

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES DE YUCA Y QUINUA
PARA PROMOVER SU CONSUMO Y DIVERSIFICACIÓN EN LA
INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

MILTON HARRY TOLENTINO ASENCIOS

LIMA – PERÚ

2023

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual de la UNALM)**

Document Information

Analyzed document	Tesis_Harry.Tolentino_VF.docx (D143560673)
Submitted	9/3/2022 9:45:00 PM
Submitted by	PEDRO PABLO UGARTE ESPINOZA
Submitter email	pugarte@lamolina.edu.pe
Similarity	1%
Analysis address	pugarte.unalm@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Tesis Final (7).docx Document Tesis Final (7).docx (D29235642)	 1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / TESIS GALLETAS DE MORINGA - KESHIA OJEDA 220722.docx Document TESIS GALLETAS DE MORINGA - KESHIA OJEDA 220722.docx (D143029568) Submitted by: jcalderonv@lamolina.edu.pe Receiver: jcalderonv.unalm@analysis.orkund.com	 1

Entire Document

l.1. PRUEBAS SENSORIALES Cada una de las muestras obtenidas fueron sometidas a una evaluación sensorial por 84 panelistas no entrenados y consumidores del producto, quienes realizaron un test de aceptabilidad general. Esto de acuerdo a lo recomendado por Liria (2007) quien indica que para las pruebas de preferencia/aceptabilidad de un producto se requieren entre 75 a 150 panelistas por prueba, los cuales son reclutados por ser usuarios del producto y conocen ciertas características del mismo.

Los tratamientos a evaluar fueron codificados con números aleatorios y presentados utilizando un diseño de bloques incompletos (ANEXO 1) según lo sugerido por Watts et al. (1989), quien indica que las muestras se deben codificar con números aleatorios y el orden de presentación para estas puede estar aleatorizado para cada panelista o de ser posible estar balanceado (de modo que todos los tratamientos presenten la misma probabilidad de ser probados por primera vez y se reduzca el error).

Para la evaluación sensorial se usó una escala gráfica lineal (ANEXO 2), cuyos extremos presentaron denominaciones de: me gusta mucho y me disgusta mucho (

Lage, 2006). Se usó la escala gráfica lineal debido a que el diseño de mezclas requiere de datos continuos y no discretos, para ello el panelista tuvo que hacer una marca vertical en el punto que representaba su valoración (Lage, 2006).

McPherson y Randall (1985) indican que la escala gráfica lineal proporciona datos continuos que se aproximan a una distribución normal, que es la hipótesis de partida del análisis estadístico habitual.

Antes de cada evaluación se explicó a los panelistas la manera de como llenar el formato de evaluación. Así mismo, se les indicó mantener un orden específico al momento de probar las muestras. Se les pidió que evaluaran cada muestra y reflejaran su opinión marcando una línea vertical sobre la recta de 17 cm que constaba de un anclaje con las expresiones “me disgusta mucho” y “me gusta mucho” a la izquierda y a la derecha respectivamente. Todos los panelistas tuvieron a disposición un vaso lleno con agua, para tomar un poco de agua a modo de enjuague para pasar de una muestra a otra. Se permitió a los panelistas volver a probar las muestras ya evaluadas y corregir sus evaluaciones si lo creían pertinente; ya que Lage (2006) indican que este procedimiento disminuye errores.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES DE YUCA Y QUINUA PARA
PROMOVER SU CONSUMO Y DIVERSIFICACIÓN EN LA INDUSTRIA
ALIMENTARIA”**

Presentado por:

MILTON HARRY TOLENTINO ASENCIOS

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Américo Guevara Pérez

PRESIDENTE

Dra. Ritva Repo Carrasco

MIEMBRO

Dra. Bettit Salvá Ruiz

MIEMBRO

M. Sc. Gloria Pascual Chagman

ASESORA

Ing. Fredy Quispe Jacobo

CO-ASESOR

Lima - Perú

2023

DEDICATORIA

A mis padres Doris y Armando, por haberme forjado en el camino del bien, por todo el amor brindado desde que llegue a este mundo y hacer de mi un hombre correcto, con valores y principios. Muchos de mis logros definitivamente se los debo a ustedes, entre los que se incluye este trabajo. Son mi mayor fuente inspiración a seguir mejorando día a día y seguir logrando cada una de mis metas

¡Gracias por todo siempre, mamá y papá!

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la vida y por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia, padres y hermanos, por apoyarme y ser manantial de inspiración y fortaleza para cada cosa que hago, a la vida que en el día a día me demuestra que es bella y debe disfrutarse plenamente

A Brigitte, por todo el amor que me brinda, por motivarme constantemente a hacer mejor las cosas, por estar ahí siempre, dándome su apoyo y aliento en el desarrollo de este trabajo, por su presencia en los momentos difícil de la vida y por sus sonrisas que matizan los bellos momentos, de dicha y alegría; por ser una gran compañera vida. ¡Gracias Brimi!

A mis amigos de la universidad, por su hermosa y sincera amistad, quienes me permitieron gozar vivencias únicas y disfrutar de la maravillosa vida universitaria

A los docentes de la facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Agraria La Molina, por forjarme y alimentar de buenos conocimientos

A la M. Sc. Gloria Jesús Pascual Chagman quién muy amablemente aceptó ser asesora de este trabajo y me brindó todo su apoyo gestionando los permisos necesarios para el uso de equipos de laboratorio y revisión del borrador de tesis

A mis jurados el Dr. Américo Guevara, Dra. Bettit Salvá, Dra. Ritva Repo-Carrasco por sus observaciones, las cuales ayudaron a enriquecer la presente tesis

Al Dr. Eduardo Morales por orientarme en la parte inicial de este trabajo y al Ing. Oscar Crisóstomo por ser guía y apoyo durante el análisis de resultados de la parte experimental y estadística. ¡Mil gracias siempre!

Al Ing. Freddy Quispe y la Ing. Karina Capa por todo su apoyo brindado durante la ejecución de esta investigación y por todas las facilidades brindadas en el INIA

A los técnicos de laboratorio, Señor Max, Juan, Sarita, gracias por toda su disponibilidad y paciencia brindada en el desarrollo de la parte experimental

A Blanca, por su amistad sincera, por todo el aliento e insistencia brindada para completar la parte final de este trabajo. ¡Gracias Blanquita!

A Fátima, por su bella amistad y aliento durante el desarrollo de este trabajo. Por todos y cada uno de los permisos otorgados en la empresa. ¡Gracias Fátí!

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria y el proyecto: Descubriendo el potencial de la yuca peruana mediante la utilización de la diversidad genética superior y de tecnologías de producción y procesamiento industrial para su puesta en valor; Convenio INIA-CIAT, por el financiamiento para el desarrollo del trabajo de investigación

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. LA YUCA	3
2.1.1. GENERALIDADES	3
2.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA YUCA	4
2.2. HARINA DE YUCA.....	5
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	5
2.2.2. FACTORES DE CALIDAD – GENERALES	6
2.2.3. FACTORES DE CALIDAD ESPECÍFICOS	6
2.2.4. CONTAMINANTES.....	6
2.3. LA QUINUA.....	7
2.3.1. FITOLOGÍA, CLASIFICACIÓN Y CULTIVO.....	7
2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE QUINUA	9
2.3.3. ÍNDICE DE CALIDAD PROTEICA.....	10
2.3.4. HARINA DE QUINUA	10
2.4. HARINA DE TRIGO.....	11
2.5. GALLETAS	11
2.6. PROCESOS DE GALLETERIA	12
2.6.1. EL CREMADO	12
2.6.2. EL MEZCLADO “TODO EN UNO”	13
2.6.3. EL AMASADO	13
2.7. ADITIVOS ALIMENTARIOS	13
2.8. FUNCIONALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y COMPONENTES EN 14	
LAS GALLETAS	14
2.8.1. COMPONENTES BÁSICOS.....	14
2.8.2. COMPONENTES MEJORADORES DE LA GALLETA	17
2.9. ACTIVIDAD DE AGUA.....	19

2.10. DISEÑO DE MEZCLAS	20
2.10.1. ASPECTOS GENERALES	21
2.10.2. RELACION ENTRE EL DISEÑO DE MEZCLAS Y LA METODOLOGIA.....	21
2.10.3. METODO DE SUPERFICIE RESPUESTA	21
2.10.4. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS	22
2.10.5. DISEÑOS DE TRATAMIENTOS PARA MEZCLAS.....	23
2.11. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS RESPUESTAS	24
2.11.1. FUNCION DESEABILIDAD GLOBAL	25
2.12. PRUEBAS DE CONSUMIDORES	26
2.12.1. DEFINICION, APLICACIONES Y TIPOS DE PRUEBAS DE CONSUMIDORES.....	26
2.12.2. TIPOS DE ESCALA MAS UTILIZADAS PARA PRUEBAS EN CONSUMIDORES.....	28
III. METODOLOGÍA	30
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	30
3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS	30
3.2.1. MATERIA PRIMA	30
3.2.2. INSUMOS	30
3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS	31
3.3.1. MATERIALES.....	31
3.3.2. EQUIPOS	31
3.3.3. SOFTWARE.....	32
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	32
3.4.1. MATERIA PRIMA	32
3.4.2. PRODUCTO FINAL.....	32
3.5. PRUEBAS SENSORIALES	34
3.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
3.6.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE YUCA	35
3.6.2. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA.....	37
3.6.3. PRUEBAS PRELIMINARES PARA ESTABLECER LA FÓRMULA.....	39
3.6.4. FORMULACIÓN ESTABLECIDA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GALLETAS	40

3.6.5. FLUJO DE OPERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LAS GALLETAS A PARTIR DE HARINAS DE YUCA Y QUINUA.....	42
3.6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. OBTENCIÓN DE LAS HARINAS	50
4.1.1. RENDIMIENTOS OBTENIDO PARA LAS HARINAS DE QUINUA Y YUCA	50
4.2. GRANULOMETRÍA DE LAS HARINAS	52
4.3. ANÁLISIS QUIMICO DE LAS HARINAS	54
4.4. ELABORACIÓN DE LA GALLETA	56
4.4.1. COMPORTAMIENTO DE LA MASA	56
4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMULACIONES OBTENIDAS POR DISEÑO DE MEZCLAS	57
4.5.1. ANÁLISIS QUÍMICO	57
4.5.2. ACEPTABILIDAD GENERAL.....	58
4.5.3. PROTEÍNAS	62
4.5.4. GRASA.....	66
4.5.5. ESFUERZO DE CORTE	70
4.5.6. OPTIMIZACIÓN MULTIRESPUESTA	73
4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA FÓRMULA OPTIMIZADA	75
4.6.1. EVALUACIÓN FISICOQUIMICA.....	75
4.6.2. COMPUTO AMINOACIDICO TEÓRICO PARA LA GALLETA OPTIMIZADA	79
V. CONCLUSIONES	82
VI. RECOMENDACIONES.....	83
VII. BIBLIOGRAFÍA	84
VIII. ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de la yuca.....	4
Tabla 2: Composición química de la quinua y algunos cereales	9
Tabla 3: Requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua	11
Tabla 4: Rangos de sustitución para cada tipo de harina.....	40
Tabla 5: Porcentaje de participación de los ingredientes presentes en la matriz fija	40
Tabla 6: Porcentaje de participación de las harinas para cada uno de los tratamientos evaluados, con respecto a la matriz variable	42
Tabla 7: Porcentaje de participación de las harinas para los tratamientos evaluados en los ensayos definitivos, en base harina	42
Tabla 8: Diseño experimental para la obtención de la formulación optima de galletas dulces a partir de harina de yuca, trigo y quinua	46
Tabla 9: Porcentaje de rendimiento, para la obtención de harina de quinua y yuca	50
Tabla 10: Resultados de la granulometría de la harina de yuca y quinua	52
Tabla 11: Resultados porcentuales del Análisis químico para las harinas de quinua, yuca y trigo, expresado en g/100 g base seca.....	54
Tabla 12: Resultados porcentuales del análisis químico de los tratamientos evaluados, expresados en g/100g base seca.....	57
Tabla 13: Resultados promedio de las valoraciones obtenidas en la evaluación de la aceptabilidad general de las galletas de los 10 tratamientos	59
Tabla 14: Resultado promedio del porcentaje de proteínas para cada tratamiento, expresado en base seca	63
Tabla 15: Resultado promedio del porcentaje de grasa expresado en base seca, para cada tratamiento.....	67
Tabla 16: Fuerza de corte para los diez tratamientos obtenidos.....	70
Tabla 17: Condiciones para la optimización múltiple de las variables respuesta	73
Tabla 18: Resultados de la optimización múltiple de respuestas	74
Tabla 19: Resultado porcentual del análisis químico de la fórmula optimizada, expresados en base seca	75
Tabla 20: Resultados de la prueba de aceptabilidad, esfuerzo de corte, color, actividad de agua, acides y pH de la galleta elaborada con la fórmula optimizada.....	77
Tabla 21: Digestibilidad promedio, PDCAAS y cómputo aminoacídico (C.A), calculados teóricamente para la fórmula optimizada	79

Tabla 22: Calidad proteica de la quinua en relación con otros alimentos 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Raíces de yuca (a) y corte transversal (b)	4
Figura 2: Sección longitudinal media del grano de quinua	8
Figura 3: Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad del agua.....	20
Figura 4: Sistema de coordenadas trilineales en diseño de mezclas.....	23
Figura 5: Diseño simplex reticular para $p = 3$ componentes	24
Figura 6: Diseño de centroides simples para $p=3$ componentes	24
Figura 7: Ejemplo de una optimización simultánea	25
Figura 8: Ejemplo de escala gráfica lineal de 17 cm, con anclajes verbales.....	29
Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de harina de yuca.....	36
Figura 10: Flujo de operaciones para la obtención de harina de quinua	38
Figura 11: Flujo de operaciones para la obtención de galletas a partir de harina de yuca y quinua	43
Figura 12: Flujo de operaciones con rendimientos detallados para cada etapa del proceso de obtención de harina de yuca	51
Figura 13: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización de la variable respuesta aceptabilidad	60
Figura 14: Gráfico de contornos para la variable respuesta aceptabilidad	61
Figura 15: Diagrama de Cox para la variable respuesta aceptabilidad	62
Figura 16: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización del contenido proteico	64
Figura 17: Gráfico de contornos para la variable respuesta proteína	65
Figura 18: Diagrama de Cox para la variable respuesta proteína.....	66
Figura 19: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización de la variable respuesta porcentaje de grasa	68
Figura 20: Gráfico de contornos para la variable respuesta grasa.....	69
Figura 21: Diagrama de Cox para la variable respuesta grasa	70
Figura 22: Gráfico de superficie respuesta para la optimización del esfuerzo de corte	71
Figura 23: Gráfico de contornos para la variable, esfuerzo de corte	72
Figura 24: Diagrama de Cox para la variable respuesta esfuerzo de corte.....	73
Figura 25: Gráfico de contornos para la optimización multirespuesta, donde se muestra el punto óptimo de la formulación junto a la deseabilidad global.....	75
Figura 26: Influencia de la A_w y del pH en la estabilidad de los alimentos	78

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ESQUEMA EMPLEADO PARA EL DISEÑO DE BLOQUES INCOMPLETOS	94
ANEXO 2: FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL	95
ANEXO 3: CARTILLA PARA SELECCIÓN DEL PANELISTA	96
ANEXO 4: FORMULACIÓN BASE INICIAL PARA LA ELABORACIÓN DE GALLETAS DULCES	97
ANEXO 5: CANTIDAD DE PERSONAS, CUYA VALORACION DE CADA TRATAMIENTO SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANGO DE PUNTUACION ESTABLECIDA.....	97
ANEXO 6: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE ACEPTABILIDAD GENERAL	98
ANEXO 7: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE PORCENTAJE DE PROTEINAS	98
ANEXO 8: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE PORCENTAJE DE GRASA	98
ANEXO 9: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE ESFUERZO DE CORTE	98
ANEXO 10: SOLUCIONES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACION MULTIRESPUESTA	99
ANEXO 11: NECESIDADES DE AMINOÁCIDOS PARA DIFERENTES EDADES ...	99
ANEXO 12: DETALLE DEL CÁLCULO DE LA DIGESTIBILIDAD, C.A Y EL PDCAAS DE LA FÓRMULA OPTIMIZADA	100

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo sustituir parcialmente la harina de trigo por harina de yuca y quinua en la elaboración de una galleta dulce con atributos sensoriales aceptables, utilizando el diseño de mezclas *simplex-Láticce* modelo cúbico. Se determinó el porcentaje de participación de los componentes en la mezcla, mediante pruebas preliminares. Se aplicó el diseño de mezclas para tres componentes: Harina de trigo, harina de yuca y harina de quinua, obteniendo diez formulaciones. Para cada formulación, se evaluaron cuatro variables respuesta (Aceptabilidad general, porcentaje de proteínas, porcentaje de grasa y esfuerzo de corte) determinando el modelo matemático al que mejor se ajustan cada una de las variables, así como la influencia que tienen los componentes de la mezcla en la variable respuesta. Se observó que, para la aceptabilidad, las harinas de trigo y yuca contribuyen en el aumento de esta, para el porcentaje proteico las harinas de trigo y quinua aportan positivamente, mientras que las harinas de yuca y quinua contribuyen a incrementar el esfuerzo de cortes de las galletas. Se realizó la optimización múltiple de las variables maximizando la aceptabilidad y el porcentaje proteico, minimizando para el caso de la grasa y en el caso del esfuerzo de corte manteniendo un valor objetivo. Como resultado del análisis multivariable, se obtuvo tres formulaciones optimizadas y se eligió la que mayor deseabilidad presentó, que comprendía de 22.90 por ciento de harina de trigo, 15 por ciento de la harina de yuca y un 12.10 por ciento de harina de quinua. Para finalizar se realizó una caracterización fisicoquímica de la galleta optimizada, obteniendo porcentajes de ceniza (1.72), grasa (16.39), proteína (6.71), fibra (0.71) y carbohidratos (74.47); así mismo el cálculo de la digestibilidad proteica teórica, PDCAAS y computo aminoacídico fue de 83.67, 100.4 y 84 por ciento respectivamente. La evaluación sensorial realizada, arrojó como valor promedio de 7.05 en la escala hedónica lineal de 9 puntos, este resultado corresponde a un producto aceptable.

Palabras clave: Diseño de mezclas, harina de yuca, aceptabilidad general, proteína, grasa, esfuerzo de corte.

ABSTRACT

The objective of this research was to replace wheat flour with cassava and quinoa flour in the production of a sweet biscuit with acceptable sensorial attributes, applying the simplex-Láticce cubic model mix design. First, the percentage of the participation of the components in the mixture was determined by preliminary tests, then the mixture design was applied for three components: Wheat flour, cassava flour and quinoa flour, obtaining ten formulations. For each formulation, four responses were evaluated (general acceptability, protein percentage, fat percentage and shear force) determining the mathematical model that best fit to each one of the variables, as well as the influence of the components of the mixture on the response variable. It was observed that, for the case of acceptability, the wheat and cassava flour contribute in the increase of this, for the protein percentage the wheat and quinoa flours contribute positively, whereas the cassava and quinoa flour contribute to increase the shear force of the cookies. Next, the multiple optimizations of the variables was performed, maximizing the acceptability and the protein percentage, minimizing for the case of the fat and in the case of the shear force maintaining a target value. Then, three optimized formulations were obtained and the highest desirability was selected, which comprised 22.90 percent of wheat flour, 15 percent of cassava flour and 12.10 percent of quinoa flour. Finally, a physicochemical characterization of the optimized cookie was performed, obtaining percentages of ash (1.72), fat (16.39), protein (6.71), fiber (0.71) and carbohydrates (74.47); Likewise, the calculation of the theoretical protein digestibility, PDCAAS and amino acid count was 83.67, 100.4 and 84 percent respectively. The sensory evaluation performed, as an average value of 7.05 in the linear hedonic scale of 9 points, this result corresponds to an acceptable product.

Key words: Design of mixtures, cassava flour, general acceptability, protein, fat, shear force.

I. INTRODUCCIÓN

Las galletas son uno de los productos de aperitivo más consumidos en todo el mundo por todos los niveles de la sociedad (Okpala y Okoli, 2013), su popularidad se debe a su sabor dulce, naturaleza lista para comer, costo asequible, valor nutricional y larga vida útil (Vujić *et al.*, 2014).

La yuca (*Manihot esculentum Crantz*), es una planta perteneciente a la familia *Euforbiaceae*, originaria del trópico americano donde se ha cultivado quizás por cuatro mil años. Es uno de los cultivos con mayor potencial de producción energética bajo condiciones agronómicas y socio económicas limitadas, ya que presenta amplia aceptación, resistencia a la sequía, tolerancia a suelos pobres, relativa facilidad del cultivo y altos rendimientos. Así mismo representa la fuente de calorías más barata para el hombre y uno de los alimentos básicos más baratos en los centros urbanos (Cock, 1989).

Debido a que la yuca tiene un bajo contenido proteico (1-2 por ciento), las poblaciones que la consumen mucho no reciben una ingesta adecuada de proteínas de buena calidad. Sin embargo, el bajo contenido de proteínas requiere de una complementación nutricional que proporcione un adecuado aporte en aminoácidos esenciales, o fuentes proteicas ricas en aminoácidos limitantes, entre los alimentos que pueden complementar adecuadamente tenemos a la quinua. La harina de yuca, por sus propiedades puede ser utilizada como materia prima en la industria alimenticia para la producción de productos de panadería (Ayankunbi *et al.*, 1991), con ello la diversificación del consumo de este recurso, subutilizado en muchas regiones del Perú, se vería incrementada.

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), un alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas, es un excelente complemento, siendo este un cultivo con alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria de diversas regiones del planeta, especialmente en aquellos lugares donde la población no tiene acceso

a fuentes de proteína o donde las condiciones de producción son limitadas por la escasa humedad, la baja disponibilidad de insumos y la aridez (FAO, 2011). Lo anteriormente mencionado, ha sido utilizado como base para sustituir parcialmente la harina de trigo, a fin de obtener un alimento popular con un contenido de este importante aminoácido.

El objetivo principal de la investigación fue:

- Elaborar una galleta dulce mediante la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de yuca y quinua, utilizando el diseño de mezclas

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar la formula óptima a través de la optimización múltiple de las variables respuesta (aceptabilidad general, porcentaje de proteínas, porcentaje de grasa, esfuerzo de corte)
- Realizar el computo aminoacídico teórico para la formulación optimizada
- Realizar el análisis químico para la formula optimizada

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA YUCA

2.1.1. GENERALIDADES

La yuca (*Manihot esculenta*) pertenece a la familia Euphorbiaceae. El género *Manihot* solo se encontraba en América antes del descubrimiento; se cultiva en la mayoría de las regiones en donde existen las especies de *Manihot silvestre* y no se conoce sus progenitores silvestres, ni se ha determinado con certeza el área o las áreas en donde la yuca fue domesticada (Cock, 1989).

La yuca es una planta resistente y de fácil crecimiento, que se puede encontrar desde cero hasta los mil metros por encima del nivel del mar. Es un alimento tradicional en Latino América y permite ser preparada en una extensa gama de formas. La yuca es un cultivo perenne con alta producción de raíces reservantes, como fuente de carbohidratos y follajes para la elaboración de harinas con alto porcentaje de proteínas. Las características de este cultivo permiten su total utilización, el tallo (estacón) para su propagación vegetativa, sus hojas para producir harinas y las raíces reservantes para el consumo en fresco, la agroindustria o la exportación (Ceballos y De la Cruz, 2002).

Combariza y Sánchez (2006) indican que investigaciones realizadas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Corroboran la importancia de la yuca como cultivo de amortiguación de la pobreza rural, pues ha demostrado su ventaja comparativa en zonas marginales donde, debido a que se adapta a condiciones extremas en comparación con otros cultivos alternativos, siendo la yuca uno de los cultivos más rentables. Asimismo, la yuca es importante como cultivo de subsistencia por su alta producción de calorías por unidad de área, por la cantidad de mano de obra requerida en el cultivo, por la estabilidad de sus rendimientos y por el largo periodo de cosecha potencial.

En la Figura 1 se muestra las raíces de yuca con su respectivo corte transversal donde se señalan los tejidos que la componen: La cascara, la pulpa y las fibras centrales desde la parte externa hacia el interior.

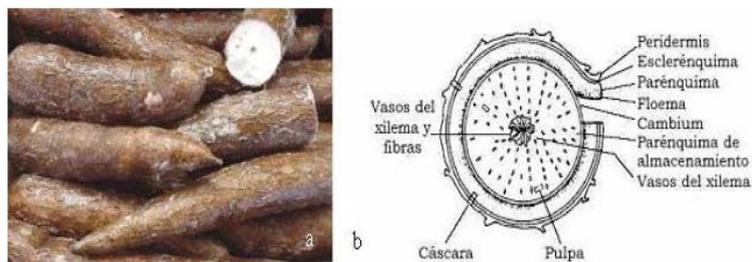


Figura 1: Raíces de yuca (a) y corte transversal (b)

FUENTE: Ceballos y De la Cruz (2002)

2.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA YUCA

En la Tabla 1 se presenta la composición química de la yuca.

Tabla 1: Composición química de la yuca

Constituyentes	Porcentaje
Humedad	61.0
Carbohidratos	34.9
Proteína	1.2
Grasa	0.4
Ceniza	1.3
Fibra	1.2

FUENTE: Alvarado (2009)

Las raíces constituyen un alimento energético, por un elevado contenido de hidratos de carbono, siendo este 92.75 por ciento para la yuca amarilla y 90.80 para la yuca montaña. La fracción proteica de la yuca fluctúa entre 1.55 por ciento y 1.84 por ciento (base seca); se caracteriza por el contenido de casi todos los aminoácidos esenciales en una proporción adecuada, siendo su limitante su bajo porcentaje de metionina (Rojas, 2001). La yuca se caracteriza por un elevado contenido de humedad que oscila de 58 a 68 por ciento, lo cual trae como consecuencia la rápida descomposición del tubérculo durante su almacenamiento, de ahí que en el periodo entre la cosecha y su industrialización debería ser de un máximo de cuatro días (Pardio y Waliszewski, 1994).

2.2. HARINA DE YUCA

La harina de yuca es un producto blanco y fino, que se obtiene del secado y molienda de las raíces de yuca, puede utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pastas, galletas, mezclas para tortas, entre otros. De su aplicación en panificación, se obtiene un pan de alto contenido en fibra, muy conveniente en una sociedad preocupada por la buena salud y nutrición (Cobeña e Hinojosa, 1996).

Según el Codex Alimentarius (1989) y el INACAL (2014), La harina de yuca comestible (*Manihot esculenta Crantz*) es el producto que se obtiene de las hojuelas o pasta de yuca con un proceso de pulverización y molienda, seguido del cernido para separar la fibra de la harina. En el caso de la harina de yuca comestible preparada con la yuca amarga (*Manihot utilisima Pohl*), se efectuará la detoxificación remojando los tubérculos en agua por varios días antes de dejarlos secar en forma de tubérculo entero molido (pasta) o de trozos pequeños.

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

La harina de yuca es un producto que se obtiene del secado y molienda de las raíces de yuca, es un alimento muy rico en hidratos de carbono (85 por ciento y aunque pobre en grasas y proteínas, es un alimento muy digestivo, y nos aporta de forma moderada vitaminas del grupo B, potasio, magnesio, calcio, hierro y vitamina C (Henao, 2004).

La yuca puede convertirse en una harina de alta calidad para utilizarse como sustituto de la harina de trigo, maíz y arroz entre otros. En formulaciones de alimentos tal como pan debe usarse un buen suplemento enzimático ya que endurece el producto y oscurece la miga, en pastas es posible sustituir entre un 20-35 por ciento. También se puede utilizar la yuca para la producción como espesante y extensor de sopas deshidratadas, condimentos, papilla para bebé y dulces. Esta harina se emplea para alimento animal en los concentrados para aves, camarones, cerdo y ganado lechero (Romero y Albornoz, 2004).

La harina de yuca puede utilizarse en formulaciones de alimentos tales como pan, pastas y mezclas para tortas. Adicionalmente se podría combinar con harinas de otras fuentes para

obtener productos que presenten un balance en los requerimientos diarios de vitaminas, minerales esenciales y calidad proteínica. Esta harina se considera un alimento nutritivo, de sabor delicado, muy liviano y de fácil digestión, y es utilizado en la preparación de alimentos dietéticos, especialmente para personas que son intolerantes al gluten (Alvarado, 2009).

2.2.2. FACTORES DE CALIDAD – GENERALES

Según el INACAL (2014), la harina de yuca comestible debe presentar las siguientes características:

- Deberá ser inocua y apropiada para el consumo humano.
- Deberá estar exenta de sabores, olores extraños y de insectos vivos.
- Deberá estar exenta de suciedad (Impurezas de origen animal, incluidos insectos muertos) en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.

2.2.3. FACTORES DE CALIDAD ESPECÍFICOS

El contenido de humedad máximo que puede presentar la harina de yuca comestible es de 13.0 por ciento base seca (b.s.) máximo. Para determinados destinos, por razones de clima, duración del transporte y almacenamiento, deberían requerirse límites de humedad más bajos INACAL (2014).

Contenido de ácido Cianhídrico de la harina de yuca comestible, no deberá exceder de 10mg/kg INACAL (2014).

2.2.4. CONTAMINATES

Los contaminantes de la harina de yuca comestible, según el INACAL (2014), son los siguientes:

- **Metales pesados:** La harina de yuca, deberá estar exenta de metales pesados en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.
- **Residuo de plaguicidas:** La harina de yuca deberá ajustarse a los límites máximos para residuos establecidos por la legislación nacional vigente o de lo contrario por la comisión del Codex Alimentarius para este producto.

2.3. LA QUINUA

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13,81 y 21,9 por ciento dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO (2011).

Alía y Gonzales (2003) indican que el contenido de proteínas de la quinua es mayor que el del arroz y el maíz y similar al trigo duro. Menciona que están formadas por albúminas y globulinas, principalmente, y el bajo contenido en prolaminas y glutelinas motiva a que se afirme que la quinua no tiene gluten. La carencia de gluten puede ser un factor restrictivo para el empleo de la harina de quinua en panificación, pero es de gran utilidad para su utilización en la dieta de personas sensibles a las que la presencia de gluten ocasiona afecciones de colon e importantes lesiones intestinales. Las proteínas de la quinua presentan una proporción de aminoácidos más equilibrada que la de los cereales especialmente en lisina, histidina y metionina, lo que le proporciona un valor especial en las dietas vegetarianas.

La quinua presenta una sustancia llamada saponinas, la cual se concentra en las capas externas del pseudo-grano, principalmente en el pericarpio, ésta suele ser considerada como un antinutriente, frecuentemente asociado a los lípidos. Estas sustancias se pueden eliminar con lavado de los granos en agua fría (Ogungbenle, 2003).

2.3.1. FITOLOGÍA, CLASIFICACIÓN Y CULTIVO

Desde el punto de vista botánico, la quinua se asigna a los *Chenopodiceae* y su nombre botánico es *Chenopodium quinoa Willd.* La quinua es una planta anual con un tallo erecto, que lleva hojas alternas que son de color variado de blanco, amarillo o marrón a rojo debido a la presencia de β -cianinas. La mayoría de las variedades difieren en su morfología y fenología y en la composición química de sus tejidos (Bertero *et al.*, 2004).

La quinua no es un verdadero grano de cereal: es un llamado pseudo-cereal, que es dicotiledóneo. Por el contrario, los cereales son monocotiledóneos. A pesar de esto, los pseudo-cereales son similares en la composición. La quinua, dependiendo de la densidad de siembra, puede crecer de 1 a 3 m de altura. Las raíces pueden alcanzar una profundidad de hasta 1,5 m por debajo de la superficie, lo que protege a la planta contra la sequía. El tallo es cilíndrico, de 3,5 cm de diámetro, y puede ser una recta o ramificada. Las hojas presentan polimorfismo, las hojas superiores son lanceoladas, mientras que las hojas inferiores son romboidales (Hunziker, 1943).

La semilla de quinua comprende varias capas, pericarpio, capa de semilla y Perispermo desde el exterior hacia el interior (Figura 2) y puede ser cónica, cilíndrica o elipsoidal, con saponinas concentradas En el pericarpio. En la semilla madura, el endospermo está presente sólo en la región microcapilar de la semilla y consiste en una o dos capas (Valencia-Chamorro, 2004).

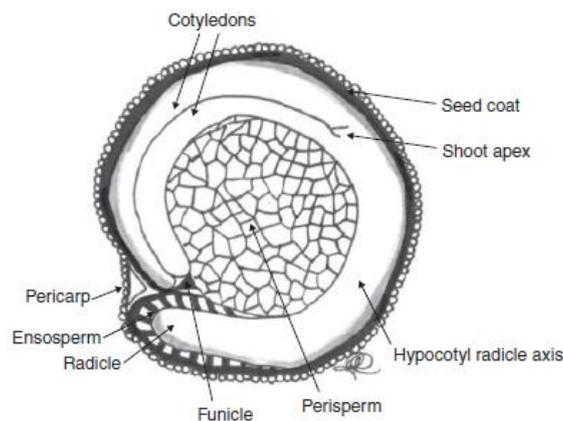


Figura 2: Sección longitudinal media del grano de quinua

FUENTE: Valencia-Chamorro (2004)

Los granos de quinua tienen formas diferentes: cónicos, cilíndricos y elipsoidales, tamaños por debajo de 2.6mm de diámetro, y pueden ser de diferente color: blanco, amarillo, rosado, café y negro. En este pseudocereal se pueden identificar el endosperma (cotiledones y radícula), el perisperma (granos de almidón) y la episperma, que vienen a ser capas externas que recubren la semilla (Quiroga y Escalera, 2010).

2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE QUINUA

La quinua se denomina pseudocereal por su alto contenido de carbohidratos, principalmente de almidón (50-60 por ciento) que hace que se emplee como un cereal; sin embargo, normalmente su grasa es más alta que la de estos y su proteína mayor (Romo *et al.*, 2006). Kent (1987) indica que la calidad de la proteína está determinada por la cantidad de aminoácidos esenciales y por su digestibilidad que se aproxima al 80 por ciento.

El almidón se presenta en gránulos pequeños, localizados en el perisperma, con cerca del 20 por ciento de amilosa, y gelatiniza entre 55 y 65 °C. Los azúcares libres llegan al 6,2 por ciento. La fibra insoluble se ha cuantificado en 5,31 por ciento; la soluble en 2,49 por ciento y la dietética total en 7,80 por ciento (Repo-Carrasco, 1992). Se considera libre de gluten porque su proteína está conformada principalmente por albúminas y globulinas solubles en agua o soluciones salinas débiles, lo que dificulta su uso en la panificación, pero puede ser útil para alérgicos al gluten (Pajarito, 2005).

En general, la semilla de quinua se caracteriza por presentar mayor contenido de proteínas y lípidos y menor contenido de almidón en relación con los principales cereales (trigo, cebada, maíz y arroz). Las semillas de quinua son también particularmente ricos en aminoácidos esenciales, especialmente lisina, triptófano y cisteína. (Konishi *et al.*, 2004). En la Tabla 2, se da la composición química media de la quinua en comparación con algunos Otros granos alimenticios (trigo, cebada, maíz y arroz).

Tabla 2: Composición química de la quinua y algunos cereales

Composición (g/100g)	Quinua	Avena	Trigo	Cebada	Maíz	Arroz
Carbohidratos	61-74	58.7	69	70	66	78
Proteína	14-16.5	14	14	12	13	8
Grasa	5-10	8	2	1	4	1
Fibra	2-3	8	2.3	4	3	2
Ceniza	3	1.8	2	2-3	2	1
Humedad	10-13	8.5	13	13	15	15

FUENTE: Valencia-Chamorro (2004)

2.3.3. ÍNDICE DE CALIDAD PROTEICA

La calidad de la proteína está determinada por la cantidad de aminoácidos esenciales y por su digestibilidad que se aproxima al 80%; los valores máximos para este parámetro, cercanos al 100% son para la carne y la leche. Para evaluar la calidad de proteína se emplean los siguientes parámetros: **Puntaje**, es la relación entre los miligramos de aminoácidos recomendados para cada grupo de edad y los miligramos de aminoácidos que aporta el alimento; **índice de calidad proteica**, es la relación de los requerimientos de proteína con el aminoácido limitante en sujetos de la misma edad (Romo *et al.*, 2006).

2.3.4. HARINA DE QUINUA

La harina de quínoa se emplea como sustituto de la harina de trigo en la elaboración de pan, galletas, pastas, alimentos extrusionados tipo “snack”, alimentos para niños, papillas y menús de nueva moda (Alfía y González, 2003).

Según el INACAL (2013), los requisitos generales que esta debe presentar, son los siguientes:

- Deber ser inocua y apropiada para el consumo humano, pudiendo contener los aditivos permitidos por la legislación nacional vigente, el país de destino o lo establecido por el Codex Alimentarius.
- Los límites máximos para residuos de plaguicidas en la harina de quinua no deberán exceder los establecidos por el Codex Alimentarius y/o el país de destino para este producto.
- Debe estar sana y limpia.

Los requisitos organolépticos según el INACAL (2013), son los siguientes:

- Aspecto: Exenta de toda sustancia o cuerpo extraño a su naturaleza
- Color: Blanco, blanco cremoso, blanco amarillento o color característico según variedad o variedades.
- Olor y sabor: Característico de la harina de quinua. La harina de quinua deberá estar exenta de sabores y olores extraños.

- Consistencia: Polvo homogéneo sin aglomeraciones (grumos) de ninguna clase, considerando la compactación natural de envasado y estibado.

En la Tabla 3, se detallan los requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua.

Tabla 3: Requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua

REQUISITO	PORCENTAJE	LÍMITE
Humedad	13.5	Max
Proteína	10	Min
Fibra cruda	1.7	Min
Cenizas totales	3.0	Max
Grasa	4.0	Min
Carbohidratos por diferencia	72.7	Min

FUENTE: INACAL (2013)

2.4. HARINA DE TRIGO

El INACAL (2015) menciona que la harina de trigo es el producto destinado al consumo humano que se obtiene de la molienda gradual y metódica de granos limpios de trigo, de las especies *Tridicum Aestivum* o *Triticum durum*, durante el cual se retiran el salvado y germen, quedando principalmente en endospermo, el cual puede presentar diferentes grados de extracción. Debe estar fortificada con micronutrientes, según la normativa vigente.

Según INACAL (2015), la harina de trigo se puede clasificar de acuerdo al contenido de cenizas en los siguientes tipos:

- Harina de trigo especial
- Harina de trigo extra
- Harina de trigo morena

2.5. GALLETAS

INACAL (2016) indica que las galletas son productos obtenidos mediante el horneado apropiado de una masa (Sólida o semisólida), de las figuras formadas del amasado de

derivados del trigo u otras harinas sucedáneas, con otros ingredientes aptos, para el consumo humano. Estas pueden dividirse en los siguientes tipos:

- a. **Galletas Saladas.** Es aquel producto que cumple con la definición de galletas, anteriormente mencionada, que presenta un sabor predominantemente salado.
- b. **Galletas Dulces.** Es aquel producto que cumple con la definición de galletas, anteriormente mencionada, que tiene un sabor predominantemente dulce.
- c. **Galletas rellenas.** Es aquel producto que cumple con la definición de galletas, anteriormente mencionada, que contiene en su interior uno o más rellenos.
- d. **Galletas bañadas o con cobertura.** Es aquel producto que cumple con la definición de galletas, anteriormente mencionada, que podrá estar bañado parcial o totalmente por diferentes tipos de coberturas.

En cuanto a las condiciones de elaboración y requisitos fisicoquímicos que debe cumplir una galleta INACAL (2016), especifica lo siguiente:

- a. Deberán fabricarse en condiciones sanitarias aplicando las BPM.
- b. La harina de trigo debe cumplir la NTP 205.064 y las harinas sucedáneas NTP 205.040.
- c. **Requisitos fisicoquímicos:** Deberá presentar los siguientes valores, los cuales se indican como cantidades máximas permisibles:
 - Humedad : 12 por ciento
 - Cenizas totales : 3 por ciento
 - Índice de peróxido : 5 mg/kg
 - Acidez (Expresado en ácido láctico : 0.10 por ciento

2.6. PROCESOS DE GALLETERIA

2.6.1. EL CREMADO

Los ingredientes son mezclados con la grasa a fin de obtener una crema, prosiguiéndose con la adición de harina, pudiendo realizarse esta en dos o tres etapas. El de dos etapas consiste en mezclar todos los ingredientes incluyendo el agua (a menudo como agente emulsificante) con excepción de la harina y el agente químico durante 4 a 10 minutos de acuerdo al tipo y velocidad del mezclador; posteriormente se añade el bicarbonato de sodio y harina

continuando con el mezclado hasta adquirir una consistencia deseada. En el caso de tres etapas, se mezcla la grasa, azúcar, jarabe, líquido (leche o agua), cocoa, etc. hasta obtener una crema suave, agregándose el emulsificador y mayor cantidad de agua. Posteriormente se añade la sal, saborizante, colorante, el resto de agua mezclándose seguidamente con el propósito de mantener la crema y finalmente la harina, los agentes químicos y los otros ingredientes (Meneses, 1994).

2.6.2. EL MEZCLADO “TODO EN UNO”

Todos los ingredientes son mezclados en una sola etapa incluyendo el agua; parte del agua se utiliza para disolver los agentes químicos, saborizantes, colorantes, prosiguiéndose con el mezclado hasta obtener una masa satisfactoria (Meneses, 1994).

2.6.3. EL AMASADO

Consta de dos etapas: primero, la grasa, azúcar, jarabes, harinas y ácidos son mezclados hasta obtener una crema corta. Luego se añade agua (y/o leche) conteniendo los agentes alcalinos, sal, etc. mezclándose hasta alcanzar una masa homogénea. En la primera etapa, la harina es cubierta con la crema para actuar como una barrera contra el agua, formando el gluten con la proteína (Meneses, 1994).

2.7. ADITIVOS ALIMENTARIOS

Cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en los alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias dañinas al alimento para mantener o mejorar cualidades nutricionales (INACAL, 2016).

2.8. FUNCIONALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y COMPONENTES EN LAS GALLETAS

2.8.1. COMPONENTES BASICOS

a. HARINA

Las harinas blandas son indispensables para la elaboración de galletas, estas harinas se obtienen normalmente a partir de los trigos blandos de invierno cultivados en Europa. Su contenido proteico es normalmente inferior al 10%. La masa que se obtiene es menos elástica y menos resistente al estiramiento que la masa obtenida con harina fuerte (más del 10% de proteínas). Las proteínas del gluten pueden separarse en función de su solubilidad. Las más solubles son las gliadinas, que constituyen aproximadamente la tercera parte del gluten y contribuye a la cohesión y elasticidad de la masa, masa más blanda y más fluida. Las dos terceras partes restantes son las gluteninas, contribuyen a la extensibilidad, masa más fuerte y firme (Manley, 1989).

Al añadir agua a la harina se forma una masa a medida que se van hidratando las proteínas del gluten. Parte del agua es retenida por los gránulos rotos de almidón. Cuando se mezcla y se amasa la harina hidratada, las proteínas del gluten se orientan, se alinean y se despliegan parcialmente. Esto potencia las interacciones hidrofóbicas y la formación de enlaces cruzados disulfuros a través de reacciones de intercambio de disulfuro. Se establece así una red proteica tridimensional, viscoelástica, al transformarse las partículas de gluten iniciales en membranas delgadas que retienen los gránulos de almidón y el resto de los componentes de la harina (Fennema, 1996).

Las uniones entre las cadenas de glutenina se establecen a través de diferentes tipos de enlace, puentes disulfuro, enlaces entre los hidrógenos de los abundantes grupos amido de la glutamina, probablemente el más importante, pero también desempeñan un papel importante los enlaces iónicos y las interacciones hidrofobas. Si las galletas se hacen con una harina muy dura, resultan duras, más que crujientes y tienden a encogerse de forma irregular tras el moldeo. Estos problemas hacen necesario un estrecho control de las propiedades de la harina en la industria galletera. Una buena masa es aquella que puede

incorporar una gran cantidad de gas, y retenerlo, conforme la proteína se acomoda durante la cocción de la galleta. Para la obtención de la masa también se necesita un trabajo mecánico (amasado). Durante el desarrollo de la masa las gigantes moléculas de glutenina son estiradas en cadenas lineales, que interaccionan para formar láminas elásticas alrededor de las burbujas de aire. Las tensiones mecánicas son suficientes para romper temporalmente los enlaces de hidrógeno, que son de gran importancia para el mantenimiento de la unión de las distintas proteínas del gluten. Bajo las tensiones mecánicas, las reacciones de intercambio entre grupos sulfhidrilo vecinos permiten que las subunidades de glutenina adopten posiciones más extendidas. Estas reacciones de intercambio requieren la presencia de compuestos de bajo peso molecular con grupos sulfhidrilo, como el glutatión, presente en la harina en suficiente cantidad (10-50 mg por kg de harina) en tres formas: La forma libre (GSH), el dímero oxidado (GSSG) y el unido a la molécula de proteína (Coultate, 2007).

b. AZÚCARES

Los azúcares en su estado cristalino contribuyen decisivamente sobre el aspecto y la textura de las galletas. Además, los jarabes de los azúcares reductores también van a controlar la textura de las galletas. La fijación de agua por los azúcares y polisacáridos tiene una contribución decisiva sobre las propiedades de las galletas. La adición de azúcar a la receta reduce la viscosidad de la masa y el tiempo de relajación. Promueve la longitud de las galletas y reduce su grosor y peso. Las galletas ricas en azúcar se caracterizan por una estructura altamente cohesiva y una textura crujiente (Maache-Rezzoug *et al.*, 1989). El jarabe de glucosa (procedente del almidón) presenta una alta resistencia a la cristalización, aprovechándose para retener la humedad en las galletas (Coultate, 1984). Durante la cocción, los azúcares reductores controlan la intensidad de la reacción de Maillard que produce coloraciones morenas en la superficie (Manley, 1989).

La reacción de Maillard se produce en presencia de aminoácidos, péptidos y proteínas, cuando se calientan en una disolución de azúcar reductor en atmósfera seca, con una actividad de agua de entre 0,6 y 0,9. En la primera fase de la reacción se unen los azúcares y los aminoácidos produciendo la reestructuración de productos Amadori. En la segunda fase se da la formación inicial de colores amarillentos, también se producen olores algo desagradables. Los azúcares se deshidratan a reductonas o dehidrorreductonas y tras esto se

obtiene la fragmentación, que genera la formación de pigmentos oscuros en la tercera etapa, denominados melanoidinas; este mecanismo no es completamente conocido e implica la polimerización de muchos pigmentos formados en la segunda fase. Finalmente tiene lugar la degradación de Strecker, en esta fase se forman los denominados aldehídos de strecker que son compuestos con bajo peso molecular que son detectados fácilmente por el olfato. La intensidad de la reacción de Maillard es mayor a pH alcalino y los inhibidores de esta reacción son los sulfitos, los metabisulfitos, los bisulfitos y el anhídrido sulfuroso, estos inhibidores actúan en la etapa de inducción retardando la aparición de productos coloreados, pero no evitan la pérdida del valor biológico de los aminoácidos (Coultate, 2007).

c. GRASAS

Las grasas desempeñan una misión antiglutinante en las masas, contribuyen a su plasticidad y su adición suaviza la masa y actúa como lubricante. Además, las grasas juegan un papel importante en la textura de las galletas, ya que las galletas resultan menos duras de lo que serían sin ellas. La grasa contribuye, igualmente, a un aumento de la longitud y una reducción en grosor y peso de las galletas, que se caracterizan por una estructura fragmentable, fácil de romper (Coultate, 1984). Durante el amasado hay una competencia por la superficie de la harina, entre la fase acuosa y la grasa. El agua o disolución azucarada, interacciona con la proteína de la harina para crear el gluten que forma una red cohesiva y extensible. La grasa rodea los gránulos de proteína y almidón, rompiendo así la continuidad de la estructura de proteína y almidón (Suda et al., 2007).

Cuando algo de grasa cubre la harina, esta estructura se interrumpe y en cuanto a las propiedades comestibles, después del procesamiento, resulta menos áspera, más fragmentable y con más tendencia a deshacerse en la boca. La complicación es que las grasas son inmiscibles en el agua, por lo que es un problema para la incorporación de la grasa en la masa, puesto que es necesario que la grasa se distribuya homogéneamente por toda la masa. Esto hace críticos la cantidad de sólidos y el tamaño de los cristales (la plasticidad de la grasa) y se precisa prestar atención a la temperatura y condiciones de los tratamientos si se quiere conseguir el efecto deseado. En las masas para galletas se necesita una distribución homogénea de la grasa, el problema radica en la competencia por la superficie de la harina entre las fases acuosa y grasa. Cuando se presenta en grandes cantidades, su efecto lubricante

es tan pronunciado que se necesita muy poca agua para lograr una consistencia suave. Si se mezcla con la harina antes de su hidratación, la grasa evita la formación de una red de gluten y produce una masa menos elástica, lo que es deseable en la producción de galletas porque encoge menos tras el laminado, pero la textura es distinta. La grasa afecta al proceso con máquina de la masa (tecnología rotativa), la extensión de la misma tras el cortado, y las calidades texturales y gustatorias de la galleta tras el horneado (Coultate, 1984).

d. EL AGUA

El agua, aproximadamente, constituye una tercera parte de la cantidad de harina que se emplea en la elaboración de galletas (Calaveras, 2004). Se considera aditivo porque no es una sustancia nutritiva, aunque el agua es un ingrediente esencial en la formación de masa para la solubilización de otros ingredientes, en la hidratación de proteínas y carbohidratos y para la creación de la red de gluten (Manley, 1989). El agua tiene un papel complejo, dado que determina el estado de conformación de los biopolímeros, afecta a la naturaleza de las interacciones entre los distintos constituyentes de la receta y contribuye a la estructuración de la misma. También es un factor esencial en el comportamiento reológico de las masas de harina (Coultate, 1984).

Toda el agua añadida a la masa se elimina durante el horneo, pero la calidad del agua (calidad microbiológica, concentración y naturaleza de las sustancias disueltas, el pH...) puede tener consecuencias en la masa. No es posible hacer un cálculo exacto de la cantidad de agua a emplear, se busca una consistencia apreciable al tacto. Si se añade poca agua, la masa se desarrolla mal en el horno, la masa resulta pegajosa y se afloja. Si se añade un exceso de agua, la fuerza de la masa disminuye, haciéndola más extensible, si el exceso es moderado; o todo lo contrario si el exceso es demasiado grande. De esta forma se hace muy difícil trabajar las masas. El agua moja la red de proteínas, modificando sus uniones y facilitando que los estratos proteicos se deshagan. Por tanto, la cantidad de agua a añadir dependerá del tipo de galleta que deseemos realizar, de la harina y su absorción, y del tipo de maquinaria que se tenga a disponibilidad (Coultate, 1984).

2.8.2. COMPONENTES MEJORADORES DE LA GALLETA

Son muchos los aditivos que conjuntamente se añaden a la masa para subsanar las distintas anomalías en la harina, así como correctores de la masa. Entre ellas tenemos a los siguientes:

a. BISULFITO SÓDICO O METABISULFITO

El bisulfito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) es un agente acondicionador de la masa para galletas o agente modificador del gluten. En condiciones fisiológicas el dióxido de azufre es un gas no inflamable y en condiciones ácidas el sulfito se asocia a un protón y se forma bisulfito y ácido sulfuroso. El metabisulfito varía el tiempo de amasado puesto que actúa como agente reductor rompiendo o debilitando alguno de los enlaces disulfuro (S=S) (Manley, 1989), que unen fuertemente unas cadenas de proteína a otras, formando enlaces S-H.

Cuando el metabisulfito se añade a la harina, se produce una rotura de los enlaces disulfuro de las proteínas, lo cual tiene efectos deseables sobre la masa, la masa necesita un tiempo menor de amasado, la red de gluten no es tan fuerte, la masa es más blanda y se consigue que la masa no se contraiga una vez moldeada (Fennema, 1996).

b. LECITINA

La lecitina es un agente emulsionante cuyo componente eficaz son los fosfolípidos, los cuales poseen fuertes afinidades polares. Presentan una parte hidrófoba que se disuelve bien en la fase no acuosa y otra parte hidrofílica que se disuelve bien en el agua. Además, ayuda a la masa dándole más extensibilidad y facilita la absorción del agua por la masa. Un aumento de la temperatura actúa negativamente sobre la estabilidad de las emulsiones (Cabeza, 2009).

c. BICARBONATO DE SODIO

En presencia de humedad, el bicarbonato sódico reacciona con cualquier sustancia ácida, produciendo anhídrido carbónico. En ausencia de sustancias ácidas el bicarbonato sódico libera algo de dióxido de carbono y permanecerá como carbonato sódico. También se utiliza para ajustar el pH de la masa y de las piezas resultantes (Manley, 1989).

d. SAL COMÚN

La sal común (cloruro sódico), se utiliza en todas las recetas de galletas por su sabor y por su propiedad de potenciar el sabor. Además, la sal endurece el gluten (ayuda a mantener la red de gluten) y produce masas menos adherentes (Cabeza, 2009).

2.9. ACTIVIDAD DE AGUA

Se denomina actividad de agua a la relación entre la presión de vapor de agua del substrato de cultivo (P) y la presión de vapor de agua del agua pura (P_o), como se aprecia en la Ecuación 1. El valor de la actividad de agua está relacionado con la humedad relativa.

$$A_w = P/P_o \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

El valor de la actividad de agua nos da una idea de la cantidad de agua disponible metabólicamente. Esta agua disponible es un substrato en muchas reacciones bioquímicas (proteasas y lipasas, por ejemplo). Cuando no hay agua disponible, estas reacciones se detienen y el metabolismo se para. Cuando un microorganismo se encuentra en un substrato con actividad de agua menor que la que necesita, su crecimiento se detiene. Esta detención del crecimiento no suele llevar asociada la muerte del microorganismo, sino que éste se mantiene en condiciones de resistencia durante un tiempo más o menos largo. En el caso de las esporas, la fase de resistencia puede ser considerado prácticamente ilimitada. La gran mayoría de los microorganismos requiere valores de actividad de agua muy altos para poder crecer. Los valores mínimos de actividad para diferentes tipos de microorganismos son, a título orientativo, los siguientes: bacterias $A_w > 0.90$, levaduras $A_w > 0.85$, hongos filamentosos $A_w > 0.80$ (Lablinsan, 2012).

Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando éste influye definitivamente en las relaciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas. Solo para efectos de simplificación, el agua se divide en “libre” y en “ligada”; la primera sería la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y para intervenir en las otras transformaciones, ya que la segunda está unida a la superficie sólida y no actúa por estar “no disponible” (Badui, 2006).

Es decir, solo una fracción del agua, llamada actividad del agua es capaz de propiciar estos cambios y es aquella que tiene movilidad o disponibilidad. Es con base en este valor empírico

que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto, y no con su contenido de agua (Badui, 2006).

En la Figura 3 se muestra la influencia de la actividad de agua en varias reacciones químicas y enzimáticas que ocurren en los alimentos (oscurecimiento, rancidez, etcétera), así como en el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. Esta gráfica varía mucho entre los distintos productos, de acuerdo con la composición, la homogeneidad de la distribución de los componentes, el tipo de reacción y otros factores, por lo que es solamente indicativa de las tendencias generales. El contenido de agua por sí solo no proporciona información sobre la estabilidad de un alimento y, por eso, productos con la misma humedad, presentan distintas vidas de anaquel; dicha estabilidad se predice mejor con la Aw (Badui, 2006).

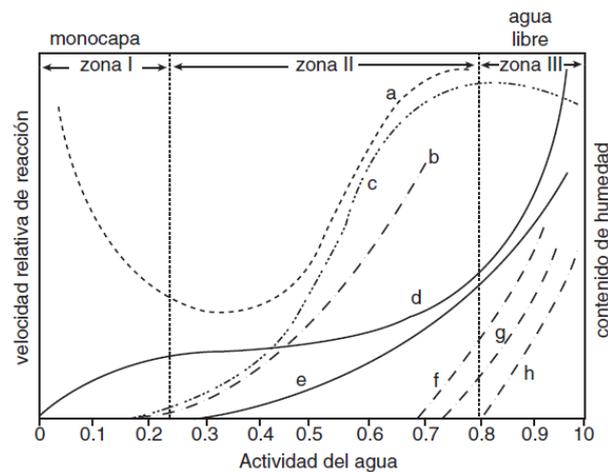


Figura 3: Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad del agua. a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacterias.

FUENTE: Badui (2006)

2.10. DISEÑO DE MEZCLAS

Montgomery (2004) indica que, en los experimentos con mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y, por consiguiente, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si x_1, x_2, \dots, x_p denota las proporciones de p componentes de una mezcla, entonces:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$
$$x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \text{ (es decir, 100 por ciento)}$$

2.10.1. ASPECTOS GENERALES

Cornell (2002) menciona que muchos de los productos están formados por la mezcla de dos o más ingredientes. Así tenemos los siguientes ejemplos:

- Formulaciones para tortas, las cuales utilizan polvo de hornear, manteca, harina, azúcar y agua.
- Bebida energizante obtenida a partir de jugos de sandía, piña y naranja.
- Mezcla de tabaco, compuestas de tabaco ahumado, tabaco de hojas delgadas, una preparación turca y tabaco procesado.

De los casos mencionados, generalmente una o más características de cada producto son de interés para el productor o experimentador responsable de la mezcla de ingredientes. Tales características son:

- La esponjosidad o apariencia de la corteza de la torta, donde cualquiera de ellas está relacionado con las proporciones de los ingredientes.
- El sabor frutado de la bebida energizante, el cual depende de los porcentajes de sandía, piña y naranja que están presentes en la misma.
- El sabor y aroma de la mezcla de tabaco.

2.10.2. RELACION ENTRE EL DISEÑO DE MEZCLAS Y LA METODOLOGIA SUPERFICIE RESPUESTA

Montgomery (2004) indica que la metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influenciada por varias variables, y el objetivo es optimizar esta respuesta.

2.10.3. METODO DE SUPERFICIE RESPUESTA

La metodología de superficie de respuesta implica tres aspectos: diseño, modelo y técnica de optimización. El diseño y el modelo se piensan al mismo tiempo, y dependen del tipo de comportamiento que se espera en la respuesta. De manera específica, el modelo puede ser de primero o segundo orden (plano o con curvatura); por ello, el tipo de diseño utilizado y el método de optimización se clasifican, según sea el caso, como de primero o segundo orden (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

El aspecto diseño implica que para optimizar un proceso se debe aplicar el diseño de experimentos, en particular aquellos que sirven para ajustar un modelo de regresión lineal múltiple. El aspecto del modelo utiliza el análisis de regresión lineal múltiple, junto con sus elementos básicos que son: parámetros del modelo, modelo ajustado, significancia del modelo, prueba de falta de ajuste, residuos, predichos, intervalos de confianza para predichos y coeficiente de determinación. Por último, el aspecto de optimización está formado por algunas técnicas matemáticas que sirven para que, dado un modelo ajustado, explorarlo a fin de obtener información sobre el punto óptimo (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

2.10.4. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS

Cornell (2002) indica que en un diseño de mezcla se asume que la respuesta medida es dependiente solamente de las proporciones de los ingredientes presentes en la mezcla y no de la cantidad de esta última. Así mismo menciona que la característica distintiva de un diseño de mezcla es que los factores controlables o independientes representan cantidades proporcionales de la mezcla, en vez de cantidades no circunscritas a ella; donde las proporciones son por volumen, por peso, o por fracción molar. Las proporciones son no negativas y, están expresadas como fracciones de la mezcla, ellas deben sumar la unidad, especialmente si éstos son los únicos ingredientes a ser estudiados en las diferentes mezclas. Si la suma de las proporciones de los componentes es menor que la unidad, por ejemplo, si la suma es igual a 0.80 porque el 0.20 de la mezcla se mantiene constante, y se desea trabajar solo con las proporciones variables que suman 0.80 entonces dichas proporciones deben ser escritas como fracciones escaladas, de tal forma que éstas sumen la unidad.

Montgomery (2004), menciona que cuando hay tres componentes de una mezcla, la región experimental restringida puede representarse de manera conveniente en papel de

coordenadas trilineales, como se muestra en la Figura 4. Cada uno de los tres lados de la gráfica representa una mezcla que carece en absoluto de uno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de malla en cada dirección indican incrementos de 10 por ciento en los componentes respectivos.

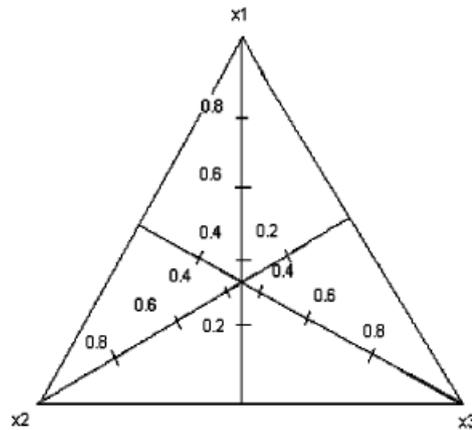


Figura 4: Sistema de coordenadas trilineales en diseño de mezclas

FUENTE: Montgomery (2004)

2.10.5. DISEÑOS DE TRATAMIENTOS PARA MEZCLAS

Montgomery (2004) menciona que los diseños simplex se usan para estudiar los efectos de los componentes de una mezcla sobre la variable respuesta. Un diseño simplex reticular (p, m) para p componentes consta de los puntos definidos por los siguientes arreglos de las coordenadas: las proporciones asumidas por cada componente toman los $m + 1$ valores que están separados por una distancia igual de 0 a 1,

$$X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

Y se emplean todas las posibles combinaciones (mezclas) de las proporciones de la ecuación anterior. Por ejemplo, sean $p=3$ y $m=2$, entonces:

$$X_i = 0, 1/2, 1 \quad i = 1, 2, 3$$

Y la red simplex consiste en las seis corridas siguientes:

$$(X_1, X_2, X_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2).$$

En la Figura 5, que se presenta a continuación. Los tres vértices $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$ y $(0, 0, 1)$ son las mezclas puras mientras que los puntos $(1/2, 1/2, 0)$, $(1/2, 0, 1/2)$ y $(0, 1/2, 1/2)$ son mezclas

binarias o mezclas de dos componentes localizadas en los puntos medios de los tres lados del triángulo.

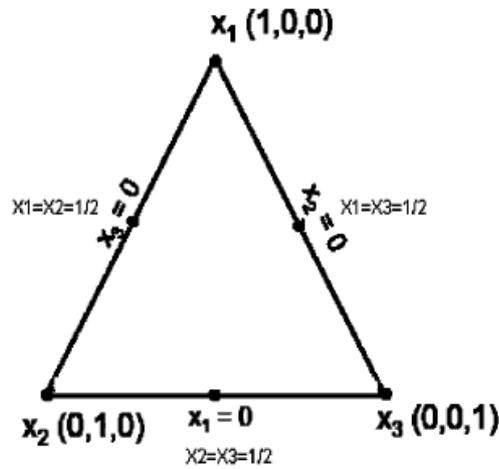


Figura 5: Diseño simplex reticular para p = 3 componentes

FUENTE: Montgomery (2004)

Una alternativa al diseño de red simplex es el diseño de centroide simplex. En un diseño de centroide simplex de p componentes hay $2^p - 1$ puntos, que corresponden a las p permutaciones de (1,0,0, ..., 0) las (p 2) permutaciones de (1/2, 1/2, 0, ..., 0), la (p 3) permutaciones de (1/3, 1/3, 1/3, 0, ..., 0) y el centroide global (1/p, 1/p, ..., 1/p), en la Figura 6 se presenta el diseño de centroide simplex con tres componentes p=3.

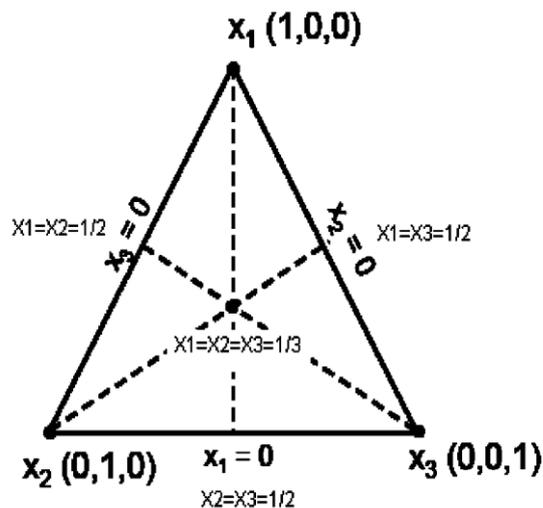


Figura 6: Diseño de centroide simples para p=3 componentes

FUENTE: Montgomery (2004)

2.11. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS RESPUESTAS

Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que es típico considerar diversas características (variables) para lograr productos con mejor calidad y propiedades. Por ejemplo, un alimento tiene varias propiedades como: textura, pH, color, sabor, apariencia, etc., y todas son importantes para que el alimento sea bien aceptado por los consumidores. Si la optimización sólo se hace para una característica del producto podrían resultar condiciones inadecuadas para las otras características. Por ello es imprescindible contar con técnicas que sirvan para que, en la medida de lo posible, se optimicen simultáneamente todas las respuestas de interés. El problema de la optimización simultánea radica en que, por lo general, los óptimos individuales no son las mismas combinaciones de los factores de control (X_1, X_2, \dots, X_k). Esto hace necesario buscar una solución compromiso, donde todas las variables tengan un nivel satisfactorio. A esa solución compromiso la llamaremos óptimo simultáneo. Por ejemplo, en la Figura 7 se muestran las superficies de dos respuestas en una misma región experimental. Si en ambas respuestas interesara el mínimo, es claro que los óptimos individuales se encuentran en extremos opuestos de la región experimental. Por lo tanto, habrá que buscar otra combinación (punto) donde las dos variables sean al mismo tiempo lo menor posible. En la Figura 7 se muestra dónde está tal óptimo simultáneo.

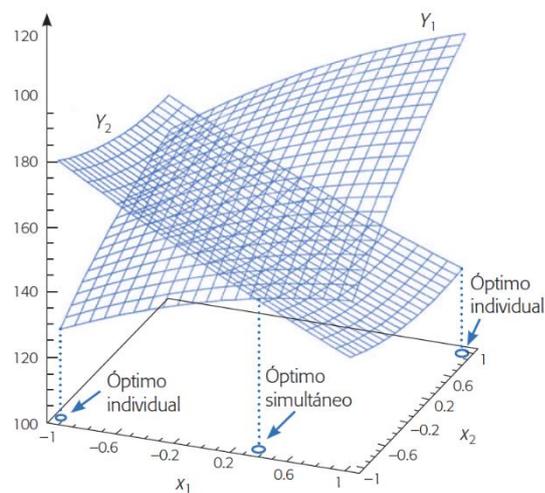


Figura 7: Ejemplo de una optimización simultánea

FUENTE: Gutiérrez y De la Vara (2008)

2.11.1. FUNCION DESEABILIDAD GLOBAL

Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que este método consiste en definir una función en el espacio de factores que estima la deseabilidad global (DG) del producto en cada punto; de

esta forma, convierte el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado. Basta maximizar DG para obtener el punto óptimo buscado. Para definir la DG se requiere que todas las Y estén en la misma escala, y esto se logra transformando cada respuesta predicha $\hat{Y}_i(x)$ en un valor de deseabilidad individual $d_i(x)$ que cae en el intervalo $[0, 1]$. De esta manera, $d_i(x)$ mide la deseabilidad del punto $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ con respecto a la variable Y_i . La transformación $d_i(x)$ se hace en términos de las especificaciones y del valor objetivo de cada Y.

2.12. PRUEBAS DE CONSUMIDORES

2.12.1. DEFINICION, APLICACIONES Y TIPOS DE PRUEBAS DE CONSUMIDORES

Peryam y Pilgrim (1957), citado por Lage (2006) indican que las pruebas de consumidores miden la preferencia de éstos hacia un producto, buscando así poder predecir la aceptación que tendrá ese producto en el mercado, definiendo la aceptación como “consumo con placer”.

Al contrario que las pruebas analíticas, las pruebas de consumidores deben ser realizadas por personas que, en conjunto, formen un grupo representativo de la población de consumidores reales o potenciales del producto evaluado. Asimismo, no deben haber participado en ningún tipo de prueba analítica y por lo tanto no deben haber sido entrenadas para el análisis sensorial. Los consumidores deben evaluar las muestras de forma global y responder a la pregunta “¿Cuánto le gusta el producto?” o “¿Qué producto prefiere?”, por lo que sería contraproducente que fuesen personas entrenadas para detectar alguna característica determinada del alimento (Lage, 2006).

Lage (2006) indica que, dentro de las pruebas de consumidores, existen dos grandes familias de pruebas: las pruebas de preferencia, donde el consumidor realiza una elección entre productos, y las pruebas hedónicas, donde el consumidor estima la satisfacción que le producen los productos evaluados. A continuación, se describen a detalle las pruebas mencionadas.

a. PRUEBAS DE PREFERENCIA

En las pruebas de preferencia, el consumidor debe contestar a la pregunta “¿Cuál es el producto que prefiere?” o “¿Qué producto le gusta más?”. La prueba de preferencia más utilizada es la de comparación apareada, que permite comparar la preferencia de un producto directamente frente a otro. En esta prueba se le presentan al juez dos productos codificados y se le pide que indique cuál de los dos prefiere. El diseño de la prueba debe asegurar que cada una de las muestras se evalúe las mismas veces en primera y segunda posición para evitar posibles sesgos debidos al orden de presentación (Carpenter *et al.*, 2000 citado por Lage, 2006).

b. PRUEBAS HEDÓNICAS

En las pruebas hedónicas, se pide al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un determinado producto, utilizando para ello una escala proporcionada por el analista. Por la naturaleza de la información que proporcionan, las pruebas de consumidores son una herramienta muy efectiva en el diseño de productos, por lo que cada vez se utilizan con mayor frecuencia. En efecto, son los consumidores los que en última instancia convierten un producto en éxito o fracaso en el mercado. Por lo tanto, para poder desarrollar nuevos productos con éxito, las empresas deben conseguir un conocimiento profundo de “la voz de los consumidores” (van Kleef *et al.*, 2005 citado por Lage, 2006). Según Liria (2007), muchas veces se confunden el término preferencia con aceptabilidad, sin embargo, son terminologías diferentes. Aceptabilidad se refiere al grado de gusto o disgusto de una persona sobre un producto. Se basa en una escala de medición de una persona y su comportamiento. Mientras que preferencia se refiere a la elección entre varios productos sobre la base del gusto o disgusto. Se basa en la elección de una persona entre un conjunto de alternativas (dos o más productos). Cuando se usan dos productos se refiere a una prueba pareada. Cuando se usan dos o más productos se refieren a una prueba de ranking.

El uso de las pruebas afectivas o hedónicas dependen del tipo de prueba que se realice: pruebas de preferencia o pruebas de aceptabilidad. Las pruebas de preferencia ayudan a identificar un producto elegido entre dos o más alternativas, decidir cuál será la mejor opción entre la elaboración de diversos productos en los que se ha utilizado diferentes

formulaciones, todas igualmente convenientes y para medir factores psicológicos y factores que influyen en el sabor del alimento. Las pruebas de aceptabilidad son usadas para identificar las características de un producto traducidas en grados de aceptabilidad de diferentes cualidades del mismo, por ejemplo: la aceptabilidad del sabor, color, consistencia, grado de dulzor, etc., se pueden realizar incluso ante situaciones adversas en el ambiente, es decir, se pueden realizar en el hogar, en ambientes no especialmente diseñados para la prueba (Liria, 2007).

2.12.2. TIPOS DE ESCALA MAS UTILIZADAS PARA PRUEBAS EN CONSUMIDORES

El análisis sensorial es una ciencia cuantitativa que se basa en el análisis estadístico. Para ello, es imprescindible, durante las pruebas de análisis sensorial, la obtención de datos cuantitativos con los que poder aplicar los métodos estadísticos y obtener conclusiones científicas. Existen cuatro maneras distintas de cuantificar los eventos sensoriales y, por lo tanto, cuatro grandes familias de escalas: escalas nominales, escalas ordinales, escalas de intervalos y escalas proporcionales (Lawless y Heymann, 1998 citado por Lage, 2006). Dentro de esta clasificación las escalas más utilizadas en pruebas de consumidores son las siguientes:

a. ESCALA GRÁFICA LINEAL

La escala gráfica lineal (perteneciente a la categoría de escalas de intervalos) consiste en una recta horizontal de dimensiones conocidas con anclajes verbales en los extremos que definen el mínimo y máximo. En el caso de valoraciones hedónicas estos anclajes suelen ser “me disgusta” y “me gusta”, aunque pueden variar (“me disgusta muchísimo” / “me gusta muchísimo”). El juez hace una marca vertical en el punto que representa su valoración (Lage, 2006).

Aunque esta escala ha sido muy utilizada en análisis descriptivo de múltiples atributos con paneles entrenados, también se ha popularizado en pruebas hedónicas de consumidores frente a las escalas de categorías, que se explican a continuación, por no limitar sus respuestas a los anclajes y permitir una mayor libertad al juez. La escala gráfica lineal

proporciona datos continuos sólo limitados por la precisión del instrumento de medida utilizado para reflejarlos resultados. Este hecho reduce efectos contextuales y los datos se aproximan a una distribución normal, que es la hipótesis de partida de los análisis utilizados habitualmente (McPherson y Randall, 1985). Por otra parte, también se ha observado que favorece la comparación entre productos, aunque probablemente esto se deba al hecho de que las escalas gráficas para cada muestra se presenten habitualmente juntas sobre el mismo formulario (Lage, 2006). En la Figura 8, se muestra un ejemplo de la escala grafica lineal, con anclajes verbales.

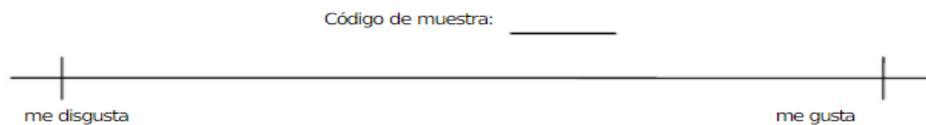


Figura 8: Ejemplo de escala gráfica lineal de 17 cm, con anclajes verbales

FUENTE: McPherson y Randall (1985)

b. ESCALA DE CATEGORÍAS: ESCALA DE 9 PUNTOS

Las escalas hedónicas de categorías consisten en una lista ordenada de posibles respuestas correspondientes a distintos grados de satisfacción, equilibradas alrededor de un punto neutro, donde el consumidor marca la respuesta que mejor refleja su opinión sobre el producto. Estas respuestas pueden ser número enteros, etiquetas verbales o figuras, cuando el estudio se realiza con niños. Dentro de este tipo de escalas, las que utilizan números enteros han caído en desuso, ya que se ha observado que introducen sesgo; los consumidores parecen tener preferencia por ciertos números frente a otros (Giovanni y Pangborn, 1983; citado por Lage, 2006). Las escalas más utilizadas son las que utilizan etiquetas verbales, y dentro de esta clase, la escala hedónica de 9 puntos.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental de la presente investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias (UNALM).
- Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Industrias Alimentarias (UNALM).
- Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias (UNALM).
- Laboratorio de biotecnología de la facultad de Industrias Alimentarias (UNALM)
- Instalaciones del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

- Harina de yuca, obtenida de la yuca perteneciente a los cultivos del INIA, variedad amarilla de boza.
- Harina de Quinoa, obtenida del grano perteneciente a la variedad Altiplano de los cultivos del INIA.
- Harina de trigo, marca Nicolini.

3.2.2. INSUMOS

- Azúcar fina blanca, marca Dulcinita.
- Manteca vegetal, marca Tropical.
- Bicarbonato de sodio, marca JOFSAC.
- Leche en polvo entera, marca Anchor.
- Sal yodada, marca Emsal y agua, marca Cielo

3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Balones de digestión Kjeldahl.
- Beakers de 50, 250 y 600 mL.
- Bolsas de polietileno de alta densidad.
- Buretas.
- Crisoles de porcelana.
- Cuchillos.
- Desecadores.
- Espátulas de metal.
- Matraces de 100, 250, 400 y 500 ml.
- Mesas de trabajo de acero inoxidable.
- Pinza para crisoles.
- Placas Petri.
- Platos de plástico.
- Recipientes de vidrio.
- Rodillos.
- Sistema de titulación.
- Tamices: 30, 40, 70, 80 y 100 mesh.
- Tazones de acero inoxidable y plástico.
- Moldes de metal para galletas.

3.3.2. EQUIPOS

- Amasadora - Mezcladora, marca Kitchen Aid. Capacidad máxima: 3 Kg.
- Balanza de precisión, marca Adam Equipment, modelo CBW 12aH.
- Balanza analítica, marca Sartorius, modelo BC-2105.
- Cocinilla eléctrica, marca MIRAY.
- Colorímetro, marca Minolta, modelo CR-400.
- Determinador de humedad, marca Ohaus, modelo MB45-350.
- Equipo Soxhlet, marca Gerhardt, capacidad para seis balones.
- Estufa eléctrica, marca C-Min, modelo LP-303.

- Horno, marca NOVA.
- Laminadora de galletas. Marca: Kitchen Aid.
- Molino de martillos.
- Mufla eléctrica, marca Gallenkamp, modelo FR520.
- Potenciómetro, marca Hanna, modelo HI-8519N.
- Secador de bandejas, marca Instru, modelo 4-1411.
- Texturómetro, marca Brookfield, modelo QTS 25.

3.3.3. SOFTWARE

- Design-Expert® 7.0 Software for Design of Experiments (DOE)

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. MATERIA PRIMA

a. ANÁLISIS FÍSICOS

- Análisis granulométrico: Según recomienda el NTE INEN 517 (1981).

b. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

- Humedad: Según el Método 925.10 (AOAC, 2007)
- Proteína total: Según el método 920.87 (AOAC, 2007)
- Fibra bruta: según el método 920.86 (AOAC, 2007)
- Cenizas: Según el método 923.03 (AOAC, 2007)
- Grasa: Según el método 920.85 (AOAC, 2007)
- Carbohidratos totales: Por diferencia del 100 por ciento de la suma del porcentaje de humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y cenizas (Collazos, 1993).

3.4.2. PRODUCTO FINAL

a. ANÁLISIS FÍSICOS

- Color, mediante el método CIE, con coordenadas L^* a^* b^* , empleando el colorímetro Minolta. Se realizó siguiendo la metodología recomendada por Elleuch *et al* (2014).

- Esfuerzo de corte, fue realizado mediante el uso de un texturómetro. Método recomendado por Zouari *et al* (2016).

b. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

- Humedad: Según el método 935.36 (AOAC, 2007).
- Proteína: Según el método 950.36 (AOAC, 2007).
- Grasa: Según el método 922.06 (AOAC, 2007).
- Fibra bruta: Según el método 962.09 (AOAC, 2007).
- Cenizas: Según el método 923.03 (AOAC, 2007).
- Carbohidratos totales: Por diferencia del 100 % con la suma de la humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y cenizas (Collazos, 1993).
- pH: Según el método INACAL (2011).
- Acidez titulable: Según el método INACAL (2011).

c. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA PROTEÍNA

CÁLCULO TEÓRICO PARA LA DIGESTIBILIDAD

1. Determinar los gramos de proteínas (**P**) que aporta cada alimento, esto de acuerdo al porcentaje de proteico.
2. Obtenida las cantidades de proteína por alimento sumar para determinar la cantidad total de proteínas, presentes en la mezcla.
3. Obtener de fuentes bibliográficas la digestibilidad proteica teórica (**D**) correspondiente a cada componente de la mezcla.
4. Realizar un promedio ponderado de la digestibilidad teórica con las cantidades de proteínas de cada componente, según se detalla en la fórmula siguiente:

$$\text{Digestibilidad de la mezcla} = \frac{P1 \cdot D1 + P2 \cdot D2 + \dots + Pn \cdot Dn}{P1 + P2 + \dots + Pn}$$

FUENTE: Conjunto FAO/OMS/UNU (1985)

CÓMPUTO AMINOACÍDICO (C.A.) Y PDCAAS

1. Determinar la cantidad de proteínas (en gramos) que aportan los componentes de la mezcla de forma individual, para ello se debe tener los porcentajes de proteína para cada componente.

2. Seguidamente sumar el aporte proteico que hace cada componente, para obtener la cantidad total de proteínas en la mezcla.
3. Calcular cantidad de aminoácidos (Para el caso se consideró el triptófano, metionina, lisina y la treonina) que cada componente aporta a la mezcla, esta cantidad se obtendrá luego de multiplicar la cantidad de proteína de cada componente con su respectivo aporte aminoacídico.
4. Obtenida las cantidades aportadas de aminoácidos de cada componente para el triptófano, metionina, lisina y la treonina; procedemos a obtener la suma total para cada uno de los aminoácidos considerados.
5. Se continúa obteniendo el cociente de la cantidad total de aminoácidos (éste se obtuvo en el paso anterior) con la cantidad total de proteínas en la mezcla (obtenida en el paso 2), esto para cada uno de los aminoácidos considerados.
6. El computo aminoacídico se obtendrá dividiendo el valor obtenido en el paso anterior con el patrón de referencia aminoacídico de acuerdo al grupo de edad escogido, de igual forma este procedimiento será para cada aminoácido elegido. Puede haber más de un aminoácido limitante y se debe considerar como primera limitante el de menor valor
7. El PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) se obtiene multiplicando el C.A con la digestibilidad ponderada obtenida (Conjunto FAO/OMS/UNU, 1985).

3.5. PRUEBAS SENSORIALES

Cada una de las muestras obtenidas fueron sometidas a una evaluación sensorial por 84 panelistas no entrenados y consumidores del producto, quienes realizaron un test de aceptabilidad general, según lo recomendado por Liria (2007) quien indica que para las pruebas de preferencia/aceptabilidad se requieren entre 75 a 150 panelistas, los cuales son reclutados por ser usuarios del producto y conocen ciertas características del mismo.

Los tratamientos a evaluar fueron codificados con números aleatorios y presentados utilizando un diseño de bloques incompletos (ANEXO 1) según lo sugerido por Watts *et al.* (1989), quien indica que las muestras se deben codificar con números aleatorios y el orden de presentación para estas puede estar aleatorizado para cada panelista o de ser posible estar

balanceado (de modo que todos los tratamientos presenten la misma probabilidad de ser probados por primera vez y se reduzca el error).

Para la evaluación sensorial se usó una escala gráfica lineal (ANEXO 2), cuyos extremos presentaron denominaciones de: me gusta mucho y me disgusta mucho, se usó debido a que el diseño de mezclas requiere de datos continuos y no discretos, para ello el panelista tuvo que hacer una marca vertical en el punto que representaba su valoración (Lage, 2006). McPherson y Randall (1985) indican que esta escala proporciona datos continuos que se aproximan a una distribución normal, hipótesis de partida del análisis estadístico habitual.

Antes de cada evaluación se explicó a los panelistas la manera de como llenar el formato de evaluación. Así mismo, se les indicó mantener un orden específico al momento de probar las muestras. Se les pidió que evaluaran cada muestra y reflejaran su opinión marcando una línea vertical sobre la recta de 17 cm que constaba de un anclaje con las expresiones “me disgusta mucho” y “me gusta mucho” a la izquierda y a la derecha respectivamente. Todos los panelistas tuvieron a disposición un vaso lleno con agua, para tomar un poco de agua a modo de enjuague para pasar de una muestra a otra. Se permitió a los panelistas volver a probar las muestras ya evaluadas y corregir sus evaluaciones si lo creían pertinente; ya que Lage (2006) indican que este procedimiento disminuye errores.

La evaluación sensorial se llevó a cabo con estudiantes de la Universidad Nacional Agraria – La Molina, de edades comprendidas entre los 20 y 30 años, residentes en los diferentes distritos de Lima que presenten un consumo moderado de galletas (1 – 4 veces a la semana), además de considerar que presente un estilo de vida saludable, sin vicios. La cartilla de selección de panelistas se muestra en el ANEXO 3.

3.6. METOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.6.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE YUCA

En la Figura 9 se presenta el flujo de operaciones para la obtención de la harina de yuca. Como materia prima se usó yuca de la variedad Amarilla de Boza, la cual ha sido mejorada y presenta cantidades despreciables de ácido cianhídrico.

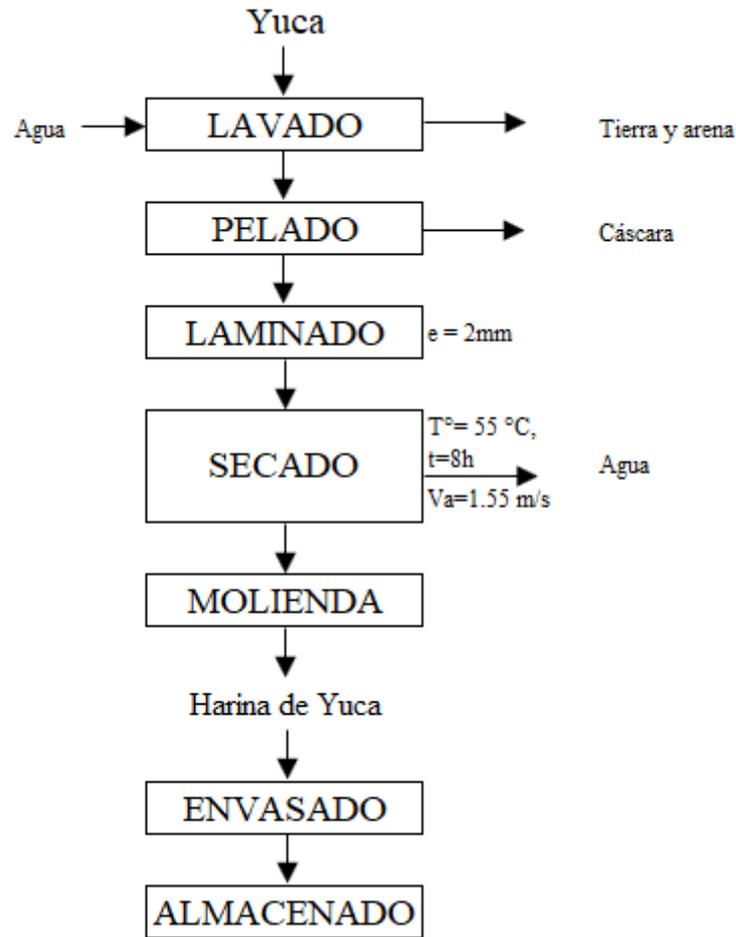


Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de harina de yuca

A continuación, se describen las operaciones para la obtención de la harina de yuca:

- **RECEPCIÓN:** En esta etapa se reciben las raíces de yuca y se pesa para su control.
- **LAVADO:** El lavado de las yucas se realizó con agua potable. Esta etapa es importante ya que según menciona Alvarado (2009) las raíces tienen tierra adherida por lo que, si no se realiza bien, el producto final resultará con un alto contenido de cenizas, especialmente de sílice, lo cual reduce su calidad. Así mismo, Combariza y Sánchez (2006), indican que un buen lavado se refleja en el bajo contenido de cenizas.
- **DESINFECTADO:** Para mejorar la calidad microbiológica del producto se realizó una desinfección aplicando al final del lavado una solución de hipoclorito de sodio en agua a 200ppm (Henao, 2004).
- **PELADO:** Esta etapa consistió en eliminar la cáscara de la yuca mediante el uso de cuchillos. Es importante que la operación de pelado sea eficiente para reducir al

mínimo la pérdida de materia prima. Las pérdidas durante el pelado pueden ser muy altas si las raíces varían considerablemente en tamaño y forma.

- **LAMINADO:** La yuca ya pelada, fue cortada en laminada en rodajas de 2mm de espesor, mediante el uso de una rodajadora. Esta operación es necesaria para incrementar el área de transferencia de calor de la materia prima y acelerar el secado de la misma (Ostertag, 1992).
- **SECADO:** El secado de la yuca fue realizado haciendo uso de un secador de bandejas a una temperatura de 50 ± 2 °C (Alvarado, 2009) y con una velocidad del aire 1.55 m/s. El tiempo que se usó para esta operación fue de 8 horas (Henaó, 2004) para llegar a una humedad de 6.29 por ciento. Combariza y Sánchez (2006), mencionan que el secado es la operación más relevante del proceso, tradicionalmente se ha secado en patios por exposición al sol, sin embargo, esta práctica presenta grandes inconvenientes relacionados con la calidad microbiológica del producto final. En esta operación se reduce la humedad por evaporación de los trozos de material hasta alcanzar un nivel inferior al 13 por ciento en base húmeda. Pueden ser utilizadas tecnologías de secado artificial, con sistemas de aire caliente usando lecho semifluidizado o secadores de bandejas. El contenido de humedad de la harina depende del método de secado, tiempo de secado y las condiciones de almacenamiento
- **MOLIENDA:** La reducción de tamaño fue realizado por un molino de martillos tamiz N° 60, con el objetivo de obtener un producto que cumpla con la granulometría deseada
- **ENVASADO:** Se envasó en bolsas de polipropileno, para su posterior utilización
- **ALMACENADO:** Se almacenará la harina en un ambiente seco y frío y libre de aromas que puedan alterar las características sensoriales del producto.

3.6.2. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA

En la Figura 10 que se presenta a continuación, se muestra el flujo de operaciones para la obtención de la harina de quinua a partir de la quinua lavada y seca, proveniente de los cultivos del INIA.

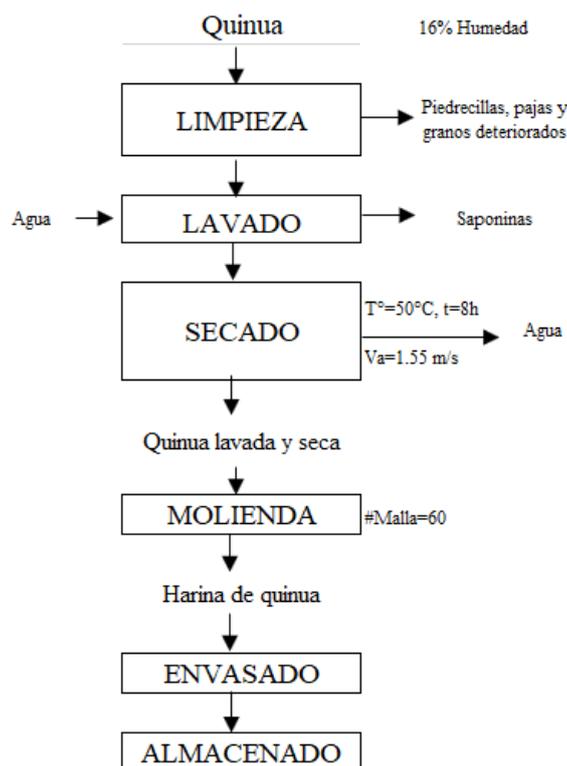


Figura 10: Flujo de operaciones para la obtención de harina de quinua

A continuación, se describen las operaciones para la obtención de la harina de quinua:

- **LIMPIEZA:** En esta operación se procede a retirar las piedrecillas, pajas y granos deteriorados para acondicionar los granos para el lavado
- **LAVADO:** Durante esta operación se realiza la eliminación del componente adherido a los granos de quinua, la saponina, siendo este un antinutriente que impide la absorción de las proteínas. Se realizó dicha operación repetidas veces hasta que dejó de producirse completamente la formación de espumas, lo cual es un indicador que la saponina ha sido eliminada en su totalidad
- **SECADO:** Lavada la quinua, se procedió a escurrirla y esparcirla en una bandeja de mallas metálicas, se introdujo al secador de bandejas manteniendo los siguientes parámetros, temperatura: 50°C, tiempo de exposición: 8h y velocidad del aire: 1.55 m/s
- **MOLIENDA:** La reducción de tamaño se hizo con un molino de martillos de tamiz N° 60.
- **ENVASADO:** Se envasó la harina obtenida en bolsas de polipropileno para su posterior utilización

- **ALMACENADO:** Se almacenó la harina obtenida en un ambiente seco, frío y libre de aromas que puedan alterar o distorsionar las características físicas o sensoriales del producto.

3.6.3. PRUEBAS PRELIMINARES PARA ESTABLECER LA FÓRMULA.

Se partió definiendo las variables independientes y dependientes, siendo éstas las que se presentan a continuación:

a. Variables independientes

- Porcentaje de harina de yuca
- Porcentaje de harina de trigo
- Porcentaje de harina de quinua

b. Variables dependientes

- Aceptabilidad general
- Porcentaje de proteínas.
- Porcentaje de grasa
- Esfuerzo de corte

Para establecer los rangos de sustitución, se partieron de pruebas preliminares en laboratorio; donde se consideraron porcentajes de sustitución empleados en otras investigaciones a los cuales se les incrementó o disminuyó en porcentaje hasta lograr un rango de sustitución donde la masa de la mezcla obtenida fue manejable y permitió su laminado; la Tabla 4 muestra los límites superior e inferior de porcentajes de sustitución en las harinas de trigo, yuca y quinua utilizados para obtener las combinaciones generadas por el diseño de mezclas.

La fórmula de la cual se partió para llegar a obtener la formulación final se presenta en el ANEXO 4. Es sobre esta fórmula base que se realizaron modificaciones en el contenido de azúcar principalmente, el cual fue disminuido en un 5.1 por ciento debido a que sensorialmente el dulzor que presentaban las galletas preliminares, fue muy intenso. Aquel porcentaje reducido del azúcar se compensó incrementando, con el mismo valor, el porcentaje de la matriz variable.

La galleta realizada presentó las siguientes características: Circular estructuralmente solida sin grietas (radiales o tangenciales) ni perforaciones, diámetro de 50 mm y espesor de 4 mm.

Los rangos de sustitución mostradas en la Tabla 4, fueron determinadas luego de consultar bibliografía y realizar una serie de pruebas de laboratorio, donde se consideraron ciertos requisitos para definir el rango final de sustitución de cada tipo de harina. Estos requisitos fueron: buen manejo de masa, facilidad al laminado, moldeado, sabor y apariencia.

3.6.4. FORMULACIÓN ESTABLECIDA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GALLETAS

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan los limites superior e inferior establecidos para la matriz variable y los porcentajes de participación ingredientes de la matriz fija, respectivamente.

Tabla 4: Rangos de sustitución para cada tipo de harina

INGREDIENTE	PORCENTAJE
Harina de Trigo	15-30
Harina de Yuca	15-30
Harina de Quinoa	5-20
MATRIZ VARIABLE	50.0

Tabla 5: Porcentaje de los ingredientes presentes en la matriz fija

INGREDIENTES	PORCENTAJE
Harina de trigo	2.0
Manteca	13.3
Azúcar	22.0
Sal	0.4
Leche en Polvo	1.3
Bicarbonato de Sodio	0.5
Agua	10.5
MATRIZ FIJA	50.0

La matriz fija se refiere al porcentaje total, de dosis de ingredientes en la fórmula, que se mantuvo constante para todos los tratamientos, mientras que la matriz variable hace referencia al porcentaje total, de los ingredientes cuyas dosis individuales variarán para cada tratamiento.

Los rangos de sustitución de harinas de la matriz variable fueron determinadas mediante pruebas preliminares tomando como punto de partida datos reportados por diferentes autores. Contreras (2015) empleó el rango de 5 – 20 por ciento para la sustitución de la harina de trigo por harina de quinua; Rojas (2001), empleó un rango de sustitución de harina de trigo por puré de yuca de 5 – 15 por ciento en base seca; sin embargo, se consideró un rango mayor (en base a las pruebas preliminares); para así aprovechar en mayor medida la harina de yuca, por lo que se empleó un rango de 15 a 30 por ciento. Se determinó como límite inferior del rango de la harina de trigo en 15 por ciento, asegurando así la presencia de una cantidad de harina de trigo, en todas las mezclas que arroje el *software*, ya que dicha harina contribuye al buen manejo de la masa; así mismo, se determinó el límite superior de la harina de trigo en 30 por ciento, para dar la posibilidad de tener alguna formulación con un porcentaje elevado de harina de trigo.

Utilizando el *Software Design Expert* se determinó el número de tratamientos usando los rangos establecidos en la matriz variable. Para ello se usaron los siguientes límites: Harina de trigo 15-30 por ciento, harina de yuca 15-30 por ciento y harina de quinua 5-20 por ciento.

En la Tabla 6 y Tabla 7 se presentan la composición de las mezclas para cada uno de los tratamientos, considerando la matriz variable (50 por ciento, del total de la receta) y en base harina respectivamente. Contreras (2015) indica que la “base harina” es un término mundialmente utilizado, el cual hace referencia a las dosis de los ingredientes en base al peso total de las harinas en la receta.

Tabla 6: Porcentaje de participación de las harinas para cada uno de los tratamientos evaluados, con respecto a la matriz variable

Tratamientos	Harina de trigo	Harina de Yuca	Harina de Quinoa
T1	30.00	15.00	5.00
T2	25.00	20.00	5.00
T3	25.00	15.00	10.00
T4	20.00	25.00	5.00
T5	20.00	20.00	10.00
T6	20.00	15.00	15.00
T7	15.00	30.00	5.00
T8	15.00	25.00	10.00
T9	15.00	20.00	15.00
T10	15.00	15.00	20.00

Tabla 7: Porcentaje de participación de las harinas para los tratamientos evaluados en los ensayos definitivos, en base harina

Tratamientos	Harina de trigo	Harina de Yuca	Harina de Quinoa
T1	57.69	28.85	9.62
T2	48.08	38.46	9.62
T3	48.08	28.85	19.23
T4	38.46	48.08	9.62
T5	38.46	38.46	19.23
T6	38.46	28.85	28.85
T7	28.85	57.69	9.62
T8	28.85	48.08	19.23
T9	28.85	38.46	28.85
T10	28.85	28.85	38.46

3.6.5. FLUJO DE OPERACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LAS GALLETAS A PARTIR DE HARINAS DE YUCA Y QUINUA

En la Figura 11, se presenta el flujo de operaciones para la obtención de las galletas dulces a base de harinas de yuca, trigo y quinua.

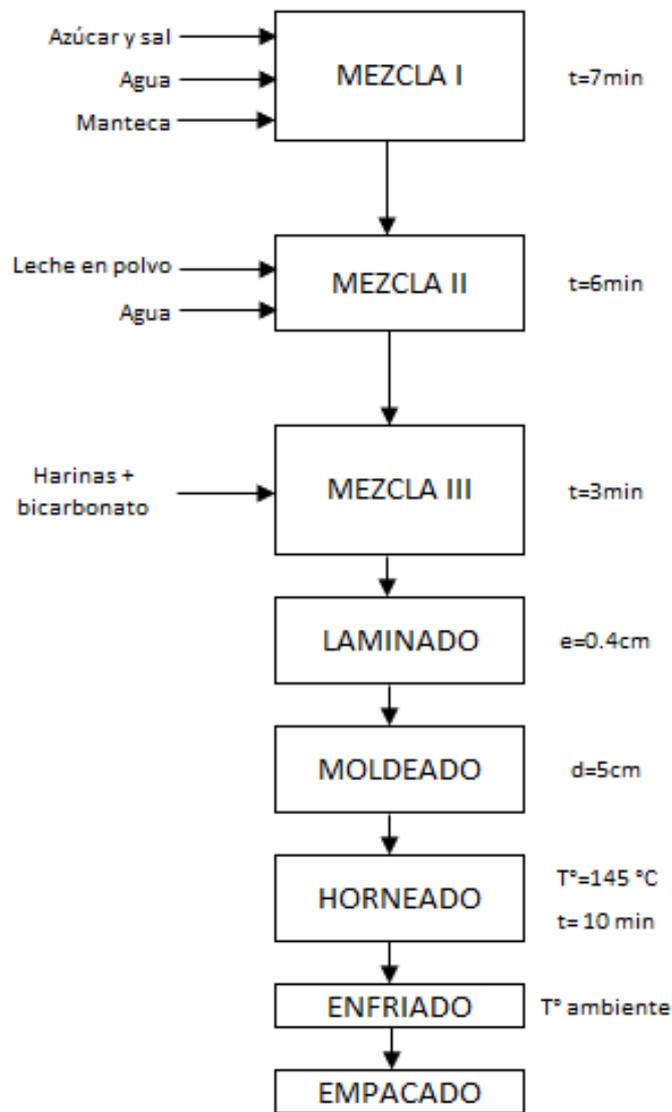


Figura 11: Flujo de operaciones para la obtención de galletas a partir de harina de yuca y quinua

A continuación, se detallan las operaciones a realizar para la obtención de las galletas:

- **MEZCLA I:** Se batió el azúcar con una porción del agua, seguidamente se añadió la sal, continuando con el batido. Por último, se añadió la manteca aumentando la velocidad del batido hasta que la mayor parte de la sal y el azúcar se haya disuelto. El tiempo total empleado para esta primera mezcla fue de 7 minutos.
- **MEZCLA II:** Posteriormente a la etapa anterior, se añadió la leche en polvo y el resto del agua, mezclando durante 6 minutos, hasta obtener una crema homogénea

- **MEZCLA III:** Finalmente se añadió las harinas y el bicarbonato de sodio, previamente mezclados, y se mezcló por 3 minutos, hasta obtener una masa con la consistencia deseada.
- **LAMINADO:** La masa obtenida del proceso anterior fue laminada utilizando un laminador con un espesor de 0.4cm.
- **MOLDEADO:** Esta fue realizada usando moldes de metal. Se cortaron las láminas obtenidas en la etapa anterior en piezas circulares de 5 cm de diámetro y espesor uniforme.
- **HORNEADO:** Fue realizado a una temperatura de 145°C por un tiempo de 10 minutos.
- **ENFRIADO:** Las galletas horneadas fueron enfriadas a temperatura ambiente.
- **EMPACADO:** Las galletas ya frías fueron empacadas en bolsas de polipropileno.

3.6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

a. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados del análisis químico de las materias primas, se encuentran representadas por el promedio de tres repeticiones y su respectiva desviación estándar.

b. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTA

Para la obtención de los tratamientos se utilizó un diseño de mezclas *Simplex-Látice*. Obtenido los resultados experimentales para cada variable, se procedió a ajustar los resultados a un modelo estadístico que mejor explique el comportamiento de las variables. El modelo recomendado por el *software*, para las variables estudiadas, fue el Cúbico, debido a que a un nivel de confianza de 95.0 por ciento presentó el mayor coeficiente de determinación (R^2 y R^2_{adj}). Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que para la selección de un modelo se debe tener en cuenta el criterio de los coeficientes de determinación (R^2 y R^2_{adj}), los cuales muestran el porcentaje de la variación en la variable respuesta que es explicada por el correspondiente modelo.

Aplicando el programa estadístico *Design Expert* versión 7.0 se obtuvo, para cada variable en estudio, el gráfico de superficie respuesta, el gráfico de contornos y el gráfico llamado “Trazo de Cox”. Los dos primeros ayudan a apreciar la variación de la variable en estudio, en función de los ingredientes estudiados, mientras que el último ayuda a evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla, mostrando como la respuesta se modifica conforme uno de los componentes aumenta o disminuye su participación en la mezcla (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

c. OPTIMIZACIÓN MULTIPLE DE LAS VARIABLES.

La optimización simultánea de las variables en estudio fue realizada con el paquete estadístico *Design Expert* versión 7.0. Para ello fue necesario obtener, antes, los modelos para cada una de las variables estudiadas.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Tabla 8, se muestra el diseño experimental, en el cual se establecen todas las etapas y operaciones que se llevaron a cabo, indicándose los análisis y pruebas a realizar en todas las etapas de elaboración de las galletas hasta la obtención de la fórmula óptima.

Tabla 8: Diseño experimental para la obtención de la formulación óptima de galletas dulces a partir de harina de yuca, trigo y quinua

ETAPAS	OBTENCIÓN MATERIA PRIMA	FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE GALLETAS DULCES	EVALUACIONES	CARACTERIZACIÓN DE LA FÓRMULA OPTIMIZADA
TRATAMIENTOS	<p>Yuca</p> <p>Harina de trigo</p> <p>Quinua</p>	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p> <p>F5</p> <p>F6</p> <p>F7</p> <p>F8</p> <p>F9</p> <p>F10</p>	<p>F1</p> <p>F2</p> <p>F3</p> <p>F4</p> <p>F5</p> <p>F6</p> <p>F7</p> <p>F8</p> <p>F9</p> <p>F10</p> <p>F*</p>	
ANÁLISIS Y EVALUACIONES		<p>Obtención de múltiples formulaciones a partir de rangos de inclusión de las harinas mediante diseño de mezclas</p>	<p>Prueba de aceptabilidad general.</p> <p>Determinación del esfuerzo de corte, porcentaje de grasa y porcentaje proteico.</p>	<p>Análisis químico</p> <p>Prueba de aceptabilidad general.</p> <p>Análisis adicionales: pH, acidez, color y textura</p> <p>Cómputo aminoacídico</p>

F_n: Formulación obtenida mediante el *software*

F*: Formulación optimizada

En la Tabla 8, se muestra el esquema experimental de la investigación, la cual fue dividida en cuatro (4) etapas:

a. ETAPA I: OBTENCIÓN DE LAS HARINAS DE YUCA Y QUINUA

En esta etapa, las harinas fueron obtenidas siguiendo procedimientos específicos, los mismos se encuentran detallados en el apartado 3.6.1 y 3.6.2.

b. ETAPA II: FORMULACIÓN Y EABORACIÓN DE LAS GALLETAS

La obtención de las diferentes formulaciones fue haciendo uso del programa *Design Expert 7.0* con el que se obtuvo 10 distintos tratamientos, los cuales presentaron combinaciones de las 3 harinas de trigo empleadas que en conjunto pertenecen a la matriz variable. Los detalles se encuentran en el apartado 3.6.4

Obtenido los tratamientos, se procedió con la elaboración de las galletas cuyo detalle se encuentra en el apartado 3.6.5

c. ETAPA III: EVALUACIONES

Las evaluaciones realizadas a los tratamientos obtenidos fueron:

- Prueba de aceptabilidad general
- Esfuerzo de corte
- Porcentaje de grasa
- Porcentaje proteico

El detalle de los mismos se encuentra en el apartado 3.5 y 3.4 respectivamente.

d. ETAPA IV: DETERMINACIÓN DE LA FORMULA OPTIMIZADA Y CARACTERIZACIÓN DE LA MISMA

Para poder realizar la optimización multivariable antes se procedió a obtener los modelos de cada una de las variables estudiadas, para ello se eligió el modelo que presente mayor (R^2 y

R^2_{adj}). Aplicando el programa estadístico *Design Expert* versión 7.0, se obtuvo para cada una de las variables en estudio, el gráfico de superficie respuesta, gráfico de contornos y gráfico de COX.

Obtenidos los modelos matemáticos para cada una de las variables se realizó una optimización multirrespuesta, que incluye la optimización conjunta de todas las variables establecidas para este estudio, donde se consideró ciertos criterios como: Maximizar la aceptabilidad, maximizar el contenido de proteínas, minimizar el contenido de grasa y tener como objetivo de esfuerzo de corte 1300 g.f. (gramo fuerza). Con todas estas consideraciones se obtuvo una optimización simultánea, que contempló los criterios establecidos arrojando como porcentajes de participación de las harinas 22.9, 15 y 12.10 por ciento para las harinas de trigo, yuca y quinua, respectivamente.

Obtenida la fórmula optimizada se procedió a caracterizar la galleta optimizada, realizando la composición química, aceptabilidad general, esfuerzo de corte, color, Aw, Acidez y ph. Estos análisis se encuentran detallados en el apartado 3.4.2 y 3.5.

Se eligieron como variable respuesta a la aceptabilidad general, porcentaje de proteínas, porcentaje de grasa y textura. Fueron consideradas estas variables debido al grado de importancia sensorial y nutricional que presentan. Para el análisis de todas las variables se utilizó un modelo cúbico, debido a la recomendación otorgada por el *software*.

Se usó el gráfico de superficie respuesta y contornos para apreciar la variación de la variable en estudio, en función de los ingredientes estudiados. Gutiérrez y De la Vara (2008) representa la superficie respuesta con curvas de nivel o isolíneas que permite ubicar los niveles de los factores sobre los cuales la variable de interés toma el mismo valor. Geométricamente hablando estas líneas son producto de la proyección perpendicular de las líneas generadas por los cortes transversales, y a determinadas alturas, que un plano (paralelo a la base) realiza a la superficie generada.

Se utilizó el gráfico de Cox para cada interpretar a detalle la influencia de cada variable independiente en las respuestas estudiadas, ya que según explica Gutiérrez y De la Vara

(2008) es una forma de evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla. Esta gráfica inicia con una mezcla de referencia (usualmente con el centroide de la región experimental), y va mostrando la manera en que la respuesta (Y) se modifica conforme uno de los componentes aumenta o disminuye su participación en la mezcla. Cuando uno de los componentes cambia, el resto se incrementa o disminuye en forma proporcional.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBTENCIÓN DE LAS HARINAS

4.1.1. RENDIMIENTOS OBTENIDO PARA LAS HARINAS DE QUINUA Y YUCA

En la Tabla 9, se encuentran detallados los rendimientos para la molienda y el rendimiento global, logrados durante el proceso de obtención de la harina de quinua y yuca, partiendo de la materia prima.

Tabla 9: Porcentaje de rendimiento, para la obtención de harina de quinua y yuca

RENDIMIENTO	QUINUA	YUCA
Rendimiento de la molienda	95	96.3
Rendimiento general	-	22.83

Se aprecia que el rendimiento en molienda es alto. Sin embargo, el rendimiento general para el caso de la yuca resultó bajo ya que gran parte de la composición química de la yuca está representada por agua, 61 por ciento de humedad según Alvarado (2009), se aprecia que el rendimiento de la molienda para la quinua y yuca fue de 95 y 96.3 por ciento, respectivamente, valores elevado y acorde a lo reportado por Pajarito (2005), quien reportó un rendimiento de 94.1 por ciento para la molienda. A continuación, se presenta la Figura 12, donde podemos apreciar el rendimiento obtenido en cada etapa para la obtención de la harina de yuca.

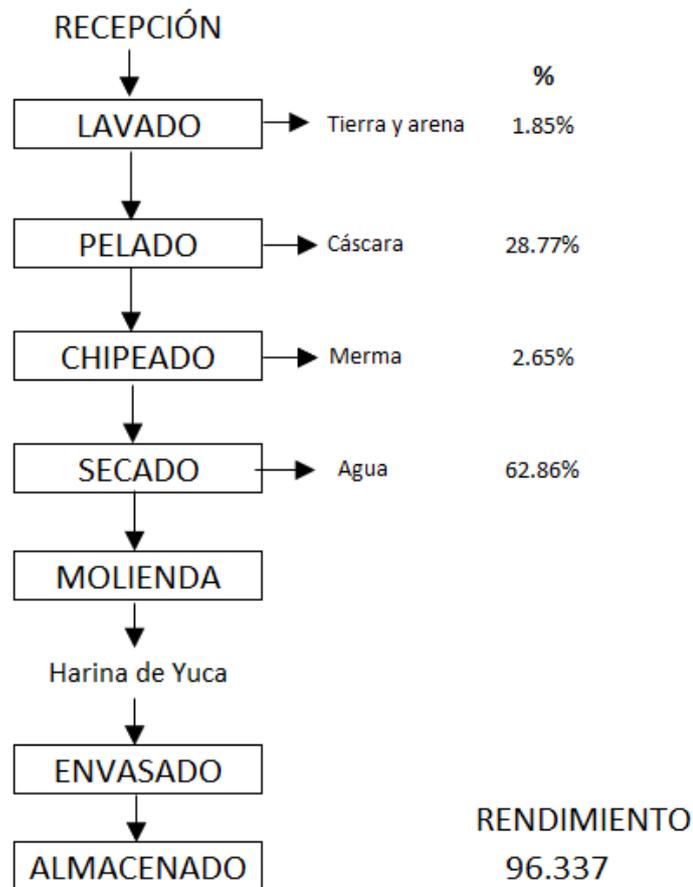


Figura 12: Flujo de operaciones con rendimientos detallados para cada etapa del proceso de obtención de harina de yuca

El porcentaje de tierra, arena y trozos de raíces que se encuentra en la materia prima para la yuca es de 1.85 por ciento, se verificó que la cáscara representa el 28.77 por ciento de la raíz. En el proceso de laminado la merma generada fue de 2.65 por ciento esto debido a que pulpa de la yuca queda incrustada dentro de la maquina laminadora la cual se pierde durante el lavado de la máquina. El rendimiento para la etapa del secado fue de un 37.14 por ciento, este porcentaje resulta muy bajo debido a la alta humedad de la yuca (59 por ciento según collazos *et al.*, 1993) y ha sido retirada durante el proceso, que representa el 62.86 por ciento de la materia prima. En la molienda el rendimiento obtenido fue 96.34 por ciento, la merma corresponde a las partículas de harina impregnadas al interior del equipo de molienda.

El rendimiento general, para la obtención de la harina de yuca, fue de 24.35 por ciento, no se determinó el rendimiento general para la quinua debido a que el único proceso por el que pasó fue la molienda; ya que se partió de una quinua lavada y seca.

4.2. GRANULOMETRÍA DE LAS HARINAS

Este análisis determinó la distribución del tamaño de las partículas de cada materia prima utilizada. En la Tabla 10, se muestra el análisis granulométrico de las harinas de yuca y quinua respectivamente. Para determinar la granulometría de las harinas se usaron 30g de las harinas obtenidas, las cuales fueron dispuestas en el tamiz de menor número de malla, para posteriormente encender el Rot – Tap. El tamizado se realizó por medio de un juego de tamices marca TYLER con diferentes números de malla: 30, 40, 70, 80 y 100.

El INDDA (1996), recomienda colocar 100 g de la harina y posteriormente zarandear con un sistema eléctrico por un intervalo de 5 minutos (para harina de trigo); sin embargo en pruebas realizadas con las harinas en estudio, las partículas se aglomeraban impidiendo el paso de las demás partículas y obstruyendo los orificios del tamiz; esto debido a la gran cantidad de partículas presentes; por lo cual se procedió a usar cantidades menores a 100g, hasta llegar a la cantidad idónea para realizar un buen tamizado; dicha cantidad fue de 30g y un espacio de tiempo de 15 minutos en el Rot – up, recomendado por Alvarado (2009). Luego de concluido el tiempo de tamizado se procedió a pesar cada tamiz, determinando así la cantidad de material retenido en cada uno de ellos, en la Tabla 10 se detallan los resultados del análisis granulométrico para las harinas en estudio.

Tabla 10: Resultados de la granulometría de la harina de yuca y quinua

Malla	Abertura (mm)	YUCA		QUINUA	
		Porcentaje Retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido acumulado
30	0.595	0.33	0.33	0.33	0.33
40	0.420	0.67	1.00	1.67	2.00
70	0.210	1.67	2.67	87.00	89.00
80	0.177	44.33	47.00	8.67	97.67
100	0.149	30.33	77.33	0.33	98.00
Base	-	22.67	100.00	2.00	100.00

Teóricamente la granulometría de las harinas obtenidas debería ser similar para ambos casos, debido a que la malla usada en el molino de martillos fue la misma, sin embargo, como se puede apreciar en la Tabla 10, dichas granulometrías difieren notablemente en cuanto a la distribución en las mallas, esto debido a que diversos factores intervienen durante la determinación de la granulometría, entre ellas la humedad y el contenido graso. La humedad con la que ingresaron las harinas de yuca y quinua al Rot – Tap fueron 6.29 y 6.11 por ciento respectivamente, mientras que el contenido graso de ellas fue de 0.58 y 6.57 por ciento respectivamente.

En el caso de la harina de yuca, las partículas se distribuyeron de manera adecuada en el Rot-Tap, mientras que las partículas de la harina de quinua formaron pequeños grumos, los cuales no permitían un adecuado paso por las mallas. Esta aglomeración de las partículas puede estar explicado por el elevado contenido graso de la harina de quinua, comparado con otras harinas, ya que el grano de quinua al estar particulado, presenta una mayor área de exposición donde la grasa presente en las partículas se encuentra más expuestas, por lo que gracias a la afinidad apolar que presentan las grasas es que se unen las partículas, formando así los grumos.

En la Tabla 10, se puede apreciar que el porcentaje retenido acumulado en la malla 70 (0.210mm), para el caso de la harina de yuca, es de 2.67; con lo cual se deduce que paso un 97.3 por ciento por el tamiz de malla 70, se puede asegurar que la harina obtenida se considera como fina. Esto según indica el Codex Alimentarius (1989) y el INACAL (2014), quienes indican que para que una harina sea considerada fina el 90 por ciento de las partículas debe de pasar el tamiz con apertura de 0.6mm.

Para el caso de la harina de quinua, se puede apreciar que la mayor parte de las partículas (87 por ciento) se encuentran por encima de los 0.210 mm y por debajo de los 0.420 mm. Mientras que, en el caso de la harina de yuca, el 97.3 por ciento de las partículas se encuentra por debajo de los 0.210 mm.

4.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS HARINAS

En la Tabla 11, se puede apreciar el análisis químico realizado a las harinas empleadas para la investigación.

Tabla 11: Resultados porcentuales del Análisis químico para las harinas de quinua, yuca y trigo, expresado en g/100 g base seca

	Quinua	Yuca	Trigo
Humedad	6.11 ± 0.09 *	6.29 ± 0.02	13.36 ± 0.03
Cenizas	3.21 ± 0.02	3.79 ± 0.03	0.73 ± 0.01
Grasa	7.00 ± 0.03	0.62 ± 0.01	1.47 ± 0.02
Fibra cruda	1.31 ± 0.02	1.89 ± 0.04	0.52 ± 0.01
Proteínas	17.44 ± 0.04	1.92 ± 0.03	12.78 ± 0.01
Carbohidratos	71.05 ± 0.08	91.78 ± 0.03	84.49 ± 0.02

*Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

Combariza y Sánchez (2006) indican que el porcentaje de humedad de las harinas depende mucho de la tecnología de secado utilizada, tiempo de secado y las condiciones de almacenamiento, estableciendo que si el secado del material se realiza utilizando un secado solar puede obtenerse un contenido de humedad menor a 8 por ciento, mientras que con secadores artificiales puede reducirse dicho contenido a 2 o 3 por ciento. Indica también que el material debe ser secado hasta alcanzar niveles de humedad por debajo del 13 por ciento, así mismo el INACAL (2015), menciona que la harina de trigo debe presentar un porcentaje de humedad máximo de 15 por ciento. Por lo tanto, el contenido de humedad de las harinas obtenidas se encuentra dentro del rango mencionado por los autores, quienes indican que la humedad de la harina está entre 4.4 y 13.2 por ciento.

Benites *et al.* (2008) en el análisis químico realizado a la harina de yuca, encontraron una humedad de 7.97 por ciento, cenizas (2.80 por ciento), grasa (0.66 por ciento), fibra (1.30 por ciento), proteínas (2.17 por ciento) y carbohidratos (94.36 por ciento). Collazos *et al.* (1993) también indican los siguientes valores para el análisis químico: Humedad 14.3 por ciento, proteína 1.7 por ciento, grasa 0.5 por ciento, fibra 1.8 por ciento y cenizas 2.6 por ciento. INACAL (2014) indica un valor máximo de 2 por ciento para la fibra bruta como

medida de calidad. De acuerdo a los datos obtenidos por los autores anteriormente mencionados, los resultados que se presentan en la Tabla 11 son similares.

Mujica *et al.* (2006) en el análisis químico para la harina de quinua, reportó un porcentaje de proteínas 14.44 por ciento, grasa 6.05 por ciento, fibra 3.99 por ciento, ceniza 2.93 por ciento y carbohidratos 72.59 por ciento en base seca respectivamente. El INACAL (2013) indica como medida de calidad los siguientes valores: Humedad (13.5 por ciento máx), proteína (10.0 por ciento mín), fibra cruda (1.70 por ciento mín), cenizas totales (3.0 por ciento máx), grasa (4 por ciento mín). Podemos apreciar que los resultados obtenidos por los autores mencionados anteriormente no difieren notablemente de los obtenidos en la presente investigación los cuales pueden apreciarse en la Tabla 11. Así mismo se puede apreciar que el contenido graso y proteico de la harina de quinua es superior a las harinas de yuca y trigo. Espinoza *et al.* (2005) indican que el contenido graso que presenta la quinua representa un valor importante ya que es rico en ácidos oleico, linoleico y linolénico de los cuales los dos últimos son ácidos grasos esenciales, lo cual indica que es una buena fuente de estos nutrientes.

Calaveras (2004) establece que los valores de los analisis fisicoquimicos para la harina de trigo deben estar en los siguientes rangos: Humedad de 13 -15 por ciento, cenizas de 0.55 a 0.65 por ciento, grasa de 1 a 2 por ciento, fibra cruda 3 por ciento y las proteinas de 8 a 11 por ciento. Benites *et al.* (2008), reportaron valores cercanos para el contenido de proteínas y carbohidratos. El INACAL (2015) establece como medida de calidad de la harina de trigo un valor máximo de 15.00 por ciento de humedad y 0.75 a 1.4 por ciento de cenizas. Comparando los resultados obtenidos en esta investigación, con lo indicado por los autores, encontramos que dichos valores son similares.

Los valores de humedad obtenidos para la harina de quinua y yuca, son considerados bajos para un alimento, lo que aumenta las posibilidades de que estas harinas se conserven en buen estado a través del tiempo (Pajarito, 2005). Por otro lado, Henao y Aristiaval (2009) indican que el contenido de fibra cruda en la harina de yuca es mayor que en la harina de trigo, cuya característica otorga a las galletas un mayor valor nutricional ya que presenta contenidos de fibra similares a los de las harinas integrales, lo cual se puede apreciar en Tabla 11, donde la harina de yuca presenta un poco más del triple en contenido de fibra que la harina de trigo.

Pardio y Waliszewski (1994) indica que la harina de yuca presenta un bajo contenido proteico, así como una cantidad reducida de lisina y moderado contenido de aminoácidos azufrados; es por ello que fue necesario suplementar el producto con quinua, ya que es una fuente importante de proteínas, con la finalidad de potenciar los nutrientes que son esenciales para la dieta. Akubor y Ukwuru (2003) indican que se han realizado estudios con el objeto de incrementar la calidad proteica de la harina de yuca mediante su complementación con otra materia prima que contenga los aminoácidos limitantes de este tubérculo.

4.4. ELABORACIÓN DE LA GALLETA

4.4.1. COMPORTAMIENTO DE LA MASA

En los ensayos realizados se encontró que el porcentaje mínimo de harina de trigo que debía de estar presente en la formulación fue de 15 por ciento respecto a la composición total para asegurar un manejo aceptable de la masa, de modo que el manejo y la facilidad de moldeado que presente la masa sean tecnológicamente adecuados.

Aquellas pruebas donde solo se usó harina de trigo, la masa fue de fácil manejo y factible al moldeado, se apreció que la masa luego de 10 minutos conservaba su manejabilidad. La situación fue completamente diferente cuando se elaboró la galleta con 100 por ciento de harina de yuca; aquí el manejo de la masa fue complicado, ya que la masa resulto muy seca y difícil de laminar; como resultado se observó que durante el laminado la masa se cuarteaba y desmoronaban rápidamente en pequeños pedazos. De esa manera se hicieron una serie de pruebas con diferentes proporciones de las harinas hasta encontrar los rangos establecidos, con los cuales se pudo obtener los diez tratamientos.

Con todas las consideraciones mencionadas se logró obtener los rangos de participación de cada tipo de harina. Luego de obtener los 10 tratamientos, se observó que el tratamiento tres fue quien presentó mejores resultados para la masa; ya que pasado los diez minutos la masa permanecía aún manejable; fue el tratamiento siete, quien presentó un menor manejo para la masa, ya que la corteza se secaba más rápido que los demás tratamientos, lo cual redujo la manejabilidad de la masa.

La explicación al mejor manejo de masa cuando mayor es la proporción de harina de trigo es debido al gluten presente en la harina de trigo, con respecto a lo anterior Cabeza (2009) indica que las proteínas más solubles del gluten son las gliadinas, que constituyen aproximadamente la tercera parte del gluten y contribuye a la cohesión y elasticidad de la masa, masa más blanda y más fluida. Las otras dos terceras partes restantes son las gluteninas, contribuyen a la extensibilidad, masa más fuerte y firme.

El porcentaje de grasa en base harina utilizada para la elaboración de las galletas fue de 25.6 por ciento, dicho valor se encuentra por debajo de lo empleado por contreras (2015), quien utilizó un 32 por ciento en el desarrollo de una galleta dulce enriquecida con quinua blanca.

4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMULACIONES OBTENIDAS POR DISEÑO DE MEZCLAS

4.5.1. ANÁLISIS QUÍMICO

En la Tabla 12, se presenta el análisis químico de las diez galletas formuladas, que presentan diferentes grados de sustitución de harina de yuca y quinua.

Tabla 12: Análisis químico de los tratamientos, expresados en g/100g base seca

	Humedad	Cenizas	Grasa	Fibra	Proteína	Cho's
T1	2.58 ± 0.02*	1.70 ± 0.01	17.05 ± 0.02	0.64 ± 0.02	5.90 ± 0.01	74.70 ± 0.04
T2	2.81 ± 0.01	1.80 ± 0.01	17.12 ± 0.01	0.74 ± 0.02	5.86 ± 0.04	74.48 ± 0.05
T3	3.50 ± 0.01	1.87 ± 0.01	16.04 ± 0.05	0.73 ± 0.01	6.74 ± 0.05	74.62 ± 0.12
T4	1.76 ± 0.01	1.82 ± 0.01	16.53 ± 0.08	0.80 ± 0.01	5.12 ± 0.04	75.72 ± 0.16
T5	2.39 ± 0.02	1.77 ± 0.03	16.81 ± 0.07	0.81 ± 0.02	5.39 ± 0.02	75.22 ± 0.12
T6	3.05 ± 0.01	1.79 ± 0.01	17.19 ± 0.05	0.74 ± 0.02	6.53 ± 0.02	73.76 ± 0.04
T7	3.57 ± 0.01	1.95 ± 0.01	16.14 ± 0.04	0.86 ± 0.01	4.50 ± 0.06	76.54 ± 0.10
T8	3.94 ± 0.03	1.94 ± 0.01	17.63 ± 0.09	0.81 ± 0.03	5.35 ± 0.02	74.27 ± 0.06
T9	3.55 ± 0.03	2.07 ± 0.03	16.49 ± 0.03	0.97 ± 0.01	6.43 ± 0.01	74.04 ± 0.03
T10	3.57 ± 0.01	2.05 ± 0.01	17.75 ± 0.03	1.11 ± 0.02	6.98 ± 0.03	72.11 ± 0.08

*Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

Con respecto al contenido de humedad y cenizas, todas las galletas se encuentran dentro de lo que establece el INACAL (2016), quien menciona que el porcentaje de humedad y cenizas de las galletas no debe ser mayor a 12 y 3 por ciento, respectivamente. Así mismo no menciona valores para los otros componentes. Contreras (2015) encontró valores similares de porcentaje de humedad y ceniza en las galletas elaboradas utilizando quinua blanca como sustituto de la harina de trigo. De los tratamientos evaluados el máximo valor de humedad lo presenta el tratamiento ocho, con un valor de 3.94 por ciento.

En la Tabla 12, se puede apreciar que el contenido proteico del tratamiento diez fue mucho mayor con respecto a los demás, con un valor de 6.98 por ciento. Esto debido a que el tratamiento diez presentó mayor porcentaje de harina de quinua. El tratamiento cuatro fue quien menor contenido proteico presentó, debido a la elevada participación de la harina de yuca, siendo éste un ingrediente que menos aporte proteico tiene en la fórmula.

Los valores de porcentaje de grasa para las formulaciones fueron menores a 18 por ciento para todos los casos, siendo esto beneficioso desde un punto de vista saludable; ya que el aporte graso que tendrá para el organismo es bajo. Sin embargo, su presencia en la masa es importante. Cabeza (2009) menciona que a nivel tecnológico la grasa actúa como antiaglutinante, lubricante y suavizante en la masa. Así mismo la grasa contribuye en la textura de la galleta haciéndolas menos duras de lo que serían sin ellas y otorgándoles una estructura fragmentable, fácil de romper. Esto debido a que la grasa cubre la harina interrumpiendo la continuidad de la estructura de proteína y almidón. En cuanto a las propiedades comestibles, después del procesamiento, resulta menos áspera, mas fragmentable y con más tendencia a deshacerse en la boca.

El aporte de fibra en las fórmulas fue principalmente por las harinas de yuca y quinua; dónde la harina de yuca tuvo el mayor aporte, esto se puede apreciar en la Tabla 12. Así mismo se aprecia que el contenido de fibra va incrementándose conforme el porcentaje de harina de yuca y quinua se incrementan. El tratamiento que presentó el mayor porcentaje de fibra fue el tratamiento diez con un valor de 1.11 por ciento.

4.5.2. ACEPTABILIDAD GENERAL

En la Tabla 13, se presentan los resultados promedio de la prueba de aceptabilidad.

Tabla 13: Resultados promedio de las valoraciones obtenidas en la evaluación de la aceptabilidad general de las galletas de los 10 tratamientos

Tratamientos	Aceptabilidad General
T1	6.93 ± 1.08 ⁽¹⁾
T2	6.86 ± 1.14
T3	6.68 ± 1.25
T4	7.02 ± 1.27
T5	6.66 ± 1.22
T6	6.45 ± 1.53
T7	6.97 ± 1.36
T8	6.85 ± 1.38
T9	6.59 ± 1.28
T10	6.19 ± 1.48

*Valores promedio de 84 repeticiones ± desviación estándar.

En la Tabla 13, se presenta el promedio de los resultados obtenidos de la prueba de aceptabilidad general de las galletas elaboradas, así mismo se aprecia que la aceptabilidad más baja (6.19) la presentó el tratamiento diez, mientras que la aceptabilidad más alta (7.02) la presentó el tratamiento cuatro. El detalle de los resultados de la evaluación se puede apreciar en el ANEXO 5.

a. OPTIMIZACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD GENERAL

El resumen del modelo cúbico para la optimización de la aceptabilidad mediante la metodología superficie respuesta para las galletas formuladas a base de harina de trigo, yuca y quinua se presentan en el ANEXO 6. El modelo cúbico resultó significativo para la prueba siendo el *p*-valor del modelo (0.0004) menor que 0.05, con ello se explica que los datos se encuentran adecuadamente descritos por el modelo cúbico.

GRÁFICO DE SUPERFICIE RESPUESTA, GRAFICO DE CONTORNOS Y TRAZO DE COX

En la Figura 13, se puede apreciar el gráfico de superficie respuesta para el caso de optimización de la aceptabilidad general.

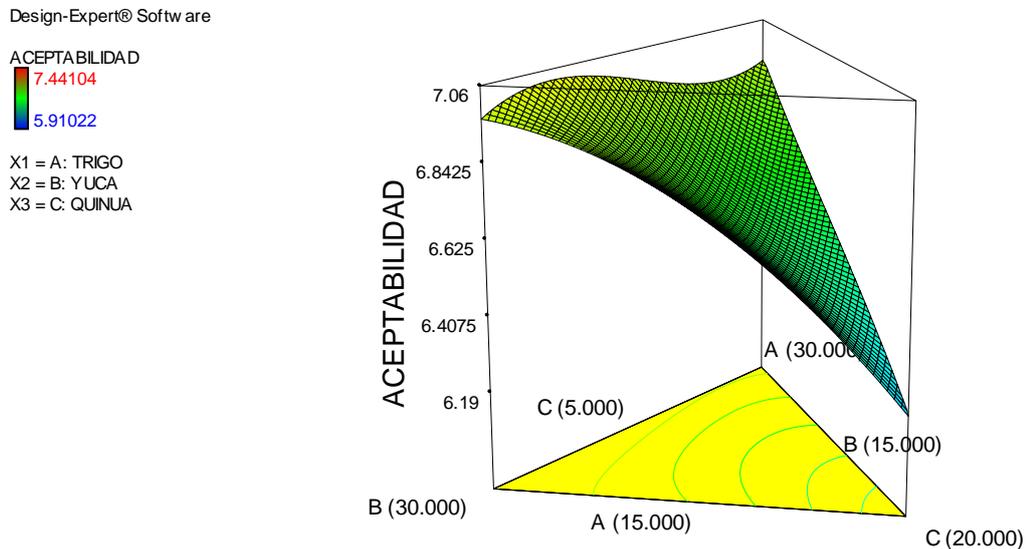


Figura 13: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización de la variable respuesta aceptabilidad

Se logra una aceptabilidad optimizada de 7.03 cuando los porcentajes de las harinas de trigo, yuca y quinua son: 18.30, 26.70 y 5.0 por ciento, respectivamente. A continuación, se presenta la ecuación correspondiente a la aceptabilidad general promedio.

$$\text{Aceptabilidad Promedio} = 6.93A + 6.97B + 6.19C + 0.10AB + 0.02AC + 0.61BC - 3.05ABC - 0.53AB(A - B) - 0.11*A*C*(A - C) - 0.01BC(B - C)$$

Donde: A = Harina de trigo, B = Harina de yuca y C = Harina de quinua

Podemos apreciar en la ecuación, que la variable harina de yuca es quien influencia en mayor medida a la aceptabilidad promedio, esto debido a que presenta el mayor coeficiente (6.97), muy de cerca le sigue la variable harina de trigo con un coeficiente de 6.93, por último, se encuentra la quinua influenciando en menor medida.

En Figura 14, se puede apreciar que la aceptabilidad se incrementa cuando nos acercamos a la región de mayor tonalidad amarilla, la cual corresponde a una inclusión mayor de la harina de yuca; así mismo se aprecia que cuando más nos aproximamos al vértice de mayor

inclusión de quinua, la cual corresponde a una tonalidad celeste, la aceptabilidad disminuye, de acuerdo con la escala de color. Sin embargo, gran parte de la región triangular tiene una tonalidad semejante, lo cual significa que la aceptabilidad también resulta parecida en zonas de similar coloración.

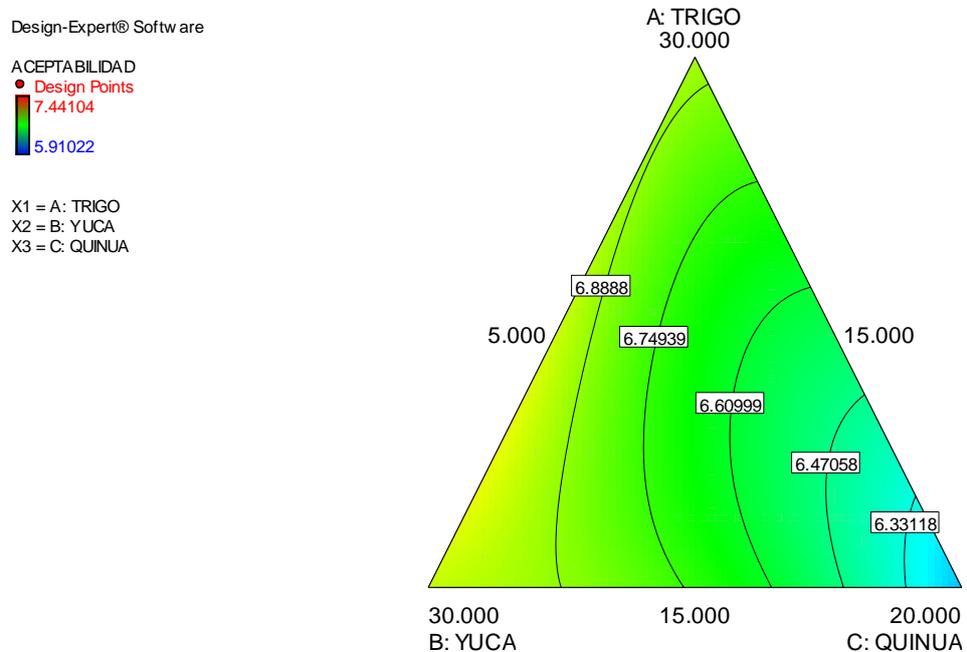


Figura 14: Gráfico de contornos para la variable respuesta aceptabilidad

Según Gutiérrez y De la Vara (2008), el gráfico de contornos presenta curvas de nivel o isolíneas donde, la variable respuesta presenta el mismo valor en toda su trayectoria. Se puede apreciar en la Figura 14 que existe una zona de marcada coloración celeste, la cual corresponde a porcentajes mayores de inclusión de harina de quinua (Cercanas al 20 por ciento) y donde se observa una isolínea con 6.33 de puntuación, en la zona de marcada coloración verde tenemos isolíneas con valores de aceptabilidad de 6.47 y 6.61, la proporción de quinua en la mezcla, para esta región, va de 10 a 20 por ciento. La región con mayor intensidad de color amarillo muestra zonas de mayor aceptabilidad, donde tenemos isolíneas de 6.75 y 6.89 las cuales se encuentran en zonas donde la inclusión de harina de quinua es menor y la proporción de las harinas de yuca y trigo son mayores.

En la Figura 15, se aprecia la influencia de los componentes en la aceptabilidad. Donde el componente A (Harina de trigo) y B (Harina de yuca) presentan una ligera influencia positiva sobre la aceptabilidad de las galletas, ya que la pendiente generada luego de la intersección de las líneas viene a ser positiva y pequeña. El incremento producido por el componente A

es casi insignificante. La harina de yuca presentó la mayor influencia positiva sobre la aceptabilidad, ya que mientras la concentración de esta se vea incrementada (dentro del rango de concentraciones designado) se obtienen valores mayores de aceptabilidad.

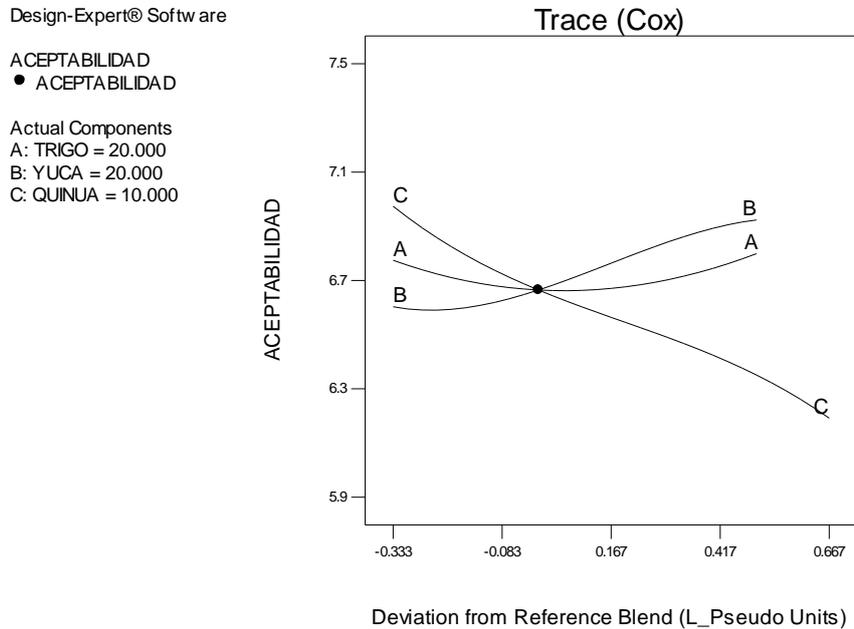


Figura 15: Diagrama de Cox para la variable respuesta aceptabilidad

Los extremos de las curvas generadas por cada componente representan los límites inferior y superior de los rangos empleados para el estudio. Se aprecia que el componente A presenta un comportamiento cuadrático, ya que en su concentración mínima (15 por ciento) y máxima (30 por ciento) está incrementando la aceptabilidad, ligeramente más a 30 que a 15 por ciento, y cercano al valor central la aceptabilidad va disminuyendo. B (Harina de yuca) presenta una marcada influencia positiva, ya que conforme vamos incrementando el contenido de harina de yuca el valor de la aceptabilidad se incrementa. Por el contrario, se puede observar que el componente con mayor efecto en la aceptabilidad es la harina de quinua, ya que cuando éste es modificado se logran los mayores cambios en la respuesta. Para el caso influye de forma negativa, tal como se aprecia en la Figura 15, conforme la cantidad de harina de quinua va incrementándose la aceptabilidad desciende notablemente.

4.5.3. PROTEÍNAS

En la Tabla 14, se presenta el promedio del porcentaje de proteínas para los diez tratamientos evaluados.

Tabla 14: Resultado promedio del porcentaje de proteínas para cada tratamiento, expresado en base seca

Tratamientos	Proteínas
T1	5.90 ± 0.01*
T2	5.86 ± 0.04
T3	6.74 ± 0.05
T4	5.12 ± 0.04
T5	5.39 ± 0.02
T6	6.53 ± 0.02
T7	4.50 ± 0.06
T8	5.35 ± 0.02
T9	6.43 ± 0.01
T10	6.98 ± 0.03

*Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

En la Tabla 14, se puede observar que el tratamiento diez fue quien mayor porcentaje de proteínas presentó, siendo este de 6.98 por ciento, así mismo el tratamiento siete obtuvo el menor contenido en proteínas (4.50 por ciento).

a. OPTIMIZACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNAS

El resumen del modelo cúbico para la optimización del contenido proteico se presenta en el ANEXO 7. El modelo cúbico resultó explicar mejor el comportamiento de los datos, ya que resultó significativo (p valor < 0.05), con un valor de $R^2 = 99.89$ por ciento y un $R^2_{adj} = 99.86$ por ciento, lo cual se traduce en que el modelo propuesto se ajusta muy bien a los datos.

GRÁFICO DE SUPERFICIE RESPUESTA, GRÁFICO DE CONTORNOS Y TRAZO DE COX

En la Figura 16, se puede apreciar el gráfico de superficie respuesta para el caso de optimización del porcentaje de proteínas.

Design-Expert® Software

PROTEINA

7.01371

4.44197

X1 = A: TRIGO

X2 = B: YUCA

X3 = C: QUINUA

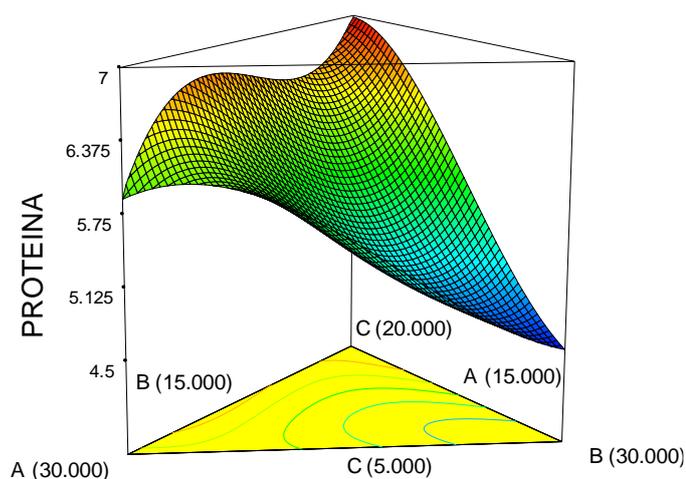


Figura 16: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización del contenido proteico

El porcentaje de proteínas obtenido en la optimización de esta variable fue de 6.98 por ciento. Ésta se logra cuando los porcentajes de las harinas de trigo, yuca y quinua son: 15, 15 y 20 por ciento, respectivamente. A continuación, se presenta la ecuación correspondiente a dicha variable respuesta.

$$\text{Porcentaje de Proteína} = 5.90A + 4.50B + 6.98C + 1.29AB + 0.86AC + 0.66BC - 19.30ABC + 1.81AB(A - B) + 3.84AC(A - C) - 1.71BC(B - C).$$

Donde: A = Harina de trigo, B = Harina de yuca y C = Harina de quinua

Se puede apreciar que el mayor coeficiente en la ecuación, es para la harina de quinua, la cual influencia en mayor medida al porcentaje proteico que presenta la galleta, así mismo la harina de trigo presenta una marcada influencia en el contenido proteico de la galleta.

En la Figura 17, se puede observar que las zonas azules representan los puntos más bajos en contenido de proteínas, mientras que las zonas rojas indican zonas donde el contenido de proteínas es mucho mayor. La incidencia en coloración azul es en la zona donde el porcentaje de yuca es mayor, en esta región los contenidos proteicos son cercanos a 4.92 por ciento, mientras que las zonas de mayor intensidad en color rojo indica contenidos proteicos cercanos a 7 por ciento, se observa que mientras mayor sea el porcentaje de quinua

empleado, mayor será el contenido proteico de la mezcla, sin embargo hay una zona donde el porcentaje de harina de trigo es elevado donde también se consigue un porcentaje proteico cercano a 7.

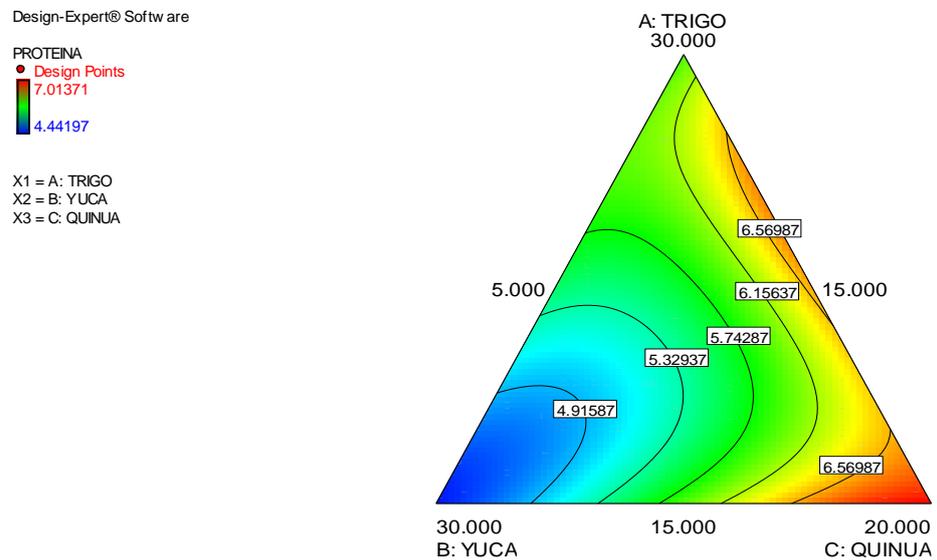


Figura 17: Gráfico de contornos para la variable respuesta proteína

Según Gutiérrez y De la Vara (2008), el gráfico de contornos presenta curvas de nivel o isolíneas donde, la variable respuesta presenta el mismo valor en toda su trayectoria. Para el caso de la Figura 17 podemos apreciar cinco isolíneas bien diferenciadas por la coloración que presentan en su trayectoria, la primera isolínea presenta un valor de 4.92 por ciento de proteína que se encuentra entre la coloración azul y celeste, siendo esta la zona la de menor contenido proteico y donde la inclusión de harina de yuca es cercana al valor máximo del rango establecido para esta. Seguidamente tenemos tres isolíneas con valores de proteína de 5.33, 5.74 y 6.16 por ciento con coloraciones de verde y verde-amarillo respectivamente. Por último, tenemos la isolínea que mayor contenido proteico presenta, llegando hasta un 6.57 por ciento, esta comprende dos regiones, una donde el porcentaje de inclusión de harina de trigo es cercano al 30 por ciento y otra donde el porcentaje de inclusión de harina de quinua es cercano al 20 por ciento, estas regiones mencionadas comprenden coloraciones anaranjadas, cercanas al rojo.

En la Figura 18, se aprecia que el comportamiento de A (Harina de trigo) y C (Harina de Quinua) son muy parecidos, presentando una influencia positiva en el aporte proteico. Esto

se puede evidenciar ya que las pendientes que presentan sus trazos respectivos, son positivas a partir del punto de intersección.

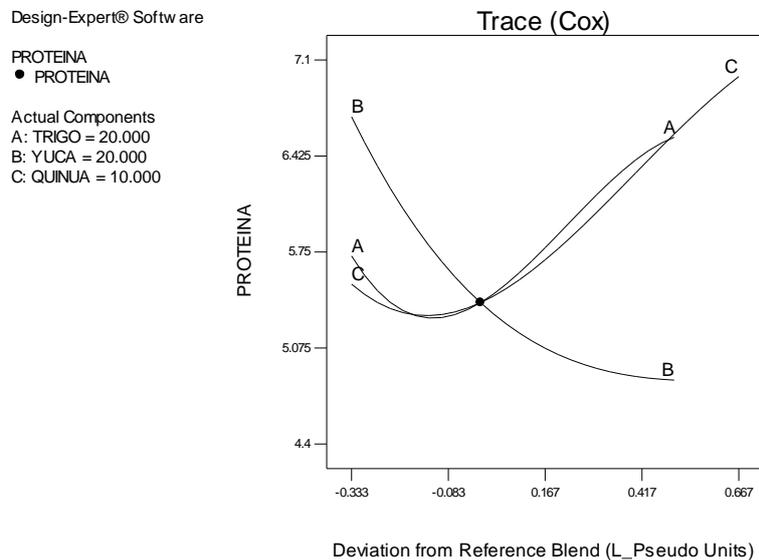


Figura 18: Diagrama de Cox para la variable respuesta proteína

En los trazos generados para la harina de trigo (A) y quinua (C) se aprecia que, si aumentamos la participación de ellos en la mezcla, la influencia se verá reflejada en un incremento en el contenido proteico de las galletas. Observamos que el componente C influencia en mayor medida que A en cuanto al aporte proteico, ya que en el valor final que presentan ambos A incrementa el contenido proteico hasta un 6.5 por ciento aproximadamente, mientras que C llega hasta un 7.0 por ciento. Así mismo se aprecia que la harina de yuca (B) presenta una marcada influencia negativa en el porcentaje proteico, ya que conforme la participación de esta variable se va incrementando en la fórmula, el contenido proteico desciende considerablemente. También se puede apreciar que el componente B (Harina de yuca) presenta una pendiente negativa bien pronunciada, lo cual indica que pequeños cambios en la proporción de esta puede verse negativamente reflejada en el contenido proteico de la mezcla.

4.5.4. GRASA

Para la optimización de esta variable, se buscó minimizar su contenido en la formulación. En la Tabla 15, se presenta el porcentaje de grasa para cada tratamiento evaluado.

Tabla 15: Resultado promedio del porcentaje de grasa expresado en base seca, para cada tratamiento

Tratamientos	Grasa
T1	17.05 ± 0.02
T2	17.12 ± 0.01
T3	16.04 ± 0.05
T4	16.53 ± 0.08
T5	16.81 ± 0.07
T6	17.19 ± 0.05
T7	16.14 ± 0.04
T8	17.63 ± 0.09
T9	16.49 ± 0.03
T10	17.75 ± 0.03

*Valores promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

Se aprecia que el tratamiento tres fue el que presentó el menor contenido de grasa, mientras que el tratamiento diez presentó mayor porcentaje de grasa, ello debido a la combinación de materias primas que intervienen en la fórmula.

a. OPTIMIZACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA

El resumen del modelo cúbico para la optimización del contenido de grasa se presenta en el ANEXO 8. El modelo cúbico resultó ser quien mejor explica el comportamiento de los datos, resultando significativo (p valor < 0.05), con un valor de $R^2 = 99.50$ por ciento y un $R^2_{adj} = 99.35$ por ciento, con ello se entiende que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos reales.

GRÁFICO DE SUPERFICIE RESPUESTA, CONTORNOS Y TRAZO DE COX.

En la Figura 19, se puede apreciar el gráfico de superficie de respuesta para el caso de optimización de la variable respuesta, porcentaje de grasa.

GRASA
 17.7692
 16.0031
 X1 = A: TRIGO
 X2 = B: YUCA
 X3 = C: QUINUA

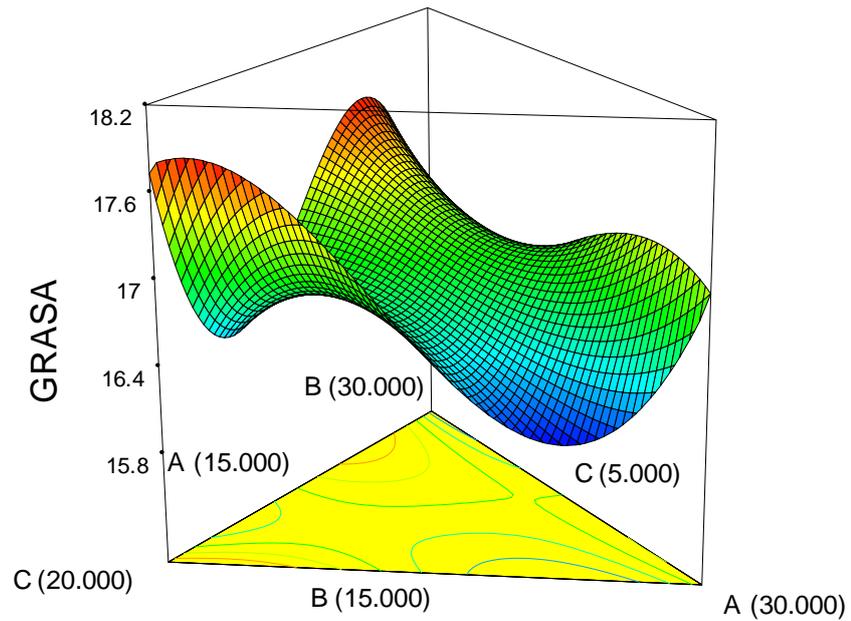


Figura 19: Gráfico de superficie respuesta estimada para la optimización de la variable respuesta porcentaje de grasa

Para el caso del porcentaje de grasa en las galletas, la optimización se realizó minimizando el contenido de la misma. El valor optimizado fue de 15.99 por ciento cuando los porcentajes de harinas de trigo, yuca y quinua fueron: 26.23, 15.00 8.77 por ciento respectivamente. A continuación, se presenta la ecuación correspondiente al porcentaje de grasa.

$$\text{Porcentaje de grasa} = 17.05A + 16.13B + 17.74C + 1.04AB - 3.53AC + 0.55BC + 1.30ABC + 1.91AB(A - B) - 6.15AC(A - C) + 11.31BC(B - C).$$

Donde: A = Harina de trigo, B = Harina de yuca y C = Harina de quinua

En la Figura 20, se aprecia el gráfico de contornos para la variable grasa. Para este caso el punto óptimo se ubicó en las zonas azules, ya que es ahí donde menores valores de porcentaje graso presentó. Así mismo se aprecia que existe tres zonas posibles, siendo la zona de azul más intenso donde se encuentra el óptimo.

Design-Expert® Software

GRASA
17.7692
16.0031

X1 = A: TRIGO
X2 = B: YUCA
X3 = C: QUINUA

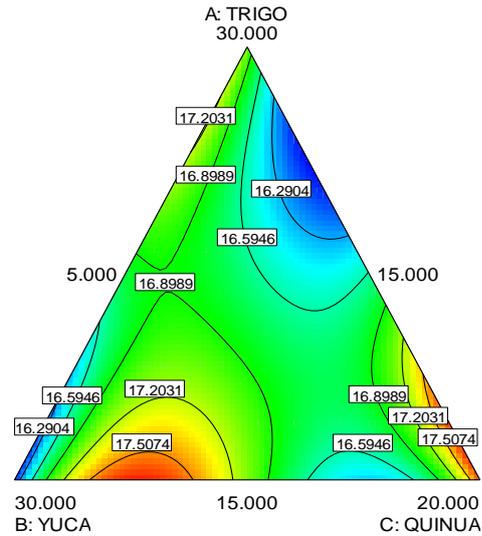


Figura 20: Gráfico de contornos para la variable respuesta grasa

De acuerdo a lo mencionado por Gutiérrez y De la Vara (2008), el gráfico de contornos presenta curvas de nivel o isolíneas donde, la variable respuesta presenta el mismo valor en toda su trayectoria. Para la Figura 20 podemos apreciar una zona predominante de coloración verde a cuya isolínea corresponde un valor de 16.89 por ciento de grasa. Así mismo observamos dos regiones cuya coloración cercana al rojo presenta una isolínea con un porcentaje de grasa de 17.50 por ciento, siendo la que mayor aporte de grasa presenta. Por último, se aprecian 3 zonas de colores celeste y azul cuyas isolíneas presentan 16.59 y 16.29 por ciento de grasa. Es en estas zonas de coloración azul donde encontraremos el porcentaje de participación de los componentes en la optimización de la grasa.

En la Figura 21, se aprecia que el trazo del componente B (Harina de Yuca) presenta una ligera influencia negativa, con pendiente positiva, y una relación directamente proporcional entre la variación del contenido de grasa en la mezcla con la variación de este componente. Así mismo, el componente que mayor efecto presenta en el contenido de grasa es la harina de quinua (C); ya que, desde el punto de inflexión, de la gráfica que representa, la pendiente generada es superior a las generadas por los otros componentes, lo cual se traduce en que pequeños incrementos de este componente en la mezcla generan significativos cambios en el porcentaje de grasa de la galleta. Por otro lado, el componente A (Harina de trigo) presenta una marcada influencia positiva ya que conforme se incrementa el contenido de ésta el porcentaje de grasa disminuye, se aprecia una pendiente negativa y una relación inversamente proporcional de este componente con el contenido de grasa de la galleta.

Design-Expert® Software

GRASA
● GRASA

Actual Components
A: TRIGO = 20.000
B: YUCA = 20.000
C: QUINUA = 10.000

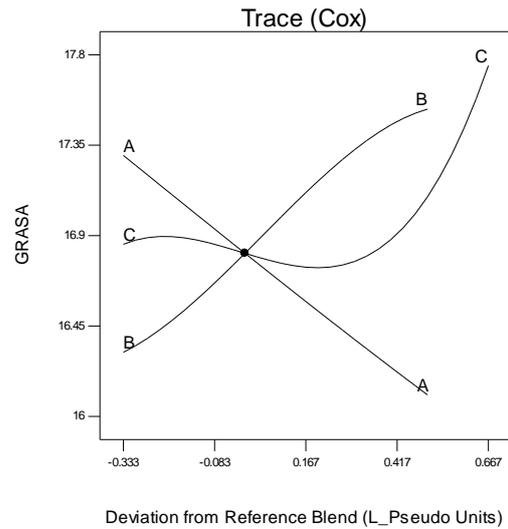


Figura 21: Diagrama de Cox para la variable respuesta grasa

4.5.5. ESFUERZO DE CORTE

En la Tabla 16, se presenta los valores de esfuerzo de corte obtenidos para cada tratamiento. Para el caso, la optimización fue llegar un valor objetivo de 1300 gf, valor promedio recomendado por Garcia-Armenta *et al.* (2016) para galletas circulares estructuralmente sólidas sin grietas radiales o tangenciales.

Tabla 16: Fuerza de corte para los diez tratamientos obtenidos

Tratamientos	Fuerza de corte (g)
T1	1123.85 ± 41.5*
T2	1177.7 ± 11.5
T3	1085.4 ± 40.6
T4	970.6 ± 44.3
T5	1305 ± 64.2
T6	1619.85 ± 80.3
T7	1244.85 ± 6.4
T8	1693.15 ± 74.3
T9	1291.25 ± 61.0
T10	1692.25 ± 31.3

*Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

En la Tabla 16, se presentan los valores promedios de esfuerzo de corte obtenidos. Donde el menor valor de esfuerzo de corte le corresponde al tratamiento cuatro con un valor de 970.6 g.f, mientras que el tratamiento ocho obtuvo el mayor valor, siendo este de 1693.15 g.f.

a. OPTIMIZACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE

El resumen del modelo cúbico para la optimización del esfuerzo de corte mediante la metodología superficie respuesta, se presentan en el ANEXO 9. El modelo cúbico resultó significativo para la prueba, siendo el p del modelo (0.0001) menor que 0.05 con un valor de $R^2 = 98.93$ por ciento y un $R^2_{adj} = 98.61$ por ciento. Con ello se explica que los datos se encuentran adecuadamente explicados por el modelo cúbico.

GRÁFICO DE SUPERFICIE RESPUESTA, CONTORNOS Y TRAZO DE COX

En la Figura 22, se puede apreciar el gráfico de superficie respuesta para el caso de optimización de la variable respuesta, esfuerzo de corte.

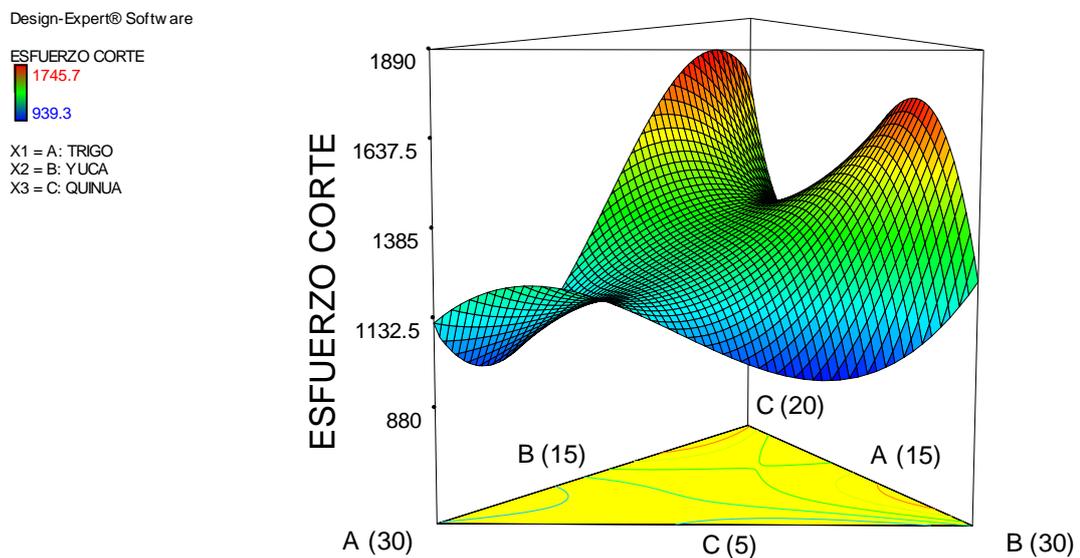


Figura 22: Gráfico de superficie respuesta para la optimización del esfuerzo de corte

Las proporciones de harina recomendadas para obtener el esfuerzo de corte establecido son: 20.75 de harina de trigo, 18.13 de harina de yuca y 11.11 por ciento de harina de quinua.

Según Gutiérrez y De la Vara (2008), el gráfico de contornos presenta curvas de nivel o isóneas donde, la variable respuesta presenta el mismo valor en toda su trayectoria. En la Figura 23, se aprecia que el esfuerzo de corte presenta los valores más bajos cuando el porcentaje de participación de la harina de trigo se ve incrementada; así encontramos una región de color azul-Celeste que corresponde a los valores bajos de esfuerzo de corte, donde la isónea generada presenta 1099.87 g. Por el contrario, cuando se incrementan el porcentaje de la harina de yuca o quinua individualmente, los valores de esfuerzo de corte se ven incrementados; en la Figura 23 podemos apreciar dos regiones con tonalidad roja, donde los contornos establecidos para cada región presentan 1647.93g de esfuerzo de corte. También se presentan isóneas intermedias de esfuerzo de corte, ubicadas en las zonas de coloración verde con valores de 1236.89, 1373.9 y 1510.91 para cada una respectivamente.

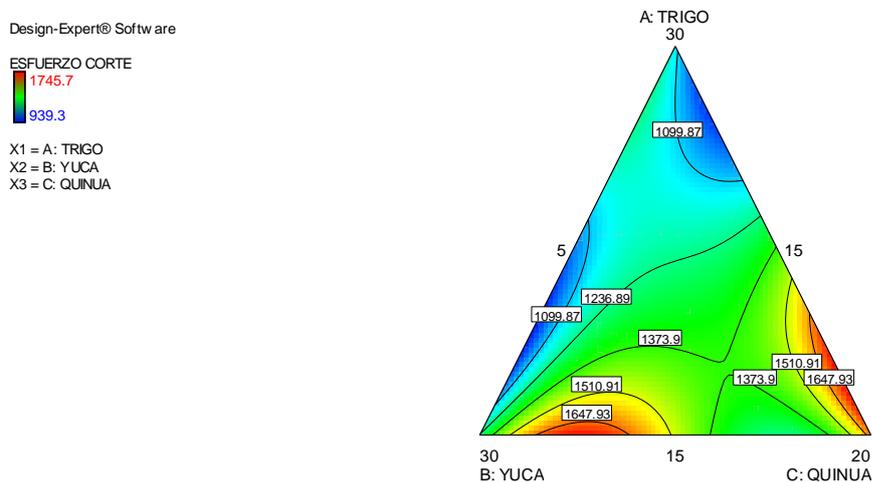


Figura 23: Gráfico de contornos para la variable, esfuerzo de corte

En la Figura 24, se aprecia que los componentes B (Harina de Yuca) y C (Harina de quinua) presentan una marcada influencia en el aumento del esfuerzo de corte de la galleta, ya que si incrementamos las concentraciones de estos componentes el esfuerzo de corte también se verá incrementado; esto debido a la pendiente positiva que presentan dichas variables. Para el caso de la harina de yuca (B) se observa que es hasta el punto de inflexión del trazo donde la influencia positiva es ligera en el esfuerzo de corte, posterior a la inflexión el comportamiento se mantiene con un mayor efecto positivo. También se observa que el componente A (Harina de trigo) influye en reducir el valor del esfuerzo de corte en la galleta, por ello si aumentamos la concentración del componente A el valor de esfuerzo de corte de la galleta será menor.

Design-Expert® Software

ESFUERZO CORTE
● ESFUERZO CORTE

Actual Components
A: TRIGO = 20.000
B: YUCA = 20.000
C: QUINUA = 10.000

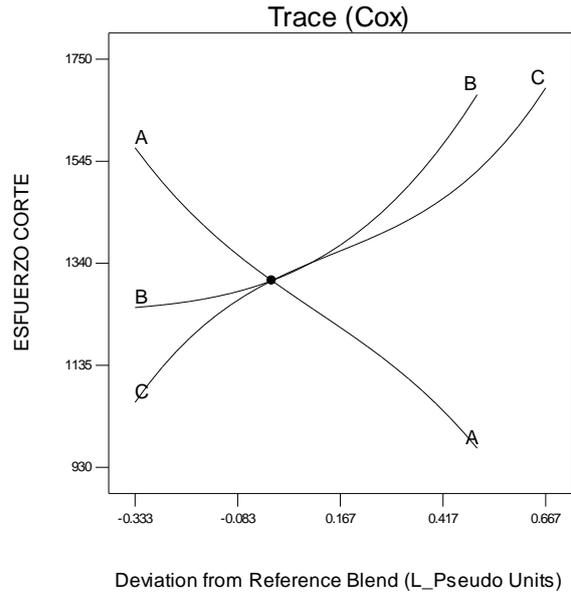


Figura 24: Diagrama de Cox para la variable respuesta esfuerzo de corte

4.5.6. OPTIMIZACIÓN MULTIRRESPUESTA

Luego de optimizar individualmente cada una de las variables, y determinar el modelo matemático al cual se ajustan, se realizó una optimización multirrespuesta que incluye la optimización conjunta de todas las variables establecidas para este estudio, para lo cual se planteó las siguientes condiciones de optimización, las cuales se observan en la Tabla 17.

Tabla 17: Condiciones para la optimización múltiple de las variables respuesta

Variable	Objetivo	Límite inferior	Límite superior
Trigo	En rango	15	30
Yuca	En rango	15	30
Quinua	En rango	5	20
Aceptabilidad	Maximizar	5.91	7.44
Proteína	Maximizar	4.44	7.01
Grasa	Minimizar	16.00	17.77
Esfuerzo de corte	Objetivo = 1300	939.30	1745.7

Montgomery (2004) menciona que para la consideración simultánea de respuestas múltiples requiere construir primero un modelo de superficie de respuesta apropiado para cada respuesta y después intentar encontrar un conjunto de condiciones de operación que optimice en cierto sentido todas las respuestas o que al menos las mantenga en los rangos deseados.

En la Tabla 18, se presenta los resultados de la optimización múltiple generada por el programa *Design Expert* la cual presentó las condiciones impuestas, con una deseabilidad global de 0.74, siendo esta muy próxima a 1. Cabe aclarar que se consideró un mismo grado de importancia a todas las variables estudiadas.

Tabla 18: Resultados de la optimización múltiple de respuestas

N°	Trigo	Yuca	Quinua	Aceptabilidad	Proteína	Grasa	Esfuerzo de corte	Deseabilidad
1	22.90	15.00	12.10	6.58	6.68	16.42	1299.99	0.74

Las concentraciones recomendadas para obtener los valores maximizados de cada variable son las siguientes: 22.90 por ciento de harina de trigo, 15 por ciento de harina de harina yuca y 12.10 por ciento de harina de quinua. Se estima que con dichas proporciones se podría alcanzar una puntuación de 6.58 en aceptabilidad, 6.68 por ciento de proteínas, 16.42 por ciento de grasa y un esfuerzo de corte de 1299.99 gf. En el ANEXO 10, se presentan las soluciones alternativas de optimización multirrespuesta arrojadas por el programa *Design Expert.k*

En la Figura 25, se puede observar el punto donde mejor se cumplen las condiciones propuestas de optimización, el cual está representado por la deseabilidad global con un valor de 0.74. así mismo se observa que dicho valor se encuentra en una región de coloración cercana al rojo, lo cual, según la escala de color, se aproxima a la deseabilidad 1.

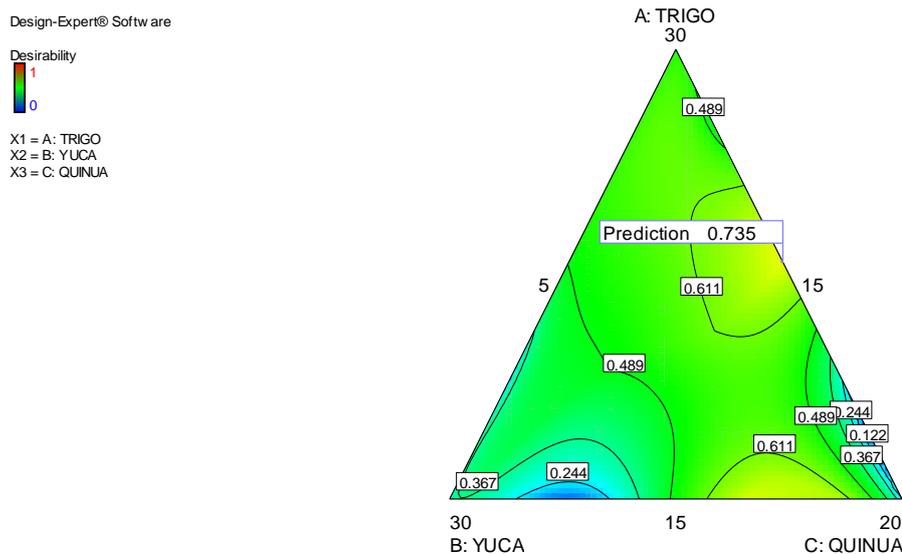


Figura 25: Gráfico de contornos para la optimización multirrespuesta, donde se muestra el punto óptimo de la formulación junto a la deseabilidad global

4.6. CARACTERIZACIÓN DE LA FÓRMULA OPTIMIZADA

4.6.1. EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA

En la Tabla 19, se presentan los resultados de porcentaje de Humedad, cenizas, grasa, proteína, fibra y carbohidratos de la galleta elaborada con la fórmula optimizada.

Tabla 19: Resultado porcentual del análisis químico de la fórmula optimizada, expresados en base seca

Parámetro	Porcentaje*
Humedad	3.95 ± 0.01
Cenizas	1.72 ± 0.03
Grasa	16.39 ± 0.02
Proteínas	6.71 ± 0.07
Fibra	0.71 ± 0.01
Carbohidratos	74.47 ± 0.02

* Valores promedio de 3 repeticiones ± desviación estándar.

La fórmula optimizada presenta un valor experimental de 6.71 por ciento de proteínas, este valor es superior al obtenido por Benites *et al.* (2008), quienes reportan un porcentaje de 5.45 por ciento para la galleta formulada con harina de yuca y plasma de bovino.

Contreras (2015) en el desarrollo de una galleta dulce enriquecida con harina de quinua blanca reporta los siguientes valores en el análisis químico de la fórmula optimizada: humedad 3.8 por ciento, grasa 20.5 por ciento, fibra cruda 0.74 y proteína 8.1 por ciento. Estos resultados son semejantes a los obtenidos en esta investigación.

Según valores reportados por Contreras (2015), los porcentajes de contenido graso y proteico de las galletas comerciales (fortificadas con cereales) van de 12.1 – 16.5 y 6.1 – 10.0 por ciento, respectivamente. Así mismo, los valores obtenidos para la fórmula optimizada se encuentran dentro de dichos rangos, tal como se aprecia en la Tabla 19.

En la Tabla 20, se presentan los resultados obtenidos de la prueba sensorial y física de la galleta optimizada. Como se aprecia, la aceptabilidad general obtenida resultó de 7.05 en la escala hedónica de 9 puntos y el esfuerzo de corte fue de 1309.40 g.f.

El valor del esfuerzo de corte obtenido se encuentra muy cerca al valor estimado, el cual es un valor recomendado por García *et al.* (2016), quien indica un valor de 1300 g.f para galletas circulares sin grietas ni perforaciones. Así mismo afirma que la presencia de una grieta debilita la galleta, y el esfuerzo de corte cae casi linealmente con la longitud de la grieta y la profundidad. Así tenemos que la orientación de la grieta, ya sea radial o tangencial, y su ubicación (es decir, la posición del punto medio de la grieta sobre la superficie de la galleta) también son importantes. Las grietas profundas, radiales, localizadas cerca del centro de la galleta pueden reducir la fuerza hasta el 50%.

Tabla 20: Prueba de aceptabilidad, esfuerzo de corte, color, actividad de agua, acides y pH de la galleta elaborada con la fórmula optimizada

Aceptabilidad **	Esfuerzo de corte (g.f) **	Color	Aw	Acidez (porcentaje ac. láctico)	pH
7.05 ± 0.39	1309.40 ± 8.49	L*=72.19 ± 0.30 a*=8.17 ± 0.45 b*=34.15 ± 0.46	0.32 ± 0.01	0.06±0.01	7.53 ± 0.02

* Valor obtenido de un promedio de 84 repeticiones

** Valores obtenidos de un promedio de 3 repeticiones

La aceptabilidad general que obtuvo la fórmula optimizada fue de 7.05 de una escala del 1 al 9, obteniendo una calificación ligeramente por encima del “me gusta”. Así mismo se obtuvo un esfuerzo de corte de 1309.40 g.f, siendo este resultado muy cercano al valor recomendado por Garcia-Armenta *et al.* (2016).

Con respecto a las coordenadas obtenidas de L*, a* y b*; Gilabert (1992), indica que L* representa la luminosidad o claridad de la muestra y puede tomar valores entre 0 y 100, a* representa al color rojo y verde, mientras que b* al color amarillo y azul, estas dos últimas coordenadas colorimétricas forman un plano perpendicular a la L*. La a* define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo si a* es positiva, y hacia el verde si a* es negativa. Análogamente la coordenada b* define la desviación hacia el amarillo si b* es positiva, y hacia el azul si b* es negativa.

En general, podemos decir que las medidas de color para la galleta obtenida se encuentran localizada en los valores positivos de las coordenadas a* y b*. Según lo observado en la Tabla 20, la galleta obtenida presenta una tendencia hacia el color rojo – amarillo. Por el valor obtenido de la coordenada a*, podemos decir que la tonalidad roja es muy ligera; ya que, en la escala de color, un rojo intenso tomaría un valor de 60; de forma similar, encontramos que para la coordenada b* el valor promedio encontrado es de 34.15 con lo que se puede decir que la coloración amarilla para la galleta es intermedia, ya que el amarillo intenso toma un valor de 60. Gülüm y Sahin (2008) indican que uno de los factores que

contribuyen al color de las galletas es el resultado de las reacciones de Maillard entre el azúcar reductor y los aminoácidos. Como resultado de esta reacción no enzimática, se formarán materiales de macromolécula de alto peso molecular conocidos como melanoidinas durante la cocción. Así, el color de las galletas se desarrolla con el aumento de la temperatura y el tiempo de cocción, y depende de la cantidad de azúcares y proteínas presentes en los ingredientes utilizados para hornear.

En la Figura 26, se puede apreciar la relación existente entre la actividad de agua con el pH de un alimento, y el grado de estabilidad que pueden presentar dependiendo de la relación que puedan presentar.

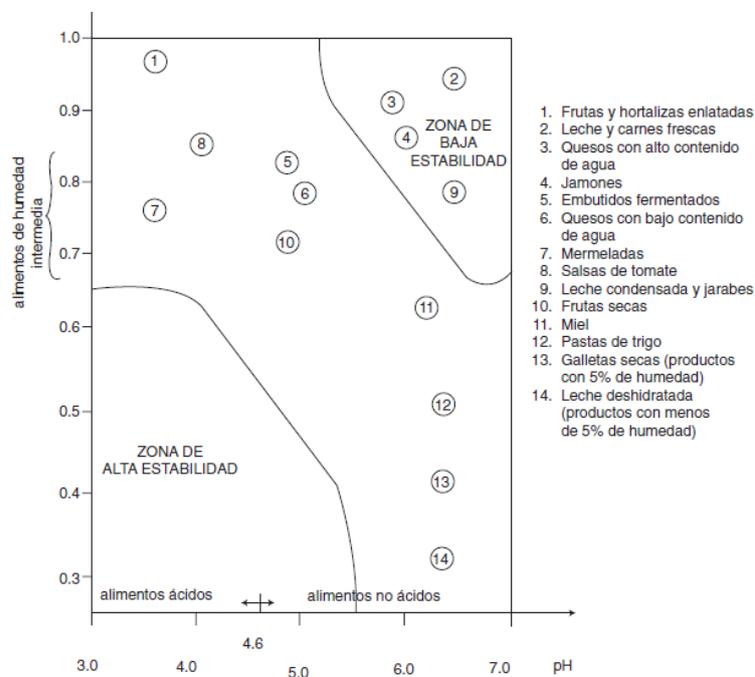


Figura 26: Influencia de la Aw y del pH en la estabilidad de los alimentos

FUENTE: Badui (2006)

El valor obtenido de actividad de agua para la galleta se encuentra dentro de lo establecido por Badui (2006), quien establece que las galletas y cereales deben de tener un valor de Aw de 0.35. Así mismo indica que la actividad de agua es de fundamental importancia en el alimento, ya que es una variable que influye en la estabilidad, y con base a ella se puede conocer el comportamiento de un producto. Considerando la Figura 26 la galleta elaborada con la fórmula optimizada se encuentra en zonas donde el pH es ligeramente alcalino cercano

al neutro (7.53) y baja actividad de agua (0.32), zona en la que presenta una buena estabilidad.

El valor de pH determinado para la galleta se encuentra cercano a la neutralidad, este resultado concuerda con lo mencionado por Bedolla *et al.* (2011), quien indica que el pH de las galletas, tanto las finas como las comerciales tienen un valor mínimo y máximo de pH igual a 6 y 8. La NTP 205.040:2016 indica un valor de acidez máximo (expresado en ácido láctico) de 0.10 por ciento, lo obtenido se encuentra por debajo del límite establecido. Sin embargo, la NTP 206.013:2011 y NTP 206.14:2016, no especifican valor ni rango alguno para la acidez y el pH en galletas respectivamente.

4.6.2. COMPUTO AMINOACIDICO TEÓRICO PARA LA GALLETA OPTIMIZADA

En la Tabla 21, se puede apreciar los valores teóricos de digestibilidad, PDCAAS y computo aminoacídico obtenidos.

Tabla 21: Digestibilidad promedio, PDCAAS y cómputo aminoacídico (C.A), calculados teóricamente para la fórmula optimizada

Tratamientos	Digestibilidad promedio	C.A limitante	PDCAAS
ÓPTIMO	83.56	89.10	74.50

En el ANEXO 11 se puede apreciar las necesidades de aminoácidos para las diferentes edades según indica el Conjunto FAO/OMS/UNU (1985), para la investigación se consideró como referencia la edad pre - escolar de 2 a 5 años, por presentar requerimientos más exigentes.

Así mismo, en el ANEXO 12 se tiene el detalle de los cálculos realizados para la obtención de la digestibilidad teórica, el C.A y el PDCAAS; se consideró los valores respectivos de mg aminoácidos / g de proteína de la Tabla 22 para realizar los cálculos correspondientes al C.A considerándose los aminoácidos principales Triptófano, Metionina, Lisina y Treonina.

De acuerdo a la digestibilidad que presentan las harinas se puede intuir que conforme la cantidad de harina de trigo sea mayor en la mezcla, la digestibilidad promedio se verá incrementada, esto debido a que la digestibilidad de la harina de trigo es mayor a las demás. Así mismo, mientras el contenido de quinua sea mayor, la digestibilidad promedio de la mezcla se verá reducida debido a que presenta una menor digestibilidad a la del resto. Sin embargo, la harina de quinua aporta un mayor contenido de lisina, ya que presenta un mejor perfil aminoacídico, lo cual no ocurre con la harina de trigo; por lo que el incremento de la harina de quinua se reflejará en un aumento del C.A.

El valor de digestibilidad promedio para la mezcla optimizada fue de 83.56 por ciento, así como un PDCAAS de 74.50 por ciento y un cómputo aminoacídico de 89.10 por ciento, siendo el aminoácido limitante la lisina. Los ingredientes considerados para la evaluación de la mezcla fueron, la harina de trigo, yuca, quinua y la leche en polvo. Se consideró este último ingrediente por ser fuente importante de proteínas. Los valores de digestibilidad proteica considerados para las mezclas fueron: 86.40 por ciento para la harina de trigo y 83.70 por ciento para la harina de yuca (Vásquez-Torres *et al.*, 2013). El porcentaje de digestibilidad proteica para la harina de quinua fue de 77.50 y 95.00 por ciento para la leche en polvo según lo indicado por Gutiérrez-Espinoza *et al.* (2011).

Cutullé *et al.* (2012) obtuvieron una galleta, de jengibre con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arroz y lentejas, con un porcentaje proteico de 6.69% (ligeramente menor al obtenido en esta investigación) y con valores de C.A, digestibilidad y PDCAAS de 69.31, 90.24 y 62.54 por ciento, respectivamente. Como se puede apreciar en la Tabla 21, estos valores son inferiores a los obtenidos. De forma similar a la presente investigación, usaron como proteína de referencia el patrón de aminoácidos edad pre escolar.

En la Tabla 22, se presenta el comparativo de los aminoácidos del grano de quinua con otros alimentos, así como el patrón establecido para cada uno de estos por la FAO. Se puede apreciar la superioridad en el contenido de lisina en la quinua sobre los otros alimentos, siendo el valor muy cercano a contenido de la leche y por encima de lo establecido por la FAO. Se puede apreciar que la quinua presenta cantidades importantes de treonina, arginina, isoleucina y treonina. Así mismo, se presenta de manera comparativa la calidad de la proteína de quinua junto a otros alimentos y el patrón recomendado por el Conjunto FAO/OMS/UNU

(2007), estos valores recomendados por la FAO se encuentran basados en trabajos experimentales de corta y larga duración que evaluaron la cantidad de nitrógeno necesario para producir un balance de nitrógeno en equilibrio.

Tabla 22: Calidad proteica de la quinua en relación con otros alimentos

Aminoácido (mg/g pt)	Leche *	Huevo *	Carne *	Arroz *	Trigo *	Yuca **	Quinua **	FAO ***
His	27	22	34	26	25	-	28	16
Leu	47	54	48	40	35	40	68	61
Lys	78	70	89	40	31	42	74	48
Met	33	57	40	36	43	14	22	23
Fen	102	93	80	91	80	26	41	41
Tre	44	47	46	41	31	27	45	25
Tri	14	17	11	13	12	12	13	20
Val	64	66	61	58	47	34	34	40

FUENTE: * Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales (2003), ** Collazos (1993), *** Conjunto FAO/OMS/UNU (2007)

V. CONCLUSIONES

1. La formulación óptima para la galleta dulce elaborada fue de 22.90 por ciento de harina de trigo, 15.00 por ciento de harina de yuca, 12.10 por ciento de harina de quinua.
2. El porcentaje de sustitución de la harina de trigo por la harina de yuca y quinua fue de 30 y 24.2 por ciento respectivamente.
3. La galleta obtenida con la formula optimizada presentó un valor de 6.71 por ciento de proteínas, 16.39 por ciento de grasa, 1309.40 g.f de esfuerzo de corte y resultó ser sensorialmente aceptada con una puntuación de 7.05 en la escala hedónica lineal de 9 puntos.
4. Se determinó teóricamente la digestibilidad proteica, PDCAAS y el computo aminoacídico, presentando valores de 83.56, 74.50 y 89.10 por ciento, respectivamente.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de vida útil a las galletas optimizadas de esta investigación y la influencia que el empaque ejerce sobre ella.
- Realizar formulaciones con porcentajes mayores de sustitución de harina de yuca por harina de trigo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (2007). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. Estados Unidos. 18 ed. Washington D.C.
- Akubor, P., & Ukwuru, M. (2003). Functional properties and biscuit making potential of soybean and cassava flour blends. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58(3), 1–12. <https://doi.org/10.1023/b:qual.0000040344.93438.df>
- Alía, M., & González, J. (s. f.). *Cultivo de la quínoa (Chenopodium quinoa Willd.) en la región Centro*. Agronegocios. Recuperado 1 de agosto de 2016, de <https://www.eumedia.es/articulos/vr/cereales/87quinoa.html>
- Alvarado, L. (2009). Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos. (Tesis de grado – Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6391>
- Ayankunbi, M., Keshinro, O., & Egele, P. (1991). Effect of methods of preparation on the nutrient composition of some cassava products—Garri (eba), ‘Lafun’ and ‘Fufu’. *Food Chemistry*, 41(3), 349–354. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90059-w](https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90059-w)
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4.a ed.). Pearson Educación. Recuperado de: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf>
- Bedolla, B., Dueñas, C., Esquivel, I., Favela, T., Guerrero, R., Mendoza, E. M., Navarrete, A., Olgún, L. E., Ortiz, J., Pacheco, O., Quiroz, M., Ramírez, A., & Trujillo, M. (2016). *Introducción a la tecnología de alimentos* (2.a ed.). LIMUSA.

- Benites, B., Archile, A., Rangel, L., Ferrer, K., Márquez, E., & Barboza, Y. (2008). Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*, 33(1), 61–65. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000100013&lng=es&tlng=es
- Bertero, H., de la Vega, A., Correa, G., Jacobsen, S., & Mujica, A. (2004). Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Research*, 89(2–3), 299–318. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.006>
- Cabeza, S. (2009). Funcionalidad de las materias primas en la elaboración de galletas (Tesis de maestría). Universidad de Burgos, España. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10259.1/117>
- Calaveras, J. (2003). *Nuevo tratado de panificación y bollería* (2.a ed.). Mundi-Prensa.
- Cárdenas, F., Cobeña, G., Hinostroza, F. y Alvarez, H. (1995). Utilización de la yuca en la alimentación humana: Las 50 mejores recetas de yuca para su hogar. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa Raíces y Tubérculos. (Publicación Miscelánea no. 64). Recuperado de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3393>
- Ceballos, Hernán; De la Cruz A., Gabriel Antonio. (2002). Taxonomía y morfología de la yuca. In: Ospina P., Bernardo; Ceballos, Hernán; Alvarez, Elizabeth; Bellotti, Anthony C.; Calvert, Lee A.; Arias V., Bernardo; Cadavid L., Luis Fernando; Pineda L., Benjamín; Llano R., Germán Alberto; Cuervo, Maritza I. (eds.). *La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y*

- comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca; Proyecto IP-3 de Mejoramiento de Yuca, Cali, CO. p. 17-33. (Publicación CIAT no. 327). Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10568/55239>
- Cock, J. (1989). La yuca, un nuevo potencial para un cultivo tradicional. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali – Colombia. 240p.
- Codex Alimentarius (1989). Norma del codex para la harina de yuca comestible. Codex Stan CXS 176-1989. Recuperado de: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ru/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS_176s.pdf
- Collazos, C., White, P., White, H., Viñas T., E., Alvistur J., E., Urquieta A., R., Vásquez, J., Díaz, C., Quiróz, A., Roca, A., Hegsted, M., & Brandfield, R. (2014). La composición de los alimentos peruanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 40(1), 232–266. <https://doi.org/10.15381/anales.v40i1.10737>
- Combariza, A., & Sánchez, D. (2006). Estudio de la obtención de un alimento precocido a partir de cultivos biofortificados (Tesis de grado – Pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10568/66182>
- Conjunto FAO/OMS/UNU de Expertos sobre Energía y necesidades de proteínas (1981: Roma, Italia), Alimentos y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, la Organización Mundial de la Salud y la Universidad de las Naciones Unidas. (1985). Necesidades de energía y proteínas: informe de una Consulta Mixta de Expertos FAO / OMS / UNU [celebrada en Roma del 5 al 17 de octubre de 1981]. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39527>.

- Conjunto FAO/OMS/UNU sobre la Consulta de Expertos de proteínas y aminoácidos Requisitos en la nutrición humana (2002: Ginebra, Suiza), Alimentos y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, Organización Mundial de la Salud y la Universidad de las Naciones Unidas. (2007). Necesidades de proteínas y aminoácidos en la nutrición humana: informe de una consulta conjunta de expertos FAO / OMS / UNU. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43411>
- Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. (2003). *Consideraciones sobre la soja en la alimentación*. Presidencia de la Nación - Argentina. Recuperado de: http://rafael.delrosal.com/sites/default/files/field/files/soja_consideraciones.pdf
- Contreras, L. (2015). Desarrollo de una galleta dulce enriquecida con harina de quinua blanca (*Chenopodium quinoa*) utilizando diseño de mezclas (Tesis de grado – Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Cornell, J. (2002). *Experiments with mixtures: Designs, models, and the analysis of mixture data* (3.a ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118204221>
- Coultate, T. (2002). *Manual de química y bioquímica de los alimentos* (3.a ed.). Celesa.
- Coultate, T. (2004). *Food: The Chemistry of Its Components* (4.a ed.). Royal Society of Chemistry.
- Cutullé, B., Berruti, V., Campagna, F., Colombaroni, M., Robidarte, M., Wiedemann, A., & Marisa, V. (2012). Desarrollo y evaluación sensorial de galletitas de jengibre con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arroz y lenteja (galletinas). *Diaeta*, 30(138), 25–31. Recuperado de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372012000100004&lng=es&tlng=es.

- Elleuch, M., Bedigian, D., Maazoun, B., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2014). Improving halva quality with dietary fibres of sesame seed coats and date pulp, enriched with emulsifier. *Food Chemistry*, *145*, 765–771. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.085>
- Espinoza Silva, C. (2002). Caracterización de la fracción lipídica de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y kañiwa (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- FAO. (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (FAO/RLC). Recuperado de: <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/326239/>
- Fennema, O. (1996). *Química de los alimentos* (2.a ed.). Alianza Editorial.
- García-Armenta, E., Gutiérrez, G., Anand, S., & Cronin, K. (2017). Analysis of the failure of cracked biscuits. *Journal of Food Engineering*, *196*, 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.015>
- Gilabert, E. (1992). *Medida del color*. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de publicaciones.
- Gülüm, S., & Sahin, S. (Eds.). (2008). Chemical Reactions in the Processing of Soft Wheat Products. En *Food Engineering Aspects of Baking Sweet Goods* (1.a ed., pp. 49–80). CRC Press.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.a ed.). McGraw-Hill Education. Recuperado de: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Gutiérrez-Espinosa, M. C., Yossa-Perdomo, M. I., & Vásquez-Torres, W. (2011). Digestibilidad aparente de materia seca, proteína y energía de harina de vísceras de

- pollo, quinua y harina de pescado en tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus*. *Orinoquia*, 15(2), 169–179. <https://doi.org/10.22579/20112629.16>
- Henao, S. (2004). Estudio tecnológico de la utilización de harina de yuca en panificación (Tesis de grado – Pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira.
- Henao, S., & Aristizábal, J. (2009).. Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e Investigación*, 29(1), 39–46. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64329106>
- Hunziker, A. (1943). Las especies alimenticias de *Amaranthus* y *Chenopodium* cultivadas por los indios de América. *Revista Argentina Agronómica*, 30, 297–364.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2011). Norma Técnica Peruana - NTP 206.013. BIZCOCHOS, GALLETAS, PASTAS Y FIDEOS: Determinación de acidez. Lima. Perú.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2013). Norma Técnica Peruana - NTP 011.451. GRANOS ANDINOS: Harina de quinua. Requisitos. Lima. Perú.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2014). Norma Técnica Peruana - NTP 011.500. YUCA Y DERIVADOS: Harina de yuca, definiciones, clasificación y requisitos. Lima. Perú.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2015). Norma Técnica Peruana - NTP 205.064. TRIGO: Harina de trigo para consumo humano. Requisitos. Lima. Perú.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2016). Norma Técnica Peruana - NTP 205.040. PANADERIA, PASTELERIA Y GALLETERIA: Galletas. Requisitos. Lima. Perú.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad). (2016). Norma Técnica Peruana - NTP 205.039. HARINAS: Determinación de acidez titulable. Lima. Perú.

- INDDA (Instituto de Desarrollo Agroindustrial). (1996). Técnicas y metodologías en análisis de cereales. Planta de cereales y panificación. INDDA, La Molina.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). (1981). Norma Técnica Ecuatoriana – NTE 0517, Harina de origen vegetal - Determinación del tamaño de partícula.
- Kent, N. L. (1987). *Tecnología de los cereales: introducción para estudiantes de ciencia de los alimentos y agricultura*. Editorial Acribia.
- Lablinsan, 2012. Manual microdiagnóstica. 3º Edición. Ñuñoa – Santiago – Chile. 93p.
- Lage, E. (2006). Evaluación hedónica de pan de molde por consumidores de distinto origen cultural: Estudio comparativo de dos escalas (Trabajo fin de carrera). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Liria, M. 2007. Guía para la evaluación sensorial de alimentos. Instituto de investigación nutricional. Lima – Perú.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K., & Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23–42. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(98\)00017-x](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(98)00017-x)
- Manley, D. (1989). *Tecnología de la industria galletera. Galletas, crackers y otros horneados*. Acribia.
- McPherson, R., & Randall, E. (1985). Line length measurement as a tool for food preference research. *Ecology of Food and Nutrition*, 17(2), 149–156. <https://doi.org/10.1080/03670244.1985.9990888>
- Meneses V. (1994). Sustitución de harina de trigo (*triticum aestivum*) por harina de frijol ñuñoa (*phaseolus vulgaris L.*) en la elaboración de galletas dulces utilizando los métodos de horneado convencional y microondas (Tesis de grado – Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (2.a ed.). Limusa.
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A.; Saravia, R.; Corredor, G.; Romero, A.; Jacobsen, S. (2006). Agroindustria de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en los países andinos. Proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos INT/01/K01 Perú-Bolivia-Colombia. Puno, Perú.
- Ogungbenle, H. (2003). Nutritional evaluation and functional properties of quinua (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(2), 153–158. <https://doi.org/10.1080/0963748031000084106>
- Okpala, L., & Okoli, E. (2013). Optimization of composite flour biscuits by mixture response surface methodology. *Food Science and Technology International*, 19(4), 343–350. <https://doi.org/10.1177/1082013212452587>
- Ostertag, C., & Wheatley, C. (eds.). (1992). Proyecto de producción y comercialización de harina de yuca para consumo humano: Informe final, fase de proyecto piloto (junio 1989 - diciembre 1991). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Universidad del Valle; Fondo de Desarrollo Rural Integrado (DRI), Cali, CO. v.
- Pajarito, J. (2005). Obtención y Caracterización de la Harina Integral de Quinoa Orgánica (Tesis de grado – Pregrado). Universidad de Chile, Santiago. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105459>.
- Pardio, V., & Waliszewski, K. (1994). Evaluación de la yuca como materia prima no convencional para la industria alimentaria. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 44(1), 2–5. Recuperado de: <https://www.alanrevista.org/ediciones/1994/1/art-2/>
- Quiroga, C., & Escalera, R. (2010). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor. *Investigación & desarrollo*, 10(1), 49–62. <https://doi.org/10.23881/idupbo.010.1-4i>

- Repo-Carrasco, R. (1992). Cultivos Andinos y la Alimentación Infantil. Serie Investigaciones N° 1 del CCTA. Lima — Perú.
- Rojas, D. (2001). Determinación del nivel de sustitución de puré de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la elaboración de galletas dulces (Tesis de grado – Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Romero, J., & Albornoz, M. (2004). Utilización de la harina de guandul (*Cajanus cajan* Linneo) para incrementar el aporte proteico en la elaboración de pastas alimenticias (Tesis de grado – Pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/91
- Romo, S., Rosero, A., Forero, C., & Céron, E. (2006). Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* W) variedad piartal en los Andes colombianos primera parte. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 4(1), 112–125. Recuperado de: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/639>
- Sudha, M., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Valencia-Chamorro, S. (2004). Quinoa. En H. Corke, C. Walker y C. Wrigley (eds.): *Encyclopedia of Grain Science*: 4885-4892. Elsevier/CRC. Australia.
- Vásquez-Torres, W., Yossa, M. I., & Gutiérrez-Espinosa, M. C. (2013). Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8), 920–927. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2013000800016>
- Vujić, L., Vitali Čepo, D., & Vedrına Dragojević, I. (2015). Impact of dietetic tea biscuit formulation on starch digestibility and selected nutritional and sensory

characteristics. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 647–653.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.003>

Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L., & Elias, L. (1989). *Basic Sensory Methods for Food Evaluation*. International Development Research Centre (Canadá). Recuperado de:

<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/2844/IDL->

[2844.pdf?sequence=1](https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/2844/IDL-2844.pdf?sequence=1)

Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S., & Ghribi-Aydi, D. (2016). Cookies from composite wheat–sesame peels flours: Dough quality and effect of *Bacillus subtilis*

SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, 194, 758–769.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.064>

ANEXO 3: CARTILLA PARA SELECCIÓN DEL PANELISTA

Nombre: _____

Sexo: (M) (F)

Edad: _____

Distrito: _____

Provincia: _____

Nacionalidad: _____

Carrera: _____

Nivel de consumo de galletas:

Ninguna vez a la semana ()

Una vez a la semana ()

De 2 a 4 veces a la semana ()

De 5 a más a la semana ()

Nivel de estudio:

Primaria/Secundaria ()

Técnico ()

Universitario ()

Estilo de vida:

Saludable/realizo deporte o gimnasio ()

Consumo alcohol/tabaco bajo/ moderado ()

Consumo elevado de alcohol/tabaco ()

Productos que consumes con mayor frecuencia:

Galletas Soda/Agua ()

Galletas Saladas ()

Galletas Integrales ()

C/granola o cereales ()

Dulces Saborizadas ()

Galletas con relleno ()

No consumo galletas ()

ANEXO 4: FORMULACIÓN BASE INICIAL PARA LA ELABORACIÓN DE GALLETAS DULCES

INGREDIENTES	PORCENTAJE
Harina de trigo	49.9
Manteca	13.3
Azúcar	27.1
Sal	0.4
Leche en polvo	1.3
Bicarbonato de sodio	0.5
Agua	10.5

FUENTE: A.A.C.C (1995)

ANEXO 5: CANTIDAD DE PERSONAS, CUYA VALORACION DE CADA TRATAMIENTO SE ENCUENTRA DENTRO DEL RANGO DE PUNTUACION ESTABLECIDA

TRATAMIENTO	INTERVALO DE PUNTUACIÓN OBTENIDA							
	[1,2[[2,3[[3,4[[4,5[[5,6[[6,7[[7,8[[8,9]
T1	0	0	0	2	19	22	26	15
T2	0	0	0	2	15	28	31	8
T3	0	1	0	5	17	23	27	11
T4	0	0	1	3	16	16	29	19
T5	0	1	1	3	20	24	24	11
T6	2	0	2	6	19	26	17	12
T7	0	2	1	3	12	23	26	17
T8	0	1	2	4	11	28	17	21
T9	0	0	0	8	25	22	12	17
T10	0	2	5	9	21	19	18	10

ANEXO 6: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE ACEPTABILIDAD GENERAL

Std. Dev.	0.32596176	R-Squared	0.43992855
Mean	6.72584454	Adj R-Squared	0.27190711
C.V. %	4.84640638	Pred R-Squared	0.00431742
PRESS	5.66672365	Adeq Precision	5.06366216

ANEXO 7: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE PORCENTAJE DE PROTEINAS

Std. Dev.	0.02802665	R-Squared	0.99896241
Mean	5.8804481	Adj R-Squared	0.99865114
C.V. %	0.4766074	Pred R-Squared	0.9981554
PRESS	0.04189297	Adeq Precision	177.046166

ANEXO 8: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE PORCENTAJE DE GRASA

Std. Dev.	0.04494985	R-Squared	0.99501951
Mean	16.8760597	Adj R-Squared	0.99352537
C.V. %	0.26635275	Pred R-Squared	0.9911458
PRESS	0.10775941	Adeq Precision	75.8113479

ANEXO 9: RESUMEN DEL MODELO CÚBICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE ESFUERZO DE CORTE

Std. Dev.	29.6050502	R-Squared	0.98934325
Mean	1320.39	Adj R-Squared	0.98614622
C.V. %	2.24214438	Pred R-Squared	0.98105467
PRESS	46744.48	Adeq Precision	48.8126177

**ANEXO 10: SOLUCIONES ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACION
MULTIRRESPUESTA**

Nº	Trigo	Yuca	Quinua	Aceptab.	Proteína	Grasa	Esfuerzo de corte	Deseabilidad
1 Selected	22.90	15.00	12.10	6.58	6.68	16.42	1300.00	0.74
2	15.00	20.15	14.85	6.60	6.40	16.52	1300.00	0.70
3	27.68	17.32	5.00	6.90	6.02	17.22	1228.54	0.56

ANEXO 11: NECESIDADES DE AMINOÁCIDOS PARA DIFERENTES EDADES

GRUPO	Ile	Leu	Lis	Met	Fen	Tre	Trp	Val	His
	mg de aa/g prot								
Lactantes < 1 año	46	93	66	42	72	43	17	55	26
Pre- escolares 2- 5 años	28	66	58	25	63	34	11	35	19
Escolares 10-12 años	28	44	44	22	22	28	9	25	19
Adultos	13	19	16	17	19	9	5	13	16

FUENTE: Conjunto FAO/OMS/UNU (1985)

ANEXO 12: DETALLE DEL CÁLCULO DE LA DIGESTIBILIDAD, C.A Y EL PDCAAS DE LA FÓRMULA OPTIMIZADA

*Cantidades de aminoácidos en mg/g proteína para las harinas de trigo, yuca, quinua y leche en polvo

	Triptófano	Metionina	Lisina	Treonina
	mg/g proteína			
Harina de trigo	12.00	43.00	31.00	31.00
Harina de yuca	12.00	14.00	42.00	27.00
Harina de quinua	13.00	22.00	74.00	45.00
Leche en polvo	14.00	33.00	78.00	44.00

*Patrón de referencia aminoacídico para preescolares

Edad	mg (aa)/g proteína			
	Triptófano	Metionina	Lisina	Treonina
Pre Escolar (2 - 5 años)	11	25	58	34

*Cálculo de la digestibilidad proteica, el C.A y el PDCAAS de la mezcla

Producto	Peso (g) b.s	Proteína % b.s	Peso Proteína (g)	mg de aa en mezcla				Digestibilidad
				Triptófano	Metionina	Lisina	Treonina	
Harina de trigo	19.84	12.78	2.54	30.43	109.03	78.60	78.60	86.40
Harina de yuca	14.06	1.92	0.27	3.24	3.78	11.34	7.29	83.70
Harina de quinua	11.36	17.44	1.98	25.76	43.59	146.62	89.16	77.50
Leche en polvo	1.22	34.00	0.42	5.82	13.71	32.41	18.28	95.00
Total (Mezcla)	46.48	-	5.20	65.24	170.11	268.96	193.33	83.56

mg(aa)/g(pt) Mezcla	-	-	-	12.54	32.70	51.70	37.16
----------------------------	---	---	---	-------	-------	-------	-------

	Triptófano	Metionina	Lisina	Treonina
C.A	1.140	1.308	0.891	1.093
PDCAAS	0.953	1.093	0.745	0.913