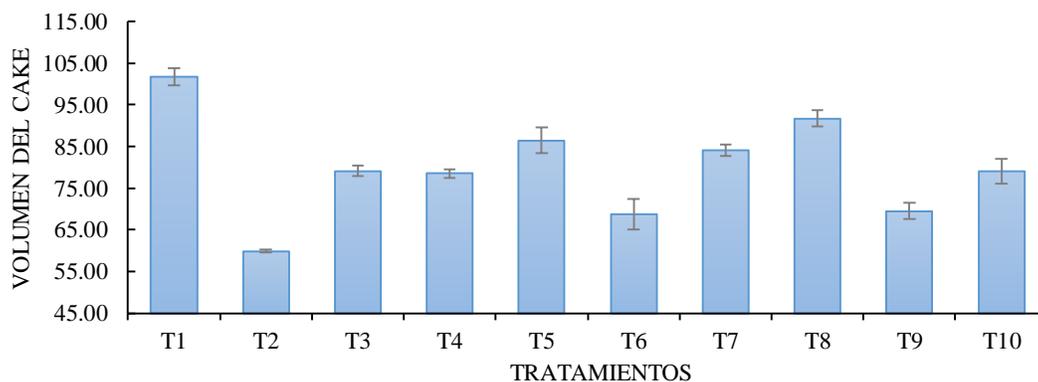


Figura 18. Valores promedios del volumen del cake (mm) de la mezcla de los componentes (quinua, papa y maíz) con sus respectivas desviaciones positivas y negativas.

IV.3.1.1. Análisis estadístico de la influencia del volumen del cake

Los datos experimental del volumen son presentados en el **Anexo 7** que fueron ajustados a los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico, mediante una regresión múltiple dicho procedimiento es utilizado por Gutiérrez-Alcántara (2008) luego se reportara el análisis de varianza (ANVA). El modelo sugerido por el software Design-Expert 7.0 es el modelo cúbico especial polinomial, en la **Tabla 15** los resultados del ANVA se presentan, con una significancia de $p < 0.05$, se puede afirmar que el modelo seleccionado presenta diferencias de los componentes (quinua-papa-maiz) para la variable volumen, además la mezcla del componente A y C alcanzó un cuadrado medio positivo de 31.51, mientras que la interacción de tres componentes A, B y C tuvo un mayor valor de cuadrado medio con 83.8. La falta de ajuste (Lack of Fit) no es indicando que los datos se ajustan al modelo cúbico.

Tabla 15

Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta volumen

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	Valor F	Prob>F	Significancia
Modelo	3942.53	6	657.09	146.45	< 0.0001	significante
Mezcla lineal	3848.95	2	1924.48	428.92	< 0.0001	
AB	11.00	1	11.00	2.45	0.1311	
AC	31.51	1	31.51	7.02	0.0143	
BC	2.67	1	2.67	0.59	0.4485	
ABC	83.80	1	83.80	18.68	0.0003	
Residual	103.20	23	4.49			
Lack of Fit	16.28	3	5.43	1.25	0.3188	no significativa
Error puro	86.92	20	4.35			
Total	4045.72	29				

Nota. Media = 79.88; Desviación estándar (SD)= 2.12; $R^2= 0.974$; $R^2_{adj} = 0.96$

Con un coeficiente de determinación (R^2), indica que el 97.4 % de la variación del volumen es explicada por la mezcla de los componentes (quinua, papa y maíz). Además, el

coeficiente de determinación Ajustado (R^2_{adj}), cuyo valor fue 96.7 %, permitió establecer que el modelo especial cúbico se ajuste adecuadamente a los datos experimentales. Se obtuvieron valores de R^2 mayores al 0.90 para este modelo, lo cual indica que el modelo es el adecuado para evaluar la variable volumen. Los coeficientes de regresión generados por este modelo se muestran en la ecuación 18.

Analizando los coeficientes para la variable volumen, existe un efecto positivo respecto a la correlación lineal de los componentes puros quinua, papa y maíz, además el primer componente afecta más a la variable volumen. Al hacer la interacción, mezclas de correlación binarias entre los componentes X_1 y X_2 (quinua-papa), X_1 y X_3 (quinua-maíz) y, X_2 y X_3 (papa-maíz) desarrollaron un efecto negativo para la variable volumen. La interacción de los tres componentes X_1 , X_2 y X_3 (quinua-papa-maíz) genera un aumento significativo en el volumen con esto se confirma que los componentes afecta positivamente a la variable respuesta.

$$\begin{aligned} \text{Volumen} = & 102.01 Hq + 59.47 Hp + 78.91Hm - 9.32Hq, Hp - 15.77Hq, Hm - \\ & 4.59 Hp, Hm + 169.55Hq, Hp, Hm \end{aligned} \quad (18)$$

En la **Figura 19** se muestra la gráfica correspondiente a la superficie de respuesta en rangos de 0-1, correspondiente a la ecuación anterior con respecto a la variable volumen del cake en función de las variables quinua (X_1), papa (X_2) y maíz (X_3).

Design-Expert® Software
volumen
103
59.5
X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz

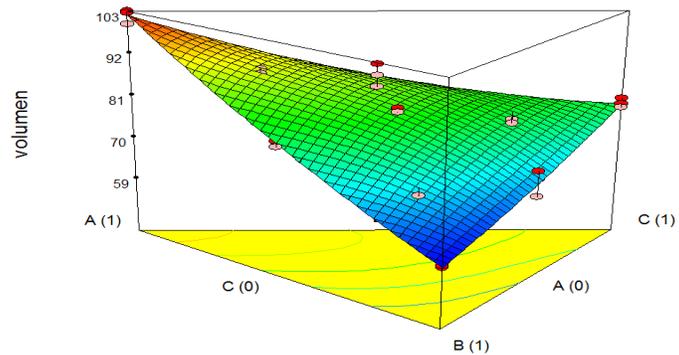


Figura 19. Superficie de respuesta del volumen del cake LG considerando valores codificados

Se observa un mayor volumen con mezclas contenidas de quinua, en comparación con las de maíz y papa. Adicionalmente este fenómeno se puede explicar evaluando el proceso de cremado, adición de agua, uso de leudantes (polvo de hornear) y la interacción con las proteínas presentes (Jancurová, Minarovičová, & Dandár, 2009).

Respecto al proceso del cremado es la primera etapa del batido donde la margarina se funde y mezcla con el azúcar generando una pasta tipo espumoso que contiene en su interior burbujas de aire. Dhen et al. (2016) evaluó la variable volumen y la incorporación de aire en la masa de cake con harina de arroz, menciona que: el volumen del cake no solo depende de la incorporación del aire a la masa, sino también a la retención del aire, afirma que un aumento del volumen depende más de la cantidad de aire y sobre todo de las burbujas y su estabilidad.

La adición de líquidos es otra etapa del batido que consta en unir la pasta cremada con los líquidos (agua) para obtener una masa espumante (unir gas con fase acuosa), esta favorece no solo al volumen sino también a la distribución uniforme de burbujas logrando un mejor cuerpo, suavidad, ligereza, aumento de dispersión de las celdas de aire en el horneado, y perceptibilidad de aromas (Fennema, 1993). Adicionalmente el tiempo de batido es fundamental, Fennema (1993)

cita que el volumen de la espuma que aumenta hasta un máximo nivel con un adecuado tiempo de batido, así también, un mayor tiempo de batido el aspecto superficial de la espuma pasa de ser húmedo y brillante a seco y mate. Adicionalmente Fennema menciona que para una espuma adecuada se debe utilizar un tiempo y una intensidad de batido que permita un desplazamiento y una absorción de las proteínas apropiadas. La incorporación de aire durante esta primera etapa es importante porque al formarse la crema el aire ingresa al sistema generando burbujas de aire en la grasa sólida, si esta se calienta se llegan a expandir, generar poros y dándole volumen al cake (Arendt & Bello, 2008).

Referente al polvo de hornear Fennema (1993) menciona que los polvos de panadería contienen bicarbonato sódico, ácidos adecuados, almidón y otras sustancias. Según Fennema (1993) el dióxido de carbono presente es el único gas generado por los esponjantes químicos de uso corriente y se deriva de un carbonato o bicarbonato, siendo el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) el esponjante más común. Este fenómeno se puede observar durante la preparación de los cakes al adicionar los ingredientes sólidos (entre estos el polo de hornear), durante el batido, se producía gran cantidad de burbujas gracias al desprendimiento del CO_2 , y durante el horneado se libera el resto de dióxido de carbono, determinándose el esponjamiento final. Por lo tanto si existe una perfecta liberación de CO_2 en la masa, se obtendrá un mayor volumen en el producto final (Gallegos-López, 2003). A mayor adición de esponjante se libera mayor cantidad de CO_2 , obteniéndose un mayor volumen en el producto final. Sin embargo no se puede adicionar mucho esponjante porque no todo el CO_2 puede ser atrapado por la masa, este escapa y se forma huecos en la superficie.

Referente a las proteínas presentes en las harinas estas influyen a la variable volumen, cuando a la masa se incorporada quinua, presenta una mayor viscosidad lo que permite que la masa

retenga mayor celdas de aire y mejora el volumen del cake, debido a que es la que aporta el mayor contenido de proteínas, sin embargo su contenido proteico es inferior al de la soya, es por ello que no colapsa como los estudios presentados por Dhen et al. (2016) quienes estudiaron el efecto de la incorporación de la harina de soya en cake, mencionando que el mayor contenido de proteínas (no especifica el tipo) y menor contenido de almidón de harinas de soja pueden influir en el desarrollo del cake, también que el almidón es el responsable de la estructura final, gelatinización y el aumento de la consistencia de la masa durante el horneado. Adicionalmente Gómez, Oliete, Rosell, Pando, & Fernández (2008) mencionan estudios que a una mayor cantidad de ingredientes con alto contenido de proteína en la formulación del cake resultó en una disminución de volumen, especialmente un colapso de la estructura durante las etapas finales de proceso de cocción o durante el enfriamiento. Por otro lado estudios realizado por Ferng, Liou, Yeh, & Chen (2015) quienes evaluaron la altura de los cakes elaborados con harina de arroz japónica menciona que de hecho, la expansibilidad del cake se basa principalmente en la mezcla estable de la grasa entre albúmina y aire, además que parece ser que el almidón tiene un carácter de menor importancia en la expansión; Sin embargo, las interacciones entre moléculas desplegadas de proteínas, lípidos y almidón pueden influir en el desarrollo de la masa.

IV.3.2. Influencia de la adición de los componentes en la porosidad

El análisis de la influencia está de acuerdo al procedimiento presentado en el Anexo 22, dichos resultados se muestran en la **Tabla 16**, presentando la cantidad de poros, área total de los poros (mm^2), fracción por área de los poros (%) y tamaño promedio de los poros (mm^2), se indica que entre los tratamientos existe una diferencia significancia ($p < 005$), evidenciando que los componentes (quinua-papa-maíz) afectan a la porosidad de acuerdo al análisis presentado en el Anexo 10, se puede apreciar que el tratamiento con 100 % quinua (T_1) presenta la mayor escala

en cantidad de poros de 427.33, con un tamaño promedio de 0.224 mm² pequeños, este comportamiento puede deberse al contenido de proteína presente en la harina y al tamaño de partículas, que se incorporó en adecuadamente en el batido de la masa. Seguido del tratamiento 5 (T₅) (50% quinua y 50% maíz) con 361 poros, y con un ligero aumento en el tamaño de los poros de 0.245 mm. También se observa que el tratamiento 10 (T₁₀) (16.66% de quinua, 16.67% de papa y 66.67% de maíz) presenta el menor contenido de poros y un mayor tamaño promedio de poros, indicando que existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de poros frente al tamaño de los poros. Además existe una relación de estas dos variables respecto al área total de poros (área total porosa) y la incorporación balanceada de los 3 componente tratamiento 7 (T₇) (33.33% de quinua, 33.33% de papa y 33.33% de maíz) presenta 285.33 poros con un tamaño promedio de 0.292 mm². Indicando que la cantidad de poros es la variable que puede explicar el comportamiento de la influencia de la incorporación de los componentes (quinua-papa-maíz) en el cake libre de gluten.

Tabla 16

Resultados del análisis obtenido del software ImageJ para la porosidad

Tratamientos	Cantidad de poros*		Área total de los poros		Fracción por área de los poros		Tamaño prom. de los poros	
			(mm ²)*		(%)*		(mm ²)*	
T ₁	427.33	±11.3	0.956	±0.008	30.521	±0.26	0.224	±0.01
T ₂	358.67	±16.7	0.866	±0.028	28.692	±1.97	0.242	±0.02
T ₃	318.33	±8.3	0.941	±0.015	28.980	±2.60	0.296	±0.01
T ₄	298.00	±4.0	0.978	±0.005	30.894	±0.74	0.328	±0.00
T ₅	361.00	±13.0	0.883	±0.009	24.999	±6.07	0.245	±0.02
T ₆	300.33	±11.3	0.804	±0.013	26.711	±1.48	0.268	±0.02
T ₇	285.33	±12.3	0.832	±0.029	27.598	±1.99	0.292	±0.01
T ₈	354.33	±6.3	0.882	±0.011	29.223	±1.08	0.249	±0.01
T ₉	316.00	±12.0	0.915	±0.030	30.271	±2.02	0.291	±0.03
T ₁₀	263.00	±11.0	0.866	±0.014	26.562	±1.84	0.330	±0.02

Nota. *Valores realizados por triplicado

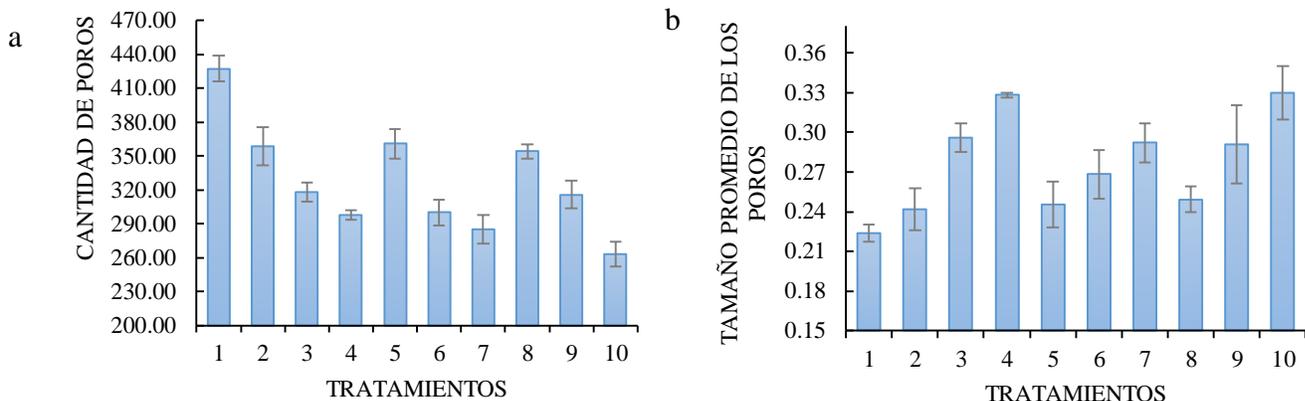


Figura 20. Representación gráfica para la porosidad ^a Área medio de los poros, ^b Tamaño promedio de los poros, con su D.E.

IV.3.2.1. Análisis estadístico de la influencia de la adición de la porosidad

Para el análisis estadístico se consideró la variable cantidad de poros, mostrado en el Anexo 10 a partir de los datos experimentales presentados en el Anexo 9, fueron ajustados a los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico, mediante una regresión múltiple procedimiento utilizado por Gutiérrez-Alcántara (2008) luego se reportó el análisis de varianza (ANVA). El modelo sugerido por el software Design-Expert 7.0.0 es el modelo cuadrático polinomial, los resultados del ANVA de dicho modelo se presentan en la **Tabla 17**, con una significancia se puede afirmar que el modelo seleccionado presenta diferencias entre los componentes para la variable porosidad, se presenta que al mezclar los componentes A y B alcanzan un cuadrado medio positivo elevado de 22945.64, también se presenta la falta de ajuste (Lack of Fit) que es significativo ($p > 0.05$) indicando que los datos no se ajustan al modelo cúbico.

Tabla 17

Análisis de varianza del modelo para la variable cantidad de poros

Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	Valor F	Prob>F	Significancia
Modelo	55356.25	5	11071.25	24.18	< 0.0001	significante
Mezcla Lineal	25849.37	2	12924.69	28.23	< 0.0001	
AB	22945.64	1	22945.64	50.11	< 0.0001	
AC	1205.46	1	1205.46	2.63	0.1177	
BC	5587.44	1	5587.44	12.20	0.0019	
Residual	10989.12	24	457.88			
Lack of Fit	6257.12	4	1564.28	6.61	0.0015	significante
Error puro	4732.00	20	236.60			
Total	66345.37	29				

Nota. Media = 328.23; Desviación estándar (SD)= 21.40; R²= 0.834; R²_{adj} = 0.799

Con un coeficiente de determinación (R²) indica que el 83.4 % de la variación de la cantidad de poros es explicada por la mezcla de los componentes (quinua-papa-maíz). Hour et al. (1980) mencionan que un coeficiente de determinación mayor que 85 %, permite predecir la respuesta con una amplia variedad de proporciones de la mezcla, siempre que la suma de los tres ingredientes sea 1. Además, el coeficiente de determinación Ajustado (R²_{adj}) igual a 80.43 % indica que permitió establecer que el modelo cuadrático se ajuste adecuadamente a los datos experimentales. En cuanto al nivel de significancia (p < 0.05) en la tabla existe diferencia significativa entre los tratamientos, la porosidad depende de la variación de las harinas. Los coeficientes de regresión generados por este modelo se muestran en la ecuación 19.

$$\begin{aligned}
 \text{Porosidad} = & 433.02 Hq + 365.65Hp + 308.80 Hm - 388.74 Hq, Hp - \\
 & 899.10 Hq, Hm - 191.831.76 Hp, Hm
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Analizando sus coeficientes, observamos que los componentes puros, es el caso de la incorporación de 100 % quinua (T₁) considerada como sección porosa muy buena. Además un

coeficiente más elevado es la ecuación con interacción sinérgica o positiva de los componentes X_1 , X_2 y X_3 (quinua–papa–maíz), así mismo se presentan coeficientes negativos al mezclar componentes X_1 y X_2 (quinua–papa) que alcanzó un efecto negativo (altamente significativo); así como X_1 y X_3 (quinua–maíz) y, X_2 y X_3 (papa–maíz), atribuyendo que la porosidad tienda a reducir al incorporar estos componentes.

En la **Figura 21**, se muestra la superficie de respuesta correspondiente a la ecuación anterior, la variable porosidad se ve influenciada por la incorporación de quinua.

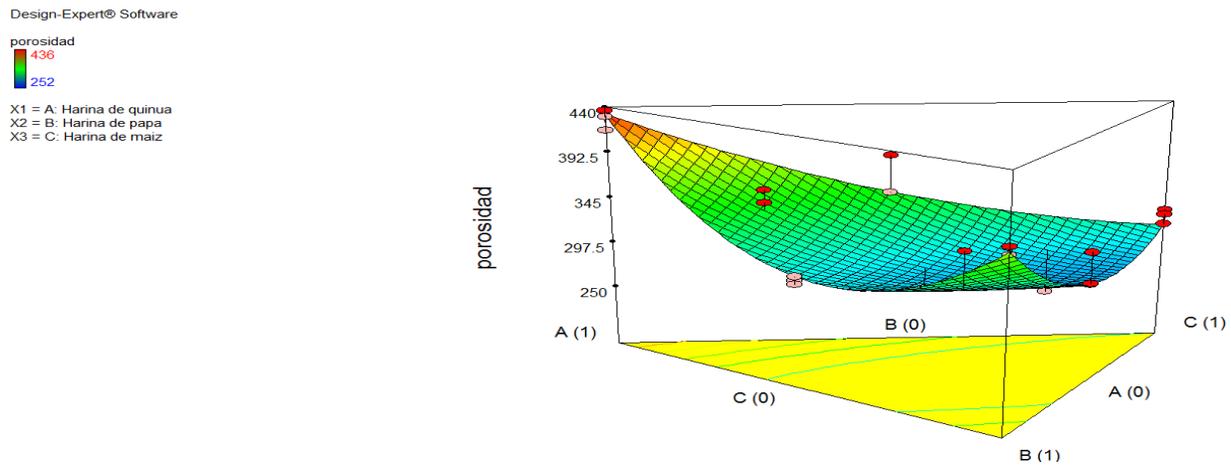


Figura 21. Superficie de respuesta para la porosidad del diseño de mezclas

Para detectar y explicar el efecto de los componentes sobre la porosidad en el diseño de mezclas se puede destacar el estudio del tamaño de celdas de aire generadas, el batido, el hornedado y las interacciones proteína almidón.

El tamaño de las celdas de aire, estudios de Hera, Martinez, Oliete, & Gómez (2013) quienes evaluaron la influencia del tamaño de partículas de la harina en la calidad del cake LG, reportaron que un aumento significativo en el volumen específico se encontró con el tamaño de celdas de aire más gruesas indicando que a mayor incorporación de aire a la masa el tamaño

aumenta. También Turabi, Sumnu, & Sahin (2008) mencionan que los cakes con mayores volumen específicos, son principalmente a la incorporación de aire; afirman que es importante la manera en que se va a distribuir el aire incorporado a lo largo de la emulsión y a la capacidad de la masa para retenerlo durante el horneado. En conclusión Stauffer (1990) menciona que se sabe que el volumen del cake depende del aire incorporado a la masa, su retención y los agentes de emulsión durante el procesamiento, estos logran la formación de una estructura estable durante el horneado.

Referente al batido y horneado que son factores que afectan directamente a la porosidad, reportes de Wilderjans, Pareyt, Goesaert, Brijs, & Delcour (2008) mencionan que la masa del cake tiene que ser suficientemente viscoso para atrapar y retener gas durante la mezcla y durante el horneado, esto se logra con un batido homogéneo. También estudios de Donovan (1977) menciona que durante el horneado la formación de un marco estructural de gránulos de almidón y proteína deben ser lo suficientemente fuertes como para sostenerse cuando se retira el cake del horno y no se colapse en el proceso de enfriado. Afirma que los gránulos de almidón tiene dos funciones principales simultáneos en la pastelería: hinchar para formar la “fracción porosa” de la miga final, y durante el hinchado unirse con el exceso de agua. Wilderjans et al. (2010) menciona que el almidón por lo tanto actúa como disipador del agua que es responsable de la transformación de una masa batida acuosa a la estructura porosa del cake. Finalmente correctamente horneado el cake contiene gránulos suficientemente hinchados esenciales para la formación de una buena estructura e importante para un buen rendimiento del cake.

Las interacciones proteína-almidón pueden llegar a ser importantes para la estructura del cake, Howard et al. (1968) menciona que comparó diferentes almidones en pastelería, demostraron la importancia del almidón granular, y destacan que esta implanta la estructura del cake. Por otro lado Wilderjans et al. (2008) menciona que de los análisis de imágenes en la estructura de la miga

de productos de panadería nos permiten predecir que la estructura tridimensional de un alimento es el resultado de la organización e interacción de sus componentes proteicos y almidón.

Referente al horneado Kim & Walker (1992) mencionan que las variaciones en el desempeño del cake puede estar relacionado con el control de la temperatura de la gelatinización del almidón. Derby, Miller, Miller, & Trimbo (1975) encontraron que las diferencias en el grado de gelatinización del almidón influyen en el volumen del producto. Se menciona que un mayor contacto con la interacción entre el almidón y agua resultó con mayores volúmenes, Mizukoshi, Maeda, & Amano (1980) mencionan que la liberación de gas, coagulación de proteínas, gelatinización del almidón y la expansión de la masa, todo tiene lugar a la misma temperatura en el cake, así mismo llegaron a la conclusión de que la formación de la estructura de los cakes durante el horneado están relacionados con el aumento de la viscosidad causadas por los efectos combinados de la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas.

Por otra parte en la Figura 22 y Figura 23 se observan las imágenes obtenidas del centro de la tajada del cake donde se puede observar que todos los tratamientos presentar una distribución de poros homogénea, sin presencia de huecos confirmando que la masa se ha batido correctamente y todos los ingredientes se incorporaron correctamente, las burbujas generadas en la grasas y en el batido son de tamaño homogéneo que se expandieron en el proceso de horneado, sin embargo para el Tratamiento 2 (T₂) con incorporación de papa pura presentó un ligero desorden, esto retribuye a sus bajos resultados en las pruebas de volumen y porosidad. La porosidad es uniforme cuando el aire atrapado presenta una distribución uniforme, Barcenilla et al. (2015) quienes evaluaron el efecto de diferente niveles de presión y tiempos en el batido de la masa de cake mencionan que cuanto mayor sea la presión aplicada, mayor son los efectos obtenidos, logrando una masa más consistente y elástica, afirman que la alta presión induce un proceso de gelatinización que se

traduce en una mayor elasticidad aumentando la retención de gas y mejorando la textura y el volumen.

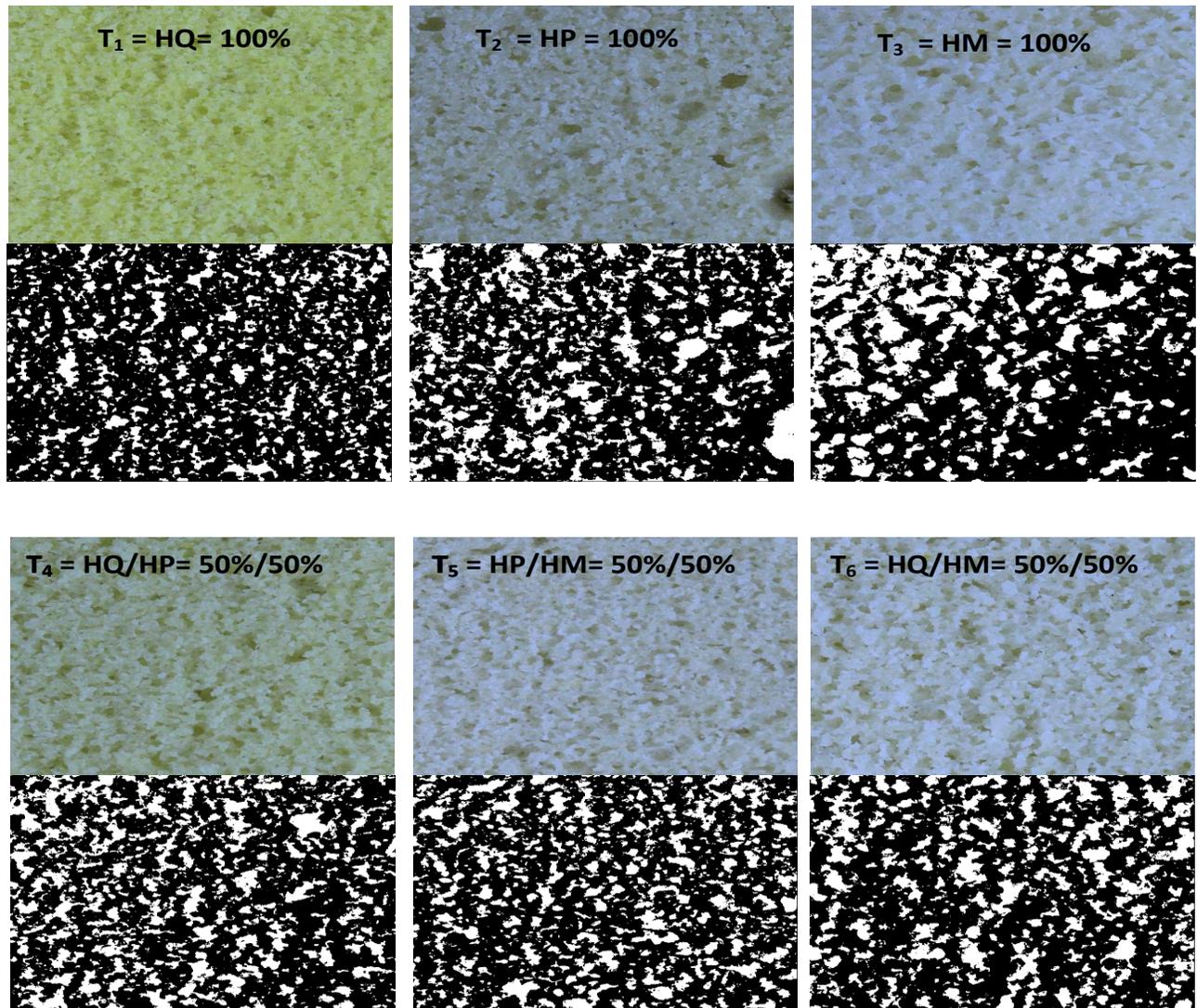


Figura 22. Imágenes obtenidas correspondientes al centro de las tajadas de cake de los tratamientos T₁ (100% quinua), T₂ (100% papa), T₃ (100% maíz), T₄ (50% quinua- 50% papa), T₅ (50% quinua- 50% maíz), T₆ (50% papa- 50% maíz).

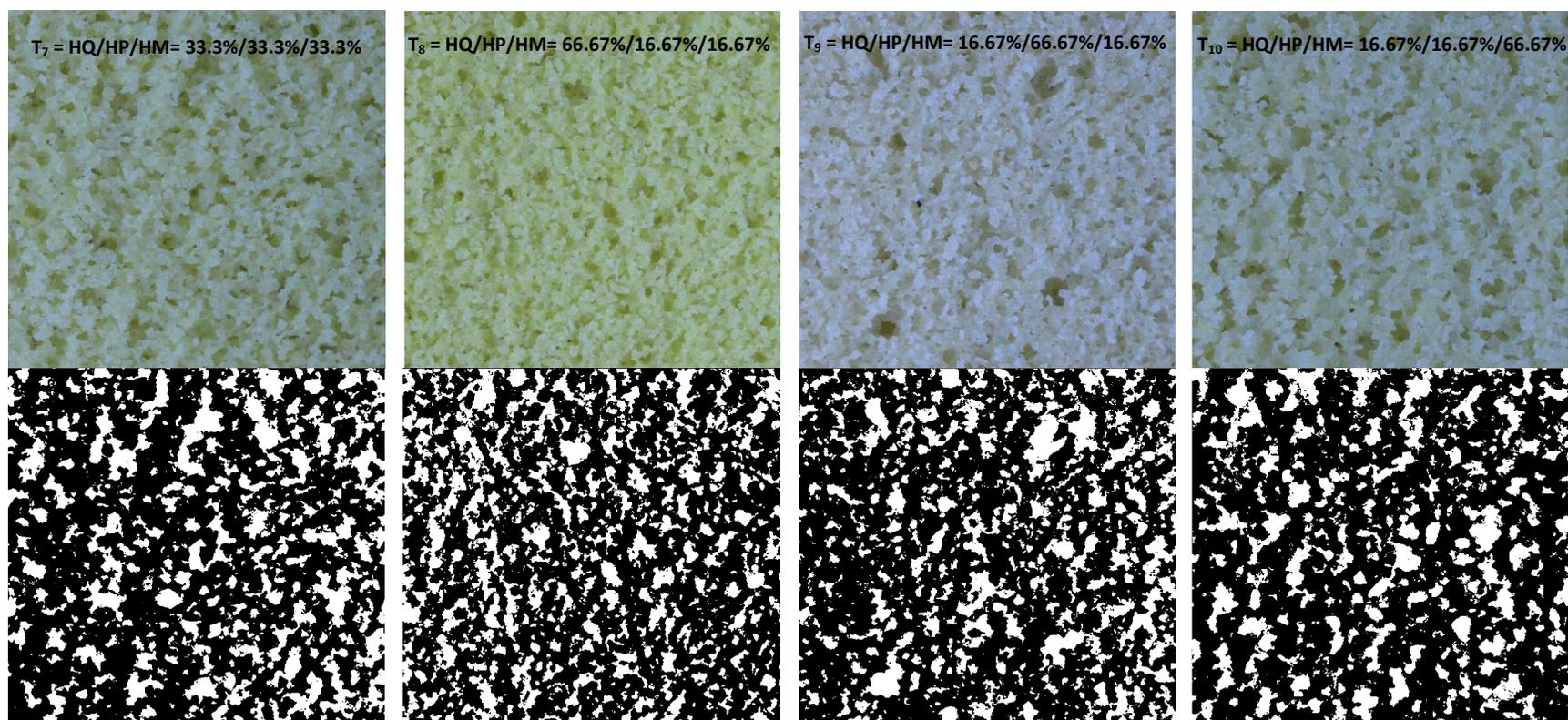


Figura 23. Continuación de Imágenes obtenidas correspondientes al centro de las tajadas de cake de los tratamientos 7-10 del diseño de mezclas T₇ (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T₈ (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T₉ (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T₁₀ (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).

También estudios de Bean & Yamazaki (1978) informaron de que el volumen del cake era dependiente de la estructura interna del batido y Otros autores citados por Bean & Yamazaki observaron que una distribución más uniforme de las burbujas de aire es más adecuado para el volumen. Esto confirma que uno de los factores que afecta directamente a la porosidad es el batido, Stauffer (1990) afirma que el aumento de tamaños de las burbujas y su distribución favorecen a los fenómenos de coalescencia y pérdida de aire, debido al movimiento de las burbujas en la superficie de la masa. Este fenómeno puede que sucediera al tratamiento 2 (T₂) que presenta un colapso. En la porosidad la expansión de las celdas de aire juegan un papel importante, esta variable va de la mano con el volumen debido a que si la estructura del cake resulta altamente aireada tiene un mayor volumen y por consiguiente una mejor expansión de burbujas de aire en el horneado, de igual forma el azúcar desempeña un papel importante en el retraso de la gelatinización del almidón durante el horneado del cake de modo que las burbujas de aire son adecuadamente expandidas antes de que el cake libere el dióxido de carbono y vapor de agua.

IV.3.3. Influencia de la adición de los componentes en el color

En cuanto a las mediciones de color se realizó de acuerdo al procedimiento presentado en el Anexo 23, además en la **Tabla 18**, se observa los resultados del color externo cuantificando el efecto de la incorporación de los diferentes componentes (quinua, papa y maíz) en la variación del color del cake LG en valores L*, a* y b*. Los tratamientos 7 (T₇) (33.33% quinua, 33.33% papa y 33.33% maíz), 9 (T₉) (16.67% quinua, 66.67% papa y 16.67% maíz) y 10 (T₁₀) (16.67% quinua, 16.67% papa y 66.67% maíz) estuvieron en rangos superiores de L* = 91.22 – 91.48 valores que indican que el color de la miga son claras. Los valores del parámetro a* (rojo) para la miga externa estuvieron en un rango de -7.42 a -11.63 y los valores del parámetro b* (amarillo), mostraron un rango de 36.17 - 52.51 por lo que se asume que la incorporación afecta a los pigmentos amarillos

presentes en la harina de quinua. La medición de color para los tratamientos con incorporación de harina de quinua (T₁) son más afectados con valores de a* de -10.33 y b* de 56.97, seguidas del tratamiento 8 (66.67% quinua-16.67 papa y 16.67 maíz) con valores de a*: -7.03 y b*: 52.51 luego del tratamiento 5 (50% quinua – 50% maíz) valores de a*:7.14 y b*: 51.64, finalmente del tratamiento 4 (50% quinua – 50% papa) valores de a*: -6.26 y b*: 47.43. Esto quiere decir que las coordenadas representan una coloraciones de miga ligeramente cremas amarillas, también se demuestra que a medida que se incorpora cantidades superiores al 50% del componente quinua, afecta al color de la miga externa del cake. Con respecto a los demás tratamientos estos presentaron un color amarillo pero con tonos más claros y la ves opacos correspondiente a los componentes maíz y papa. El color varia significativamente cuando se realiza la incorporación con harina de papa (T₂) presenta coordenadas L*: 85.63, a*: -5.29 y b*: 39.12, coordenadas que representan un color blanco opaco y, cuando se incorpora con harina de maíz (T₃) las coordenadas son de L*: 90.34, a*: -7.18 y b*: 37.01, que representan un color blanco más claro.

Tabla 18

Resultados obtenidos del color interno, miga interna y miga externa.

Prueba N°	Color externo (Miga exterior) ¹		
	L*	a*	b*
T ₁	86.74	-10.02	56.97
T ₂	85.63	-6.10	39.12
T ₃	90.34	-7.18	37.01
T ₄	87.50	-6.26	47.43
T ₅	86.43	-7.14	51.64
T ₆	90.48	-8.69	42.86
T ₇	91.48	-7.50	46.21
T ₈	86.46	-7.03	52.51
T ₉	91.30	-11.63	42.87
T ₁₀	91.22	-7.42	36.17

Nota. ¹Valores reportados por triplicado

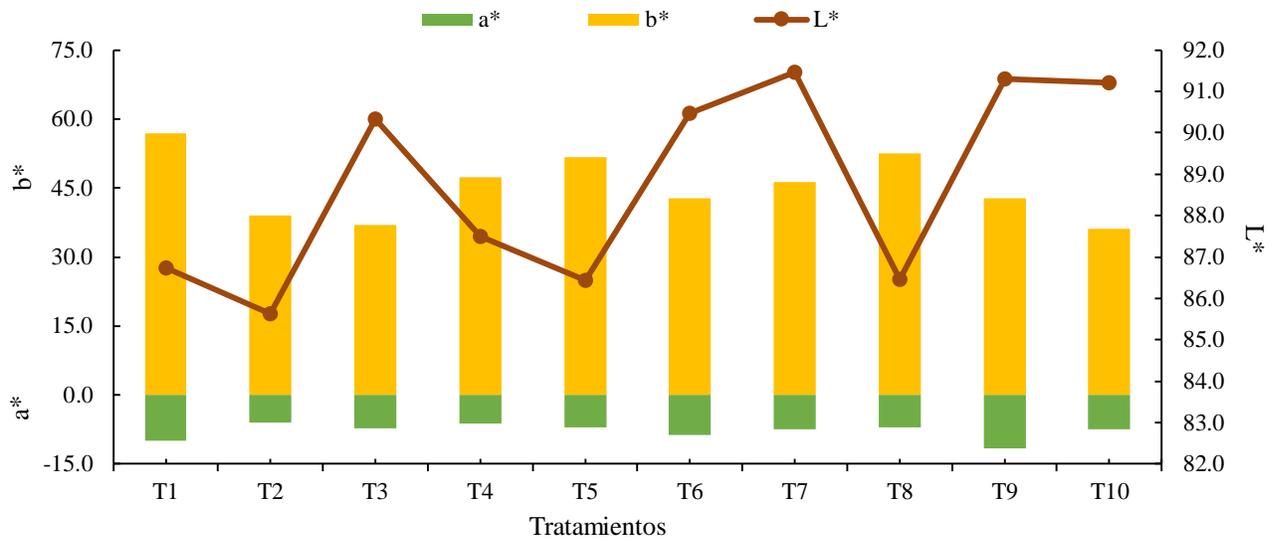


Figura 24. Representación gráfica del color para la miga externa del color L*, a* y b* para el diseño de mezclas

IV.3.3.1. Análisis estadístico de la influencia del análisis del color del cake

Se utilizaron los datos experimentales presentados en el **Anexo 11** se consideró las variables de color L*, a*, b*, que se ajustaron a varios modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico mediante una regresión múltiple, procedimiento utilizado por Gutiérrez-Alcántara (2008), luego se reportará el análisis de varianza (ANVA). Los modelos sugeridos por el software Design-Expert 7.0 fueron cúbico especial, cuadrático y lineal respectivamente. En la **Tabla 19** los resultados del ANVA se presentan, con un valor significativo de significancia de $p < 0.05$, se puede afirmar que los modelos son significativos para las variables L* y b*, a diferencia de la variable a* que es no significativa. Demostrando que al interaccionar los tres componentes A, B y C tiene mayor efecto en la variable color. La falta de ajuste (Lack of fit) es significativo ($p > 0.05$) indicando que los datos no se ajustan al modelo seleccionado.

Tabla 19

Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta color

	Fuente	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	Valor F	Prob>F	Significancia
¹ L*	Modelo	135.39	6	22.57	17.47	< 0.0001	significante
	Linear	55.86	2	27.93	21.62	< 0.0001	
	Mixture						
	AB	3.18	1	3.18	2.46	0.1302	
	AC	11.21	1	11.21	8.67	0.0073	
	BC	15.65	1	15.65	12.12	0.0020	
	ABC	20.69	1	20.69	16.02	0.0006	
	Residual	29.71	23	1.29			
	Lack of Fit	18.88	3	6.29	11.62	0.0001	
	Error puro	10.83	20	0.54			
	Total	165.10	29				
² a*	Modelo	29.49	5	5.90	1.71	0.1712	no significativa
	Linear	2.07	2	1.04	0.30	0.7434	
	Mixture						
	AB	2.89	1	2.89	0.84	0.3695	
	AC	4.85	1	4.85	1.40	0.2477	
	BC	19.51	1	19.51	5.65	0.0258	
	Residual	52.09	4	13.02	8.46	0.0004	
	Lack of Fit	30.80	20	1.54			
Error puro	112.39	29					
³ b*	Modelo	1111.34	2	555.67	41.35	< 0.0001	significante
	Linear	1111.34	2	555.67	41.35	< 0.0001	
	Mixture						
	Residual	362.87	27	13.44			
	Lack of Fit	195.30	7	27.90	3.33	0.0162	
	Error puro	167.57	20	8.38			
	Total	1474.21	29				

Nota. ¹Media = 88.76; Desviación estándar (SD)= 1.14; R²= 0.820; R²_{adj} = 0.773; ²Media = 7.90; Desviación estándar (SD)= 1.86; R²= 0.262; R²_{adj} = 0.108; ³Media =45.28; Desviación estándar (SD)= 3.67; R²= 0.753; R²_{adj} = 0.735.

Con los coeficientes de determinación (R²), para el color L* 82.0 %, a* 26.2 y b* 75.3 de la variación del color por la mezcla de los componentes (quinua-papa-maíz). Además, el coeficiente de Determinación Ajustado (R²_{adj}), cuyos valores fueron L* 77.3 %, a* 10.8 y b* 73.5 permitió establecer que los modelos seleccionados para cada variable (L*, a* y b*) se ajustan

adecuadamente a los datos experimentales. En análisis de los coeficientes de regresión generados por los modelos para el color se muestran en las ecuaciones 19, 20 y 21

$$L^* = 86.15 Hq + 86.09 Hp + 90.45 Hm + 5.01 Hq, Hp - 9.40 Hq, Hm + 11.12 Hp, Hm + 84.26 Hq, Hp, Hm \quad (16)$$

$$a^* = -9.53 Hq - 7.08 Hp - 6.83 Hm + 4.36 Hq, Hp + 5.65 Hq, Hm - 11.34 Hp, Hm \quad (17)$$

$$b^* = 58.04 Hq + 40.01 Hp + 37.78 Hm \quad (18)$$

Analizando los coeficientes, observamos el efecto de los componentes sobre la variable color de la miga del cake LG, muestra que el efecto de los componentes puros afectan independiente al color L^* , mientras que las mezclas binarias quinua-maíz tiene un efecto negativo a la variable L^* , Además para el color a^* solo se ve mayores efectos negativos para los componentes puros y para la interacción papa-maíz. Adicionalmente el color b^* presente efectos positivos para los tres componentes.

En la **Figura 25, 26 y 27** se muestra la superficie de respuesta correspondiente a las ecuaciones anteriores para L^* , a^* y b^* , las variables se ven influenciada por la incorporación de quinua-papa y maíz.

Design-Expert® Software

Color
92.242
84.867

X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz

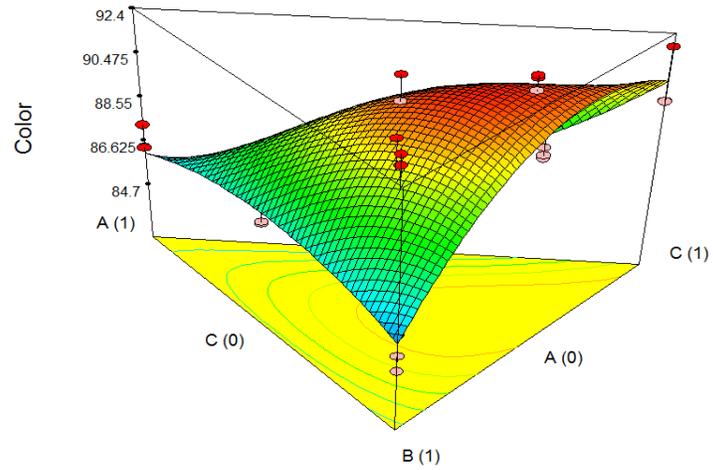


Figura 25. Superficie de respuesta para el color L* de los componentes de la mezcla

Design-Expert® Software

color a*
-4.586
-12.741

X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz

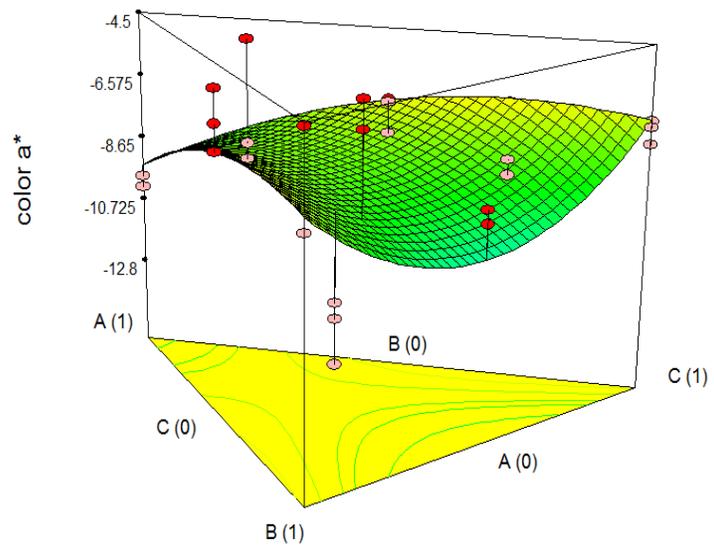


Figura 26. Superficie de respuesta para el color a* de los componentes de la mezcla

color b*


X1 = A: Harina de quinua
 X2 = B: Harina de papa
 X3 = C: Harina de maiz

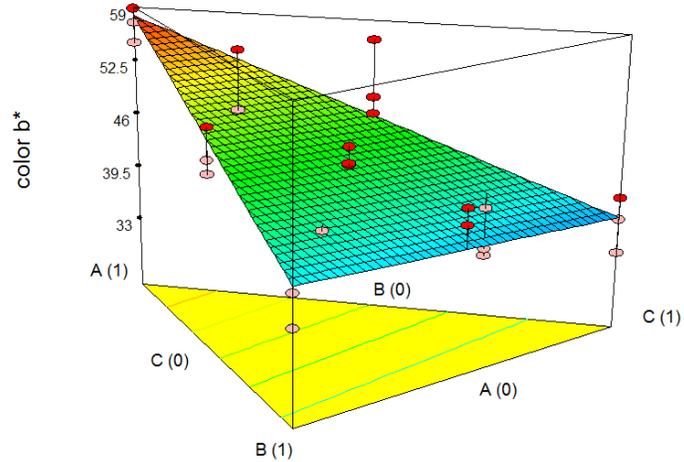


Figura 27. Superficie de respuesta del color b* de los componentes de la mezcla

En la **Figura 28 y 29**, se puede apreciar las variaciones de los parámetros de color del cake LG, donde los pigmentos de las harinas afectan significativamente a la miga del cake LG.

Estudios de Gularte, Gómez, & Rosell (2012) mencionan que el efecto de las leguminosas en las propiedades del color del cake sin gluten juegan un papel sobre el color de la corteza y la miga, afectando cuando se incorpora en diferentes concentraciones, esto también se presenta dependiendo de la naturaleza de la leguminosas, reportan que sus valores de L^* fueron significativos ($p < 0.05$), la incorporación de garbanzo, guisante y frijol aumentaron el color rojizo (a^*) de la miga, así como los valores b^* . Complementan que el estudio del color se relaciona directamente con la incorporación de las harinas de leguminosas. Además estudios realizados por Iglesias-Puig, Monedero, & Haros (2015) en pan con harina de quinua, los valores de color tanto de la miga y la corteza se vieron afectados, se mostraron diferencias significativas en cuanto a luminosidad, cromáticas cuando la concentración de quinua se elevó, adicionalmente en su estudio se menciona que el color típico de la harina en comparación la harina de trigo afecto a los

parámetros de color del pan, particularmente a la miga, que presento una fuerte coloración de color amarillo. La quinua contiene pigmentos como los carotenoides, clorofila y lignina contenidas en las semillas estos afectan directamente al color (Ruffino, Rosa, Hital, Gonzales y Prado, 2010).

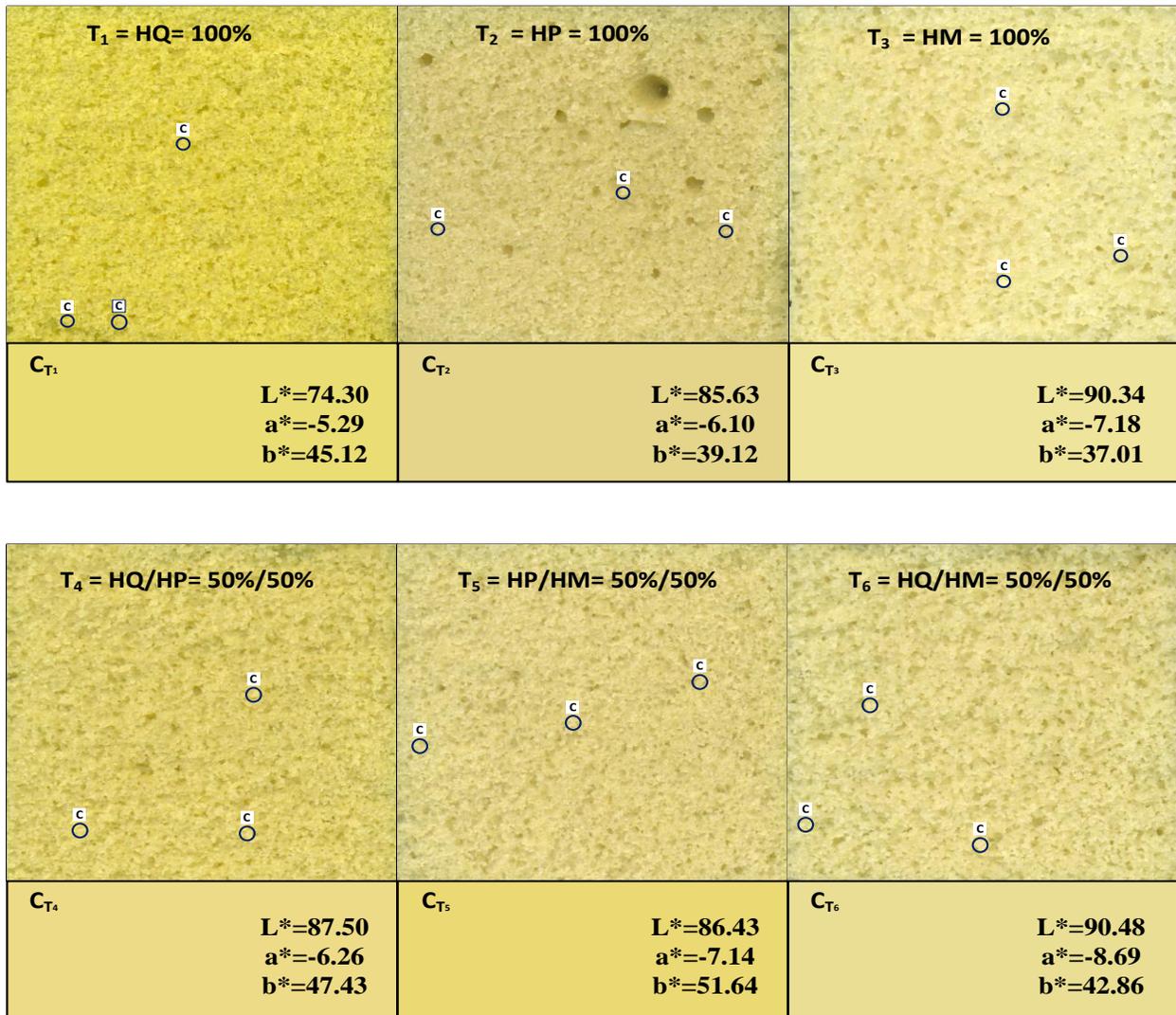


Figura 28. Representación gráfica de los tratamientos con identificación de la miga externa con valores en el espacio CIE L*a*b*. Para los tratamientos T₁ (100% quinua), T₂ (100% papa), T₃ (100% maíz), T₄ (50% quinua- 50% papa), T₅ (50% quinua- 50% maíz), T₆ (50% papa- 50% maíz).

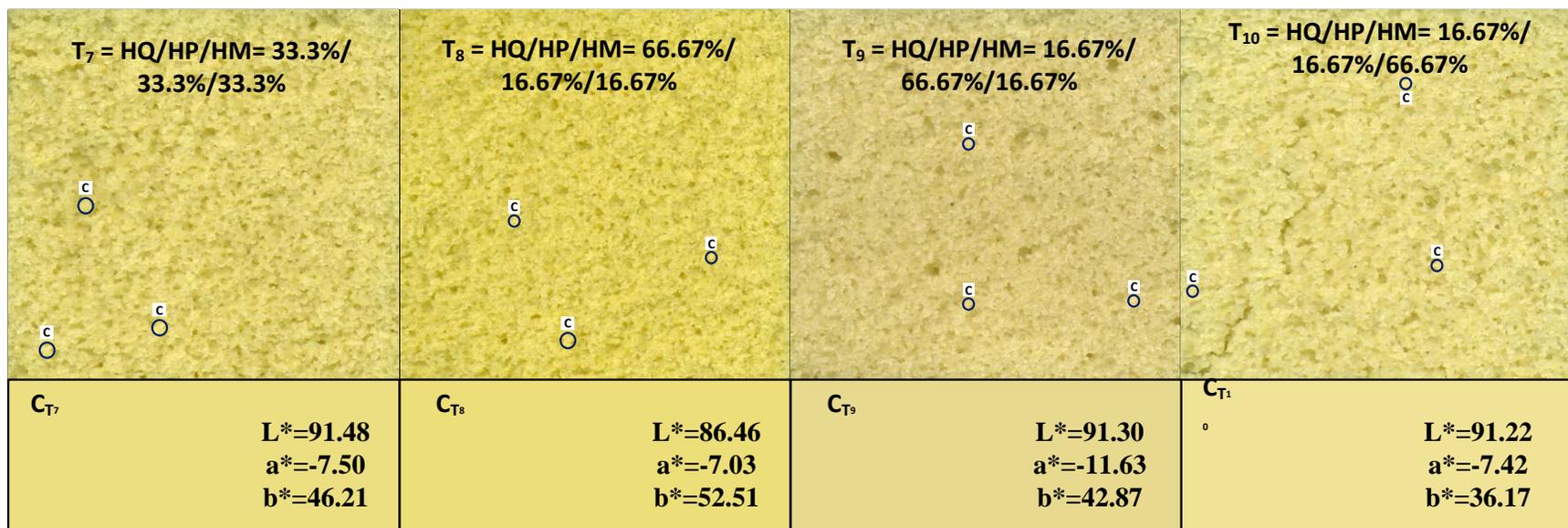


Figura 29. Continuación de la Representación gráfica de los tratamientos con identificación de la miga externa con valores en el espacio CIE $L^*a^*b^*$. Para los tratamientos T_7 (33.33% quinua- 33.33% papa- 33.33% maíz), T_8 (66.67% quinua- 16.67% papa- 16.67% maíz), T_9 (16.66% quinua- 66.67% papa- 16.67% maíz), T_{10} (16.66% quinua- 16.67% papa- 66.67% maíz).

Un estudio exhaustivo sobre las propiedades físicas de dos magdalenas de harina sin gluten fortificado, utilizando harinas de quinua, harina de arroz, presentaron escalas de color en valores de Hunter L, a y b. haciendo una percepción visual de las harinas mostraron que la harina de arroz es de color blando y harina de quinua tiene un color amarillo dorado intrínseco, entre sus resultado presenta la incorporación de la mezcla de quinua al 100% presento valores de $L^* = 56.59$, $a = 5.23$ y $b = 33.05$ con una tonalidad de la miga un color amarillo intrínseco (Bhaduri, 2013).

IV.3.4. Influencia de la adición de los componentes en la Actividad de agua y humedad del cake libre de gluten

IV.3.4.1. Actividad de agua en el cake LG.

Una vez obtenidos los cakes LG se midió la actividad de agua para cada cake, en la **Tabla 20**, se puede observar que existe diferencia significativa ($p < 0.05$) presentada en el Anexo 18 las mezclas, la Aw presente en la miga del cake LG se encuentra dentro de rangos de 0.883 para el tratamiento 9 (T₉) y el mayor para el tratamiento 1 (T₁) de 0.903.

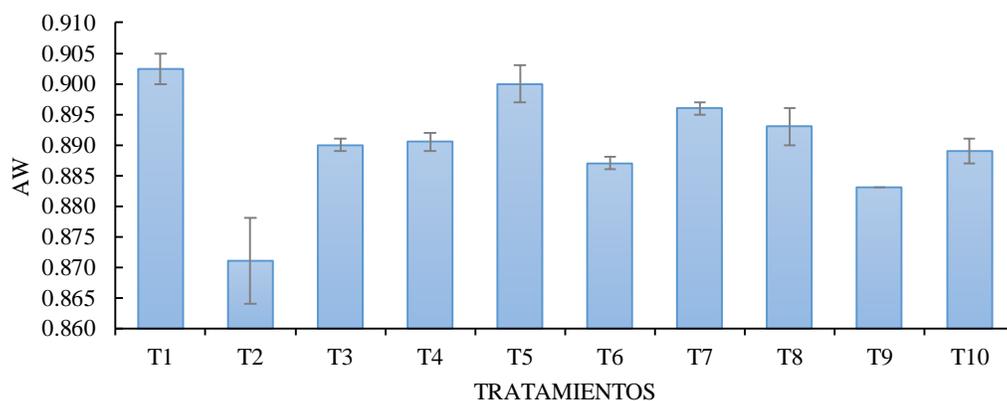


Figura 30. Valores promedios de la Aw de los tratamientos del diseño de mezclas

Tabla 20**Resultados de la Actividad de agua de la miga de los cakes LG**

Prueba N°	X ₁ ξ ₁ (%)	X ₂ ξ ₂ (%)	X ₃ ξ ₃ (%)	Aw (24 °C)	
T ₁	100	0	0	0.903	±0.0025
T ₂	0	100	0	0.871	±0.0070
T ₃	0	0	100	0.890	±0.0010
T ₄	50	50	0	0.891	±0.0015
T ₅	50	0	50	0.900	±0.0030
T ₆	0	50	50	0.887	±0.0010
T ₇	33.33	33.33	33.33	0.896	±0.0010
T ₈	66.66	16.67	16.67	0.893	±0.0030
T ₉	16.67	66.66	16.67	0.883	±0.0000
T ₁₀	16.67	16.67	66.66	0.889	±0.0020

Nota. * Resultados promedio por duplicado

IV.3.4.1.1. Análisis estadístico de la Actividad de agua

Los datos experimentales de la Aw se ajustaron a los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico. mediante una regresión múltiple procedimiento utilizado por (Gutiérrez-Alcántara, 2008), luego se reportara el análisis de varianza (ANVA). El modelo sugerido por el software Design-Expert 7 es el modelo lineal y en la **Tabla 15** estos resultados se presentan, con una significancia ($p < 0.05$) se puede afirmar que en el modelo seleccionado existen diferencias entre los componentes para la variable Aw. El coeficiente de determinación (R^2), indica que el 81.7 % de la variación en la Aw fue explicada por el modelo lineal. Además, el coeficiente de determinación Ajustado (R^2_{adj}), cuyo valor fue 79.5 %, permitió establecer que el modelo lineal se ajuste adecuadamente a los datos experimentales. La falta de ajuste (Lack of fit) no es significativo ($p > 0.05$) indicando que los datos se ajustan al modelo lineal.

Tabla 21

Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta Aw

Fuente	Sume de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	Valor F	Prob>F	Significancia
Modelo	1.338E-003	2	6.691E-004	37.81	< 0.0001	significante
Linear Mixture	1.338E-003	2	6.691E-004	37.81	< 0.0001	
Residual	3.008E-004	17	1.770E-005			
Lack of Fit	1.538E-004	7	2.198E-005	1.49	0.2721	no significante
Error puro	1.470E-004	10	1.470E-005			
Total	1.639E-003	19				

Nota. Media =0.89; Desviación estándar (SD)= 0.00421; R²= 0.8165; R²_{adj}= 0.7949

Los coeficientes del modelo especial cúbico se muestran en la ecuación 22.

$$Aw = 0.90 Hq + 0.87 Hp + 0.89 Hm \tag{19}$$

Analizando los coeficientes para las variables Aw, existe un efecto positivo respecto a la correlación lineal de los componentes puros quinua-papa y maíz. En la **Figura 31** se muestra gráficamente el efecto de los componentes quinua (X₁), papa (X₂) y maíz (X₃) respecto a la Aw como una superficie de respuesta.

Design-Expert® Software



X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz

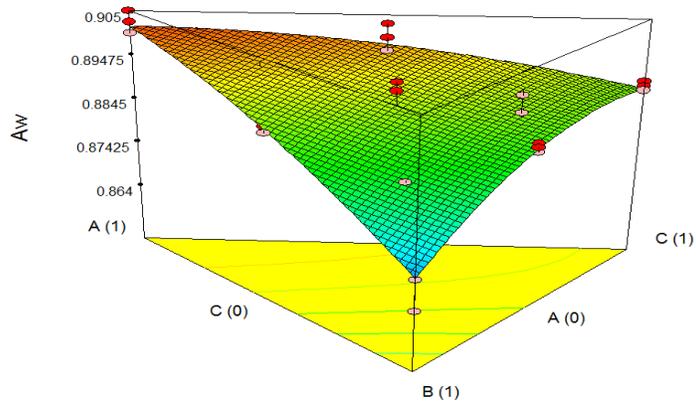


Figura 31. Superficie de respuesta de la Aw del cake considerando datos experimentales

El estudio de la Aw en el cake es explicada por Gutiérrez-Alcántara (2009) quien evaluó fisicoquímicamente el muffin en horno convencional y horno microondas reportando rangos de Aw de 0.929 y 0.870 respectivamente, además su estudio concluyó que el producto horneado por microondas tiene una alta Aw. Otro estudio relacionado es el de Larrosa (2014) quien menciona que el control de inocuidad se basa en la actividad de agua del producto reportó que algunos mohos hidrofílicos pueden sobrevivir a una actividad de agua (Aw) de 0.65 para productos horneado. McWilliams (1993) menciona que en productos horneados la disminución de la Aw son atributos de sequedad y desmoronamiento; en cakes con mayor Aw se aprecia el remplazado de la grasa que reduce la vida útil. En otro marco los cakes con más materia grasa promoverán una miga más húmeda y menos quebradiza, incluso 72h después del almacenamiento. Esta teoría es válida por estudios realizado por Archilla (1999) quien evaluó el efecto del remplazo de la grasa por maltodextrina en el cake, menciona que el contenido de la Aw presentó una reducción mínima para el cake control por 72 horas de almacenaje. Finalmente Bhaduri (2013) presenta contenidos de Aw de 0.816 para magdalenas con incorporación de quinua (100 %), los cuales están por debajo de los reportado en la investigación.

IV.3.4.2. Humedad del cake final

En la siguiente **Tabla 22** se muestra los valores de humedad de los tratamientos, donde se observan los valores de humedad que oscilan entre 27.399 para el tratamiento 2 (T₂) como mínimo y 29.73 para el tratamiento 7 (T₇) como máximo.

Tabla 22

Valores de humedad de los tratamientos

Prueba N°	X ₁ ξ ₁ (%)	X ₂ ξ ₂ (%)	X ₃ ξ ₃ (%)	% Humedad (%)*
T ₁	100	0	0	29.076 ±1.244
T ₂	0	100	0	27.399 ±1.374
T ₃	0	0	100	28.452 ±1.661
T ₄	50	50	0	27.415 ±0.232
T ₅	50	0	50	29.698 ±0.397
T ₆	0	50	50	28.508 ±0.323
T ₇	33.33	33.33	33.33	29.734 ±0.702
T ₈	66.66	16.67	16.67	29.577 ±1.416
T ₉	16.67	66.66	16.67	28.805 ±0.714
T ₁₀	16.67	16.67	66.66	28.443 ±0.841

Nota. *Resultados promedio por triplicado

De acuerdo a la tabla presentada existe un efecto de la humedad directamente proporcional respecto a la incorporación de quinua, esto se debe a que la harina de quinua tiene una mayor capacidad de absorción de agua.

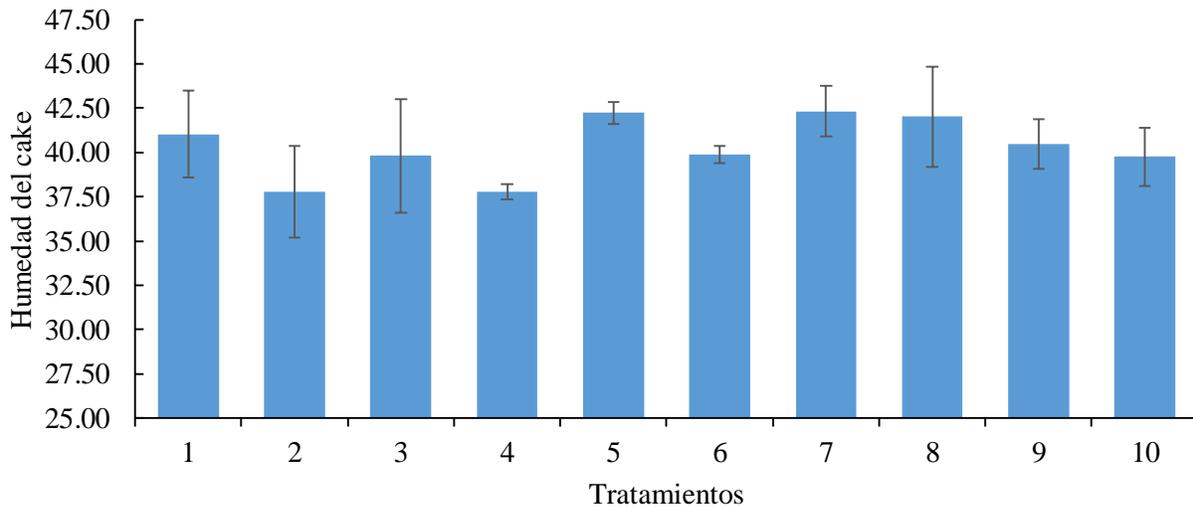


Figura 32. Valores promedios de la humedad con su desviación para los tratamientos del diseño de mezclas.

IV.3.4.2.1. Análisis estadístico de la humedad

Se utilizaron los datos experimentales presentados en el Anexo 19 y se consideró valores de la humedad en el cake luego se ajustó a los modelos lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico. mediante una regresión múltiple procedimiento utilizado por Gutiérrez-Alcántara (2008), luego se reportó el análisis de varianza (ANVA). Los modelos sugeridos por el software Design-Expert 7.0 fue el modelo especial cúbico. En la **Tabla 23** los resultados del ANVA de dicho modelo se presentan, con un coeficiente de determinación (R^2), indica que el 45.59 %. Además, el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), cuyo valor fue 31.4 %, existe un mayor efecto al mezclar los componentes A, B y C. tiene mayor efecto en la variable humedad. Presenta la falta de ajuste no significativo indicando que el modelo cúbico se ajusta bien para la variable humedad. La falta de ajuste (Lack of Fit) no es significativo ($p > 0.05$) indicando que los datos se ajustan al modelo cúbico.

Tabla 23

Análisis de varianza del modelo para la variable respuesta humedad

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F	Prob >F	Significancia
Modelo	16.20	6	2.70	3.21	0.0193	significante
Linear Mixture	7.69	2	3.85	4.58	0.0212	
AB	1.02	1	1.02	1.22	0.2810	
AC	1.44	1	1.44	1.72	0.2027	
BC	0.54	1	0.54	0.65	0.4290	
ABC	2.23	1	2.23	2.65	0.1170	
Lack of Fit	3.28	3	1.09	1.36	0.2822	no significativa
Error puro	16.04	20	0.80			
Total	35.52	29				

Nota. Media = 28.710; Desviación estándar (SD)= 0.92; R2= 0.4559; R2adj = 0.314

El efecto de los componentes sobre la variable humedad del cake se muestran en la **Figura 33** la superficie de respuesta para la variable volumen en función de las variables harina de quinua (X_1), harina de papa (X_2) y harina de maíz (X_3).

Los coeficientes del modelo especial cúbico se muestran en la ecuación 23.

$$\begin{aligned} \text{Humedad} = & 29.16 Hq + 27.54 Hp + 28.19 Hm - 2.84 Hq, Hp + 3.38 Hq, Hm + \\ & 2.07 Hp, Hm + 27.66 Hq, Hp, Hm \end{aligned} \quad (20)$$

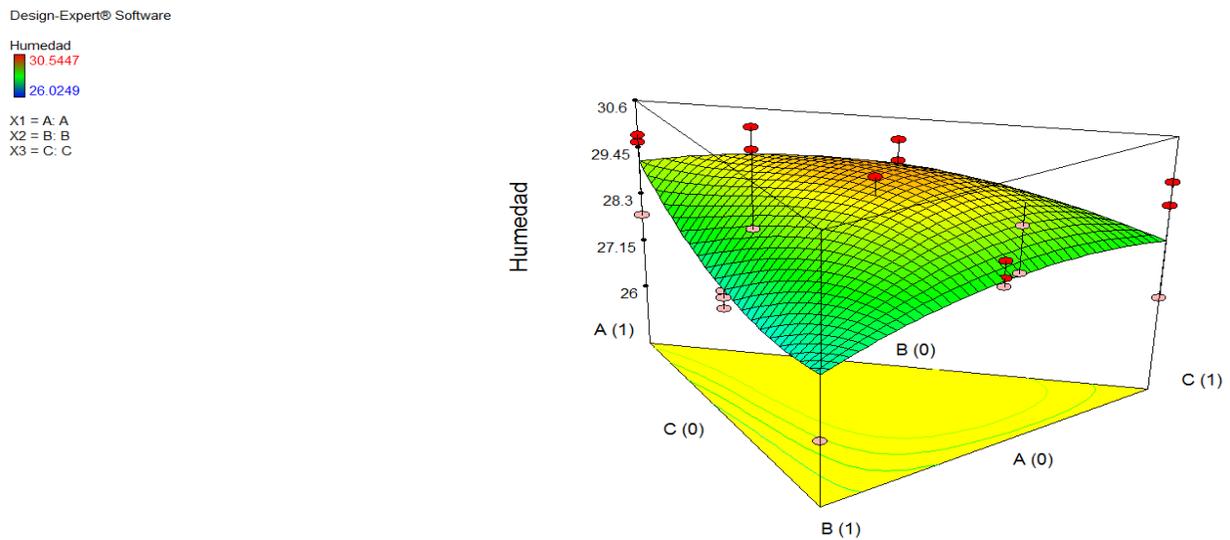


Figura 33. Superficie de respuesta para la humedad del cake considerando valores codificados

De acuerdo a los resultados encontrados uno de los principales factores que inciden en el envejecimiento del cake es la redistribución del agua durante el almacenamiento; esto sucede por un aumento del contenido de humedad en la corteza, producida por la migración del agua desde la miga a la superficie o debido a la humedad de la atmósfera absorbida sobre la corteza (Primo & Col, 2006). Bhaduri (2013) reportó contenido de humedad de 26.61 % en magdalenas sin gluten con incorporación de harina de quinua (100%), también estudios de Gutiérrez-Alcántara (2009)

menciona que el contenido de humedad para un pan tipo muffin horneado en un horno casero y horno microondas son de 36.2 g/100 g y 21.3 g/100 g respectivamente. Concluyen que el producto horneado por microondas tuvo menor humedad frente al almacenaje, no presentó pérdida significativa de la humedad durante los quince días de almacenamiento a diferencia del pan convencional que se deshidrató en forma considerable. Estudios de Gularte et al. (2012) menciona sobre el impacto de la harina de leguminosas, digestibilidad del almidón y proteínas en el cake libre de gluten, reportó que con uso de leguminosas no existe diferencia significativa en el contenido de humedad en el cake con valores entre 24.5 – 26.2 g/100g.

Adicionalmente sobre el estudio de la humedad en cakes, es la pérdida de humedad en el proceso, dicho datos experimentales se encuentran en Anexo 20.

IV.4. Optimización de los parámetros de la mezcla en la elaboración de cake lg.

IV.4.1. Análisis del tratamiento patrón

Las condiciones óptimas para la mezcla de componentes (quinua-papa-maíz) asistida por la metodología del diseño de mezclas, fue comparando con un tratamiento patrón (100% trigo), según la metodología reportado por Zhou (2010) donde se analizó el volumen, porosidad y color, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 24** estos valores fueron utilizados para establecer y restringir los límites (Criterio) para cada variable respuesta y determinar la zona de condición factible ó mezcla óptima.

Tabla 24*Valores obtenidos para volumen, porosidad y color, del tratamiento patrón*

Volumen	Porosidad	Color		
Volumen alcanzado (mm)	Cantidad (mm²)	L*	a*	b*
97	347	93.4;	-5.3;	43.6

Nota. Valores promedio de tres repeticiones.

En la **Tabla 25**, se presenta los resultados de la metodología de optimización por el software Desing Exper 7.0 que sugiere la introducción de los valores de los límites inferior y superior. Según el modelo de optimización se obtiene una deseabilidad de 0.688. en la **Figura 34**, se observa este factor para la zona factible de optimización en el triángulo de mezclas, trabajos realizado en optimización utilizando el diseño de mezclas son de gran confiabilidad si se presenta una deseabilidad superiores a 0.50 (Efraín, Mango, Emma, & Urquizo, 2015).

Tabla 25*Límites establecidos por el software con restricción del tratamiento patrón*

Variabes	Criterio	Límite inferior	Límite superior
Harina de quinua	En rango	0	1
Harina de papa	En rango	0	1
Harina de maíz	En rango	0	1
Color L*	Maximizar	84.867	93.4
Color a*	Objetivo = -5.3	-12.741	-4.586
Color b*	Objetivo = 43.6	33.46	58.866
Porosidad	Objetivo = 347	252	436
Volumen	Objetivo = 97	59.5	103

Design-Expert® Software
 Desirability
 ● Design Points
 1
 0
 X1 = A: Harina de quinua
 X2 = B: Harina de papa
 X3 = C: Harina de maíz

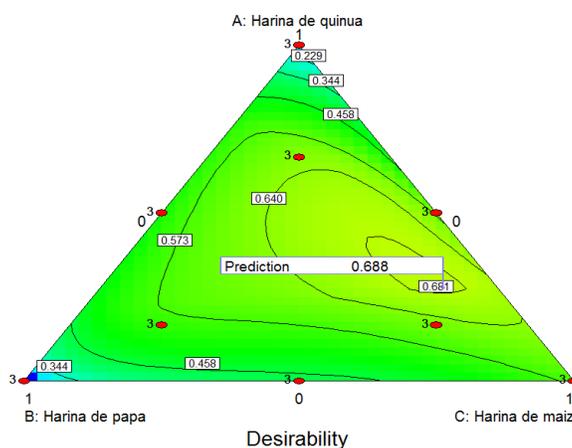


Figura 34. Ubicación de la mezcla óptima con el área de predicción

En la **Tabla 26**, se presenta las respuestas estimadas del diseño de mezclas en función al factor de deseabilidad que son obtenido bajo las condiciones sugeridas por el diseño, se puede apreciar que el mayor componente de la mezcla es la harina de quinua y harina de maíz y, en menor proporción la harina de papa. Por otro lado se presentan las variables respuestas estimas con volumen de 84.987 mm³, cantidad de poros de 310.58 y, el color en un rango de L*=89.946, a*=-7.447 y a*=45.252.

Tabla 26

Respuesta estimada del diseño para la optimización de la mezcla de componentes

Deseabilidad		Variables	Respuestas estimadas	Respuesta Observada ¹
0.688		Volumen (mm)	84.987	76.5 ± 0.6
Mezcla de componentes (%)		Porosidad	310.588	367 ± 36
Harina de quinua	0.352	Color L*	89.946	87.91 ± 2.52
Harina de papa	0.150	Color a*	-7.447	-7.53 ± 0.78
Harina de maíz	0.498	Color b*	45.353	44.47 ± 2.14

Nota: ¹ Valores establecidos a partir de la mezcla de componentes

En el Anexo 25, se muestra el proteo a partir de los límites establecidos para cada variable: volumen (77.5 - 90 mm), porosidad (310-380), color L* (87.5-90), a* (-8 a -5), b* (42 - 44) datos que se encuentran en la zona intermedia (zona verde) del triángulo de mezclas.

Tabla 27

Restricciones para la optimización de la mezcla de componentes (quinua, papa y maíz)

Variables	Criterio	Límite inferior	Límite superior
Volumen	En rango	77.5	90
Porosidad	En rango	308	380
Color L*	En rango	88	90
Color a*	En rango	-7.5	-6
Color b*	En rango	43	45.5

La **Figura 35**, se puede observar la región óptima en función a las restricciones establecidas, también se presenta la mezcla óptima de las harinas: quinua (0.356), papa (0.146) y maíz (0.497) sumado a la unidad (1), permitió optimizar el volumen (89.87mm²), cantidad de poros (311.36), color L*(89.87), a*(-7.43), b*(45.33).

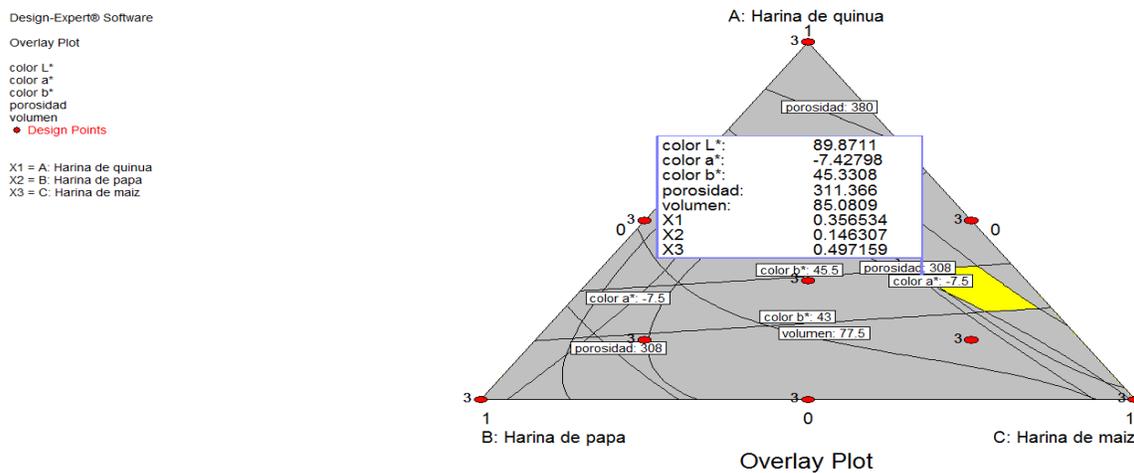


Figura 35. Región óptima para el volumen, porosidad, color L*, color a* y color b*).

Con ello se estimó las respuestas observadas utilizando los límites establecidos al criterio (resultados del patrón) como restricciones en el triángulo de mezclas (**Tabla 27**), de este resultado existe una ligera variación respecto al cake patrón, con valores de volumen de 76.5 mm³, cantidad de poros de 367 y, el color en un rango de L*=87.91, a*=-7.53 y a*=44.47.

Tabla 28

Comparación de pruebas del cake (100% trigo) con mezcla quinua-papa-maíz para cake LG.

Mezcla de componentes (%)		Variables	Respuesta del cake patrón	Respuesta Observada ¹
Harina de quinua	35.2	Volumen (mm)	97	76.5 ± 0.6
Harina de papa	15	Porosidad	347	367 ± 36
Harina de maíz	49.8	Color L*	93.4;	87.91 ± 2.52
		Color a*	-5.3;	-7.53 ± 0.78
		Color b*	43.6	44.47 ± 2.14

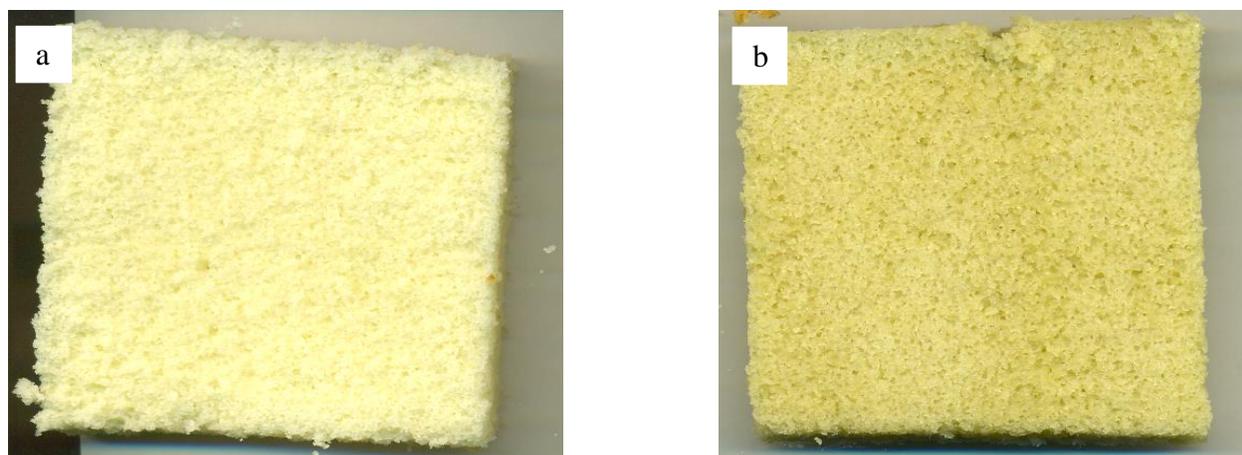


Figura 36. ^a Representación gráfica del cake patrón, ^b cake optimo con incorporación de la mezcla de quinua-papa-maíz.

V. Conclusiones

- ✓ Las características fisicoquímicas para la quinua (*Chenopodium quinoa*) var. Blanca de Junín fue de humedad de 14.49 %, ceniza 2.27 %, grasa 4.64 %, proteína 12 % con un color de $L^*=95.57$, $a^*=-5.275$ y $b^*=19.14$, porcentaje de extracción de 49 % y tamaño de partícula de 180 μm . Para harina de papa (*Solanum tuberosum*) var Canchan blanca con humedad de 11.48 %, ceniza 5.47 %, grasa 0.3%, proteína 6.5 % con un color de $L^*=91.31$, $a^*=-4.97$ y $b^*=26.63$, porcentaje de extracción de 69 % y tamaño de partícula 180 μm . Finalmente, para la harina de maíz (*Zea mays*) var Blanco amiláceo con humedad de 13.57 %, ceniza 2.27 %, grasa 5.01%, proteína 5.2 % con un color de $L^*=99.09$, $a^*=-3.82$ y $b^*=9.76$, porcentaje de extracción de 74 % y tamaño de partícula 180 μm .
- ✓ El resultado de la evaluación del efecto de las mezclas sobre las variables volumen, cantidad de poros, color L^* , color a^* y color b^* , fueron de: 89.87 mm^3 , 311.36, 89.87, -7.43 y 45.33 respectivamente. Lo que indica que las variables son influenciadas por cada componente de la mezcla, así mismo se observó que la combinación de los tres componentes tiene un efecto significativo ($p<0.05$).
- ✓ Con respecto a la optimización se utilizó la metodología de Diseño de mezclas determinándose diez tratamientos con combinaciones de quinua, papa y maíz, logrando alcanzar un factor de deseabilidad de 0.69 que permitió la optimización de los componentes. Dando como resultado la mezcla óptima de harinas de quinua (35.2 %), papa (15 %) y maíz (49.8).

VI. Recomendaciones

- ✓ Evaluar la influencia de la incorporación de almidones modificados y gomas en las propiedades física del cake libre de gluten.
- ✓ Evaluar el efecto de la A_w y el tiempo de vida útil del cake LG. de la mezcla óptima.
- ✓ Evaluar el efecto del batido y tiempo de horneado en el cake libre de gluten.

VII. Referencias

- AACC. (1999). Baking Quality of Cake Flour. *AACC International Approved Methods*, 4–7. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1094/AACCIIntMethod-10-90.01>
- Abràmoff, M. D., Magalhães, P. J., & Ram, S. J. (2004). Image processing with imageJ. *Biophotonics International*, 11(7), 36–41. <http://doi.org/10.1117/1.3589100>
- Agencia Agraria Trujillo. (2013). “*La Quinoa*.” Trujillo- Perú: Gerencia Regional de Agricultura.
- Alaedini, A. P., & Green, P. H. R. M. (2005). Review Narrative Review: Celiac Disease: Understanding a Complex. *Annals of Internal Medicine*, 142(4), 289–299. Retrieved from <http://annals.org/>
- Archilla, L. L. (1999). *Evaluation of a maltodextrin gel as a partial replacement for fat in a high-ratio white-layer cake formulation*.
- Arendt, E. K., & Bello, F. D. B. (2008). *GLUTEN-FREE CEREAL PRODUCTS AND BEVERAGES* (First). University of Nebraska - Lincoln, USA: Academic Press is an imprint of Elsevier. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=pg7IfHCSVRgC&oi=fnd&pg=PP2&dq=gluten-free+products&ots=Q01ZGoMkOf&sig=5wS9PFTigkc37SuzdSI_fliCG9w
- Arendt, E. K., O’Brien, C. M., Schober, T. J., Gallagher, E., & Gormley, R. T. (2002). Development of gluten-free cereal products. *Farm Food*, 12, 21–27.
- Atzingen, M. C. Von, & Pinto, M. E. M. (2005). Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 4(5), 319–323. Retrieved from www.altaga.org/cyta
- Barcenilla, B., Román, L., Martínez, C., Martínez, M. M., & Gómez, M. (2015). Effect of high pressure processing on batters and cakes properties. *Innovative Food Science & Emerging*

Technologies. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.011>

- Bean, M. ., & Yamazaki, W. . (1978). Wheat Starch Gelatinization in Sugar Solutions. I Sucrose : Microscopy and Viscosity Effects.
- Bennion, M. (1995). *Introductory Foods 10th Edition*. Retrieved August 28, 2015, from <http://www.amazon.com/Introductory-Foods-10th-Edition-Tenth/dp/B0041BRUJS>
- Bent, A., Bennion, E., & Bamford, G. (2013). The technology of cake making. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=tFvtBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR10&dq=The+technology+of+cake+making&ots=KeNtKQE4Il&sig=4s2NZRZfauq5ivWN0edfXyQAXbI>
- Berns, R. S. (2000). Billmeyer and Saltzman ' s Principles of Color Technology Simple - Subtractive Mixing. *Wiley- Interscience*, 26.
- Bhaduri, S. (2013). A Comprehensive Study on Physical Properties of Two Gluten-Free Flour Fortified Muffins. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(7), 251. <http://doi.org/10.4172/2157-7110.100025>
- Brooker, B. (1996). The role of fat in the stabilisation of gas cells in bread dough. *Journal of Cereal Science*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521096900521>
- Castro, C. J. K., Cerquera, P. N. E., & Gutiérrez, G. N. (2014). Determinación del color del exocarpio como indicador de desarrollo fisiológico y madurez en la guayaba pera (Psidium guajava cv . Guayaba pera), Utilizando tecnicas de procesamiento de imagenes. *Escuela de Ingenieria de Antioquia, Medellin*, 10(19), 79–89.
- Cauvain, S. P. (2003). Cakes: Nature of Cakes. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 751–756). London, UK: Elsevier Science.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2008). *Bakery Food Manufacture and Quality Water Control and Effects*. Bakery Food Manufacture and Quality.
- Cloke, J. D., Davis, E. A., & Gordon, J. (1984). Volume measurements calculated by several methods using cross-sectional tracings of cake. *Cereal Chemistry*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19850029175>
- Cobián-Vergara, S. A. (2015). *Quinua Peruana , “ Grano de Oro ” que va ganando el paladar del mundo*. (R. LIBRE, Ed.) (1st ed.). TRUJILLO-PERÚ. <http://doi.org/http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/PERFIL%20DE%20MERCADOS%20DE%20LA%20QUINUA%202014-2015.pdf>
- Codex Alimentarius. (1995). *NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS* (Stan192 ed.). Retrieved from

http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf

Commission internationale de L. E. international commission on illumination internationale. (2009). DIVISION 1 : VISION AND COLOUR MINUTES of the 2nd Meeting of the. *CIE*, 100.

De La Cruz Quispe, W. H. (2009). Complementación proteica de harina de trigo (*triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil, (January), 213.

Derby, R., Miller, B., Miller, B., & Trimbo, H. (1975). Visual observation of wheat-starch gelatinization in limited water systems. *Cereal Chemistry*, 52(5), 702–713. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19760064492>

DesRochers, J. L., Seitz, K. D., & Walker, C. E. (2003). Cakes: Chemistry of baking. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 760–765). London, UK: Elsevier Science.

Dhen, N., Román, L., Ben Rejeb, I., Martínez, M. M., Garogouri, M., & Gómez, M. (2016). Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 179–185. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.032>

Donovan, J. W. (1977). A study of the baking process by differential scanning calorimetry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 28(6), 571–578.

Easy, R. (2010). Calculadora del color en línea. Retrieved October 6, 2015, from <http://www.easyrgb.com/>

Efraín, J., Mango, M., Emma, F., & Urquiza, L. (2015). Optimización del overrun (aireado), de la dureza , la viscosidad y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas, 229–250.

Elgeti, D., Nordlohne, S. D., Föste, M., Besl, M., Linden, M. H., Heinz, V., ... Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 41–47. <http://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.10.010>

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (1993). El maíz en la nutrición humana. <http://doi.org/86 AGRIS S01>

Fennema, O. (1993). Química de los Alimentos. *Zaragoza, Spain: Editorial Acribia, SA*. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BINCAP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=002099>

Ferng, L.-H., Liou, C.-M., Yeh, R., & Chen, S. H. (2015). Physicochemical property and glycemic response of chiffon cakes with different rice flours. *Food Hydrocolloids*, 53, 172–179. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.020>

- Food and Drug Administration, (F.D.A). (2014). Si dice “sin gluten” significa ahora que no tiene gluten. Retrieved February 1, 2016, from <http://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm363531.htm>
- Francia, A. T. (1996). *Tabla de composición química de los alimentos, Acidos Grasos y Aminoácidos*. (Isabel, Ed.). Lima. Perú.
- Gallagher, E., Gormley, T. ., & Arendt, E. . (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(3-4), 143–152. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012>
- Gallegos-López, S. D. P. (2003). *Diseño y desarrollo de kekitos elaborados a partir de tortas de castañas (Bertholletia excelsa HBK)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesispe.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf n=006795>
- García, M. R., Prieto, I. G.-S., Barrientos, C. E., Rebatta, F. B., & Morón, G. L. (2009). *Tablas Peruanas De Composición De Alimentos*. (Instituto Nacional de Salud (Perú), Ed.) (8th ed.). Lima. <http://doi.org/http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>
- Ghotra, B., Dyal, S., & Narine, S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996902001631>
- Giese, J. (1996). Fats, oils, and fat replacers. *Food Technology*. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3046816>
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, *41*(9), 1701–1709. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Grobman, A. (2012). seminario “Se descubre que el Perú es cuna del maíz.” Lima, Peru: Willax Televisión. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=31VVTILPK0E>
- Gularte, M. A., Gómez, M., & Rosell, C. M. (2012). Impact of Legume Flours on Quality and In Vitro Digestibility of Starch and Protein from Gluten-Free Cakes. *Food Bioprocess Techno*, *3*, 3142–3150. <http://doi.org/10.1007/s11947-011-0642-3>
- Gutiérrez-Alcántara, P. O. (2008). “ *EVALUACIÓN DEL USO DE UNA MEZCLA DE “ EVALUACIÓN DEL USO DE UNA MEZCLA DE*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

- Gutiérrez-Alcántara, P. O. (2009). “ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE ALMIDÓN MODIFICADO EN UN PAN TIPO ‘MUFFIN’ HORNEADO EN MICROONDAS Y CONVENCIONALMENTE.” Instituto Politecnico Nacional-Mexico.
- Gutiérrez-Pulido, H., & de la Vara-Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (1ra ed.). Mexico: McGraw-Hill. <http://doi.org/1111130671>
- Hamer, R. J. (2005). Coeliac Disease: Background and biochemical aspects. *Biotechnology Advances*, 23(6), 401–408. <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.05.005>
- Hare, L. (1974). Mixture designs applied to food formulations. *Food Technology*, 28(3), 50–1162.
- Hera, E. de la, Martínez, M., Oliete, B., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food and Bioprocess* Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-012-0922-6>
- Iglesias-Puig, E., Monedero, V., & Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 71–77. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.045>
- Imagui. (2012). Imágenes del maíz con sus partes. Retrieved February 3, 2016, from <http://www.imagui.com/a/imagenes-del-maiz-con-sus-partes-TX8aob6dX>
- INEI, I. N. de E. e I. (2009). *Consumo de Alimentos y Bebidas. Distribución y Consumo*. Lima. Perú. Retrieved from http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf
- Isengard, H. D. (2001). Water - a very common and yet a particular substance. *Food Control*, 12, 393. <http://doi.org/0956-7135/01/>
- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandár, A. (2009). Quinoa - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71–79.
- Kagnoff, M. F. (2007). Celiac disease: Pathogenesis of a model immunogenetic disease. *Journal of Clinical Investigation*, 117(1), 41–49. <http://doi.org/10.1172/JCI30253>
- Kim, C., & Walker, C. (1992). Interactions between starches, sugars, and emulsifiers in high-ratio cake model systems. *Cereal Chemistry*, 62(2), 206–212. Retrieved from <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=5291725>
- Kiosseoglou, V. (2004). Interactions and competitive adsorption effects in egg-based products. *Worlds Poultry Science Journal*, 60, 311–320.
- Kivel, L., & Kaukinen, K. (2015). Presentation of Celiac Disease in Finnish Children Is No Longer Changing: A 50-Year Perspective, 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.07.057>

- Koziol, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of Food Composition Analysis*, 5, 35–68.
- Larrosa, V. J. (2014). *Efectos de los hidrocoloides en las características fisicoquímicas y reológicas de pastas libres de gluten aptas para individuos celíacos* ". UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.
- Laurin, P., Wolving, M., & Fälth-Magnusson, K. (2002). Even small amounts of gluten cause relapse in children with celiac disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 34(1), 26–30. <http://doi.org/10.1097/00005176-200201000-00007>
- Lorenz, K., & Coulter, L. (1991). Quinoa flour in baked products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 41(3), 213–223. <http://doi.org/10.1007/BF02196389>
- Ludvigsson, J. F., Rubio-tapia, A., Dyke, C. T. Van, Iii, L. J. M., Zinsmeister, A. R., Lahr, B. D., & Murray, J. A. (2013). Increasing Incidence of Celiac Disease in a North American Population, *108*(5), 818–824. <http://doi.org/10.1038/ajg.2013.60>
- Maide, O. R., & Lawrence, A. J. (1995). A micro Method for Cake Baking (High Ratio, White Layer). *Cereal Chemistry*, 72(2), 167.172.
- Majzoobi, M., & Hedayati, S. (2014). Effects of Corn Resistant Starch on the Physicochemical Properties of Cake. *Journal of ...*, 16, 569–576. Retrieved from http://jast.modares.ac.ir/article_10729_16.html
- Marcus, R. (1998). The measurement of color. *Color for Science, Art and Technology*. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=ptpXbW1NaeMC&oi=fnd&pg=PA31&dq=the+measurement+of+color&ots=TDtUiriGc5&sig=IO-JsXjn8f4yf47uC-1QZJJJTKY>
- Mathlouthi, M. (2001). Water content , water activity , water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409–417. [http://doi.org/0956-7135/01/\\$](http://doi.org/0956-7135/01/$)
- Mcgowan, K. E., Castiglione, D. A., & Butzner, J. D. (2009). The Changing Face of Childhood Celiac Disease in North America: Impact of Serological Testing. <http://doi.org/10.1542/peds.2008-2373>
- McWilliams, M. (1993). Physics and Food. In “Foods: Experimental Perspectives. *Prentice-Hall, Inc.*, 2, 120–127.
- Mendoza, O. P. T. (1994). Sustitución parcial del almidón por harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en la elaboración de hot dog. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=tesispe.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf n=006542>

- Mercado Surco. (2016). Mercado surco.com hacemos la diferencia. Retrieved February 2, 2016, from http://mercadosurco.com/abante/index.php?rt=product/search&keyword=papa&category_id=0
- MINAG. (2011). *Maíz amiláceo*. Lima. Perú. Retrieved from www.ming.gob.pe
- Minagri. (2012). *Maiz Amiláceo “Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva.”* (1ra, Ed.). Lima. Perú: Ministerio de Agricultura. Retrieved from www.minag.gob.pe
- Mizukoshi, M., Maeda, H., & Amano, H. (1980). Model studies of cake baking. II. Expansion and heat set of cake batter during baking. *Cereal Chemistry*, 57(5), 352–355. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8044687>
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño Y Análisis De Experimentos*. (E. S. . D. C. V. Limusa Wiley, Ed.) (Segunda). Universidad Estatal de Arizona. Retrieved from noriega.com.mx
- Mujica, A. (1992). Granos y leguminosas andinas. *Cultivos Marginados: Otra Perspectiva*, 1492, 129–146.
- Mujica, A., & Jacobsen, S. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 449–457. Retrieved from [http://www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 27.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf)
- Mujica, A., Ortiz, R., & Bonifacio, A. (2006). Agroindustria de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los Países Andinos. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidab.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017109>
- Niewinski, M. M., & MS, R. (2008). Advances in Celiac Disease and Gluten-Free Diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(4), 661–672. <http://doi.org/10.1016/j.jada.2008.01.011>
- Ortiz Zamora, F. G. (2002). Capítulo 4. Morfología Matemática en Color. In *Procesamiento Morfológico de Imágenes en color. Aplicación a la Reconstrucción Geodésica* (pp. 69 – 120).
- Padrón Pereira, A. C. (2009). Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestra de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L * a * b *. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 283–301.
- Penfield, M. P., & Campbell, A. M. (1990). Experimental food science. *Food Science and Technology (USA)*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US9168632>
- Pino, G. J. J. (2011). *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA HARINA DE MAÍZ CRIOLLO (Zea mays amylacea) Y SU APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE PAN.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN- Tarapoto, TARAPOTO - PERÚ.

- Pylar, E. J. (1988). *Baking: Science and technology (3rd ed.)*. (Merriam & KS, Eds.). USA: Sosland Publishing Company.
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación*. (Zaragoza, Ed.) (Ed. Acirbi, Vol. 2da).
- Rahman, S. M., & Labuza, P. T. (2003). Actividad del agua y conservación de los alimentos. In Rahman; Shafiur M. (Ed.), *Manual de conservación de los alimentos* (pp. 367–370). España: Editorial ACRIBIA S.A. Retrieved from www.editorilacribia.com
- Ramos-Benites, J. M., Mantilla-Zuazo, L. A., Ventura-Muro, J. A., & Cordova-Salazar, R. (2013). "PAPA" Principales Aspectos Agroeconómicos. (MINAGRI, Ed.) (1st ed.). Lima. Perú. http://doi.org/http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/2014/papa_2014.pdf
- Reynoso, Z. L. S. (1994). Uso de sucedáneos del trigo en la panificación.
- Rodriguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinoa Y Papa En Las Propiedades Termomecánicas Y De Panificación De Masas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199–207.
- Rosada, D., & Martínez, J. (2011). *Pan Sabor Y Tradición - Panadería Profesional* (Printer Co).
- Sabliov, C. M., Boldor, D., Keener, K. M., & Farkas, B. E. (2002). Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties*. <http://doi.org/10.1081/JFP-120015498>
- Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). *Physical properties of foods*. (M. E. T. University, Ed.).
- Sahin, S., Sumnu, S., & Ibarz-Ribas, A. (2009). *Physical properties of foods. Propiedades físicas de los alimentos*. (Zaragoza (España), Ed.). Turkía: Departamento de Tecnología de los Alimentos. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBROSNL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003568>
- Sandoval, G. (2007). Elaboración de harina precocida de papa (*Solanum tuberosum*) en autoclave, con las variedades Superchola y Gabriela, para consumo humano. *Proyecto CENI. Facultad de Ciencia E Ingeniería de ...* Retrieved from https://scholar.google.com.pe/scholar?q=Elaboraci%C3%B3n+De+Harina+Precocida+De+Papa+%28Solanum+tuberosum%29+%28Solanum+tuberosum%29+En+Autoclave%2C+Con+Las+Variedades+Superchola+Y+Gabriela%2C+Para+Consumo+Humano&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5#0

- Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841–864. [http://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00109-0](http://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00109-0)
- Shepherd, I., & Yoell, R. (1976). Cake emulsions. *Food Emulsions*. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302990210>
- Sierra, A. L. M., & Romero, E. C. (2006). *UTILIZACIÓN DE LA HARINA DE QUINUA (Chenopodium quinoa wild) EN EL PROCESO DE PANIFICACIÓN*. UNIVERSIDAD DE LA SALLE-BOGOTA.
- Stauffer, C. (1990). Functional additives for bakery foods. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=ckfdE5sRbqAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=stauffer+1990+Advances+in+baking+technology&ots=3Sf4sbJCqd&sig=kL1rVcTQLtxGS9BA7K7iKD9bDr0>
- Stephen Westland. (2001). Qué es el espacio de color CIE L*a*b*. Retrieved February 3, 2016, from http://www.gusgsm.com/espacio_color_cie_lab
- Takhtajan, A. (2009). *Flowering Plants* (Second Edi). Russia: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-9609-9>
- Taylor, J. R. N., Schober, T. J., & Bean, S. R. (2006). Novel food and nonfood uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44, 252–271.
- Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2008). Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22(2), 305–312. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.016>
- Un mundo sin Gluten. (2014). “Utiliza ingredientes totalmente exentos de gluten.” Retrieved February 3, 2016, from <http://www.unmundosingluten.com/consejos-para-cocinar-sin-gluten/>
- VBP, V. B. de la produccion. (2014). *Lineamientos Metodológicos de la Actividad Estadística*. Lima. Perú. Retrieved from ssea.minag.gob.pe/ssea/sites/.../xvi_estimacion_vbp_agropecuario.pdf
- Vilchez, M. N., Días, T. N., & Quiroz, C. A. (2013). *Variedades De Papas Nativas Y Conocimientos campesinos*. Cajamarca-Perú: COSUDE. Retrieved from <http://www.agruco.org/bioandes/pdf/Peru/Catalogos/CATALOGO PAPAS cajamarca.pdf>
- Whiteley, P. (1971). Biscuit manufacture; fundamentals of in-line production.[By Peter R. Whiteley. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300557830>
- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., & Delcour, J. a. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology*, 30(1), 6–15.

<http://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.001>

- Wilderjans, E., Luyts, A., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2010). A model approach to starch and protein functionality in a pound cake system. *Food Chemistry*, *120*(1), 44–51. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.067>
- Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a pound cake system : A model approach based on gluten – starch blends. *Food Chemistry*, *110*, 909–915. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.079>
- Yalcin, S., & Basman, A. (2008). Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle. *International Journal of Food Science & Technology*, *43*(9), 1637–1644. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01674.x>
- Zevallos, V. F., Herencia, L. I., Chang, F., Donnelly, S., Ellis, J., & Ciclitira, P. J. (2014). Gastrointestinal effects of eating quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in celiac patients. *The American Journal of Gastroenterology*, *109*(2), 270–278. <http://doi.org/10.1038/ajg.2013.431>
- Zhou, J. (2010). *EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF FATS FOR USE IN HIGH-RATIO LAYER CAKES*. KANSAS STATE UNIVERSITY.
- Zhou, W., Therdthai, N., & Hui, Y. H. (2014). Introduction to baking and bakery products. *Bakery Products Science and Technology*, 3–16. <http://doi.org/10.1002/9781118792001.ch1>

Anexos

Anexo 1. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de quinua variedad blanca de Junín



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 000627 - 2016

SOLICITANTE : WILDER NILO ROJAS PALOMINO
DIRECCIÓN LEGAL : ALAMEDA DE ÑAÑA - LURIGANCHO
: RUC: --- Teléfono: 976507097
PRODUCTO : HARINA DE QUINUA
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : VARIEDAD: BLANCA DE JUNIN
CANTIDAD RECIBIDA : 152 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa cerrada
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-000348 -2016
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 23/01/2016
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica
RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYO	RESULTADO
1.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	12,0

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- NTP 205.042 (Revisada el 2012) 1976

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 25/01/2016 Al 27/01/2016.

ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 27 de Enero de 2016



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Alejandrina Gotelo Méndez
Ing. M. Sc. Alejandrina Gotelo Méndez
DIRECTORA EJECUTIVA (e)
CIP. N° 112405

Pág 1/1

Anexo 2. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de papa variedad Chancan blanca



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 000628 - 2016

SOLICITANTE : WILDER NILO ROJAS PALOMINO
DIRECCIÓN LEGAL : ALAMEDA DE ÑAÑA - LURIGANCHO
: RUC: --- Teléfono: 976507097
PRODUCTO : HARINA DE PAPA
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : VARIEDAD: CANCHÁN BLANCA
CANTIDAD RECIBIDA : 149,9 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa cerrada
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-000348 -2016
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 23/01/2016
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYO	RESULTADO
I.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	6,5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- NTP 205.042 (Revisada el 2012) 1976

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 25/01/2016 Al 27/01/2016.

ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 27 de Enero de 2016



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Alejandra Sotelo Méndez
Ing. M. Sc. Alejandra Sotelo Méndez
DIRECTORA EJECUTIVA (e)
CIP. N° 112405

Pág 1/1

Anexo 3. Informe de ensayo de contenido de proteína para la harina de maíz, variedad blanca amiláceo dulce



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



INFORME DE ENSAYOS

N° 000629 - 2016

SOLICITANTE : WILDER NILO ROJAS PALOMINO
DIRECCIÓN LEGAL : ALAMEDA DE ÑAÑA - LURIGANCHO
: RUC: --- Teléfono: 976507097
PRODUCTO : HARINA DE MAÍZ
NÚMERO DE MUESTRAS : Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA. : VARIEDAD: AMILÁCEO DULCE
CANTIDAD RECIBIDA : 106,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S) : S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa cerrada
SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-000348 -2016
REFERENCIA : PERSONAL
FECHA DE RECEPCIÓN : 23/01/2016
ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO
PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYO	RESULTADO
1.- Proteína (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	5,2

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- NTP 205.042 (Revisada el 2012) 1976

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 25/01/2016 Al 27/01/2016.

ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 27 de Enero de 2016



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Alejandrina Sotelo Méndez
Ing. M. Sc. Alejandrina Sotelo Méndez
DIRECTORA EJECUTIVA (e)
CIP. N° 112405

Pág 1/1

Anexo 4. Datos experimentales de la evaluación de humedad de las harinas

Muestras	Repeticiones	Peso de la muestra inicial (g)	Perdida de humedad (g)	Humedad %	Promedio %	Variación
Harina de quinua	1	5.002	0.640	14.672	14.588	-0.084
	2	5.000	0.637	14.600		-0.012
	3	5.001	0.633	14.492		0.096
Harina de papa	1	5.000	0.521	11.632	11.479	-0.15
	2	5.001	0.508	11.306		0.17
	3	5.003	0.516	11.500		-0.02
Harina de maíz	1	5.001	0.625	14.282	13.565	-0.72
	2	5.002	0.579	13.091		0.47
	3	5.002	0.588	13.321		0.24

Anexo 5. Datos experimentales de la evaluación de Ceniza para las harinas

Muestra	Repeticiones	Peso de la muestra inicial	%ceniza	Promedio	Variación
Harina de quinua	1	2.002	2.352	2.265	-0.087
	2	2.002	2.299		-0.035
	3	2.002	2.143		0.122
Harina de papa	1	2.003	5.755	5.469	-0.29
	2	2.002	5.368		0.10
	3	2.003	5.283		0.19
Harina de maíz	1	2.002	2.352	2.265	-0.09
	2	2.001	2.248		0.02
	3	2.002	2.195		0.07

Anexo 6. Datos experimentales de la evaluación del extracto etéreo para los componentes (quinua-papa y maíz)

Muestra	Repetición	peso de la muestra inicial	peso de muestra + papel + hilo	peso después del secado	Peso del residuo	%grasa	Promedio	Variación
Harina de quinua	1	2.5437	3.7058	2.894	0.8118	4.687	4.651	-0.036
	2	2.448	3.6005	2.839	0.7615	4.515		0.136
	3	2.485	3.6193	2.819	0.8003	4.751		-0.100
Harina de papa	1	2.4297	3.5748	2.981	0.5938	0.323	0.302	-0.02
	2	2.4723	3.60999	3.052	0.55799	0.291		0.01
	3	2.4594	3.56852	3.012	0.55652	0.292		0.01
Harina de maíz	1	2.005	3.1413	2.453	0.6883	5.227	5.010	-0.22
	2	2.5989	3.8006	2.899	0.9016	5.312		-0.30
	3	2.4484	3.6528	2.894	0.7588	4.491		0.52

**Anexo 7. Datos experimentales de la evaluación de volumen de la mezcla de harinas en el cake libre
de gluten.**

Prueba N°	Repeticiones	Volumen	D.E.	Simetría	D.E.	Uniformidad	D.E.	
T ₁	ξ ₁ = 100.00 %, ξ ₂ =0.00%, ξ ₃ = 0.00%	1	99.70	2.03	0.8	2.97	-3.8	2.70
		2	102.50	-0.77	-0.5	4.27	-0.5	-0.60
		3	103.00	-1.27	11	-7.23	1	-2.10
		Promedio	101.733		3.767		-1.100	
T ₂	ξ ₁ = 0.00 %, ξ ₂ =100.00%, ξ ₃ = 0.00%	1	59.5	0.33	-2.5	1.67	0.5	-0.33
		2	60	-0.17	0	-0.83	0	0.17
		3	60	-0.17	0	-0.83	0	0.17
		Promedio	59.833		-0.833		0.167	
T ₃	ξ ₁ = 0.00 %, ξ ₂ =0.00%, ξ ₃ = 100.00%	1	80.5	-1.33	0.5	-0.67	0.5	0.00
		2	79	0.17	-1	0.83	1	-0.50
		3	78	1.17	0	-0.17	0	0.50
		Promedio	79.167		-0.167		0.500	
T ₄	ξ ₁ = 50.00 %, ξ ₂ =50.00%, ξ ₃ = 0.00%	1	77.5	1.00	0.5	0.00	0.5	-0.67
		2	79	-0.50	-1	1.50	1	-1.17
		3	79	-0.50	2	-1.50	-2	1.83
		Promedio	78.500		0.500		-0.167	
T ₅	ξ ₁ = 50.00 %, ξ ₂ =0.00%, ξ ₃ = 50.00%	1	83.5	3.00	0.5	2.00	-1.5	-0.67
		2	86.5	0.00	0.5	2.00	-2.5	0.33
		3	89.5	-3.00	6.5	-4.00	-2.5	0.33
		Promedio	86.500		2.500		-2.167	
T ₆	ξ ₁ = 0.00 %, ξ ₂ =50.00%, ξ ₃ = 50.00%	1	69.5	-0.83	-0.5	0.83	1.5	-0.83
		2	65	3.67	1	-0.67	1	-0.33
		3	71.5	-2.83	0.5	-0.17	-0.5	1.17
		Promedio	68.667		0.333		0.667	
T ₇	ξ ₁ = 33.33 %, ξ ₂ =33.33%, ξ ₃ = 33.33%	1	83	1.17	-2	2.33	0	0.00
		2	85.5	-1.33	3	-2.67	0	0.00
		3	84	0.17	0	0.33	0	0.00
		Promedio	84.167		0.333		0.000	
T ₈	ξ ₁ = 66.66 %, ξ ₂ =16.67 %, ξ ₃ = 16.67 %	1	94.5	-2.73	0	0.53	-3	2.00
		2	89.8	1.97	-0.4	0.93	0	-1.00
		3	91	0.77	2	-1.47	0	-1.00
		Promedio	91.767		0.533		-1.000	
T ₉	ξ ₁ = 16.66 %, ξ ₂ =66.67 %, ξ ₃ = 16.67 %	1	68	1.50	1	-0.50	0	-0.17
		2	71.5	-2.00	-1	1.50	0	-0.17
		3	69	0.50	1.5	-1.00	-0.5	0.33
		Promedio	69.500		0.500		-0.167	
T ₁₀	ξ ₁ = 16.66 %, ξ ₂ =16.67 %, ξ ₃ = 66.67 %	1	77	2.00	1	0.00	0	0.00
		2	82	-3.00	2	-1.00	0	0.00
		3	78	1.00	0	1.00	0	0.00
		Promedio	79.000		1.000		0.000	

Anexo 8. Análisis estadístico del volumen determinado por el software Desing Expert

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2.70	0.9514	0.9478	0.9440	226.51	
Quadratic	2.79	0.9538	0.9442	0.9311	278.77	
Special Cubic	2.12	0.9745	0.9678	0.9570	174.13	Suggested
Cubic	2.13	0.9764	0.9674	0.9517	195.26	Aliased

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	3942.53	6	657.09	146.45	< 0.0001	significante
Linear Mixture	3848.95	2	1924.48	428.92	< 0.0001	
AB	11.00	1	11.00	2.45	0.1311	
AC	31.51	1	31.51	7.02	0.0143	
BC	2.67	1	2.67	0.59	0.4485	
ABC	83.80	1	83.80	18.68	0.0003	
Residual	103.20	23	4.49			
Lack of Fit	16.28	3	5.43	1.25	0.3188	no significante
Error puro	86.92	20	4.35			
Cor Total	4045.72	29				

Std. Dev.	2.12	R-Squared	0.9745
Mean	79.88	Adj R-Squared	0.9678
C.V. %	2.65	Pred R-Squared	0.9570
PRESS	174.13	Adeq Precision	41.578

	Coefficient		Standard	95% CI	95% CI	
A-Harina de quinua	102.01	1	1.18	99.56	104.45	1.97
B-Harina de papa	59.47	1	1.18	57.02	61.91	1.97
C-Harina de maíz	78.91	1	1.18	76.46	81.35	1.97
AB	-9.32	1	5.95	-21.63	2.99	2.38
AC	-15.77	1	5.95	-28.08	-3.46	2.38
BC	-4.59	1	5.95	-16.90	7.72	2.38
ABC	169.55	1	39.23	88.39	250.71	2.47

Anexo 9. Datos experimentales para la porosidad uniformidad y simetría para el cake LG.

Tratamientos		R	Cantidad de poros*	D.E	Fracción por área de los poros (%)*	D.E	Área total de los poros (are a media) (mm ²)*	D.E	Tamaño promedio de los poros (mm ²)*	D.E
T ₁	ξ ₁ = 100.00 %,	1	436	-8.67	0.94832	0.008	30.262	0.26	0.22	0.01
T ₁	ξ ₂ =0.00%,	2	430	-2.67	0.96252	-0.006	30.715	-0.19	0.22	0.00
T ₁	ξ ₃ = 0.00%	3	416	11.33	0.95849	-0.002	30.586	-0.06	0.23	-0.01
	Prom		427.33		0.956		30.521		0.224	
T ₂	ξ ₁ = 0.00 %,	1	342	16.67	0.86073	0.005	30.658	-1.97	0.25	-0.01
T ₂	ξ ₂ =100.00%,	2	371	-12.33	0.83754	0.028	26.726	1.97	0.23	0.02
T ₂	ξ ₃ = 0.00%	3	363	-4.33	0.89917	-0.033	28.693	0.00	0.25	-0.01
	Prom		358.67		0.866		28.692		0.242	
T ₃	ξ ₁ = 0.00 %,	1	310	8.33	0.94879	-0.007	30.277	-1.30	0.31	-0.01
T ₃	ξ ₂ =0.00%,	2	325	-6.67	0.9266	0.015	26.377	2.60	0.29	0.01
T ₃	ξ ₃ = 100.00%	3	320	-1.67	0.94906	-0.008	30.285	-1.31	0.30	0.00
	Prom		318.33		0.941		28.980		0.296	
T ₄	ξ ₁ = 50.00 %,	1	302	-4.00	0.98611	-0.008	31.467	-0.57	0.33	0.00
T ₄	ξ ₂ =50.00%,	2	294	4.00	0.97354	0.005	31.066	-0.17	0.33	0.00
T ₄	ξ ₃ = 0.00%	3	298	0.00	0.97481	0.003	30.15	0.74	0.33	0.00
	Prom		298.00		0.978		30.894		0.328	
T ₅	ξ ₁ = 50.00 %,	1	348	13.00	0.89319	-0.010	18.929	6.07	0.26	-0.01
T ₅	ξ ₂ =0.00%,	2	348	13.00	0.87394	0.009	27.888	-2.89	0.25	-0.01
T ₅	ξ ₃ = 50.00%	3	387	-26.00	0.88308	0.000	28.18	-3.18	0.23	0.02
	Prom		361.00		0.883		24.999		0.245	
T ₆	ξ ₁ = 0.00 %,	1	289	11.33	0.79068	0.013	25.231	1.48	0.27	-0.01
T ₆	ξ ₂ =50.00%,	2	322	-21.67	0.80486	-0.001	25.684	1.03	0.25	0.02
T ₆	ξ ₃ = 50.00%	3	290	10.33	0.81565	-0.012	29.219	-2.51	0.28	-0.01
	Prom		300.33		0.804		26.711		0.268	
T ₇	ξ ₁ = 33.33 %,	1	273	12.33	0.80238	0.029	25.604	1.99	0.29	0.00
T ₇	ξ ₂ =33.33%,	2	308	-22.67	0.85377	-0.022	27.244	0.35	0.28	0.01
T ₇	ξ ₃ = 33.33%	3	275	10.33	0.83842	-0.007	29.946	-2.35	0.30	-0.01
	Prom		285.33		0.832		27.598		0.292	
T ₈	ξ ₁ = 66.66 %,	1	348	6.33	0.89356	-0.011	28.514	0.71	0.26	-0.01
T ₈	ξ ₂ =16.67 %,	2	351	3.33	0.88184	0.001	28.14	1.08	0.25	0.00
T ₈	ξ ₃ = 16.67 %	3	364	-9.67	0.87191	0.011	31.014	-1.79	0.24	0.01
	Prom		354.33		0.882		29.223		0.249	
T ₉	ξ ₁ = 16.66 %,	1	304	12.00	0.90444	0.011	32.052	-1.78	0.30	-0.01
T ₉	ξ ₂ =66.67 %,	2	305	11.00	0.95612	-0.041	30.51	-0.24	0.31	-0.02
T ₉	ξ ₃ = 16.67 %	3	339	-23.00	0.88536	0.030	28.252	2.02	0.26	0.03
	Prom		316.00		0.915		30.271		0.291	
T ₁₀	ξ ₁ = 16.66 %,	1	252	11.00	0.87468	-0.009	24.721	1.84	0.35	-0.02
T ₁₀	ξ ₂ =16.67 %,	2	281	-18.00	0.87081	-0.005	27.788	-1.23	0.31	0.02
T ₁₀	ξ ₃ = 66.67 %	3	256	7.00	0.85164	0.014	27.176	-0.61	0.33	0.00
	Prom		263.00		0.866		26.562		0.330	

Anexo 10. Análisis estadístico de la porosidad determinado por el software Desing Expert

	Std.		Adjusted	Predicted		
Source	Dev.	R-Squared	R-Squared	R-Squared	PRESS	
Linear	38.73	0.3896	0.3444	0.2235	51516.85	
Quadratic	21.40	0.8344	0.7999	0.7627	15744.26	Suggested
Special	21.16	0.8448	0.8043	0.7606	15880.04	
Cubic	15.01	0.9287	0.9015	0.8563	9534.71	Aliased

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	55356.25	5	11071.25	24.18	< 0.0001	significante
Linear Mixture	25849.37	2	12924.69	28.23	< 0.0001	
AB	22945.64	1	22945.64	50.11	< 0.0001	
AC	1205.46	1	1205.46	2.63	0.1177	
BC	5587.44	1	5587.44	12.20	0.0019	
Residual	10989.12	24	457.88			
Lack of Fit	6257.12	4	1564.28	6.61	0.0015	significante
Error puro	4732.00	20	236.60			
Cor Total	66345.37	29				
Model	55356.25	5	11071.25	24.18	< 0.0001	significante

Std. Dev.	21.40		R-Squared	0.8344
Mean	328.23		Adj R-Squared	0.7999
C.V. %	6.52		Pred R-Squared	0.7627
PRESS	15744.26		Adeq Precision	15.021

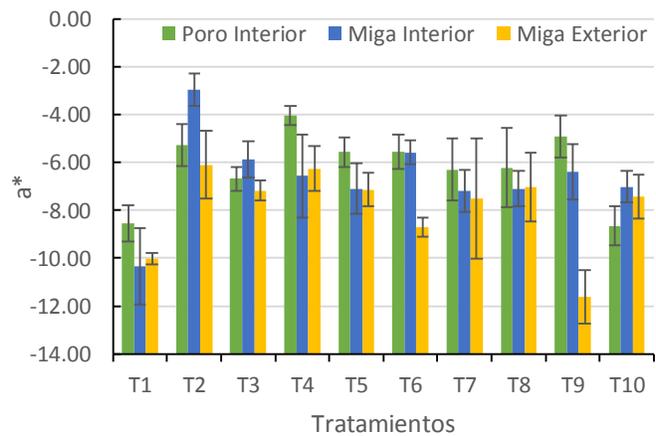
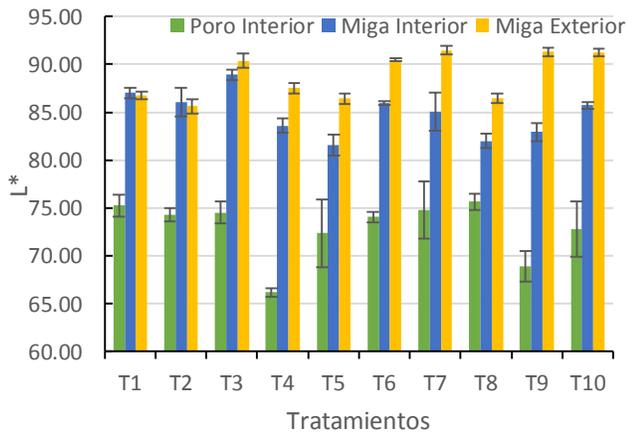
	Coefficient		Standard	95% CI	95% CI	
Component	Estimate	df	Error	Low	High	VIF
Block 1	-9.048	2				
Block 2	5.680					
Block 3	3.367					
A-Harina de quinua	433.02	1	11.91	408.42	457.61	1.96
B-Harina de papa	365.65	1	11.91	341.06	390.24	1.96
C-Harina de maíz	308.80	1	11.91	284.21	333.39	1.96
AB	-388.74	1	54.91	-502.07	-275.40	1.98
AC	-89.10	1	54.91	-202.44	24.24	1.98
BC	-191.83	1	54.91	-305.16	-78.49	1.98

Anexo 11. Datos experimentales para el color de la miga del cake con valores L*, a* y b* para el cake LG

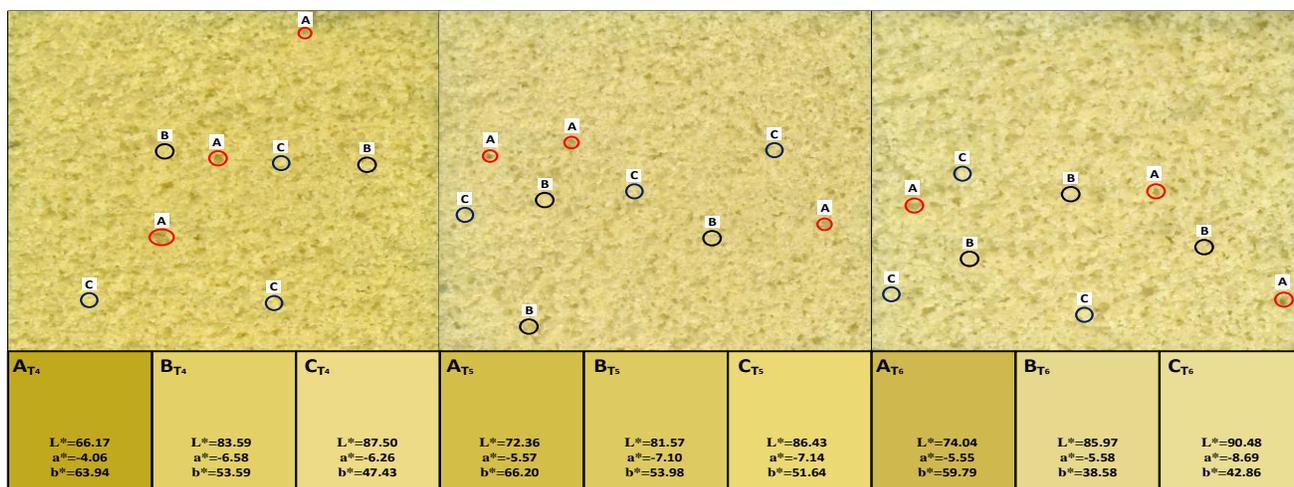
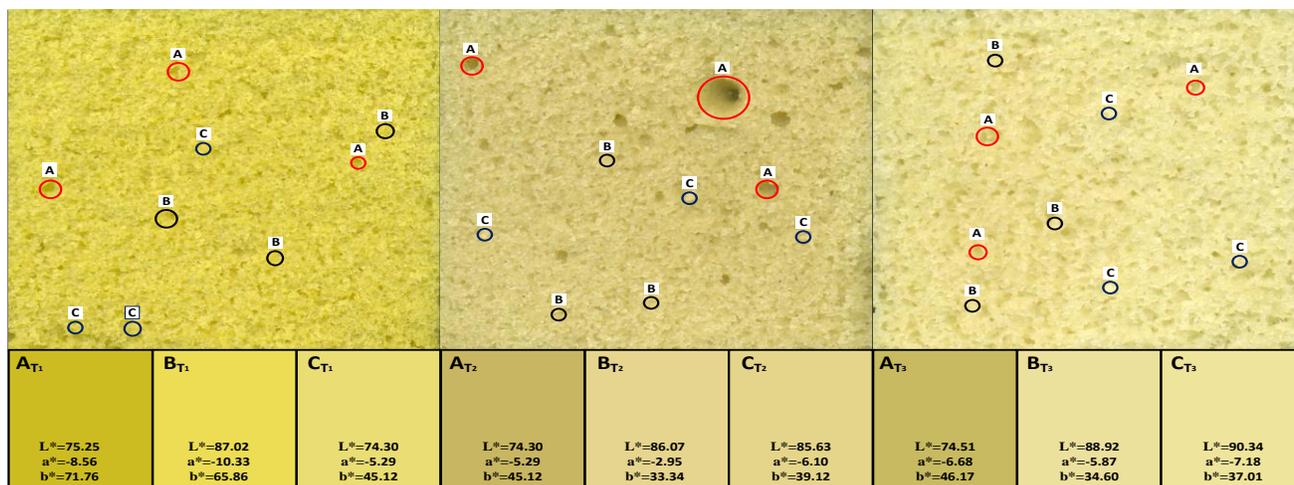
Tratamientos		Rep.	L*	D.E.	a*	D.E.	b*	D.E.
T ₁	ξ ₁ = 100.00 %,	1	86.414	0.33	-9.895	-0.12	57.191	-0.23
T ₁	ξ ₂ =0.00%,	2	86.383	0.36	-9.908	-0.11	54.84	2.13
T ₁	ξ ₃ = 0.00%	3	87.429	-0.69	-10.254	0.24	58.866	-1.90
		Promedio	86.742		-10.019		56.966	
T ₂	ξ ₁ = 0.00 %,	1	84.867	0.77	-7.522	1.42	39.252	-0.13
T ₂	ξ ₂ =100.00%,	2	85.549	0.08	-6.193	0.09	42.726	-3.60
T ₂	ξ ₃ = 0.00%	3	86.48	-0.85	-4.586	-1.51	35.392	3.73
		Promedio	85.632		-6.100		39.123	
T ₃	ξ ₁ = 0.00 %,	1	89.593	0.75	-7.05	-0.13	40.057	-3.04
T ₃	ξ ₂ =0.00%,	2	91.836	-1.50	-7.598	0.42	33.46	3.55
T ₃	ξ ₃ = 100.00%	3	89.587	0.75	-6.878	-0.30	37.524	-0.51
		Promedio	90.339		-7.175		37.014	
T ₄	ξ ₁ = 50.00 %,	1	86.979	0.52	-6.341	0.08	45.106	2.32
T ₄	ξ ₂ =50.00%,	2	86.923	0.58	-5.256	-1.00	50.459	-3.03
T ₄	ξ ₃ = 0.00%	3	88.604	-1.10	-7.185	0.92	46.714	0.71
		Promedio	87.502		-6.261		47.426	
T ₅	ξ ₁ = 50.00 %	1	85.978	0.45	-6.756	-0.38	56.779	-5.14
T ₅	ξ ₂ =0.00%,	2	87.427	-1.00	-7.829	0.69	48.104	3.54
T ₅	ξ ₃ = 50.00%	3	85.878	0.55	-6.83	-0.31	50.036	1.60
		Promedio	86.428		-7.138		51.640	
T ₆	ξ ₁ = 0.00 %,	1	90.288	0.19	-9.089	0.40	43.432	-0.57
T ₆	ξ ₂ =50.00%,	2	90.425	0.05	-8.277	-0.41	41.642	1.22
T ₆	ξ ₃ = 50.00%	3	90.719	-0.24	-8.708	0.02	43.519	-0.65
		Promedio	90.477		-8.691		42.864	
T ₇	ξ ₁ = 33.33 %,	1	91.19	0.29	-10.014	2.51	45.588	0.62
T ₇	ξ ₂ =33.33%,	2	90.995	0.48	-5.782	-1.72	45.464	0.74
T ₇	ξ ₃ = 33.33%	3	92.242	-0.77	-6.71	-0.79	47.568	-1.36
		Promedio	91.476		-7.502		46.207	
T ₈	ξ ₁ = 66.66 %,	1	85.992	0.47	-7.96	0.93	49.173	3.33
T ₈	ξ ₂ =16.67 %,	2	87.047	-0.58	-8.466	1.44	56.18	-3.68
T ₈	ξ ₃ = 16.67 %	3	86.355	0.11	-4.667	-2.36	52.162	0.34
		Promedio	86.465		-7.031		52.505	
T ₉	ξ ₁ = 16.66 %,	1	90.879	0.42	-11.318	-0.31	42.16	0.71
T ₉	ξ ₂ =66.67 %,	2	91.689	-0.39	-12.741	1.11	44.684	-1.81
T ₉	ξ ₃ = 16.67 %	3	91.321	-0.02	-10.828	-0.80	41.768	1.10
		Promedio	91.296		-11.629		42.871	
T ₁₀	ξ ₁ = 16.66 %,	1	90.834	0.38	-7.847	0.42	39.694	-3.52
T ₁₀	ξ ₂ =16.67 %,	2	91.358	-0.14	-8.338	0.92	34.821	1.35
T ₁₀	ξ ₃ = 66.67 %	3	91.453	-0.24	-6.082	-1.34	33.993	2.18
		Promedio	91.215		-7.422		36.169	

Anexo 12 Evaluación del color del poro interno y miga interna del cake LG.

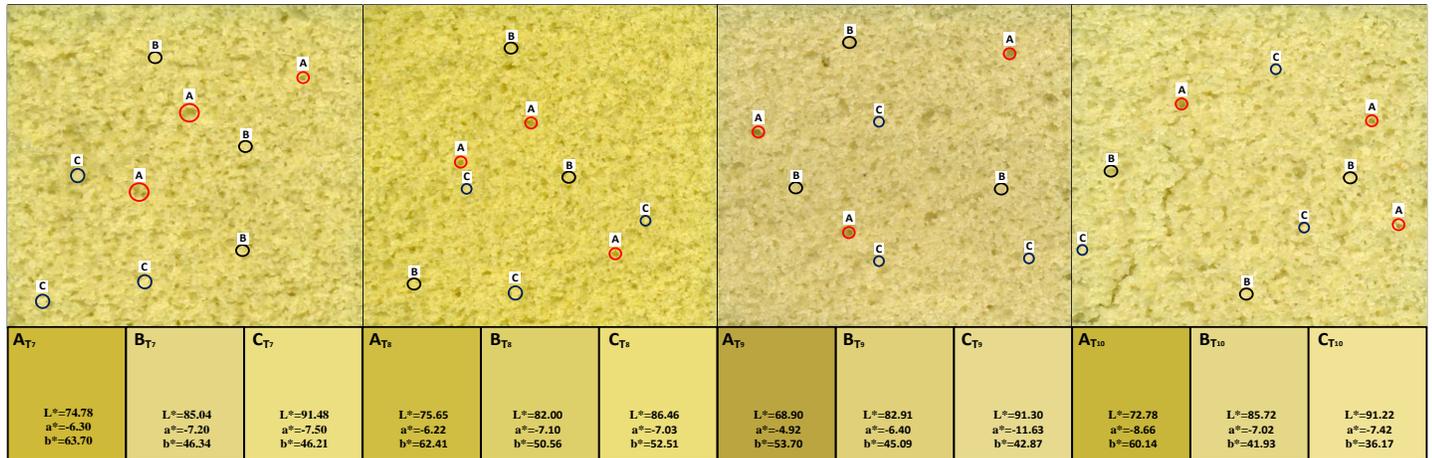
Color interno (Poro Interior) ¹			Color interior (Miga interior) ¹		
L*	a*	b*	L*	a*	b*
75.25	-8.56	71.76	87.02	-10.33	65.86
74.30	-5.29	45.12	86.07	-2.95	33.34
74.51	-6.68	46.17	88.92	-5.87	34.60
66.17	-4.06	63.94	83.59	-6.58	53.59
72.36	-5.57	66.20	81.57	-7.10	53.98
74.04	-5.55	59.79	85.97	-5.58	38.58
74.78	-6.30	63.70	85.04	-7.20	46.34
75.65	-6.22	62.41	82.00	-7.10	50.56
68.90	-4.92	53.70	82.91	-6.40	45.09
72.78	-8.66	60.14	85.72	-7.02	41.93



Anexo 13 Representación gráfica de los tratamientos con identificación de: a: color interno, b: miga interna y c: miga externa, además su valores en el espacio CIE L*a*b*. Para los tratamientos 1-6 del diseño de mezclas de quinua, papa y maíz.

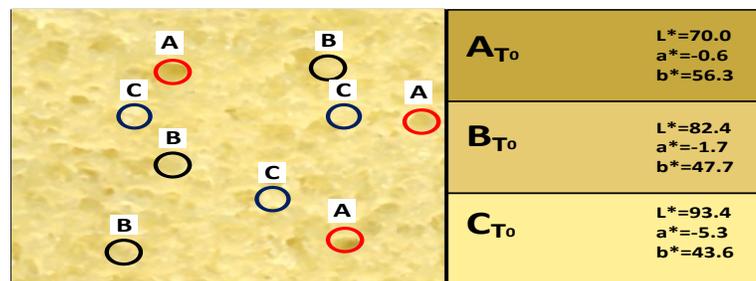


Anexo 13-1. Continuación de la representación gráfica de los tratamientos con identificación de: ^a color interno, ^b miga interna y ^c miga externa, además su valores en el espacio CIE L*a*b*. Para los tratamientos 7-10 del diseño de mezclas de quinua, papa y maíz.



Anexo 14. Variación de color para el cake LG.

Realizando el cálculo de variación de color con la ecuación 20, se presentan los resultados en la



Representación del color del cake patrón (100% harina de trigo), ^a color poro interno, ^b miga interna y ^c miga externa.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Donde:

ΔE = combinación ponderada de las coordenadas (L*, a*, b*)

ΔL^* = Diferencia de luminosidad: L*_{muestra} - L*_{estándar}

Δa^* = Diferencia rojo/verde: a*_{muestra} - a*_{estándar}

Δb^* = Diferencia amarillo azul: a*_{muestra} - a*_{estándar}

Las diferencias de Luminosidad entre el patrón (100% trigo) y los tratamientos realizando la incorporación de las harinas afectan al color. En la que se representan los valores entre claros y oscuros para las mezclas del cake LG. Mientras ΔE es más elevado muestra el color de la miga tiene una mayor variación frente al cake patrón (100% trigo), es el caso para la miga exterior donde el tratamiento 1 (T_1), tratamiento 5 (T_5) y el tratamiento 8 (T_8) presentan una variación de color de: 15.66, 10.80 y 11.42 respectivamente. Esto indica que estas mezclas tienen una tonalidad además que a medida que aumenta el contenido de quinua por encima del 50% de incorporación en la mezcla la variación del color amarillo la se aleja del cake patrón.

Las mezclas que presenta una menos variación son las del tratamiento 7 (T_7), tratamiento 6(T_6), tratamiento 9 (T_9) quienes constan de valores de 3.92, 4.54 y 6.71 respectivamente, son valores relativamente bajo, indicando que estos varían en menor proporción al tratamiento patrón.

Valores entre claros y oscuros para las mezclas del cake LG

Prueba	ξ_1	ξ_2	ξ_3	Poros Interior	Miga Interna	Miga Exterior
N°	(%)	(%)	(%)	ΔE	ΔE	ΔE
T₁	100	0	0	18.18	20.63	15.66
T₂	0	100	0	12.82	14.88	9.00
T₃	0	0	100	12.60	15.22	7.50
T₄	50	50	0	9.24	7.74	7.10
T₅	50	0	50	11.34	8.32	10.80
T₆	0	50	50	7.28	10.53	4.54
T₇	33.33	33.33	33.33	10.50	6.25	3.92
T₈	66.66	16.67	16.67	10.05	6.12	11.42
T₉	16.67	66.66	16.67	5.12	5.40	6.71
T₁₀	16.67	16.67	66.66	9.34	8.53	8.03

Nota. ΔE : combinación ponderada de las coordenadas (L^* , a^* , b^*).

Anexo 15 Análisis del color L* determinado por el software Desing Expert

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2.01	0.3383	0.2893	0.1757	136.10	
Quadratic	1.45	0.6947	0.6311	0.5398	75.98	
Special Cubic	1.14	0.8201	0.7731	0.7141	47.21	Suggested
Cubic	0.72	0.9343	0.9093	0.8596	23.18	Aliased

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Model	135.39	6	22.57	17.47	< 0.0001	significante
Linear	55.86	2	27.93	21.62	< 0.0001	
Mixture						
AB	3.18	1	3.18	2.46	0.1302	
AC	11.21	1	11.21	8.67	0.0073	
BC	15.65	1	15.65	12.12	0.0020	
ABC	20.69	1	20.69	16.02	0.0006	
Residual	29.71	23	1.29			
Lack of Fit	18.88	3	6.29	11.62	0.0001	significante
Error puro	10.83	20	0.54			
Cor Total	165.10	29				

Std. Dev.	1.14	R-Squared	0.8201
Mean	88.76	Adj R-Squared	0.7731
C.V. %	1.28	Pred R-Squared	0.7141
PRESS	47.21	Adeq Precision	9.987

Component	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
A-Harina de quinua	86.15	1	0.63	84.84	87.47	1.97
B-Harina de papa	86.09	1	0.63	84.78	87.41	1.97
C-Harina de maiz	90.45	1	0.63	89.14	91.76	1.97
AB	5.01	1	3.19	-1.59	11.62	2.38
AC	-9.40	1	3.19	-16.01	-2.80	2.38
BC	11.12	1	3.19	4.51	17.72	2.38
ABC	84.26	1	21.05	40.71	127.80	2.47

Anexo 16. Análisis del color a* determinado por el software Desing Expert

Model Summary Statistics						
Source	Std. Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	2.02	0.0185	-0.0543	-0.1929	134.07	
Quadratic	1.86	0.2624	0.1087	0.0030	112.05	Suggested
Special Cubic	1.88	0.2804	0.0927	-0.0388	116.75	
Cubic	1.34	0.6654	0.5380	0.3782	69.88	Aliased

	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	
Source					Prob > F	
Model	29.49	5	5.90	1.71	0.1712	no significante
Linear	2.07	2	1.04	0.30	0.7434	
Mixture						
AB	2.89	1	2.89	0.84	0.3695	
AC	4.85	1	4.85	1.40	0.2477	
BC	19.51	1	19.51	5.65	0.0258	
ABC	82.90	24	3.45			
Residual	52.09	4	13.02	8.46	0.0004	significante
Lack of Fit	30.80	20	1.54			
Error puro	112.39	29				
Cor Total	29.49	5	5.90	1.71	0.1712	no significante

Std. Dev.	1.86	R-Squared	0.2624
Mean	-7.90	Adj R-Squared	0.1087
C.V. %	23.53	Pred R-Squared	0.0030
PRESS	112.05	Adeq Precision	3.636

Component	Coefficient		Standard Error	95% CI		VIF
	Estimate	df		Low	High	
A-Harina de quinua	-9.53	1	1.03	-11.67	-7.40	1.96
B-Harina de papa	-7.08	1	1.03	-9.22	-4.95	1.96
C-Harina de maiz	-6.83	1	1.03	-8.97	-4.70	1.96
AB	4.36	1	4.77	-5.48	14.21	1.98
AC	5.65	1	4.77	-4.19	15.49	1.98
BC	-11.34	1	4.77	-21.18	-1.49	1.98
ABC	-9.53	1	1.03	-11.67	-7.40	1.96

Anexo 17. Análisis de b* determinado por el software Desing Expert

Model Summary Statistics						
	Std.		Adjusted	Predicted		
Source	Dev.	R-Squared	R-Squared	R-Squared	PRESS	
Linear	3.67	0.7539	0.7356	0.7007	441.18	Suggested
Quadratic	3.66	0.7819	0.7365	0.6635	496.05	
Special Cubic	3.58	0.7997	0.7474	0.6720	483.47	
Cubic	3.05	0.8674	0.8169	0.7254	404.83	Aliased

	Sum of		Mean	F	p-value	
Source	Squares	df	Square	Value	Prob > F	
Model	1111.34	2	555.67	41.35	< 0.0001	significante
Linear	1111.34	2	555.67	41.35	< 0.0001	
Mixture Residual	362.87	27	13.44			
Lack of Fit	195.30	7	27.90	3.33	0.0162	significante
Error puro	167.57	20	8.38			
Cor Total	1474.21	29				

Std. Dev.	3.67			R-Squared	0.7539
Mean	45.28			Adj R-Squared	0.7356
C.V. %	8.10			Pred R-Squared	0.7007
PRESS	441.18			Adeq Precision	17.482

	Coefficient		Standard	95% CI	95% CI	
Component	Estimate	df	Error	Low	High	VIF
A-Harina de quinua	19.15	19.15	1	2.12	9.05	< 0.0001
B-Harina de papa	-7.90	-7.90	1	2.12	-3.73	0.0009
C-Harina de maiz	-11.25	-11.25	1	2.12	-5.32	< 0.0001

Anexo 18. Datos experimentales del contenido de actividad de agua en el cake LG

Prueba N°	ξ_1 (%)	ξ_2 (%)	ξ_3 (%)	congenio de actividad de agua		D.E
T₁	100	0	0	0.900	0.903	0.0025
T₁	100	0	0	0.905		-0.0025
T₂	0	100	0	0.864	0.871	0.0070
T₂	0	100	0	0.878		-0.0070
T₃	0	0	100	0.891	0.890	-0.0010
T₃	0	0	100	0.889		0.0010
T₄	50	50	0	0.889	0.891	0.0015
T₄	50	50	0	0.892		-0.0015
T₅	50	0	50	0.897	0.900	0.0030
T₅	50	0	50	0.903		-0.0030
T₆	0	50	50	0.886	0.887	0.0010
T₆	0	50	50	0.888		-0.0010
T₇	33.33	33.33	33.33	0.895	0.896	0.0010
T₇	33.33	33.33	33.33	0.897		-0.0010
T₈	66.66	16.67	16.67	0.890	0.893	0.0030
T₈	66.66	16.67	16.67	0.896		-0.0030
T₉	16.67	66.66	16.67	0.883	0.883	0.0000
T₉	16.67	66.66	16.67	0.883		0.0000
T₁₀	16.67	16.67	66.66	0.891	0.889	-0.0020
T₁₀	16.67	16.67	66.66	0.887		0.0020

Anexo 19. Datos experimentales de la Humedad del cake LG

Tratamientos		Rep.	peso muestra inicial	masa seca	perdida de humedad	Humedad en B. húmeda	D.E.	Humedad en B. seca	D.E.
T ₁	ξ ₁ = 100.00 %,	1	2.003	1.41	0.59	29.61	-0.535	42.067	-1.049
T ₁	ξ ₂ =0.00%,	2	2.001	1.41	0.60	29.79	-0.709	42.420	-1.402
T ₁	ξ ₃ = 0.00%	3	2.002	1.44	0.56	27.83	1.244	38.566	2.452
Promedio						29.08		41.018	
T ₂	ξ ₁ = 0.00 %,	1	2.005	1.45	0.56	27.78	-0.38	38.457	-0.69
T ₂	ξ ₂ =100.00%,	2	2.001	1.43	0.57	28.40	-1.00	39.657	-1.89
T ₂	ξ ₃ = 0.00%	3	2.005	1.48	0.52	26.02	1.37	35.181	2.58
Promedio						27.40		37.765	
T ₃	ξ ₁ = 0.00 %,	1	2.001	1.41	0.59	29.56	-1.10	41.955	-2.15
T ₃	ξ ₂ =0.00%,	2	2.001	1.42	0.58	29.01	-0.56	40.866	-1.06
T ₃	ξ ₃ = 100.00%	3	2.001	1.46	0.54	26.79	1.66	36.596	3.21
Promedio						28.45		39.806	
T ₄	ξ ₁ = 50.00 %,	1	2.001	1.45	0.55	27.61	-0.191	38.133	-0.364
T ₄	ξ ₂ =50.00%,	2	2.002	1.46	0.54	27.18	0.232	37.330	0.440
T ₄	ξ ₃ = 0.00%	3	2.004	1.45	0.55	27.46	-0.040	37.846	-0.076
Promedio						27.41		37.770	
T ₅	ξ ₁ = 50.00 %,	1	2.002	1.41	0.59	29.61	0.09	42.056	0.19
T ₅	ξ ₂ =0.00%,	2	2.002	1.40	0.60	30.09	-0.40	43.051	-0.81
T ₅	ξ ₃ = 50.00%	3	2.0022	1.41	0.59	29.39	0.30	41.628	0.62
Promedio						29.70		42.245	
T ₆	ξ ₁ = 0.00 %,	1	2.001	1.44	0.57	28.25	0.26	39.375	0.50
T ₆	ξ ₂ =50.00%,	2	2.003	1.43	0.57	28.44	0.07	39.747	0.13
T ₆	ξ ₃ = 50.00%	3	2.002	1.42	0.58	28.83	-0.32	40.511	-0.63
Promedio						28.51		39.878	
T ₇	ξ ₁ = 33.33 %,	1	2.005	1.40	0.60	30.03	-0.296	42.918	-0.595
T ₇	ξ ₂ =33.33%,	2	2.002	1.40	0.60	30.14	-0.406	43.143	-0.820
T ₇	ξ ₃ = 33.33%	3	2.003	1.42	0.58	29.03	0.702	40.907	1.415
Promedio						29.73		42.323	
T ₈	ξ ₁ = 66.66 %,	1	2.005	1.40	0.60	30.02	-0.448	42.908	-0.880
T ₈	ξ ₂ =16.67 %,	2	2.001	1.39	0.61	30.54	-0.968	43.978	-1.949
T ₈	ξ ₃ = 16.67 %	3	2.001	1.44	0.56	28.16	1.416	39.200	2.829
Promedio						29.58		42.029	
T ₉	ξ ₁ = 16.66 %,	1	2.004	1.41	0.59	29.41	-0.61	41.665	-1.20
T ₉	ξ ₂ =66.67 %,	2	2.001	1.44	0.56	28.09	0.71	39.065	1.40
T ₉	ξ ₃ = 16.67 %	3	2.004	1.42	0.58	28.91	-0.11	40.671	-0.20
Promedio						28.80		40.467	
T ₁₀	ξ ₁ = 16.66 %,	1	2.006	1.45	0.55	27.60	0.84	38.126	1.63
T ₁₀	ξ ₂ =16.67 %,	2	2.003	1.43	0.58	28.73	-0.29	40.315	-0.56
T ₁₀	ξ ₃ = 66.67 %	3	2.001	1.42	0.58	29.00	-0.55	40.836	-1.08
Promedio						28.44		39.759	

Anexo 20. Pérdida de humedad en el proceso

En cuanto a la pérdida de humedad de la masa antes del proceso de horneado y luego del proceso de horneado (enfriamiento por media hora) los valores se muestran en la siguiente tabla.,

La perdida de peso de los cakes es debido a la evaporacion de las moleculas de agua durante la coccion y enfriamiento del pan.

Resultados obtenidos de la perdida de humedad en el proceso

Tratamientos	peso del molde	Masa Cruda	Peso desp. de horn.	Masa Horneada	Humedad perdida	
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)
T ₁	151	414	537	386	28	6.76
T ₂	144	414	528	384	30	7.25
T ₃	153	414	535	382	32	7.73
T ₄	159	414	530	381	33	7.97
T ₅	142	414	524	382	32	7.73
T ₆	155	414	525	384	30	7.35
T ₇	151	414	533	382	32	7.73
T ₈	149	414	533	384	30	7.25
T ₉	159	414	516	381	33	7.94
T ₁₀	150	414	533	383	31	7.49

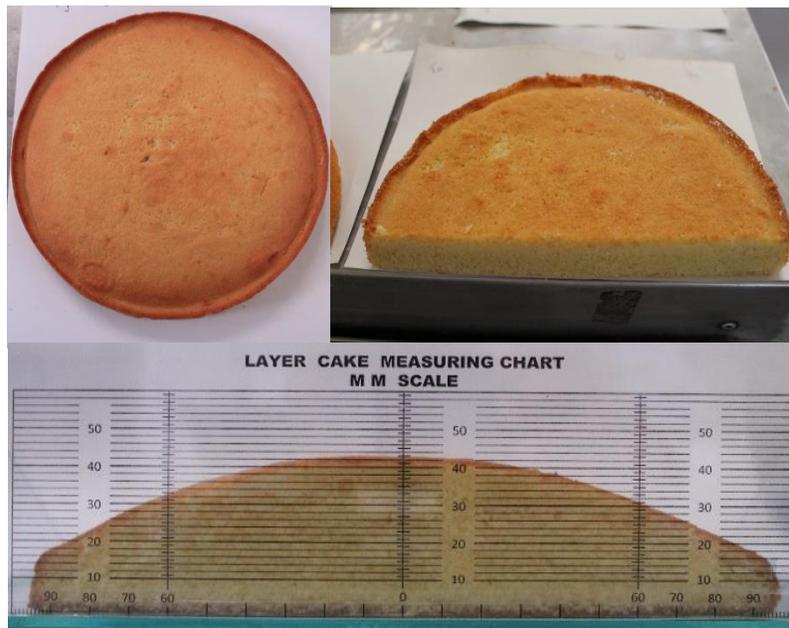
Nota.* Variables por duplicado

Anexo 21. Procedimiento para determinación de índice de volumen, simetría y uniformidad

El cake es cortado por la mitad, la cara interior de la mitad del cake se colocó contra la plantilla y se calculó el índice de volumen, mediante la adición de altura del cake en el centro (C) con los bordes (B y D), el índice de simetría, dos veces la altura del cake en el centro (C) con la resta de los extremos (B y D) y el índice de uniformidad, la resta de los extremos (B y D), sabiendo que los extremos A y E son las paredes del molde.

$$\text{Volumen indicado} = B + C + D \quad (21)$$

$$\text{Índice de simetría} = (2C - B - D) \quad (22)$$

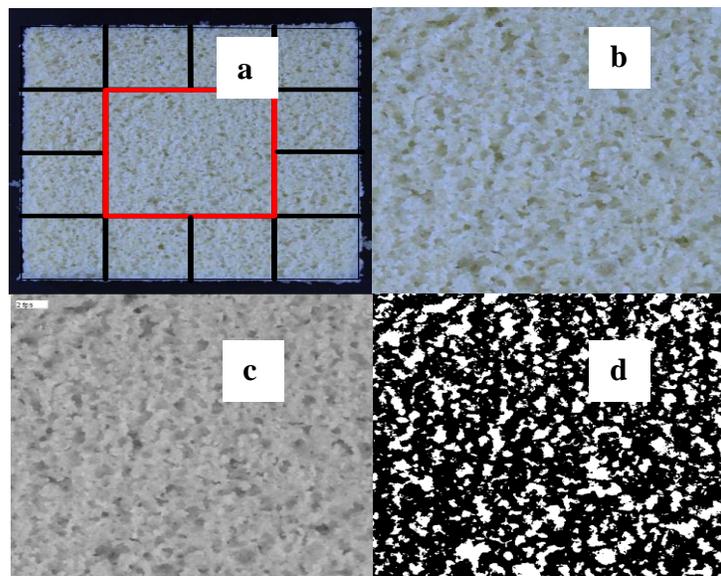


$$\text{Índice de uniformidad} = B - D \quad (23)$$

Secuencia para el procedimiento de para determinar el índice de volumen, simetría y uniformidad

Anexo 22. Procedimiento para cálculo de porosidad

Se cortaron láminas del centro de los tratamientos con un molde cuadrado de 12 cm, luego se cortaron horizontalmente finalmente la parte central se llevó independientemente al cuarto oscuro diseñado para la investigación. Las imágenes obtenidas son de dimensiones de 2304 x 3456 pixeles, con una resolución de 72 ppp, con calidad ISO 1600 y distancia focal de 55mm, sin flash y en formato JPEG. La distancia entre la cámara y la muestra es de 25 cm. De cada imagen obtenida se recortó un cuadrado de la parte central de 575 x 545 pixeles. Se transformó la imagen a valores gris y se binarizo aplicando un algoritmo para determinar el umbral que delimita las celdas de aire o alveolos de la matriz sólida. Para transformar las dimensiones de la imagen de pixeles a una unidades adecuada (mm^2) se calibro con una escala escaneada en las mismas condiciones que las fotos y se analizó en el software Image J 1.64 de acuerdo a lo reportado por la (<http://rsb.info.nih.gov/ij/docs/pdfs/examples.pdf>)



Secuencia de imágenes del área seleccionada de la tajada de cake. ^a tajada de cake; ^b cuadrado central de la tajada; ^c imagen en escala de grises y ^d imagen binarizada.

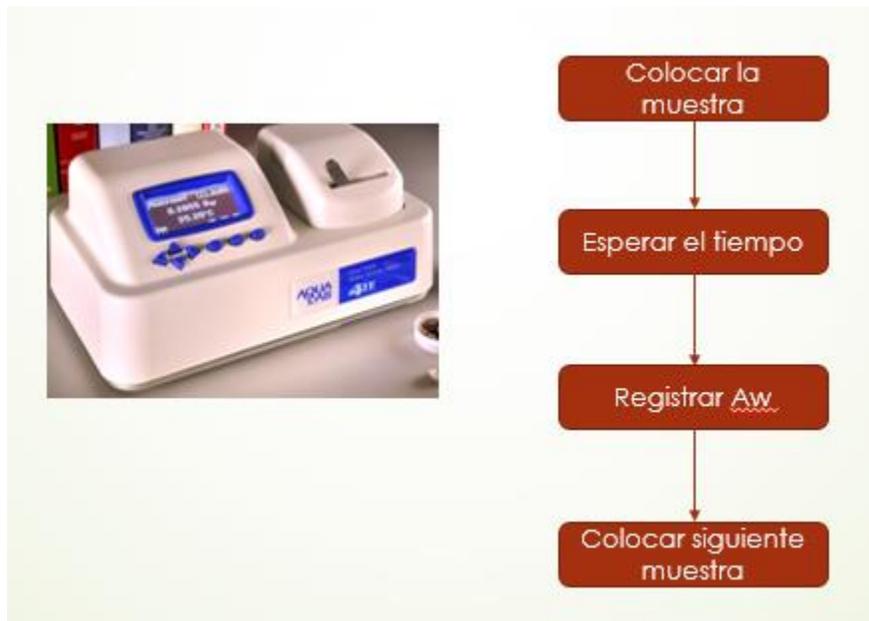
Anexo 23. Procedimiento para el color

La tajada horizontal del cake el cual se puso contra el vidrio del scanner HP Scanjet G3311. Estas imágenes se capturaron en formato TIFF (para conservar la calidad de la imagen) y con una resolución de 300 ppp. Se seleccionó 3 áreas específicas del cake, se obtuvo los valores RGB y se transforma a valores L^* , a^* y b^* , con el Software EASYRGB.

A_{T0}	$L^* = 70.0$ $a^* = -0.6$ $b^* = 56.3$
B_{T0}	$L^* = 82.4$ $a^* = -1.7$ $b^* = 47.7$
C_{T0}	$L^* = 93.4$ $a^* = -5.3$ $b^* = 43.6$

Procedimiento para determinación de color L^* , a^* y b^*

Anexo 24. Procedimiento para Aw



Anexo 25. Proteo de límites para la optimización

Design-Expert® Software

Overlay Plot

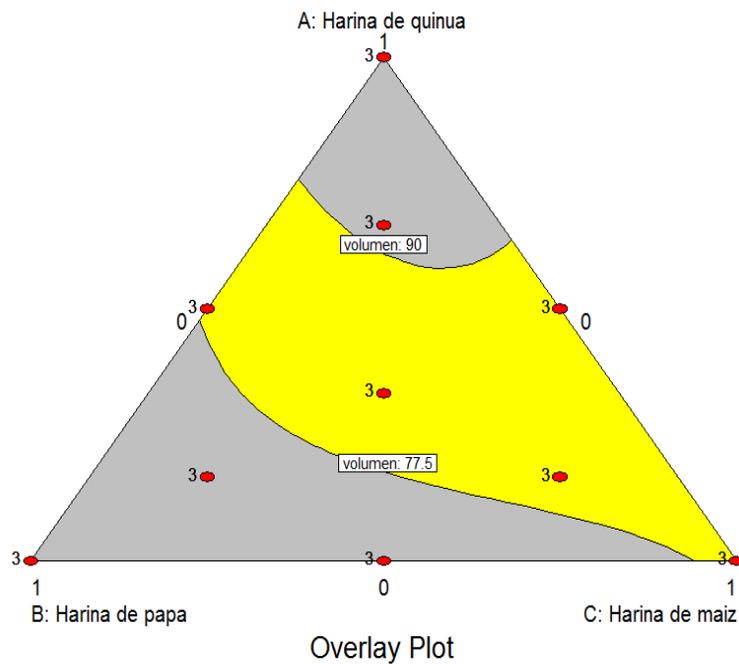
volumen

• Design Points

X1 = A: Harina de quinua

X2 = B: Harina de papa

X3 = C: Harina de maíz



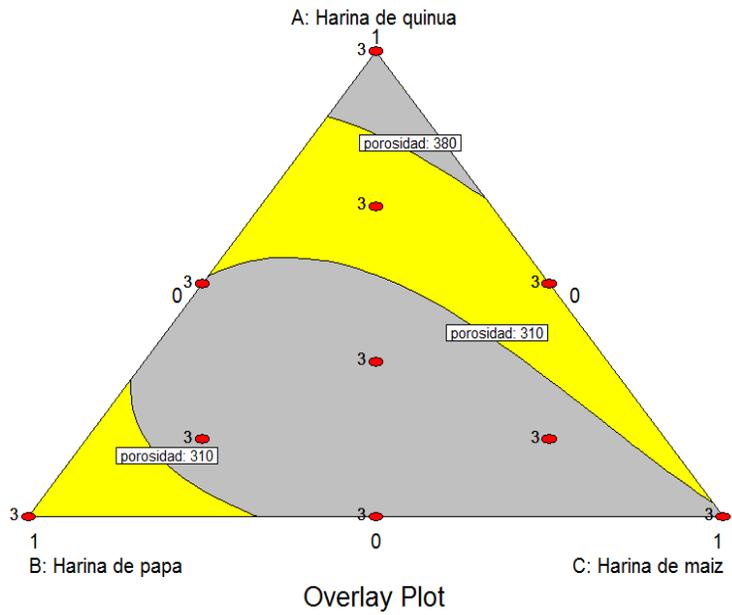
Ploteo de límites para el volumen

Design-Expert® Software

Overlay Plot

porosidad
● Design Points

X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz



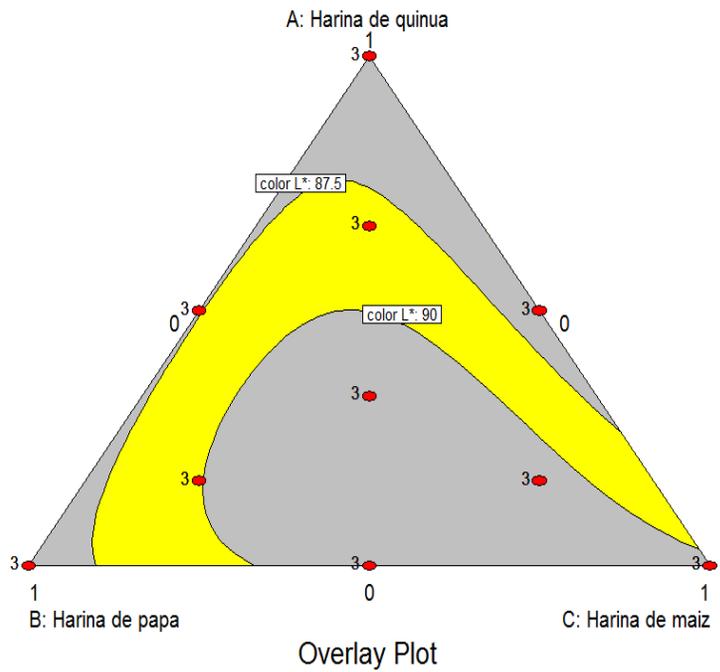
Ploteo de límites para la porosidad

Design-Expert® Software

Overlay Plot

color L*
● Design Points

X1 = A: Harina de quinua
X2 = B: Harina de papa
X3 = C: Harina de maiz



Ploteo de límites para el color L*

Design-Expert® Software

Overlay Plot

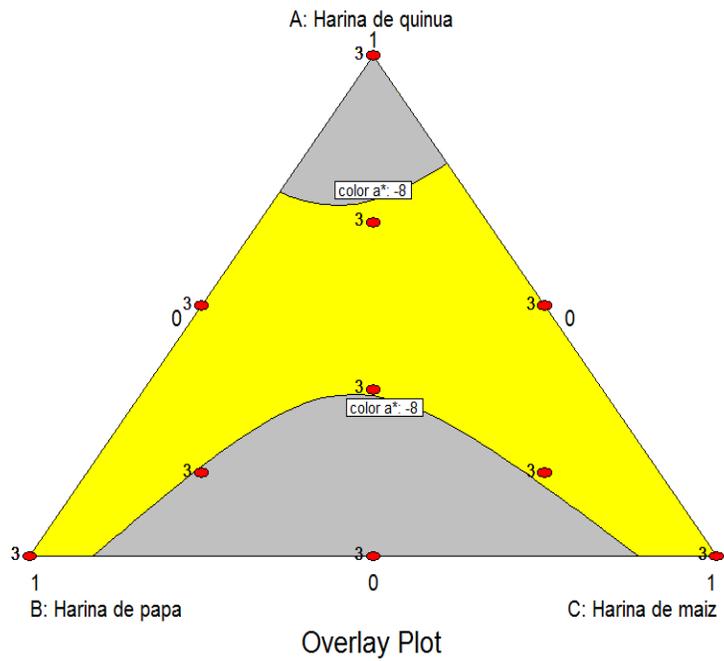
color a*

◆ Design Points

X1 = A: Harina de quinua

X2 = B: Harina de papa

X3 = C: Harina de maiz



Ploteo de límites para el color a*

Design-Expert® Software

Overlay Plot

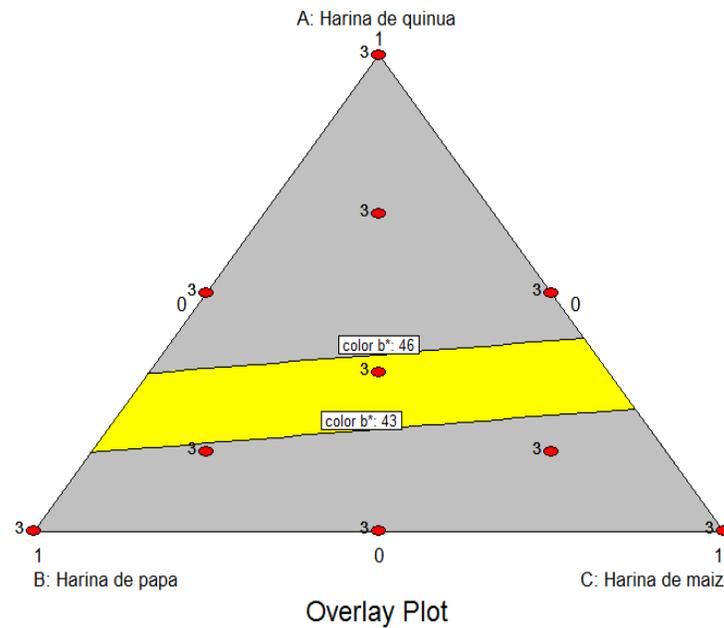
color b*

◆ Design Points

X1 = A: Harina de quinua

X2 = B: Harina de papa

X3 = C: Harina de maiz



Ploteo de límites para el color b*

Anexo 26. Cuarto oscuro diseñado para la investigación

