

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN PAN DE MOLDE
ENRIQUECIDO CON COCA (*Erythroxylum coca*), CAMOTE
(*Ipomea batata*) Y QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*)
APLICANDO SUPERFICIE DE RESPUESTA”**

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentado por:

Bach. Dine TUNQUE HUAMANÍ

AYACUCHO – PERÚ

2017

DEDICATORIA

A DIOS fuente de vida y sabiduría

A mis queridos Padres Fabián y Paulina por su paciencia y apoyo diario durante mi formación profesional, sin el cual no hubiese sido posible culminar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

- *A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia.*
- *Un agradecimiento especial a los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por sus enseñanzas y consejos durante mi formación académica en las aulas de la Universidad.*
- *Al Ing. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA asesor de la tesis, por su apoyo invaluable e incondicional en el seguimiento y culminación del presente trabajo.*
- *A mis hermanos, amigos y a todos quienes contribuyeron de una u otra forma en mi formación profesional.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
I. REVISIÓN DE LITERATURA	
1.1 Antecedentes del trabajo de investigación	3
1.2 La hoja de coca (<i>Erythroxylum coca</i>)	5
1.2.1 Generalidades	5
1.2.2 Taxonomía	7
1.2.3 Valor nutricional	8
1.2.4 Composición química	10
1.2.5 Harina de coca	12
1.2.6 La harina de coca en alimentos enriquecidos	15
1.3 El camote (<i>Ipomea batata</i>)	16
1.3.1 Generalidades	16
1.3.2 Taxonomía	19
1.3.3 Variedades	19
1.3.4 Composición química	21
1.3.5 Usos	23
1.4 La quinua (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>)	24
1.4.1 Generalidades	24
1.4.2 Clasificación taxonómica	26
1.4.3 Composición química	26

1.4.4	Usos	29
1.4.5	Variedades	30
1.5	El trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	31
1.5.1	Generalidades	31
1.5.2	Clasificación general	32
1.5.3	Composición química	35
1.6	Harina de trigo	36
1.6.1	Generalidades	36
1.6.2	Composición química	37
1.6.3	Tipos de harinas	38
1.6.4	Sucedáneos del trigo	40
1.7	Fortificación de alimentos	42
1.7.1	Calidad nutritiva para evaluar el valor nutricional de los alimentos	43
1.8	El pan de molde	45
1.8.1	Generalidades	45
1.8.2	Insumos	45
1.9	Proceso tecnológico del pan de molde	50
1.10	Diseño estadístico de experimentos	62
1.10.1	Diseño de mezclas	64
1.10.2	Optimización	71
1.10.3	Metodología del D-óptimo	72
1.10.4	Experimentos de mezcla D-Optimal	75
1.10.5	Evaluación estadística	77

II.	MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1	MATERIALES	82
2.1.1	Materia prima	81
2.1.2	Insumos	83
2.1.3	Reactivos	83
2.1.4	Materiales de laboratorio y otros	84
2.1.5	Equipos e instrumentos	84
2.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	85
2.2.1	Análisis fisicoquímico y sensorial	85
2.2.2	Análisis microbiológico	85
2.2.3	Procedimiento para la elaboración del pan de molde	86
2.2.3.1	Proceso de elaboración de pan de molde estándar	86
2.2.3.2	Proceso de elaboración de pan de molde en el estudio	87
2.3	Diseño experimental	94
2.3.1	Consideraciones al diseño	95
2.3.2	Optimización de los parámetros	98
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1	Análisis fisicoquímico de la materia prima	99
3.1.1	Análisis fisicoquímico de la harina de trigo	99
3.1.2	Análisis fisicoquímico de la harina de coca	101
3.1.3	Análisis fisicoquímico de la harina de quinua	102
3.1.4	Análisis fisicoquímico de la pulpa de camote	104

3.2	Formulación de la mezcla para la elaboración del pan de molde	106
3.3	Análisis proximal del pan de molde óptimo	108
3.4	Análisis microbiológico del pan de molde óptimo	110
3.5	Vida útil en anaquel del pan de molde óptimo	110
3.6	Optimización de la formulación del pan de molde enriquecido	111
3.6.1	Análisis estadístico: Variable respuesta: Proteína	112
3.6.2	Análisis estadístico: Variable respuesta: Color	123
3.6.3	Análisis estadístico: Variable respuesta: Sabor	131
3.6.5	Optimización de los parámetros en la elaboración del pan de molde según el diseño planteado	142
	CONCLUSIONES	143
	RECOMENDACIONES	144
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
	ANEXOS	152

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	La hoja de coca (<i>Erythroxylum coca</i>)	7
Figura 2	El camote (<i>Ipomea batata</i>)	18
Figura 3	La quinua (<i>Chenopodium quinoa willd</i>)	25
Figura 4	Estructura del grano de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	34
Figura 5	Ilustraciones gráficas del dominio experimental de diseños de mezclas regulares para 2, 3 y 4 factores	66
Figura 6	Ejemplos de regiones experimentales para diseños con restricciones	67
Figura 7	Espacio factorial restringido para mezclas de tres componentes	76
Figura 8	Harina de trigo	82
Figura 9	Hojas y harina de coca	82
Figura 10	Granos y harina de quinua	82
Figura 11	Camote y pulpa de camote	83
Figura 12	Diagrama de flujo tentativo para elaborar pan de molde en la investigación	88
Figura 13	Pesado de las materias primas para el pan de molde	89
Figura 14	Amasado y sobado del pan de molde	90
Figura 15	Boleado y moldeado del pan de molde	91
Figura 16	Fermentado del pan de molde	91

Figura 17	Horneado del pan de molde	92
Figura 18	Enfriado de los panes de molde	92
Figura 19	Rebanado y embolsado del pan de molde	93
Figura 20	Diagrama de flujo para la elaboración del pan de molde con harina de coca. Harina de quinua y pulpa de camote	107
Figura 21	Gráfico de contornos para el análisis de Proteína	115
Figura 22	Superficie de Respuesta estimada para la variable respuesta proteína	116
Figura 23	Gráfico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta proteína	117
Figura 24	Gráfico de interacción AC (Harina de coca – Harina de quinua) para la variable respuesta proteína	118
Figura 25	Gráfico de interacción AD (Harina de coca – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína	118
Figura 26	Gráfico de interacción BC (Pulpa de camote – Harina de quinua) para la variable respuesta proteína	119
Figura 27	Gráfico de interacción BD (Pulpa de camote – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína	119
Figura 28	Gráfico de interacción CD (Harina de quinua – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína	120
Figura 29	Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta proteína	121
Figura 30	Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta proteína	122

Figura 31	Gráfico de contornos para el análisis de color	125
Figura 32	Superficie de Respuesta estimada para la variable respuesta color	126
Figura 33	Gráfico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta color	126
Figura 34	Gráfico de interacción AC (Harina de coca – harina de quinua) para la variable respuesta color	127
Figura 35	Gráfico de interacción AD (Harina de coca – harina de trigo) para la variable respuesta color	127
Figura 36	Gráfico de interacción BC (Pulpa de camote – harina de quinua) para la variable respuesta color	128
Figura 37	Gráfico de interacción BD (Pulpa de camote – harina de trigo) para la variable respuesta color	128
Figura 38	Gráfico de interacción CD (Harina de quinua – harina de trigo) para la variable respuesta color	129
Figura 39	Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta color	130
Figura 40	Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta color	131
Figura 41	Gráfico de Contorno para el análisis de Sabor	133
Figura 42	Superficie de Respuesta estimada para la variable respuesta Sabor	134
Figura 43	Gráfico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta Sabor	135

Figura 44	Gráfico de interacción AC (Harina de coca – harina de quinua) para la variable respuesta Sabor	135
Figura 45	Gráfico de interacción AD (Harina de coca – harina de trigo) para la variable respuesta Sabor	136
Figura 46	Gráfico de interacción BC (Pulpa de camote – harina de quinua) para la variable respuesta Sabor	136
Figura 47	Gráfico de interacción BD (Pulpa de camote – harina de trigo) para la variable respuesta Sabor	137
Figura 48	Gráfico de interacción CD (Harina de quinua – harina de trigo) para la variable respuesta Sabor	137
Figura 49	Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta Sabor	138
Figura 50	Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta Sabor	139
Figura 51	Histograma de la función de conveniencia para las soluciones	141

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Comparación de la composición química de la hoja de Coca con el promedio del contenido de 50 plantas	11
Tabla 2	Comparación alimenticia de hoja de coca con otros	12
Tabla 3	Composición química de la harina de coca	14
Tabla 4	Principales características agronómicas del camote	18
Tabla 5	Contenido aminoacídico del camote	21
Tabla 6	Composición química y características fisicoquímicas del camote	22
Tabla 7	Composición química de la quinua	27
Tabla 8	Valor nutricional de la quinua comparado con otros cereales	27
Tabla 9	Comparación del valor nutritivo de la quinua en comparación con alimentos básicos	28
Tabla 10	Principales variedades de quinua	31
Tabla 11	Clasificación de los trigos en base a la funcionalidad del gluten	35
Tabla 12	Composición química de la harina de trigo	37
Tabla 13	Composición química de la harina de trigo con diferentes grados de extracción	38
Tabla 14	Las proteínas de la harina de trigo	38
Tabla 15	Sucedáneos de la harina de trigo en el Perú	40

Tabla 16	Transformación de la matriz de experiencias de un diseño de mezclas restringidas a pseudocomponentes	68
Tabla 17	Modelos de Cox para diseños de mezclas	70
Tabla 18	Fórmula para un pan de molde estándar	87
Tabla 19	Variables dependientes del trabajo de investigación	94
Tabla 20	Condiciones de los factores de estudio	96
Tabla 21	Matriz de estudio decodificada y sus variables respuestas	97
Tabla 22	Composición química proximal de la harina de trigo	99
Tabla 23	Valores colorimétricos de la harina de trigo	100
Tabla 24	Composición química proximal de la harina de coca	101
Tabla 25	Valores colorimétricos de la harina de coca	102
Tabla 26	Composición química proximal de la harina de quinua	102
Tabla 27	Valores colorimétricos de la harina de quinua	103
Tabla 28	Composición química proximal de la pulpa de camote	104
Tabla 29	Composición química proximal de la pulpa de camote	105
Tabla 30	Análisis químico proximal del pan de molde óptimo	108
Tabla 31	Análisis microbiológico del pan de molde óptimo	110
Tabla 32	Matriz de estudio decodificada y sus variables respuesta	111
Tabla 33	ANOVA - Ajuste del Modelo para la variable Proteína	113
Tabla 34	ANOVA - Ajuste del modelo para la variable color	124
Tabla 35	ANOVA - Ajuste del modelo para la variable Sabor	132
Tabla 36	Criterios para la Optimización de la superficie de respuesta	140
Tabla 37	Soluciones de optimización de la superficie de respuesta	141

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Norma del CODEX para la harina de trigo

Anexo 2 Cartilla de evaluación sensorial

RESUMEN

Se elaboró un pan de molde enriquecidos con harina de coca (*Erythroxylum coca*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y pulpa de camote (*Ipomea batata*), se evaluó de la formulación óptima del pan de molde las propiedades nutritivas y sensoriales se obtuvo un mejor contenido proteico, color y sabor. El diseño de mezclas aplicado fue el software D-optimal desing, que se estableció en dieciséis mezclas. Se encontró que: 1) las propiedades sensoriales de color y sabor de las dieciséis formulaciones evaluadas cumplieron con las normas y fueron aceptadas, 2) la formulación óptima del pan de molde fue 1% de harina de coca, 8,95% de harina de quinua, 10,05% de pulpa de camote y 80% de harina de trigo, 3) el pan de molde optimizado tuvo la siguiente composición química: 26,59% de humedad, 13,07% de proteína, 2,25% de grasa, 57,18 % de carbohidratos y 0,91% de cenizas. El modelo de mezclas obtenidas en el programa Design Expert a través del diseño D-optimal se representó por medio del uso de gráficos de contorno, superficie de respuesta e interacción y resultaron ser efectivos para el estudio e interpretación de los resultados obtenidos. Para evaluar la aceptación del producto final se evaluó mediante el test hedónico con 30 panelistas no entrenados que evaluaron la aceptación del pan

Palabras claves: pan de molde, coca, quinua, camote, trigo, superficie de respuesta.

Realizada: en el "Centro Experimental De Panificación FIQ&M – UNSCH"

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de productos poco utilizados en la elaboración de panes de molde, con características nutritivas; como harina de coca, quinua y pulpa de camote, y las mismas que se producen en la Región Ayacucho conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas de producción de alimentos y aprovechamiento de materias primas autóctonas, las mismas que posean propiedades nutritivas para la salud y bienestar de la población, con la finalidad de obtener productos garantizados en calidad e inocuidad.

Al fabricar un alimento es necesario tener en cuenta la deficiencia de nutrientes en la población, allí radica la importancia de poder enriquecer los alimentos que van a ser consumidos con el fin de suplir esas necesidades básicas requeridas.

Caso del pan de molde se usan harinas que contienen mayor proporción de proteínas y minerales que la harina de trigo, pero solo se puede agregar como sucedáneo alrededor de un 20%; las mismas que pueden enriquecerse con granos andinos (quinua, kiwicha, cañihua, entre otros) y raíces (camote, arracacha, mashua, entre otros).

El presente trabajo de investigación planteó obtener un producto innovador para mejorar la calidad nutricional de un pan de molde convencional aprovechando los recursos de la región para disminuir la desnutrición en la población infantil, para ello se formuló mediante el uso de diseños D-optimal aplicado a la elaboración de un pan de molde enriquecido con coca, quinua y pulpa de camote, para obtener mayor nivel proteico y aceptación. El presente trabajo se realizó en el "Centro Experimental De Panificación FIQ&M – UNSCH"

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar los parámetros óptimos en la elaboración de un pan de molde enriquecido con coca (*Erythroxylum coca*), camote (*Ipomea batata*) y quinua (*Chenopodium quinoa willd*) aplicando la herramienta estadística superficie de respuesta

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Obtener la formulación optimizada mediante el paquete estadístico Design Expert en cuanto a valor nutritivo y aceptabilidad del pan de molde.
- ✓ Evaluar la influencia de la coca, quinua y camote en el sabor, color y proteína.
- ✓ Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente la formulación óptima del pan de molde.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la segunda mitad de la década de 1950 surge una corriente de investigación nutricional para desarrollar y fomentar el consumo de combinaciones de proteínas de origen vegetal de bajo costo, alta aceptación y buena digestibilidad, destinadas principalmente a la alimentación infantil (Muñoz y Guzmán, 2010).

Se han realizado varias investigaciones en mezclas usando materia prima de origen vegetal con la finalidad de aprovechar los efectos de complementación proteica y obtener productos de consumo masivo de bajo costo. El fundamento de la preparación de mezclas de leguminosas y cereales es la complementación de aminoácidos de ambos productos de tal manera de elevar el cómputo químico, trayendo como consecuencia una mayor digestibilidad (Cabieses, 1996).

Una de las primeras mezclas alimenticias que se desarrolló es la

INCAPARINA la cual consiste en una mezcla de harina de maíz, harina de soya y añadido de Lisina. El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) desarrollaron la fórmula, así mismo impulsó la producción industrial de la INCAPARINA y su distribución en el mercado popular de Guatemala y otros países, lo cual sirvió de ejemplo a los institutos de nutrición y a las industrias de alimentos de América Latina (FAO, 2000).

El Perú realizó también su propia experiencia con el fin de lograr un alimento nacional para consumo masivo y de bajo costo, desarrollando de esta fórmula la producción de PERUVITA; se trataba de un alimento pulverulento marrón claro, constituido básicamente por harina de semilla de algodón (50- 56%) y harina de quinua (24-30%) adicional de saborizantes y aromatizantes naturales, así como vitaminas A, B₁ y B₂. Sin embargo el nivel tecnológico de la época presentaba deficiencia lo cual fue un factor decisivo para el poco éxito de PERUVITA lo que trajo como consecuencia la falta de aceptación por parte de los consumidores y el consiguiente descalabro comercial (FAO, 2000).

Arroyave y Esguerra (2007) concluyeron que el contenido de proteína del pan tipo molde se ve incrementado en un promedio de 2,48 % a medida que aumenta la sustitución de quinua, logrando así la finalidad de este trabajo que es incrementar el contenido proteico en un producto de consumo masivo, utilizando un alimento natural y benéfico como lo es la quinua, pero que la sustitución no debe exceder del 15% de harina de quinua ya que la no

formación de gluten puede conllevar a la disminución en la calidad del pan de molde.

Reque (2007) determinó que se puede utilizar harina de arroz como sustituto en la elaboración de pan hasta en un 20% y así mantener la calidad del producto final.

1.2. LA HOJA DE COCA (*Erythroxylum coca*)

1.2.1. Generalidades

El nombre de coca deriva del aymara "Kkoka" que significa planta divina. Es nativa del Perú y ha sido cultivada desde tiempos muy remotos (2100 AC. aprox.). Las hojas de ésta planta han sido halladas en tumbas que datan de antes del siglo IX de nuestra era. Durante la época incaica, la planta fue considerada divina, reservada esencialmente para las solemnidades religiosas y fue usada por la realeza incaica como un símbolo de aristocracia. Cuando los españoles conquistaron el imperio incaico los nativos fueron forzados a trabajar en los campos y las minas de oro y plata, para conferirles resistencia y reducirles el hambre y la sed, les fueron continuamente suministradas hojas de coca, en proporción a la severidad de las labores requeridas. Durante el tiempo de la dominación española el hábito de la masticación de las hojas de coca se difundió en toda la población indígena desde el norte argentino hasta Colombia, perdiendo su carácter mágico religioso y llega a ser utilizada como pago de parte del salario de los trabajadores de las minas (Cordero, 2009).

La hoja de coca es un arbusto que mide hasta 3 metros de altura. Su corteza rugosa es de color pardo rojizo. Sus hojas son simples alternas con pecíolo corto de borde entero y de forma elíptica u oblongo elíptica, ápice agudo, base aguda, mide de 2 cm -7 cm de largo por 1 cm -4 cm de ancho, de color verde lustroso en la parte superior. Las flores son pequeñas de color blanco marfil. El fruto es una drupa oblonga de color rojo de 6-8 mm de largo y 3 cm -5 mm de diámetro (Machado, 1972).

Las condiciones idóneas para ésta planta son los valles calientes y húmedos de la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, entre 600 y 2000 metros de altitud con una temperatura media de 20 °C con humedad de 90 % con suelos arcillosos ricos en Nitrógeno (Liener, 1987).

En el Perú los cultivos de coca se distribuyen en zonas tropicales y subtropicales de ceja de selva: en las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga, Paucartambo, Apurímac, Ene, Perené y Ucayali; en los valles interandinos de La Libertad, Huanuco, Cajamarca, Ayacucho, Amazonas, San Martín, Loreto, Apurímac y Cuzco entre los 500 y 2000 msnm. Se extiende a Colombia, Argentina, Ecuador (González, 1986).

La coca tiene los siguientes nombres en el Perú: cuca, cocaca, mamacoca, kkoka; los indios de Nicaragua lo llaman yaat, en la gobernación de Venezuela lo llaman hado, en diversos lugares de Colombia se le conoce con el nombre de javo, patu, yayuelo, cocaá, cají, ipatú, igatúa; en Brasil se le conoce con los nombres de ipadú, padu, hayo, spadia.

La harina de coca puede ser utilizada perfectamente en:

- Repostería: Queques, panes, panetones, galletas, turrone, barras energéticas, alfajores, tofees, caramelos, etc.
- Comidas: Tamales, paté, cremas, picantes, ocopa, sopas, guisos, etc.

La población elegible que consume de alguna forma hoja de coca es alrededor del 15% (4,5 millones de habitantes) 48.6 % de esta población reside en el área urbana y 51.4 % restante en el área rural.

www.perubookstore.com/libro/CS378/el-consumo-tradicional-de-la-hoja-de-coca-en-el-peru



Figura 1: La hoja de coca (*Erythroxylum coca*)

Fuente: Cordero (2009)

1.2.2. Taxonomía

Cordero (2002), clasifica taxonómicamente a la hoja de coca como sigue:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	: Linales
Familia	: Erythroxylaceae
Género	: Erythroxylum
Especie	: <i>Erythroxylum coca</i> Lamarck var. Coca
Nombre vulgar	: “coca”

1.2.3. Valor nutricional de la hoja de coca

Está comprobado por los datos de laboratorio que la cocaína natural es muy sensible a la temperatura, siendo desintegrada en casi su totalidad por temperatura de 70°C o más, lo que siempre ocurre en el tostado, ebullición y cocción.

La hoja de coca al ser convertida en harina o extracto e incorporada a alimentos, medicamentos, cosméticos, etc.; no puede ser utilizada como insumo para extraer cocaína, permitiendo aprovechar libremente sus invalorables propiedades nutricionales y medicinales. (Escobar, 1997)

Gracias a la investigación realizada por la Universidad de Harvard, en 1975, titulada “Valor nutricional de la hoja de coca”, se ha probado que la masticación diaria de 100 gramos de hojas de coca, satisface la ración alimentaria recomendada tanto para el hombre para la mujer, mientras que 60 g/día colman las necesidades de calcio. Su contenido en vitaminas y determinados oligoelementos hacen que al mismo tiempo el mate de coca constituya un complemento nutritivo de la dieta diaria. Estos mismos estudios de la Universidad de Harvard sostienen que en 100 gramos de coca se pueden tener casi dos gramos de potasio que son necesarios para el equilibrio del corazón y se le atribuyen además propiedades adelgazantes. Sabiendo que estas tisanas (mates) son tan ricas en estos nutrientes, se convierten en alimento y medicina.

La concentración de cocaína en la hoja es muy baja, según investigaciones realizadas por médicos farmacólogos de la Universidad de Caldas, y por lo tanto, ingerida en forma natural, no produce toxicidad ni genera

dependencia. Actúa como estimulante leve, mejora la atención y la coordinación de ideas, es algo así como tomarse un café concentrado. (Escobar, 1997)

La hoja de coca no solamente contiene cocaína. Además tiene un total de catorce alcaloides, taninos, vitaminas, salicilatos y otras sustancias que contribuyen a su acción benéfica medicinal". Dichos alcaloides encontrados en cocaína E. Coca y en E. Novogratense son los siguientes:

Atropina: O escopolamina, es anestésico que produce sequedad de árbol respiratorio.

Benzoina: Acelera la formación de células musculares y evita la putrefacción de alimentos, de ahí sus propiedades terapéuticas para gastritis y úlceras.

Cocaína: Es el éter metílico de la benzoil egnonina, tiene propiedades anestésicas y analgésicas.

Cocamina: Es un analgésico que junto a la conina ayudan a la cocaína a aumentar las propiedades anestésicas y analgésicas de la cocaína natural.

Conina: Es un analgésico poderoso.

Egnonina: Es un derivado carboxilado de la atropina, tiene propiedades de metabolizar grasas y glúcidos, carbohidratos, adelgaza la sangre.

Globulina: Es un cardiotónico que regula la carencia de oxígeno en el ambiente, mejorando la circulación sanguínea, evita el soroche o mal de montaña.

Higrina: Excita las glándulas salivares cuando hay deficiencias de oxígeno en el ambiente.

Inulina: Refresca y mejora el funcionamiento del hígado, la secreción de la bilis y su acumulación a la vesícula, es diurético, ayuda eliminar las sustancias nocivas tóxicas no fisiológicas. Es un polisacárido muy parecido a las vitaminas B-12 que produce aumento de las células de la sangre.

Papaína: Esta proteasa, que en mayor proporción contiene la papaya es muy parecida a la catepsina animal, es una especie de fermento que acelera la digestión.

Pectina: Es absorbente y antidiarreico, junto a la vitamina “E” regula la producción de melanina para la piel.

Piridina: Acelera la formación y funcionamiento del cerebro, aumenta la irrigación sanguínea a la hipófisis y las glándulas, traduciéndose en una mejoría del cuerpo en general.

Quinolina: Evita la formación de las caries dentales junto al fósforo y al calcio.

Reserpina: Regula la presión arterial en hipo e hipertensión y ayuda a la formación de las células óseas.

Estos 14 alcaloides, los aminoácidos que contienen, los ácidos y las vitaminas A, B₁, C y E, la tiamina, niacina y riboflavina, la convierten en la planta más completa del universo en nitrógeno no proteico, que es el que elimina las toxinas y patologías del cuerpo, obteniendo combinaciones óptimas con frutas y plantas medicinales. (Escobar, 1997).

1.2.4. Composición química de la hoja de coca

En la tabla 1 se muestra la composición química de la hoja de coca comparada con 59 plantas alimenticias

Tabla 1: Comparación de la composición química de la hoja de coca con el promedio del contenido de 50 plantas medicinales (En 100 gramos)

Constituyentes alimenticios	Hoja de Coca	50 Plantas Alimenticias
Calorías (Kcal)	305,0	278.8
Agua (g)	8,5	40,0
Proteína (g)	18,8	11,4
Grasa (g)	3,3	9,9
Carbohidratos (g)	44,3	37,1
Fibra (g)	13,3	3,2
Calcio (mg)	1789,0	99,0
Fósforo (mg)	637,0	270,0
Hierro (mg)	26,9	3,6
Vitamina A (UI)	1000000,0	135,0
Tiamina (B-1) (mg)	0,58	0,48
Riboflavina (B-1) (mg)	1,73	0,16
Niacina (mg)	3,73	2,25
Vitamina C (mg)	1,40	12,96
Vitamina E (UI)	43,5	---
Vitamina B5 (mg)	0,308	---
Ácido Fólico (mg)	0,13	---
Vitamina B12 (mg)	1,05	---
Biotina(mg)	0,0865	---
Ácido Pantoténico mg)	0,684	---
Yodo (mg)	5,0	---
Magnesio (mg)	213,0	---
Zinc (mg)	2,7	---
Cobre (mg)	1,21	---
Sodio (mg)	40,6	---

Fuente: Llosa *et al.*, (2011)

Tabla 2: Comparación alimenticia de hoja de coca con otros alimentos (En 100 gramos)

Alimento	Energía	Prot. (g)	Ca mg.	Fe mg.	P mg.	Vit. A IU	Vit. B2 (mg)	Vit. C (mg)
Coca	304	19,9	2097	9,8	363	9,00	1,72	1,50
Maíz	325	8,4	6	1,7	267	0,02	0,16	0,70
Trigo	336	8,6	36	4,6	224		0,08	4,80
Arroz	359	6,1	80	1,6	130		0,07	
Cebada	344	6,9	61	5,1	394	0,01	0,21	
Kiwicha	365	12,9	179	5,3	254		0,57	3,20
Quinua	367	14,0	114	7,0	450		0,32	6,80
Papa	97	2,1	9	0,5	47	0,02	0,09	14,00
Yuca	162	0,8	25	0,5	52	0,01	0,04	30,70
H. quinua	50	4,7	377	1,5	63	1,70	0,95	11,10
H. de nabo	35	2,9	367	2,8	95	2,12	0,38	49,20
Espinaca	32	2,80	234	4,3	45	378	0,2	15,20

Fuente: Escobar, (1997).

1.2.5. Harina de coca

Si bien la planta de coca es más conocida por sus hojas, usadas para el tradicional chacchado e infusiones y para los modernos mates de coca en que se muelen las hojas y se ponen en infusión, últimamente se está desarrollando la industria de la planta coca a base de la molienda de sus hojas.

La harina, o polvo, de coca, es un derivado de la molienda de las hojas o de otras partes de la planta coca. Si bien no existen muchas referencias históricas sobre el preparado ni uso de la harina de coca, con las hojas de coca se pueden desarrollar productos que contengan cocaína (coca natural

cocainizada) y otros sin cocaína (descocainizados o desalcaloinizados). El primer grupo servirá para la industria y el comercio nacional en Bolivia, Colombia y Perú, y países que no se han adherido a la Convención Única de 1961 (como Sud África que últimamente ha importado mate de coca de ENACO), sin restricciones, salvo para la extracción de cocaína (alcaloide) para preparados con cocaína (base, crack, clorhidrato o sulfatos de cocaína), los que deberán estar regulados y prohibidos para uso industrial y comercial, salvo aplicaciones médicas y de investigación específicas. Decenas de productos cocainizados para uso exclusivo oral y dérmico pueden entrar rápidamente al mercado nacional. Para diseñar una industria adecuada a base de coca es necesario conocer bien la composición química de la coca de la región que se usará y eso incluye conocer los nutrientes, aceites y el porcentaje de alcaloides, especialmente la cocaína, que contiene. Sabemos que las cocas que contienen más cocaína son de las del Cuzco y Huanuco en el Perú y Chapare y Yungas en Bolivia (*Erythroxylum* coca con 0,6% a 1% de cocaína) y las que contienen porcentajes más bajos son las de Trujillo en el norte peruano y Cauca en Colombia (*Erythroxylum novogranatense*, con menos de 0,6% de cocaína. No tenemos datos químicos sobre estudios de la coca tipo Ipadú que crece en los límites de Brasil, Colombia y Perú, que es una variante amazónica de *Erythroxylum coca*.

Entre los productos a base de coca, se puede preparar harina o polvo de coca. La más conocida y preparada es la harina de coca de las hojas, pero también se puede preparar harina de coca de los productos residuales, que

pueden servir para alimentación animal e inclusive humana cuando se necesite administrar mucha fibra. Hay que diferenciarlo de otras moliendas en que los granos o semillas no son reducidos a polvo, como en el caso de las hojas de coca molidas que se envasan en las bolsitas de mate de coca. Por lo tanto, la Harina de coca es el polvo resultante de la molienda de las hojas de coca, especialmente en un molino de bolas, a temperatura ambiente ligeramente elevada por el proceso mecánico de la molienda y que da como resultado una sustancia de consistencia polvorienta (hojas de coca micropulverizadas), integral (con todos los elementos químicos y nutrientes de la hoja de coca natural), de acuerdo a lo informado por la Dra. Silveria Dongo, Química de ENACO (Llosa *et al* ,2011).

Tabla 3: Composición química de la harina de coca (En 100 g de producto)

Composición	Cantidad
Energía (Kcal)	304
Proteína (g)	19,9
Minerales	
Calcio (mg)	2097
Fósforo (mg)	600
Fierro (mg)	9,8
Vitaminas	16,57
Retinol	0,30
Tiamina	1,72
Riboflavina	6,30
Niacina	1,40

Fuente: Collazos et al., (1993)

1.2.6. La harina de coca en alimentos enriquecidos

La harina de coca, es el alimento más nutritivo y medicinal de la Tierra, pues contiene todos los nutrientes que necesitan las células. Con dicha harina, tenemos que elaborar alimentos enriquecidos, con los cuales erradicaremos las enfermedades carenciales e infecciosas en esta primera mitad del siglo XXI. El enriquecimiento puede hacerse con harinas de dos o más alimentos, combinando o mezclando.

La harina de coca, a excepción del tarwi, el fréjol y el haba, contiene mayor cantidad de proteínas (de 18 g a 20 g), las que agregadas a los alimentos enriquecidos, puede solucionar las deficiencias calórico-proteicas que viene padeciendo las personas desnutridas de las ciudades y del campo. Con el alimento enriquecido, es posible detener y erradicar dichas deficiencias de estudiantes (Hurtado, 2005).

La harina de coca, contiene la cantidad requerida de minerales en una alimentación balanceada: 2097 mg de calcio para erradicar la osteoporosis, osteomalacia y caries dentales entre otras enfermedades; contiene 600 y 637 mg de fósforo, para solucionar los problemas de desmineralización del esqueleto al lado del calcio; contiene más de 9 mg de hierro para solucionar las anemias que sufren nuestros escolares, así como el cretinismo.

La harina de coca, contiene todas las vitaminas, en mayor cantidad que las requeridas para todas las edades y con los alimentos enriquecidos con dicha harina habremos de erradicar todas las enfermedades causadas por las deficiencias de vitaminas en la alimentación. (Escobar, 1997).

1.3. EL CAMOTE (*Ipomea batata*)

1.3.1. Generalidades

También conocido como batata (*Ipomoea batatas*), se creó que su centro de origen es la América tropical, ya que las antiguas civilizaciones peruana y maya ya lo cultivaban. Los principales productores de camote en Asia, son: Corea, China, Indonesia, Japón y Taiwán, aunque en la India existe un interés creciente por su cultivo. América ocupa el tercer lugar como continente productor, y el país con más área dedicada a este cultivo y principal productor comercial es Brasil, aunque en este país, el camote solo se destina al uso doméstico y no interviene en el comercio internacional, en estado fresco o en forma elaborada. El segundo país productor americano es Cuba, seguido de Haití y Estados Unidos de Norteamérica

Es un bejuco perenne, aunque cultivado como anual. Crece a nivel o un poco arriba de la superficie del suelo. Los primeros tubérculos se pueden cosechar en aproximadamente 4 meses, pues es de rápido desarrollo. Existen aproximadamente 500 especies. Es una fuente de carbohidratos para la alimentación humana y animal. La parte más importante de la planta es la raíz, por transformarse en tubérculo las raíces rastreras que acumulan reservas nutritivas, y se producen en los puntos donde dejan de ser rastreras, para profundizarse en el suelo. Haciendo aporques no demasiado grandes, favoreciendo a la formación de dichos tubérculos (FAO, 1990; Montaldo, 2010).

Picha (1986) clasifica al camote, en la familia de las convolvuláceas, siendo su nombre científico *Ipomoea batata*; además, manifiesta que éste tubérculo

tiene diversas denominaciones según el país donde se produce, por ejemplo, en Cuba se llama boniato; en México y Perú, camote.

El camote es una planta herbácea de tipo rastrero y perenne. Pertenece al género *Ipomoea* y a la especie *Ipomoea Batatas*. Se cultiva en un gran rango de suelos, incluso en suelos con un valor agrícola marginal, es decir suelos pobres de poca materia orgánica, con bajos niveles de fertilidad y suministro irregular de agua; soporta excesos de lluvia y sequías; por lo que tiene un bajo costo de producción comparado con otros cultivos. Además de su rusticidad productiva tiene un corto periodo vegetativo, alto rendimiento potencial y es una excelente fuente de nutrientes.

El camote se adapta a suelos con distintas características físicas, desarrollándose mejor en los arenosos, pero pudiendo cultivarse en los arcillosos con tal de que estén bien granulados y la plantación se haga en caballones. Los suelos de textura gruesa, sueltos, desmenuzables, granulados y con buen drenaje, son los mejores. La textura ideal es franco-arenosa, junto a una estructura granular del suelo drenados. pH: 4,5 – 7,5. El camote es una planta tropical y no soporta las bajas temperaturas. Las condiciones idóneas para su cultivo son una temperatura media durante el período de crecimiento superior a los 21° C, un ambiente húmedo (80%-85% HR) y buena luminosidad. La temperatura mínima de crecimiento es 12° C. Soporta bien el calor. Tolera los fuertes vientos debido a su porte rastrero y a la flexibilidad de sus tallos (FAO, 2000).



Figura 2: El camote (*Ipomea batata*)

Fuente: Montaldo, 2010

Tabla 4: Principales características agronómicas del camote

Características	Resultado
Periodo de crecimiento en meses	3-8
Planta anual o perenne	Perenne
Precipitación óptima (cm)	75-100
Temperatura óptima (°C)	>24
Resistencia a la sequía	Si
pH óptimo	5,6-6,6
Fertilidad orgánica	Baja
Materia orgánica requerida	Baja
Crece en suelo pantanoso inundado	No
Material de siembra	Enredaduras, estacas
Tiempo de almacenamiento en el suelo	Largo
Duración en poscosecha	Corta

Fuente: Scott *et al.*, (2000)

Un aspecto importante en este cultivo, es que su producción es fácil y económica. Aunque es un cultivo secundario, el camote produce grandes rendimientos.

1.3.2. Taxonomía

La clasificación taxonómica del camote, según Yañez (2002), se presenta a continuación:

Reino	: Viridiplantae
Subreino	: Embryophyta
División	: Magnoliophyta
Subdivisión	: Angiospermae
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Asteridae
Orden	: Solanales
Familia	: Convolvulaceae
Género	: Ipomoea
Sección	: batatas
Especie	: Ipomoea batatas (L.) Lam.

1.3.3. Variedades

Existen variedades tradicionales y algunas mejoradas, variando el color de la pulpa entre diversos tonos de anaranjado, amarillo, blanco (mejorado) y morado.

En la actualidad al describir un cultivar, se toma en cuenta como fundamental el carácter de pulpa, húmeda o seca. Se debe aclarar que estos términos no se refieren al contenido en agua sino al ablandamiento o no de

los camotes cuando se cocinan, como consecuencia del desdoblamiento de los almidones en maltosa.

Teniendo en cuenta dicho carácter y los del color del camote, que predomina en la valoración comercial, se propone la siguiente agrupación de las variedades con mayor difusión mundial.

a) Tipo seco: agrupa a los camotes que mantienen su estructura después de hervidas u horneadas (no producen maltosa)

I. Pulpa blanca o cremosa v.g.: Brasileira Blanca y Criolla Blanca o Manteca (Argentina); Pelican Processor y White Star (E.U.A.); Vasourinha y Paulista (Brasil); Maní Blanco y Martínica Blanco (Cuba); Tamayutaka y Konasengan (Japón); Chunmi y Shin-Mi (Corea del Sur); Cuñataí Porá (Paraguay); Wenholz II (Australia).

II. Pulpa amarilla Vg.: Criolla Amarilla o Colorada y Tucumana Morada (Argentina); Yema de Huevo y Candela (Cuba); Amarela (Brasil); Red Bermuda y Yellow Jersey (E.U.A.).

III. Pulpa Morada, v.g.: Batata Remolacha (Uruguay).

b) Tipo húmedo: se ablandan mucho al cocinarlas debido a la formación de maltosa.

I. Pulpa anaranjada o asalmonada (con alto contenido en carotenoides = pro vitamina A), v.g.: Porto Rico, Centenal, Jewel, Georgia Jet, Goldrush, Nemagold, Julian, Redmar (E.U.A.); Tucumana Lisa y Tucumana Mantecosa (Argentina); Tacarigua y Yaracuy (Venezuela);

Catemaco y Cuítzeo (Mexico); Trujillano y Paramongino (Perú); Yetí Pitá (Paraguay).

II. Pulpa amarilla, v.g.: Nancy Hall (E.U.A).

(Folquer, 1978).

1.3.4. Composición química

Según Folquer (1978) encontró diferencias en la composición química en los tubérculos de camote de acuerdo a: variedad, grado de maduración y debido a las condiciones de clima, suelo y tipo de almacenamiento.

Existen grandes diferencias en la composición química de los camotes según la variedad, la maduración, condiciones de clima y suelo en que se produjeron, los períodos y condiciones de conservación en depósito. En la tabla 5, se muestran los contenidos medios de aminoácidos del camote

Tabla 5: Contenido aminoacídico del camote (g AAs/16 g de N₂)

Aminoácidos	Cantidad
Isoleucina	4.8
Leucina	7.1
Lisina	4.5
Metionina	2.2
Fenilalanina	5.1
Treonina	5.0
Triptófano	2.2
Tirosina	-
Valina	5.9

Fuente: Hernández *et al.*, (2008).

En la tabla 6 se muestra la composición química y características del camote.

Las raíces tuberosas del camote constituyen uno de los alimentos más importantes por su gran contenido de carbohidratos y su elevado porcentaje de almidón. Ésta raíz tuberosa es utilizada tanto en la alimentación humana como animal.

Tabla 6: Composición química y características fisicoquímicas del camote

Componentes	Contenido
Materia Seca (%)	19-35
Almidón (% del peso fresco)	18-28
Azúcares Totales (% del peso fresco)	1,5-5,0
Proteínas (% del peso fresco)	1,0-2,5
Fibra (% del peso fresco)	1.0
Lípidos (% del peso fresco)	0,5-6,5
Vitamina A (ug/ 100 g peso fresco)	900
Vitamina C (mg./ 100 g peso fresco)	35
Ceniza (% del peso fresco)	1,0
Calcio (mg)	70
Fósforo	200
Características	
Energía (KJ/100 g.)	490
Factores antinutricionales	Inhibidores de la tripsina
Tasa de extracción de almidón (%)	10-15
Tamaño del granulo del almidón (μ)	2-42
Amilasa (% del peso seco)	8-38
Viscosidad máxima (UB)	Nd
Temperatura de gelatinización ($^{\circ}$ C)	58-65

Fuente: Scott *et al.*, (2000)

1.3.5. Aprovechamiento del camote

El potencial de uso de la raíz de camote solo en la industria alimentaría es amplio y abarca productos tales como jugos y purés para la alimentación de niños; además se obtienen jarabes, hojuelas y harinas.

Además según (Folquer, 1978), tenemos las siguientes formas de utilización del camote:

A) Consumo directo

Es la forma tradicional de utilización de las raíces tuberculosas, que se preparan hervidas, asadas o fritas, sin condimentación alguna.

B) En dulces

Con el agregado de azúcar y otros ingredientes. Los más conocidos son: “dulce en almíbar”, “crema de batata”, “batatas glacé”, “batatas brillantadas”, “bocaditos dulces”, “empanadillas”, “bizcochos”.

C) Deshidratadas

En forma de harina (en el Perú se mezcla con la harina de trigo para preparar el llamado pan – camote); en pequeños trozos integrando las mezclas de hortalizas deshidratadas, base de la denominada “sopa juliana”; “en escamas” o flanes con los cuales se prepara el “puré instantáneo” y los baby food.

D) Congeladas

Mediante técnicas de congelamiento rápido que producen los camotes frozen en rebanadas

E) Conservadas al natural

Los camotes partidos se enlatan, agregando una solución azucarada liviana.

F) Industrias derivadas

Almidón de camotes de alta calidad para el apresto de tejidos, dado el pequeño tamaño de los granos (semejantes al de arroz).

Alcohol etílico. El camote constituye en el Japón, la materia prima más importante para la fabricación de alcohol industrial.

Miel o Syrup. Que se obtiene por sacarificación de los almidones, en forma semejante al syrup de maíz.

Extracción de B-caroteno a partir de las variedades seleccionadas por su pulpa naranja-oscura.

1.4. LA QUINUA (*Chenopodium quinoa Willd*)

1.4.1. Generalidades

La quinua es una planta precolombina de la familia de las Quenopodiáceas, cuyo nombre científico es *Chenopodium quinoa willd*. Tiene tallos nudosos y velludos de 0,6 a 1,2 metros de alto (Figura 3), hojas semejantes a las de caña común, flores pequeñas hermafroditas, en racimos o panículas largas con estambres de 2 a 3 estigmas, las semillas están cubiertas por el cáliz que es algo anguloso.

La quinua no es un cereal por pertenecer a la familia de las Quenopodiáceas, mientras que todos los cereales pertenecen a la familia de la Gramíneas; sin embargo, pueden consumirse en la misma forma que los cereales (Tapia, 2011).

La quinua es uno de los granos que jugó papel importante en la alimentación de la población indígena asentada en las altiplanicies más altas del continente suramericano, constituyéndose en una de las principales fuentes de proteína de dicha zona.

Algunos historiadores y naturistas como el Barón Humboldt dieron testimonio de la presencia de quinua en el territorio chibcha en Colombia; pero en la época de la conquista la producción de este grano entró en la decadencia por razones políticas y socio- económicas convirtiéndose en un cultivo de subsistencia (Tapia, 2011).

Se cultivó hasta fines del primer tercio del siglo XIX; es posible que en los primeros años posteriores a la conquista los chibchas no volvieron a sembrar quinua quizá como una actitud de resistencia pasiva contra el invasor, el cual los obligaba a cultivar maíz y papa, plantas conocidas por ellos y que eran por entonces la base de la alimentación de los nuevos pobladores. (Ritva, 1998).



Figura 3: La quinua

Fuente: Tapia (2011).

1.4.2. Clasificación taxonómica

La composición taxonómica de la quinua, según Tapia (2011) se muestra a continuación.

División	:Fanerógamas
Clase	:Angiospermas
Subclase	:Dicotiledóneas
Orden	:Centrospermales
Familia	:Quenopodiáceas
Género	:Chenopodium
Especie	: <i>Chenopodium quinoa Willd</i>

1.4.3. Composición química

La quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, fue base nutricional en las principales culturas americanas.

Desde el punto de vista nutricional y alimentario la quinua es la fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales.

En la tabla 7 se presenta la composición química de la quinua.

La quinua posee cualidades superiores a los cereales y gramíneas. Se caracteriza más que por la cantidad, por la calidad de sus proteínas, además la quinua posee mayor contenido de minerales que los cereales y gramíneas, tales como fósforo, potasio, magnesio y calcio entre otros minerales.

Tabla 7: Composición química de la quinua

Componente	Valor
Calorías	351
Humedad	9,40% - 13 %
Proteínas	16%- 23%
Fibra	2,10 g – 4,90 g
Grasa Total	5,30 g – 6,40 g
Carbohidratos	53,50 g – 74,30 g

Fuente: Tapia (2011)

En la tabla 8 se muestra la composición comparativa con otros cereales.

Tabla 8: Valor nutricional de la quinua comparado con otros cereales

Componente	Quinua	Trigo	Arroz	Maíz
Valor energético kcal/100 g	350,00	305,00	353,00	338,00
Proteínas g/100 g	13,81	11,50	7,40	9,20
Grasa g/100 g	5,01	2,00	2,20	3,80
Hidratos de Carbono g/100 g	59,74	59,40	74,60	65,20
Agua g/100 g	12,65	13,20	13,10	12,50
Ca mg/100 g	66,60	43,70	23,00	150,00
P mg/100 g	408,30	406,00	325,00	256,00
Mg mg/100 g	204,20	147,00	157,00	120,00
K mg/100 g	1040,00	502,00	150,00	330,00
Fe mg/100 g	10,90	3,30	2,60	-
Mn mg/100 g	2,21	3,40	1,10	0,48
Zn mg/100 g	7,47	4,10	-	2,50

Fuente: www.fao.org (Composición nutricional de la quinua, accesado el

18/03/2016)

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% 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.

Al respecto Repo-Carrasco *et al.*, (1991), acota que el balance de los aminoácidos esenciales de la proteína de la quinua es superior al trigo, cebada y soya, comparándose favorablemente con la proteína de la leche.

Su composición del valor nutritivo de la quinua en comparación otros alimentos básicos se presentan en la tabla 9.

Tabla 9: Composición del valor nutritivo de la quinua en comparación con alimentos básicos

Componente	Proteínas (%)	Grasas (%)	CHOs (%)	Hierro (%)	kcal / 100 g
Quinua	13,00	6,10	71,00	5,20	370,00
Carne	30,00	50,00	-	2,20	431,00
Huevo	14,00	3,20	-	3,20	200,00
Queso	18,00	—	-	-	24,00
Leche vacuno	3,50	3,50	-	2,50	66,00
Leche humana	1,80	3,50	-	.	80,00

Fuente: www.prodiversitas.bioetica.org (Accesado el 12/06/2015)

1.4.4. Usos en la alimentación

Tradicionalmente los granos de quinua se tuestan y con ellos se produce harina. También pueden ser cocidos, añadidos a las sopas, usados como cereales, pastas e inclusive se le fermenta para obtener cerveza o "chicha" la cual es considerada la bebida de los Incas. Cuando se cuece toma un sabor similar a la nuez.

La harina de quinua es producida y se comercializa en Perú y Bolivia, sustituyendo muchas veces a la harina de trigo, enriqueciendo así sus derivados de pan, tortas y galletas.

Mezclando la quinua con maíz, trigo, cebada o papa se producen alimentos nutritivos y a su vez agradables con los cuales se están alimentando niños desnutridos del Perú y Bolivia, dando plenos resultados.

Un alimento es valorado por su naturaleza química, por las transformaciones que sufre al ser ingerido y por los efectos que produce en el consumidor.

La quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, fue base nutricional en las principales culturas americanas.

Desde el punto de Vista nutricional y alimentario la quinua es la fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales.

El valor calórico es mayor que otras cereales, tanto en grano y en harina alcanza a 350 Kcal/100 g., que lo caracteriza como un alimento apropiado para zonas y épocas frías (Risi, 1997).

La proteína de la quinua ayuda al desarrollo y crecimiento del organismo, conserva el calor del organismo, conserva el calor y energía del cuerpo, es fácil de digerir, forma una dieta completa y balanceada (Tapia, 2011).

1.4.5. Variedades

La planta posee una gran variabilidad y diversidad, su clasificación se ha hecho en base a ecotipos, se reconoce 5 categorías básicas. (Ver tabla 10)

Del valle: la cual crece en los valles comprendidos entre los 2000 m y 3000 m. de altura. Esta especie es de gran tamaño y tiene un largo período de crecimiento.

Del altiplano: ha sido encontrado alrededor del Lago Titicaca, es resistente a las heladas, de poca altura, carece de ramas y tiene un corto período de crecimiento.

De terrenos salinos: La cual crece en las llanuras del Altiplano boliviano, soporta terrenos salinos y alcalinos. Tiene semillas amargas con un alto contenido proteico.

Del nivel del mar: encontrada en el Sur de Chile, tamaño mediano, generalmente sin ramas, con semillas color amarillo y amargas.

Sub-tropical: encontrada en los Valles interandinos de Bolivia, tiene una coloración verde oscuro al ser plantada y en la madurez se torna naranja. Tiene pequeñas semillas blancas o amarillas (Rojas *et al.*, 2010).

Perú y Bolivia tienen la más extensa variedad de especies, teniendo 2000 muestras de ecotipos. Existen también muestras en Chile, Argentina,

Ecuador, Colombia, EE.UU, Inglaterra y la Unión Soviética (Tapia, 2011).

Tabla 10: Principales variedades de quinua

Variedades o ecotipos	Altitud msnm	Color de grano	Sabor	Periodo vegetativo (días)
Blanca Junín	1 500-3 500	Blanco	Dulce	160-180
Rosada Junín	2 000-3 500	Blanco	Dulce	160-180
Nariño Amarillo	800-2 500	Blanco	Dulce	180-200
Marangani	800-3 500	Amarillo	Amarga	60-180
Quillahuaman INIA	800-3 500	Blanco	Semidulce	160-180
Tahuaco	1 500-3 900	Blanco	Semidulce	150
Kancolla	800-4 000	Blanco	Dulce	140-160
Cheweca	1 500-3 500	Amarillo	Dulce	150-180
Chucapaca	800-3 900	Blanco	Semidulce	150-160
Kamiri	800-4 000	Blanco	Semidulce	150-160
Camacan II	800-4 000	Blanco	Semidulce	150-160
Rosada Cusco	800-3 500	Blanco	Semidulce	160-180
Real	500-4 000	Blanco	Semidulce	110-130
Boliviana Jujuy	500-3 500	Blanco	Semidulce	100-120
Sajama	> 3 500	Blanco	Dulce	150-170
Blanca de Juli	---	Blanco	Semidulce	150-180
Mantaro	1 500-3 500	Blanco	Semidulce	---
Hualhas	1 500-3 500	Blanco	Semidulce	---
Salcedo INIA	---	---	---	---

Fuente: Rojas *et al.*, (2010)

1.5. EL TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

1.5.1. Generalidades

El trigo (*triticum aestivum* L.) es, desde la prehistoria el más importante de los cereales, debido a su adaptación a todo tipo de terreno y a diferentes

climas, el trigo en algunos sitios es casi el 80% de la dieta total, en la mitad de los países del mundo posee el 50% del alimento. Los cereales son una especie vegetal perteneciente a la familia de las gramíneas, los más cultivados son el trigo, el maíz, el arroz, la cebada, la avena, el sorgo y también el mijo (Quaglia, 2012).

1.5.2. Clasificación general del trigo

➤ Clasificación por cosecha

1. Trigo invernal

Se planta en otoño y se cosecha en primavera. Se puede sembrar en lugares como el noreste de Europa en los que no se congela excesivamente el suelo. El grano germina en otoño y crece lentamente hasta la primavera. Las heladas podrían afectar adversamente a las plantas jóvenes, pero una capa de nieve las protege e induce al aislamiento

2. Trigo primaveral

Se planta en primavera y se cosecha a principios de otoño. En lugares tales como las praderas canadienses, o las estepas rusas que padecen inviernos demasiado rigurosos para sementera invernal, se siembra el trigo en primavera, lo más pronto posible, de manera que se pueda recoger la cosecha antes que comiencen los hielos de otoño.

Las características climáticas de las localidades donde se cultiva el trigo de primavera máxima pluviosidad en primavera y comienzo de verano y máxima temperatura en pleno y final de verano favorecen la producción de

granos de maduración rápida, con endospermo de textura vítrea y alto contenido proteico adecuado para la panificación. El área de producción de trigos de primavera se va extendiendo progresivamente hacia el norte, en el hemisferio norte con la introducción de variedades nuevas, cultivadas por sus características de maduración rápida (Quaglia, 2012).

➤ **Clasificación según la dureza del endospermo**

La «dureza» y «blandura» son características de molinería, relacionadas con la manera de fragmentarse el endospermo.

1. Trigos duros

Los trigos duros producen harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cerner, compuesta por partículas de forma regular, muchas de las cuales son células completas de endospermo.

2. Trigos blandos

Los trigos blandos producen harina muy fina compuesta por fragmentos irregulares de células de endospermo (incluyendo una proporción de fragmentos celulares muy pequeños).

➤ **Clasificación según la textura del endospermo**

Esta característica del grano está relacionada con la forma de fraccionarse el grano en la molturación, el carácter vítreo- harinoso se puede modificar con las condiciones de cultivo.

El desarrollo de la cualidad harinosa, parece estar relacionado con la maduración.

1. Trigo vítreo

La textura del endospermo puede ser vítrea (acerada, pétrea, cristalina, cornea). El peso específico de los granos vítreos es mayor por lo general que el de los granos harinosos: 1,422 los vítreos.

El carácter vítreo se puede inducir con el abono nitrogenado o con fertilizantes y se correlaciona positivamente con alto contenido proteico.

2. Trigo harinoso

La textura del endospermo que es harinosa (feculosa, yesosa). El peso específico de los granos harinosos es de 1,405 el carácter harinoso es hereditario y afectado por las condiciones ambientales, y se favorece con lluvias fuertes, suelos arenosos ligeros y plantación muy densa y depende más de estas condiciones que del tipo de grano cultivado. La opacidad de los granos harinosos es un efecto óptico debido a la presencia de diminutas vacuolas o fisuras llenas de aire, entre y quizás dentro de las células del endospermo (Quaglia, 2012).

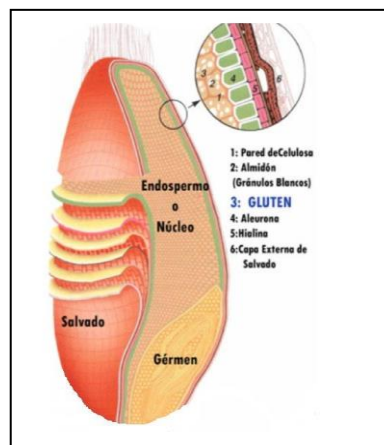


Figura 4: Estructura del grano de trigo.

Fuente: Desrosier, (2009).

Tabla 11: Clasificación de los trigos en base a la funcionalidad del gluten

GRUPO	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación. Usados para mejorar la calidad de trigos débiles.
II	Medio-Fuerte	Gluten medio – fuerte apto para la industria artesana de panificación.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera. Usado para mejorar las propiedades de trigos tenaces.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera y galletera.
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas.

Fuente: Scade y García (2010)

1.5.3. Composición química

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sucrosa, glucosa, melibiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: Albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (ácidos grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oleico, linoleico, linolénico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas (B-amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se encuentran en regiones determinadas. El

almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda esta reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano Desrosier, (2009).

1.6. Harina de trigo

1.6.1. Generalidades

Según la *Norma Técnica Peruana 205.027 (NTP)*, la designación “harina” es exclusiva del producto obtenido de la molienda del trigo, a los productos obtenidos de la molienda de otros granos (cereales, menestras), tubérculos y raíces les corresponde la denominación de “harina” seguida del nombre del vegetal de que provienen, tal es el caso de la harina de maca. La harina es el producto resultante de la molienda del grano limpio. (*triticum vulgare triticum durae*) con o sin separación de la cascara.

En el proceso de la molienda se separa el salvado y, por lo tanto, la harina de trigo se hace más fácilmente digerible y más pobre en fibra. Además se separa la aleurona y el embrión, por lo que se pierden proteínas y lípidos, principales causantes del enranciamiento de la harina. Considerando que la cariósida está formada de las siguientes partes 12% salvado, 85% del endospermo y 2,5% de germen, la molienda consiste en separar el 85% de albumen de la otra parte transformándolo, por consiguiente, en harina. En teoría es posible alcanzar el 85% de harinas de 100 partes de trigo, pero en la práctica, el rendimiento es siempre inferior y se aproxima al 85% tanto más cuanto más intenso sea el proceso de molienda (Quaglia, 2012).

1.6.2. Composición química de la harina de trigo

Las harinas deben ser: suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, moho, amargo o dulce. Debe presentar una apariencia uniforme sin puntos negros, libre de insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales.

Tabla 12: Composición química de la harina de trigo

COMPONENTE	UNIDADES	CANTIDAD
Energía	Kcal.	336
Agua	g	14,5
Proteína	g	8,6
Grasa	g	1,5
Carbohidratos	g	73,7
Fibra	g	3,0
Ceniza	g	1,7
Calcio	mg	36
Fosforo	mg	224
Hierro	mg	4,6
Tiamina	mg	0,3
Riboflavina	mg	0,08
Niacina	mg	2,85

Fuente: Hosney (1991).

Tabla 13: Composición química de la harina de trigo con diferentes grados de extracción

COMPONENTE	GRADO DE EXTRACCIÓN (%)			
	100	85	80	70-72
Proteína (%)*	12,2	12,1	11,7	11,3
Grasa (%)	2,4	1,6	1,4	1,1
Glúcidos (%)	64,1	69,8	70,2	72,0
Fibra (%)	2,0	0,4	0,2	0,1
Cal/100 mg.	327	342	341	343
Tiamina (mg)	0,37	0,29	0,24	0,08
Riboflavina (mg)	0,12	0,07	0,06	0,05
Ac. Nicotínico (mg)	5,6	2,00	1,60	0,8
Hierro (mg)	3,5	2,10	1,65	1,25

Fuente: FAO, 2000

Tabla 14: Las proteínas de la harina de trigo

PROTEÍNAS 8%-14%	SOLUBLES	ALBÚMINA 15%
	NO FORMAN MASA 15 %	GLOBULINA 6,5% PÉPTIDOS 0,5%
	INSOLUBLES	GLIADINA 33%
	FORMAN MASA 85%	GLUTENINA 45%
	TOTAL	100%

Fuente: Calaveras (2013).

1.6.3. Tipos de harinas

Las harinas se pueden clasificar atendiendo la cantidad de gluten que

posee, según ella pueden ser flojas o fuertes:

➤ **Harinas duras**

Son aquellas que tienen un alto contenido de proteínas como el trigo rojo duro de invierno y rojo duro de primavera. Hay cuatro clases de harina para pan a saber:

Integral: Es aquella que contiene todas las partes del trigo.

Completas: Son las más corrientes en nuestro país, son aquellas harinas que se obtienen al moler el trigo separando solo el salvado y el germen.

Patente: Es la mejor harina que se obtiene hacia el centro del endospermo, tiene la mejor calidad panificadora, es blanca y tiene poca ceniza.

Clara: Es la porción de harina que queda después de separar la patente. En algunas regiones se le llama harina de segunda. Es más oscura y contiene más cenizas.

➤ **Harinas suaves**

Son aquellas que tienen bajo contenido de proteínas y se extraen de trigos de baja proteína como el trigo blando rojo de invierno. Se utiliza para bizcochos y galletas.

En algunos sistemas de molienda, es posible obtener del mismo trigo un tipo de harina con alto contenido de proteína y otro tipo de harina con baja proteína. A este sistema de molienda se le denomina molienda o separación de impacto (Quaglia, 2012).

1.6.4. Sucedáneos del trigo

Mucho se ha hablado de este tema en los últimos años, lamentablemente en algunos casos sin el debido sustento técnico y con cierta irresponsabilidad; ya que se crean falsas expectativas que desalientan a los consumidores, sobre todo a los de menores recursos económicos.

Entendemos por sucedáneos, a los productos obtenidos por un proceso adecuado de molienda para ser mezclados con la harina de trigo pro fines alimenticios. Estos pueden provenir de cereales, leguminosas, pseudo cereales y raíces o también como una combinación de ellas.

Según la Norma Técnica Peruana 205.045:1976- INDECOPI, se define harinas sucedáneas procedentes de cereales, destinadas a ser mezcladas con harina de trigo para emplearse en la elaboración de productos alimenticios.

Tabla 15: Sucedáneos de la harina de trigo en el Perú

CEREALES	LEGUMINOSAS	PSEUDO-CEREALES	TUBÉRCULOS	RAÍCES
Trigo Nacional	Soya	Quinoa	Maca	Yuca
Maíz	Haba	Kiwicha	Oca	Camote
Cebada	Tarwi	Cañihua	Papa	----
Arroz	-----	-----	Mashua	----

Fuente: Shewry y Halford (2002).

A través de muchas investigaciones, se puede decir que sí es factible sustituir parcialmente la harina de trigo importada con harinas sucedáneas para la elaboración de panes, bizcochos, kekes, fideos y galletas. Sin embargo, la sustitución jamás será superior en el mejor de los casos al 20% para los casos del bizcocho, kekes y fideos y del 30% para el caso de las galletas (Shewry y Halford, 2002)

Las investigaciones tratan de encontrar el porcentaje óptimo de sustitución de la harina importada en productos terminados como son: los panes, fideos y galletas vía también el aprovechamiento de los recursos propios de cada región.

En algunos casos se busca asimismo, mejorar nutricionalmente el producto, mediante la sustitución del trigo importado por soya, quinua quiwicha, cañihua, tarwi y habas (con mayor contenido proteico del trigo) (Shewry y Halford, 2002).

En otros, como es el caso del camote, en las que las investigaciones han cubierto su uso en diferentes formas (harina, puré y camote rayado) y que constituye una fuente sumamente valiosa de vitamina A (100 g de camote, proporciona más del 100% de las necesidades de vitamina A que el ser humano requiere diariamente) o la cebada, que es una gran fuente de minerales como el calcio y el fosforo, así como sucedáneos como el maíz (Shewry y Halford, 2002)

Y el arroz, con el que se busca darle mayor rentabilidad al agricultor vía la comercialización del arroz partido.

Definitivamente, nuestra agricultura debe estar alineada con los

requerimientos alimentarios del país, así como con el Plan de Seguridad Alimentaria que contemple contingencias tales como: reducción de la oferta mundial del trigo, necesidades nutricionales de la población, incremento de los precios de los productos importados, etc. En ese sentido, falta muchísimo por hacer (Shewry y Halford, 2002).

1.7. FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS

Más de tres mil millones de personas, es decir 1/3 de la población mundial, sufre deficiencias de micro nutrientes. En la actualidad se dispone de soluciones de bajo costo y económicamente eficientes. Para erradicar éstas deficiencias se reconoce que la fortificación de los alimentos es la solución más eficiente. La fortificación exitosa de un alimento básico alcanza a toda la población, incluido los pobres, mujeres embarazadas y niños y poblaciones que el servicio social nunca logra cubrir completamente. Además la fortificación alcanzará a grupos de riesgo secundario, como los ancianos, los enfermos y aquellos que no ingieren una dieta balanceada, cualquiera sea el motivo

(www.perubookstore.com/libro/CS378/el-consumo-tradicional-de-la-hoja-de-coca-en-el-peru)

La fortificación es socialmente aceptable, no necesita una modificación de los hábitos alimentarios, no cambia las características del alimento y se puede introducir rápidamente, presenta beneficios visibles de inmediato, existen leyes que regulan la fortificación y enriquecimientos de harina de

trigo. El éxito de la estrategia de la intervención estará determinado por el compromiso del gobierno y de la industria de alimentos, además de un consumidor educado que exija alimentos ricos en micronutrientes. (Teucher et al., 2004).

La fortificación de los alimentos es una de las intervenciones alimentarias más frecuente y se aplica esencialmente a la solución de la deficiencia de los micronutrientes y de calcio, existentes en la población o bien cuando se requiere aumentar la ingesta de nutrientes para prevenir las enfermedades crónicas no transmisibles. Se caracteriza por ser una solución de bajo costo, rápida y eficiente. En la actualidad en el mercado nacional, existe un número importante de alimentos, en una sección especial, la composición química de los alimentos fortificados (Rodríguez, 2011)

1.7.1. Calidad nutritiva y métodos para evaluar el valor nutricional de los alimentos

Actualmente se sabe que existen grandes impedimentos en la producción mundial de alimentos, estos obstáculos no son técnicos ni aun "naturales", es decir relacionados con la geografía o el clima, sino que las limitaciones se deben, más bien, a factores económicos, sociales y culturales. Por tanto una producción de alimentos debe basarse en las necesidades nutricionales del país, junto con algún tipo de programas de planeación familiar localmente aceptable. (Cardozo y Tapia, 1979)

En la dieta de los pueblos antiguos de América, la quinua fue el alimento exclusivo. Debido a su valor nutritivo. Su verdadero valor está en la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales para la alimentación humana y su contenido proteico (Cardozo y Tapia, 1979)

Las ingestas de proteína y de otros nutrientes es normal cuando se cubran todos los requerimientos calóricos. Las proteínas presentes en los alimentos tienen por función principal aportar nitrógeno y los aminoácidos necesarios para la síntesis de las proteínas corporales y las demás sustancias nitrogenadas.

Dependiendo de factores como: Contenido de Proteína, Calidad de las Proteínas, disponibilidad de aminoácidos, la presencia de factores antinutricionales, los tratamientos térmicos a altas temperaturas y a las diferencias biológicas existentes entre individuos (Cheftel y Cheftel, 1998).

Los alimentos al ser procesados se logra a veces retardar su deterioro, mejorar su palatabilidad y textura, eliminar microorganismos indeseables, toxinas, factores antidigestivos, o enzimas pero que a veces también se logra en forma inevitable las pérdidas de nutrientes, alteración de compuestos haciendo de ellos biológicamente no disponibles.

Las modificaciones nutricionales que las proteínas alimenticias pueden sufrir durante los tratamientos tecnológicos se pueden determinar utilizando métodos químicos, biológicos y matemáticos (Rodríguez, 2011)

1.8. EL PAN DE MOLDE

1.8.1. Generalidades

El pan de molde, pan lacteado, pan láctalo o pan de caja es un tipo de pan que se caracteriza por tener una textura muy blanda. Suele conservarse mucho más tiempo tierno en comparación al resto de los panes. Su contenido en grasas es mayor que el pan común, ya que a diferencia de este último, acostumbra llevar grasas, leche y huevo (Quaglia, 2012).

La característica del pan de molde a diferencia del pan común es su durabilidad, el pan de molde es un producto embolsado sigue el mismo proceso del pan común pero con variaciones en su formulación, luego la masa se hace en un molde para darle la forma característica, se corta en rebanadas y se embolsa, el pan de molde se mantiene fresco en un aproximado de dos semanas. El valor energético del pan de molde es parecido al del pan común, y será mayor según se le añada azúcar, aceite, grasa, leche, mantequilla y otros ingredientes (Rodríguez, 2011)

1.8.2. Insumos

a. Harina

Se obtiene de la molienda del trigo. La harina blanca para pan es extraída únicamente del trigo, por ser este cereal el único conocido por el hombre que contiene una proporción de dos proteínas principales que al unirse en presencia del agua forman la estructura del pan (gluten) (Rodríguez, 2011).

Tipos de harinas:

- Harinas duras: alto contenido de proteínas.

- Harinas suaves: bajo contenido de proteínas.

Clases de harinas para pan:

- Harina integral: Es aquella que contiene todas las partes del trigo.
- Harina completa: solo se utiliza el endospermo.
- Harina patente: es la mejor harina que se obtiene hacia el centro del endospermo.
- Harina clara: es la harina que queda después de separar la patente.

b. El mejorador de masa

Los mejoradores son proteínas que actúan como catalizadores de las diferentes reacciones bioquímicas que constituyen el metabolismo de los seres vivos. Para que se produzca una determinada reacción, es necesaria la presencia de un determinado Mejorador, y la mayor o menor cantidad de este suele modificar la velocidad de la reacción controlada

c. Agua

El tipo de agua a utilizar debe ser alcalina, es aquella agua que usualmente utilizamos para beber. Cuando se amasa harina con la adecuada cantidad de agua, las proteínas gliadina y glutenina al mezclarse forman el gluten unidos por un enlace covalente que finalmente será responsable del volumen de la masa (Rodríguez, 2011).

Funciones del agua en panificación:

- Formación de la masa: el agua es el vehículo de transporte para que los ingredientes al mezclarse formen la masa. También hidrata el almidón que junto con el gluten dan por resultado la masa plástica, suave y elástica.

- Fermentación: para que las enzimas puedan actuar hace falta el agua para que puedan difundirse a través de la pared o la membrana que rodea la célula de levadura.

El agua es el que hace posible la propiedad de plasticidad de la masa, de modo que pueda crecer por la acción del gas producido en la fermentación.

Efecto en el sabor y la frescura: el agua hace posible la porosidad y el buen sabor del pan (Rodríguez, 2011)

d. Sal

Es un compuesto químico formado por Cl y Na. Características de sal a utilizar:

- Granulación fina poseer una cantidad moderada de yodo para evitar trastornos orgánicos, garantizar una pureza por encima del 95% y sea blanca (yodo 0,004%).

Funciones de sal en panificación:

- Mejorar el sabor, fortalece el gluten, puesto le permite a la masa retener el agua y el gas.
- La sal controla o reduce la actividad de la levadura, ejerce una acción bactericida no permite fermentación indeseables dentro de la masa.
- Las proporciones recomendadas de sal a utilizar son: desde 1,5 hasta 3,0% (Rodríguez, 2011)

e. Azúcar

Compuesto químico formado por C, H, O. En panificación se utiliza la sacarosa o azúcar de caña.

Funciones del azúcar en la panificación:

- Sirve de alimento para la levadura.
- Ayuda a una rápida formación de la corteza del pan debido a la caramelización del azúcar permitiendo que la temperatura del horno no ingrese directamente dentro del pan que pueda cocinarse y también para evitar la pérdida del agua.
- El azúcar es higroscópica, absorbe humedad y trata de guardarse con el agua. Le da suavidad al producto (Rodríguez, 2011).

f. Leche

Se utiliza la leche en polvo, debido a:

- Fácil almacenamiento, sin refrigeración.
- Fácil manejo para pesar y controlar.

Funciones de la leche:

- Da color a la corteza (lactosa se carameliza).
- La textura del pan con la leche es más suave.
- Mejora el sabor del pan.
- Eleva el valor nutritivo del pan.
- Aumenta la absorción del agua.
- Aumenta la conservabilidad ya que retiene la humedad.

g. Grasas

Según su origen las grasas se dividen en:

- Manteca o grasa de cerdo: brinda un buen sabor al pan.
- Mantequilla: es la grasa separada de la leche por medio del batido.
- Aceites vegetales: se obtienen sometiendo las semillas a un proceso de prensado (girasol, maní, ajonjolí, etc.).

Características de las grasas:

- Elasticidad.
- Punto de cremar, es la propiedad de incorporar aire en el proceso de batido fuerte, en unión con azúcar o harina.
- El punto de fusión, es la temperatura por la que es transformada al estado líquido.

Funciones de la grasa en panificación:

- Mejora la apariencia, produciendo un efecto lubricante.
- Aumenta el valor alimenticio, las grasas de panificación suministran 9.000 calorías por kilo.
- Mejora la conservación, la grasa disminuye la pérdida de humedad y ayuda mantener fresco el pan.

h. Levadura

Se utiliza en panificación *Saccharomyces cerevisiae*.

Requisitos de calidad de la levadura:

- Fuerza, es la capacidad de gasificación que permite una fermentación vigorosa.
- Uniformidad, la levadura debe producir los mismos resultados si se emplean las mismas cantidades.
- Pureza, evitar la ausencia de levaduras silvestres.
- Apariencia, debe ser firme al tacto y al partir no se desmorona mucho, debe de mostrar algo de humedad.

Funciones de la levadura en panificación:

- Hace posible la fermentación, la cual da alcohol y gas carbónico.

- Aumenta el valor nutritivo al suministrar el pan proteína suplementaria.
- Convierte a la harina cruda en un producto ligero.
- Da el sabor característico al pan.

Para actuar la levadura necesita:

- Azúcar, como fuente de alimento.
- Humedad, sin agua no puede asimilar ningún alimento.
- Minerales, la levadura necesita sales minerales para una actividad vigorosa.
- Temperatura adecuada, mantenerlo refrigerado hasta el momento de su uso (Rodríguez, 2011).

1.9. PROCESO TECNOLÓGICO DEL PAN DE MOLDE

1.9.1. Recepción de materia prima e insumos

La recepción debe realizarse en un ambiente independiente del área de panificación, porque es en esta zona donde al llegar la materia prima que puede estar contaminada y puede contaminar el ambiente de proceso. Es conveniente que en la etapa de recepción se tenga diferenciadas las fechas de entrada de los insumos, así mismo su fecha de elaboración y vencimiento. Esta área debe ser fresca y ventilada (Calaveras, 2013).

1.9.2. Formulación para el pan de molde

Se debe tener en cuenta el producto a fabricar y la calidad de las materias primas, determinara en qué proporción entraran los diferentes ingredientes. Si no se diseña una formula equilibrada, de nada valdrá realizar un trabajo correcto de amasado y los resultados serán funestos.

Muchas veces estas formulaciones se tienen en cuenta los datos obtenidos en la bibliografía, pero en principio se debe determinar el tipo de pan de molde (pan de molde blanco, pan de molde integral, por ejemplo).

1.9.3. Pesado de materia prima e insumos

Permite conocer con exactitud la materia prima e insumos que se va utilizar de acuerdo y en exactitud a la formulación realizada, pues una falla en esta etapa podría reflejarse en el producto final. Con esto se podrá determinar el rendimiento del producto final como evaluar los costos. Se efectúa con cualquier tipo de balanza de capacidad adecuada a las centenas y decenas de gramo. La forma de pesar puede ser en los mismos empaques en los que los insumos llegan a planta o pesándolo en los empaques adecuados en la fábrica que se puede manejar y luego ser mezclados para la masa.

1.9.4. El amasado y su importancia

El proceso de elaboración del pan tiene diversas fases en que la correcta realización de ella marcará la calidad y características finales del producto. Esta fase del amasado, aunque muchos panaderos ignoren es de vital importancia para la consecución de un buen producto.

El amasado es una operación mediante la cual los distintos componentes de la masa – harina, agua levadura, sal y aditivos se fusionan formando un solo cuerpo. Se busca la unión uniforme de todos los insumos de la masa, formar y desarrollar adecuadamente el gluten de

la masa. La preparación de la masa se debe seguir rigurosamente para obtener un buen resultado (Calaveras, 2013).

1.9.4.1. Fases del amasado

Fresado: Corresponde a la mezcla progresiva de los ingredientes y se realiza a velocidad lenta. Durante este periodo, se inicia la hidratación de las partículas de harina. Se mantiene la velocidad lenta hasta que la masa presente una cierta ligazón y no debiera prolongarse salvo ciertas excepciones (Calaveras, 2013).

Rotura y estirado: Cuando la masa está ligada los brazos amasadores estiran la masa, rompiéndola y los fragmentos son lanzados contra las paredes. Este trabajo va desarrollando progresivamente la malla de gluten, lo que se manifiesta en la masa para una mayor cohesión dejándose estirar mucho más antes de romper.

Soplado u oxigenado: Cuando la masa se deja estirar al máximo, atrapa aire con facilidad. El oxígeno queda disuelto en la masa, y se forman burbujas que son esenciales para el desarrollo de la estructura esponjosa de la masa fermentada finalizando el amasado, tendremos una masa con elasticidad y extensibilidad deseadas de aspecto fino y liso, y muy flexible (Calaveras, 2013).

1.9.4.2. Método de preparación de la masa

Existen básicamente tres: método esponja-masa, método directo y mixto. Dentro de ellos debemos considerar la incidencia del amasado, ya que para una misma amasadora, según la intensidad y duración de sus fases, obtendremos un producto de características diferentes:

- ✓ Para conseguir un pan voluminoso de corteza fina y miga blanca, el amasado será prolongado, intensivo incorporando la sal al final.
- ✓ Para obtener un pan de volumen medio, corteza gruesa y miga color crema, deberá acortarse el amasado, añadiendo la sal al principio y trabajando siempre a velocidad lenta.
- ✓ Para que el pan tenga miga alveolada irregularmente, de color crema, y corteza crujiente, amasaremos unos 5 minutos a primera velocidad (amasadora de brazos). Dejaremos reposar la masa de 10 a 15 minutos, terminando después el amasado con otros 15 minutos también en primera velocidad (Mesas y Alegre, 2002)

Método directo: Se mezclan directamente los ingredientes sin que se añadan otra masa elaborada previamente. La siembra de fermentos se realiza añadiendo levadura prensada. Seguido por el artesano en épocas de calor, se ha extendido con el procedimiento habitual en la mayor parte de las panificadoras industriales.

Método esponja-masa: La masa se prepara en 2 fases sucesivas. Primero se amasa una parte de la harina (25%) y los ingredientes proporcionalmente correspondientes su amasado se deja reposar durante 2 a 3 horas, en función de la cantidad de la levadura incorporada y de las condiciones ambientales de la sala de fermentación. Muy utilizado en la fabricación de pan de molde tipo inglés. Se obtiene masa de gran desarrollo y se ahorra levadura. No obstante se corre el riesgo de que las masas resulten demasiados tenaces.

Método mixto: En la preparación de la masa, además de la harina,

el agua, levadura, la sal y el aditivo, se añade una porción de una masa previamente fermentada o masa madre. La proporción de masa variará según la época del año, así como de la fuerza de la harina:

Verano: entre 5 y 15%

Invierno: del 20 al 30%

(Proporciones expresadas en relación la cantidad de harina empleada en la preparación de la masa final) (Mesas y Alegre, 2002).

1.9.5. División o corte y pesado

El objeto de esta operación es asegurar un tamaño uniforme y el mismo rendimiento de cada masa. Después de mezclada la masa, el primer paso en la elaboración es el corte, que se puede realizar con el uso de una divisora o en forma manual, dependiendo el tipo de pan que se elaborará.

En el caso del pan de molde, la división ideal es la manual o la hidráulica, para la cual luego del amasado se procede a cortar en piezas de un peso determinado, luego se procede al boleado (Mesas y Alegre, 2002).

1.9.6. Boleado y moldeado

El boleado tiene por objeto acondicionar la masa para el moldeado. Se realiza apretando suavemente cada pieza de masa con la palma de la mano y dando un ligero movimiento de rotación hacia adentro, sin hacer demasiada presión para evitar que se desgarre.

Las piezas se dejan en reposo durante 15 o 20 minutos. Durante esta etapa se desarrolla una película delgada en la superficie de la bola y aumenta un poco de tamaño y elasticidad.

Luego se procede a estirar ligeramente la masa y darle una forma más alargada, para que de esta manera ocupe un mayor espacio en moldes para pan y así darles la forma definitiva (Mesas y Alegre, 2002).

1.9.7. Fermentación

Esta operación tiene por objeto la producción de CO₂, alcohol y otros componentes aromáticos, permitiendo obtener un producto de buen volumen, olor y sabor.

Fermentación controlada: Se entiende como fermentación controlada a la acción de controlar a nuestra voluntad la fermentación de una masa destinada a la fabricación de pan mediante una combinación de temperaturas del frío al calor.

Algunas de las ventajas que aporta aplicar la fermentación controlada en una panadería son:

- ✓ Evitar trabajo nocturno. Se puede elaborar el pan de día y se hornea a la hora deseada.
- ✓ Posiblemente un ahorro de levadura al poder programar en la cámara el tiempo de fermentación deseado.
- ✓ Mejorar la conservación y sabor del producto final al poder disponer de un largo tiempo de fermentación.
- ✓ Posibilidad de disponer de pan caliente en el punto de venta durante un mayor margen de tiempo aplicando el sistema dormilón que

detiene parcialmente la fermentación de una masa una vez lista para su cocción (Mesas y Alegre, 2002).

Proceso: El proceso consiste en la transformación de algunos almidones rotos presentes en la harina en azúcares fermentables los cual producirán anhídrido carbónico y alcohol por la levadura. Este proceso es posible gracias a las enzimas que se encuentran tanto en la harina como en la levadura.

Temperatura de bloqueo: Es la temperatura que debe tener la cámara al introducir la masa debe ser -8°C para lograr un efecto de choque que no permita reaccionar a la levadura (la levadura en una masa de pan empieza a reaccionar a partir de los 4°C). La temperatura de bloqueo durará hasta que el interior de la masa alcance los 2°C . Si la cámara no permite alcanzar -8°C utilizaremos la mínima temperatura que nos permita el equipo de enfriado (Mesas y Alegre, 2002).

Temperatura de mantenimiento: Es la temperatura que deberá existir en el interior de la cámara desde que termina la temperatura de bloqueo hasta que empieza el ciclo de fermentación y será de entre 0°C y 2°C .

Temperatura de fermentación: Es la temperatura que deberá alcanzar la cámara al finalizar el mantenimiento y oscilara entre los 20°C y 28°C (ni aun trabajando sin fermentación controlada es recomendable fermentar a más de 30°C). El cambio de temperatura de mantenimiento a fermentación no debe ser brusco para así evitar que fermente solamente la parte exterior de la masa, si no que será paulatino para conseguir una fermentación por igual en toda la pieza. La humedad de la cámara en

esta etapa será entre 75 a 85%.

Efectos de la temperatura y la humedad: Durante la etapa de fermentación es preciso que la graduación de la temperatura no varíe mucho, ni por encima ni por debajo de la temperatura óptima de la masa que se sitúa en los 25°C (puede ser por debajo en los procesos de fermentación controlada).

Cuando la temperatura de fermentación supera los 31°C, se produce una desproporción en la fermentación de la masa, fermentando más en la parte externa que en la interna, lo que provocara que la corteza se cuartee y se desprenda gas. El aroma y sabor también se verán afectados por una temperatura superior a los 31°C ya que, a esta esta temperatura se desarrollan progresivamente las fermentaciones secundarias (ácida, láctica y butírica) que, si bien son positivas, cuando se producen en exceso provocan un sabor negativo.

Es recomendable antes de aumentar exageradamente la temperatura de fermentación añadir más cantidad de levadura. Por otro lado, cuando la temperatura de fermentación es inferior a 25°C, la masa además de fermentar más lentamente, va perdiendo fuerza y tenacidad. Por ello, hay que tener en cuenta que cuando utilizan las técnicas de la fermentación controlada o se somete a la masa al frío para ralentizar la fermentación, hay que dotar de fuerza a la masa para compensar el equilibrio y la pérdida de fuerza. La humedad relativa de la cámara o del lugar donde se desarrolle la fermentación ha de estar bien regulada, ya que, si el ambiente es muy seco, la masa se cortará y si es muy humedad la masa

se volverá pegajosa.

La humedad ideal será la resultante de la suma de la hidratación de la masa más la humedad de la harina (ejemplo: si a una masa se le ha añadido el 60% de agua y la harina contiene un 15% de agua, la humedad ideal será de 75%), de esta forma ni se cortará ni se volverá pegajosa (Mesas y Alegre, 2002).

1.9.8. Horneado

Cocinar es preparar los alimentos hasta lograr cambios en su sabor, suavidad, apariencia y composición química.

El proceso efectivo para hornear es en realidad el último y el más importante paso en la producción de los productos de panadería. Mediante la acción de calor, la masa de pan se transforma en un producto ligero, poroso, fácilmente digerible y muy apetitoso.

La tecnología de horneado forma los granos más bien insípidos, en productos atractivos para los cuales no hay contratitos en la naturaleza (Mesas y Alegre, 2002).

a) Principales cambios que ocurren durante el horneado:

- ✓ A medida que la masa entra en el horno caliente encuentra la atmósfera caliente de la cámara de horneado y se forma una película visible sobre la superficie de esta, a continuación se desarrolla la elasticidad en el horno durante la cual se produce la expansión del volumen de masa que llega a ser hasta un 30%.
- ✓ Esta elasticidad que se consigue en el horno es consecuencia de una serie de reacciones presentándose el efecto puramente físico del calor

sobre los gases.

- ✓ Otro efecto del calentamiento es reducir la solubilidad de los gases.
- ✓ El hinchado de almidón va acompañado de la absorción de agua y de los otros ingredientes de la masa.
- ✓ El sistema de enzimas se destruye.
- ✓ A medida que el horneado continúa, el incremento de la presión por expansión de gases en la masa cambia poco a poco, el sistema de almidón se estabiliza, las condiciones internas de tensión se relaja y ocurre una disminución de la presión (Calaveras, 2013).

La elasticidad que se produjo al principio del ciclo de horneado se estabiliza y la corteza muestra gradualmente un color café dorado que va acompañado por texturas y aromas agradables.

El proceso de cocción de las piezas de masa consiste en una serie de transformaciones de tipo físico, químico y bioquímico, que permite obtener al final del mismo un producto comestible y de excelentes características organolépticas y nutritivas. La temperatura del horno y la duración de la cocción varían según el tamaño y tipo de pan. La temperatura oscila entre 220 a 275°C, la duración:

- ❖ 45 - 50 min pan de 900 g.
- ❖ 30 - 40 min pan de 500 g.
- ❖ 20 - 30 min pan de 200 g.

Durante el desarrollo de la cocción existe una disminución de las moléculas de agua que alcanzan la superficie y se evaporan, y por ello existe un gradual aumento de la temperatura sobre la superficie externa

que provoca la formación de la corteza, tanto más gruesa cuanto más dure esta fase de la cocción.

Además, ocurre la volatilización de todas aquellas sustancias que tienen una temperatura de evaporación inferior a 100°C y en particular del alcohol etílico y de todas las sustancias aromáticas que se forman tanto en la fermentación, como en la cocción (aldehídos, éteres, ácidos, etc.). A causa de la dilatación del gas y del aumento de la tensión del vapor del agua, debido a la temperatura del horno, la masa sufre rápido aumento de volumen que alcanza el máximo desarrollo después de un tiempo (5 - 10 min.) variable con el peso, la forma y la calidad de la masa. El desarrollo de la masa está relacionado con tres factores, concentración del gas, elasticidad y resistencia de la masa, y su capacidad de retención del gas.

A temperatura inferior a 55°C, la levadura continua activa por lo que la fermentación prosigue; sólo alcanza los 65°C la actividad de la levadura seca y al mismo tiempo comienza la coagulación del gluten y la parcial dextrinización del almidón.

En la superficie del pan se produce un endurecimiento por desecación (corteza) y un pardeamiento no enzimático. Este pardeamiento va acompañado de la formación de compuestos odorantes. La cocción da lugar al aroma de la corteza. El aroma de la fermentación esta enmascarado por el aroma formado en las reacciones de Maillard y las de caramelización o formación de meloidinas. (Calaveras, 2013).

1.9.9. Enfriado

Tiene por objeto darle un enfriamiento adecuado al pan, para que no se produzca una deshidratación que provocaría en endurecimiento la miga y el ablandamiento de la corteza, su textura se vuelve correoso y viscoso con lo que se pierde la fragilidad característica.

El pan sale del horno con su miga a una temperatura ligeramente inferior a 100°C y con un 45% de humedad en su centro. La corteza está más caliente pero mucho más seca (1 – 2% de humedad). Si la desecación es muy intensa durante el enfriamiento se produce mucha pérdida de peso y de las características de la miga, por lo que la temperatura óptima de enfriamiento es no menor a 13°C.

1.9.10. Rebanado y embolsado

El rebanado se realiza cuando el pan está a una temperatura no menor a los 13°C, pero previamente debe ser rebanado utilizando la cortadora de pan. Algunas investigaciones, sugieren que alcanzada en el interior del pan la temperatura de 33°C, ya se puede empaquetar. Si la temperatura es superior a esta, se produce una condensación gradual sobre la superficie de la bolsa, que será posteriormente un caldo de cultivo apropiado para el desarrollo de los hongos.

En esta etapa del proceso se utilizan bolsas de polipropileno no orientado con una abertura en uno de los lados que permita llenar con facilidad las bolsas. Comparativamente con otros materiales, presenta alta resistencia mecánica al corte o perforación, elevada impermeabilidad al vapor de

agua, alta resistencia a la temperatura por su punto de fusión (170°C) lo cual permite autoclavado (Mesas y Alegre, 2002).

Las características ópticas de este material son óptimas por su brillantez y por su facilidad para la impresión, tiene alta resistencia a los ácidos y álcalis.

En el momento del envasado se deben verificar que las bolsas no estén rajadas, ni deformes, limpias y desinfectadas. El llenado se realiza en forma rápida, se coloca inmediatamente el cierre (cinta) y se procede a almacenar el pan (Calaveras, 2013).

1.9.11. Almacenamiento

El almacenamiento en esta etapa en la que se le debe brindar las condiciones necesarias para que el pan tenga un periodo de vida más prolongado. El producto debe ser almacenado en un lugar fresco, limpio y seco; con suficiente ventilación a fin de garantizar la conservación del producto hasta el momento de su comercialización. La temperatura ambiente también influye en el crecimiento superficial de hongos, siendo la temperatura óptima para su desarrollo la de 30°C. Conociendo este dato hay que mantener el pan, en la medida de lo posible, a temperatura en torno a 20°C.

Además las bolsas no se deben apilar una sobre otra, pues esto podría causar daños en la forma del pan (Mesas y Alegre, 2002).

1.10. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

La experimentación forma parte natural de la mayoría de las

investigaciones científicas e industriales, en muchas de las cuales los resultados del proceso de interés se ven afectados por la presencia de numerosas variables (Vilar, 2004).

La forma tradicional de experimentación llamada “uno a la vez” se basa en el estudio del problema a través de la modificación de las variables una a una, es decir, variándose los niveles de una variable (factor) mientras las demás permanecen fijas. Esta metodología presenta grandes inconvenientes puesto que requiere un gran esfuerzo experimental, además de no detectar la existencia de interacción o dependencia entre variables y de presentar un campo de validez restringido. Por otro lado, la metodología del diseño estadístico de experimentos permite investigar simultáneamente los efectos de todas las variables de interés a través de la realización de un número mínimo de experimentos, repercutiendo en una mayor eficacia y en el ahorro de tiempo y costes.

En el ámbito de la ingeniería, el diseño de experimentos es una herramienta de importancia fundamental, aplicándose al desarrollo de productos y procesos, resultando en mejoras en el rendimiento del proceso, variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados, reducción del tiempo de desarrollo de nuevos productos, reducción de costes globales, etc. (Pérez, 2001; Montgomery, 2002)

Las etapas a seguir en el estudio de un problema mediante la técnica del diseño estadístico de experimentos son las siguientes (Dean & Voss, 2009):

- a Definir claramente los objetivos del experimento;
- b Identificar todas las posibles fuentes de variación, es decir, las variables que afectan el sistema en análisis;
- c Elegir la estructura del diseño que determinará los experimentos a realizar;
- d Definir la variable respuesta, el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades;
- e Ejecutar un experimento piloto
- f Especificar el modelo matemático que será utilizado;
- g Esquematizar los pasos del análisis;
- h Determinar el tamaño muestra, o sea, el número de observaciones que se deben tomar para alcanzar los objetivos del experimento;
- i Revisar las decisiones anteriores y modificarlas si se considera necesario.

1.10.1. Diseños de Mezclas

Los diseños de mezclas (DM) están indicados en aquellas experiencias en las que la respuesta analizada no depende de la cantidad total de los ingredientes en una formulación, sino de las proporciones relativas de los mismos (Gabrielsson *et al.*, 2002).

En un diseño de mezclas con K componentes, es necesario que las proporciones entre las variables estudiadas (X_i) obedezcan a las siguientes restricciones:

K

$$0 \leq X_i \leq 1 \text{ para cada componente "i" y } \sum_{i=1}^K X_i = 1 \quad \text{Ec. 01}$$

En otras palabras, la característica fundamental de los DM es que la suma de todos los componentes es del 100% y que las variables (denominadas factores de formulación o de mezcla) no pueden ser tratadas de forma independiente.

Los problemas con mezclas denominados "sin restricciones" son aquellos en los que las proporciones de los componentes de la mezcla varían entre 0 y 1. En estos casos, el diseño recibe el nombre de simplex (Lunstedt *et al.*, 1998)

Sin embargo, en situaciones reales existen casos en los que la proporción de los elementos debe mantenerse dentro de un rango de control, o aún pueden existir expresiones que relacionan una variable de formulación con otra. Para todos estos problemas, el análisis se desarrolla mediante la utilización de los diseños denominados "con restricciones". La forma general de estos problemas es la siguiente:

$$X_1 + X_2 + \dots + X_k = 1 \quad \text{Ec. 02}$$

$$L_j \leq X_j \leq L_S, \text{ para } L_j \geq 0 \text{ y } L_S \geq 0 \quad \text{Ec. 03}$$

Siendo: L_j el valor atribuido al límite inferior y L_S el valor atribuido al límite superior.

Para una región con geometría regular con X_i variando entre 0 y 1, el dominio experimental de un DM tendrá $(K-1)$ dimensiones. Así, para dos factores, el dominio experimental corresponde a la línea $X_1 = 1 - X_2$, para tres componentes un triángulo, para cuatro componentes un tetraedro, etc. (Figura 5).

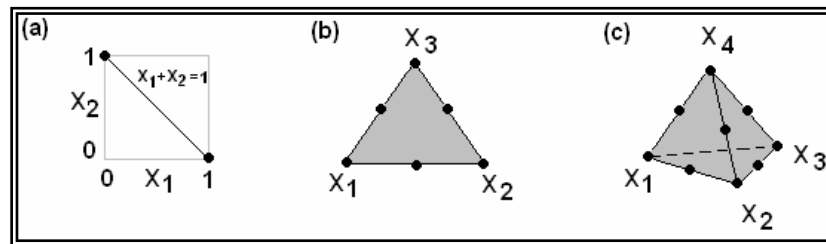


Figura 5: Ilustraciones gráficas del dominio experimental de diseños de mezclas regulares para dos (a), tres (b) y cuatro factores (c).

La presencia del punto central en el DM simplex es opcional. La utilización de réplicas del punto central es conveniente siempre que se desee estimar el error experimental y probar la bondad del ajuste del modelo. Dicha prueba se lleva a cabo comparando la variación entre el valor observado y el estimado por el modelo con respecto a la variación entre las repeticiones del punto central (test del fallo de ajuste).

Cuando los componentes de la mezcla están acotados inferiormente o superiormente, la región factible del diseño sigue siendo un diseño simplex (simplex menor dentro del simplex original). Los casos (a) y (b) de la Figura 6 son ejemplos de DM con “con restricciones” de este tipo.

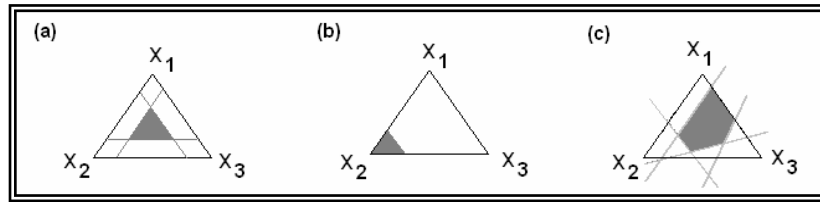


Figura 6: Ejemplos de regiones experimentales para diseños “con restricciones”.

Para facilitar la elaboración y el ajuste del modelo se define un nuevo conjunto de componentes, denominados pseudocomponentes, que varían entre 0 y 1. La conversión de los componentes en pseudocomponentes (X^*) se efectúa con base a la siguiente ecuación:

$$X_i^* = \frac{X_i - L_i}{1 - \sum_{i=1}^k L_i} \quad \text{Ec. 04}$$

En la tabla 16 se presenta un ejemplo de matriz de experiencias para un DM con tres componentes ($x_1 \geq 0.3$, $x_2 \geq 0.4$ y $x_3 \geq 0.1$) y su posterior conversión a pseudocomponentes.

Tabla 16: Transformación de la matriz de experiencias de un diseño de mezclas restringidas a pseudocomponentes.

Componentes originales			Pseudocomponentes		
X_1	X_2	X_3	X_1^*	X_2^*	X_3^*
0.50	0.40	0.10	1.00	0.00	0.00
0.30	0.60	0.10	0.00	1.00	0.00
0.30	0.40	0.30	0.00	0.00	1.00
0.40	0.50	0.10	0.50	0.50	0.00
0.40	0.40	0.20	0.50	0.00	0.50
0.30	0.50	0.20	0.00	0.50	0.50
0.37	0.47	0.16	0.33	0.33	0.34

Fuente: NIST/SEMATECH (2004). "Handbook of Statistical Methods"

Según NIST (2004), el ajuste del modelo de mezclas se realiza en términos de pseudocomponentes. Una vez que esté determinado el modelo, este se expresa a través de los componentes originales substituyéndose la relación existente entre X_i y X_i^* .

Puesto que los factores de formulación en un DM están correlacionados entre sí, los modelos clásicos de regresión múltiple necesitan ser expresados de una forma especial para ser empleados. Una de las formas utilizadas para modelar los problemas de mezclas es a través del "modelo de variable de holgura" (Eriksson *et al.* 2001).

Este modelo se elabora con base a la restricción $\sum X_k = 1$, ya que al deducir el valor de los K factores de la mezcla, uno de ellos se encuentra

automáticamente determinado. La forma general de expresar un modelo de holgura cuadrático es:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{k-1} b_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j=1}^{k-1} b_{ij} X_i X_j \quad \text{Ec. 05}$$

Otra forma de modelar los datos de mezclas es a través del modelo de Scheffé (1958), que no tiene en cuenta el término constante (β_0), ni los términos cuadráticos ($\sum \beta_{ii} X_i^2$) y cúbicos ($\sum \beta_{iii} X_i^3$) de los modelos polinómicos habituales. La expresión general del modelo cuadrático de Scheffé es la siguiente:

$$Y = \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i X_i + \sum_{i < j=1}^{k-1} \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{Ec. 06}$$

Los modelos de Scheffé se han hecho bastante populares para problemas de mezclas de 2 a 4 componentes, puesto que son fáciles de ajustar y de interpretar. Los coeficientes β_i representan el valor de la respuesta para el componente puro i , y la interacción β_{ij} refleja los efectos de la mezcla no lineal (sinergismo o antagonismo). Sin embargo, en la gran mayoría de las aplicaciones prácticas, no se permite que los componentes varíen en todo el rango 0 – 1, y consecuentemente el modelo de Scheffé presenta dificultades en la estimación e interpretación de los coeficientes (Eriksson *et al.*, 1998). Una solución para estos problemas es la utilización de los modelos de Cox (Tabla 17).

Tabla 17: Modelos de Cox para diseños de mezclas

Modelo de Cox	Función
Lineal	$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \epsilon$
Cuadrático	$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$
Cúbico especial	$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \epsilon$

Fuente: Eriksson et al., (2001)

Según Eriksson *et al.* (2001), el modelo de Cox incluye todos los términos referentes a los componentes de la mezcla, pero introduce restricciones sobre los coeficientes del modelo con respecto a una mezcla de referencia, lo que posibilita sus estimaciones.

Existe una diferencia importante en la interpretación de los coeficientes del modelo de Cox con respecto a los modelos polinómicos tradicionales. Por lo general, los coeficientes β_i de los modelos de diseños de proceso miden el efecto o cambio en la respuesta, al modificar una unidad X_i manteniendo constantes las otras variables independientes.

Sin embargo, Lawson *et al.* (1992) comenta que cuando se trabaja con mezclas, no es posible proceder de la misma manera, ya que la suma de las proporciones debe ser igual al 100 por ciento.

En este sentido, la introducción de una mezcla de referencia facilita enormemente la interpretación de los coeficientes de Cox. Dicha mezcla de referencia presenta la misma función del punto central en un diseño de variables de proceso, coincidiendo normalmente con el centro del dominio experimental. Así, para el modelo lineal de Cox, los coeficientes representan

un cambio en la respuesta cuando se aumenta el valor de un factor en particular, al mismo tiempo que se disminuyen los valores de los demás factores en la misma proporción.

Para el ajuste de los modelos de mezclas, se puede utilizar tanto la técnica de regresión lineal múltiple (MLR) como el método de los mínimos cuadrados parciales (PLS). La técnica de regresión de mínimos cuadrados parciales se suele utilizar cuando los factores están correlacionados entre sí pudiendo conducir a problemas de multicolinealidad en los que es muy difícil medir la contribución individual de cada variable a la respuesta (Peña, 2002).

1.10.2 Optimización

La optimización de un proceso por medio de diseños experimentales requiere del uso de una metodología o estrategia adecuada que nos lleve por el camino seguro y rápido para encontrar los valores óptimos de un proceso bajo estudio; encontrando así una combinación de factores que maximice o minimice una función objetivo. (Núñez, 2000)

Cuando la respuesta de un sistema analítico depende de dos factores que son variables continuas, la relación entre la respuesta y los niveles de los dos factores se puede representar por una superficie tridimensional llamada *superficie de respuesta*. Una representación más conveniente es el *diagrama de curvas de nivel*, muy parecido a los mapas topográficos, siendo su forma desconocida para el investigador. Para describir la relación cuantitativa existente entre las respuestas y los factores se utilizan modelos

matemáticos que deben ser capaces de describir tanto superficies de respuesta lineales como no lineales. (Cornell ,1990)

Los diseños de mezcla se utilizan en la investigación de alimentos. (Hare, 1974). En los experimentos de mezclas, la suma de las proporciones de todos los componentes debe ser igual a un valor constante, y la proporción de cada componente en la misma debe estar entre un valor mínimo (0) y un valor máximo (el total). (Núñez ,2000)

1.10.3 Metodología del D-Óptimo

El diseño D-optimó proporciona exactitud máxima en estimar los coeficientes de una regresión. El precio para una exactitud más alta es proporcionado por un número creciente de los puntos del diseño, que explica por qué tales diseños se utilizan con menor frecuencia en la práctica. El diseño continuo D-optimó, es construido en un cubo de k-dimensiones, para determinar el número de puntos del diseño se aplica la siguiente fórmula:

$$N = 2^k + k \times 2^{k-1} + \frac{k(k-1)}{2} \times 2^{k-2} \quad \text{Ec. 08}$$

Donde k: es el número de factores.

Los resultados se ajustaron a una ecuación cuadrática, los cuales fueron desarrollados específicamente para manejar los diseños de la mezcla. Estos polinomios se pueden reconocer por su carencia de un término de la intercepción.

$$Y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i < j} \sum_{i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{Ec. 09}$$

Cuando se está desarrollando un producto cuyas características se conoce que dependen de los componentes de los cuales está constituido, obtener el mejor resultado posible requiere determinar los efectos de estos sobre cada característica del producto, y luego encontrar el balance de los ingredientes que permitan obtener la mayor calidad global.

El Diseño D-óptimo selecciona, aquellos puntos que extraerán el máximo de información de la región experimental teniendo en cuenta el modelo que se espera ajustar, minimiza el error de predicción esperado para la variable dependiente, es decir, maximiza la precisión de predicción. (Cornell ,1990)

El propósito es obtener un aproximado óptimo, diseñado por estimación de parámetros en situaciones donde hay una regresión cúbica pero los coeficientes son elegidos aleatoriamente, la naturaleza del diseño óptimo sobre el dominio experimental simétrico es (-1 , 1) sobre coeficientes fijos en un modelo de regresión polinomial. (Luoma et al., 2007)

Consideramos un modelo para la respuesta de la variable Y como:

$$Y_x = (\beta_0 + b_0) + (\beta_1 + b_1)x + (\beta_2 + b_2)x^2 + (\beta_3 + b_3)x^3 + e_x, \quad \text{Ec. 10}$$

donde los parámetros fijados son denotados por los β 's y los coeficientes aleatorios adheridos a ellos son denotados por b_1 's donde son asumidos por ser incorrelativos con cada uno como también con los errores e 's. Además, todos tiene significado 0's y

$$\text{Var}(b_i) = \delta_i \sigma^2, \text{Var}(e) = \sigma^2, i = 0, 1, 2, 3. \quad \text{Ec. 11}$$

El significado y la matriz de dispersión de variables de respuesta son:

$$E(Y) = X\beta \quad \text{Ec. 12}$$

$$y \quad V(Y) = XDX' + \sigma^2 I, \quad \text{Ec. 13}$$

donde los elementos de la matriz diagonal D son $(\delta_i \sigma^2), i = 0, 1, 2, 3$.

El modelo puede ser visto como un caso especial del modelo de la curva de crecimiento, donde el significado $E(y)$ puede ser influenciado para un diseño individual cruzado y la dispersión $V(y)$ no posee una estructura especial.

Es bien conocido que todos los diseños admisibles están basados en 4 puntos, incluyendo los valores extremos 0 y 1. De este modo adoptamos el diseño continuo sujeto para

$$d_4 = [0, \lambda_1, \lambda_2, 1; p_0, p_1, p_2, p_3] \quad [0 < \lambda_1 < \lambda_2 < 1; p_i > 0, 0 \leq i \leq 3; \sum p_i = 1].$$

Inmediatamente mostramos la forma de la matriz de dispersión de los estimadores generalizados de los menores cuadrados del coeficiente β basado sobre d_4 .

En la secuencia, nosotros tomamos $\sigma^2 = 1$

$$V_R(\hat{\beta}) = D + (X'D_p X)^{-1}, \quad \text{Ec. 14}$$

Donde $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3)'$, $D_p = \text{Diag.}(p_0, p_1, p_2, p_3)$, $D = \text{Diag.}(\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3)$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \lambda_1 & \lambda_1^2 & \lambda_1^3 \\ 1 & \lambda_2 & \lambda_2^2 & \lambda_2^3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad \text{Ec. 15}$$

1.10.4 Experimentos de mezcla D-Optimal

La metodología de superficie de respuesta tiene como función explorar la combinación de niveles de los factores que proporcionan una condición operativa óptima de proceso o producto.

Sin embargo cuando en el experimento de mezcla la respuesta depende del uso restringido de las proporciones de los ingredientes de la formula, los diseños factoriales y la metodología de superficie de respuesta no pueden adaptarse al problema. La solución se logra mediante una variante de los métodos de superficie de respuesta llamada teoría del diseño óptimo (D-optimal), en la cual los criterios de optimalidad son identificados con letras del alfabeto. Particularmente el criterio D-optimal propone, que el diseño debe conservar las propiedades de la matriz de momentos no solo por la rotabilidad sino por el control de las varianzas y covarianzas.

El diseño D-optimal, es un algoritmo de computación que utiliza como criterio para la selección de los puntos de diseño la minimización del determinante de la inversa de la matriz de información $[(X'X)^{-1}]$ y al hacer esto, también minimiza la varianza de los coeficientes de regresión estimados para el modelo seleccionado (Lawson et al, 1992).

En los experimentos de mezcla la respuesta que se obtiene es una propiedad de la mezcla resultante y deben ser satisfechas las siguientes restricciones:

Si x_1, x_2, \dots, x_p son las variables que representan las proporciones de los p componentes de la mezcla, los valores de las x_i están restringidas de forma tal que se cumple:

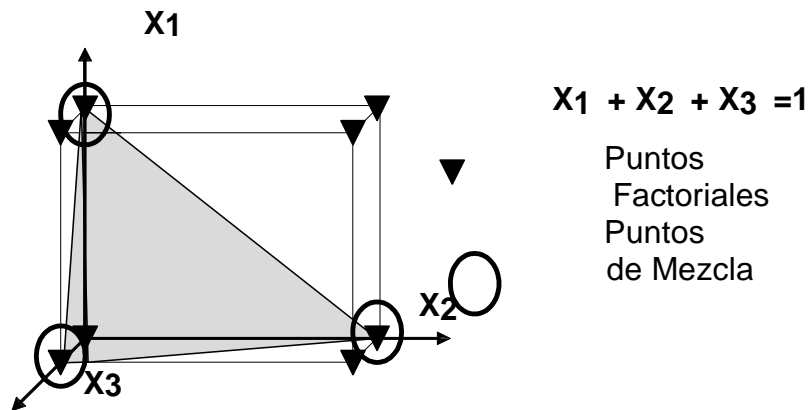


Figura 7: Espacio factorial restringido para mezclas de tres componentes

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i=1, 2, \dots, p$$

$$\sum_{i=1}^p x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1$$

Ec. 07

La geometría de la región experimental queda definida por las restricciones. En la Figura 07, puede observarse como los 8 puntos de un factorial se reducen a 3 cuando se aplica la restricción para una mezcla. La región experimental que originalmente es un cubo, se convierte en la superficie bidimensional de un plano triangular (Lawson et al, 1992). Los modelos polinomiales fueron adaptados por Scheffé a la restricción (2) transformándola de acuerdo con cada modelo en: lineal, cuadrático, cúbico especial o cúbico (Scheffé, 1998)

Dentro de este contexto, la estimación de los parámetros del polinomio del modelo de mezcla tanto para los componentes puros (β_i) como los del efecto de interacción (β_{ij} , β_{ijk}), se realiza mediante el análisis de regresión

múltiple, aplicando el método de los Mínimos Cuadrados (Lopez *et al.*, 2002).

Sin embargo, existen riesgos de mala estimación en la regresión si no se verifica la homogeneidad de la varianza del error experimental (Khuri, 2006)

Cuando se trabaja con múltiples variables respuesta independiente, la obtención del óptimo queda sujeta al espacio común de soluciones. Si se construye una función de deseabilidad para cada variable respuesta y luego se calcula la media geométrica de los valores de las funciones para cada una de las condiciones en el diseño, entonces, aquellos valores de deseabilidad próximos al uno corresponderán a las mejores soluciones factibles

1.10.5 Evaluación estadística

Para la optimización se aplican técnicas de diseño de experimentos a fin de determinar la combinación óptima y conjunta de los parámetros críticos del proceso de elaboración que dan un valor de respuesta óptima. El diseño de experimentos es una de las técnicas más utilizadas en ingeniería para actividades de diseño o desarrollo de nuevos productos o de mejora de procesos de producción. Respecto a la mejora de los productos son objetivos habituales optimizarlos en base a la mejora de la propia configuración del diseño, la evaluación de materiales alternativos, selección de parámetros de diseño con los cuales un producto funcione bajo una amplia variedad de condiciones de campo y determinar los parámetros de

diseño claves del producto que afectan al cumplimiento de las especificaciones del producto. En cuanto a los procesos también se aplica al ajuste, desarrollo y mejora u optimización de procesos industriales.

El diseño de experimentos puede llegar a ser una técnica muy útil de validación ya que proporciona suficiente información como para determinar qué factores son significativos o críticos para el proceso.

Si estos factores son claramente identificados el esfuerzo de validación pendiente se debe dirigir a demostrar que durante el proceso el parámetro permanece bajo control. Por supuesto, al final también se habrá llegado a una mejor comprensión del proceso confirmada por resultados cuantificables.

Los diseños de experimentos permiten al investigador considerar previamente los efectos de variabilidad indeseada y mediante este control obtener respuestas estadísticamente significativas. En algunos diseños de tratamientos los factores son ingredientes de una mezcla en la que los porcentajes de cada uno deben sumar el 100%. Por lo tanto, los niveles de un factor no son independientes de los niveles de otros factores. Cuando la respuesta depende de las proporciones de los ingredientes, los diseños factoriales no tienen la misma sensibilidad, ya que no controlan la cantidad total sobre la fórmula. Al presentarse las condiciones antes señaladas, los experimentos de mezcla son la única opción estadísticamente válida para encontrar la respuesta óptima y su región de confianza, porque la variable respuesta depende tanto de las proporciones de los ingredientes como de la cantidad total (Anderson *et al.*, 2002).

Se seleccionó el diseño D-optimal para el experimento de mezcla, debido a que se puede aplicar a regiones experimentales irregulares, ocasionadas por las restricciones en los niveles superior e inferior de las composiciones, además, es una alternativa económica frente a los diseños tradicionales, porque el número de ensayos requeridos es sustancialmente menor y los resultados obtenidos frecuentemente son buenas aproximaciones al óptimo (Montgomery, 1995). Se escogió el modelo polinomial Scheffé cuadrático en el diseño D-optimal con la finalidad de optimizar, es decir, determinar la existencia o no de curvatura (cambios de pendiente) en la superficie de respuesta (Anderson et al., 2002).

1.10.6 Programa para el diseño estadístico de experimentos

Existen diversos paquetes interactivos de software elaborados para la elección y el análisis de diseños experimentales: Design Expert[®], Statgraphics[®], Modde[®], SPSS[®], Statistica[®], SAS[®], Nemrod-W[®], etc.

La utilización de estos paquetes implica el seguimiento de determinados pasos comunes a todos ellos, que a su vez consisten en la introducción de las informaciones referentes a los factores y respuesta(s) bajo estudio, así como el tipo de diseño (modelo, objetivo y estructura) a aplicar. Con base a estos datos, el programa genera una hoja de trabajo en la cual se presenta la matriz de experiencias con un orden de aleatoriedad asignado. Una vez que el investigador dispone de los valores de la variable respuesta para cada ensayo, los paquetes estadísticos de diseño de experimentos permiten realizar diferentes análisis con los resultados obtenidos (Karmoun *et al.*, 2002):

- ✓ Ajustar el modelo matemático elegido;
- ✓ Estudiar la bondad del ajuste del modelo;
- ✓ Identificar los factores e interacciones que ejercen un efecto significativo sobre la variable respuesta;
- ✓ Visualizar la superficie de respuesta en un plano tridimensional;
- ✓ Evaluar las líneas de contorno de la superficie predicha;
- ✓ Determinar los valores óptimos de las proporciones de componentes, etc.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Biotecnología Agroindustrial y Centro Experimental de Panificación de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Ayacucho.

El trabajo se realizó de febrero a abril del 2016.

2.1. MATERIALES

2.1.1. Materia prima

Para la producción de pan de molde se utilizó como materias primas:

- Harina de trigo para panificación, adquirido en Comercial de insumos CINSA E.I.R.L. - Ayacucho.
- Camote, variedad amarillo, adquiridas en el “Mercado Nery García Zárate”- Ayacucho.
- Quinoa, adquiridas en el “Mercado Nery García Zárate”- Ayacucho.
- Coca, adquiridas en el “Mercado Nery García Zárate”- Ayacucho.



Figura 8: Harina de trigo

Fuente: Elaboración propia



Figura 9: Hojas y harina de coca

Fuente: Elaboración propia



Figura 10: Granos y harina de quinua

Fuente: Elaboración propia



Figura 11: Camote y pulpa de camote

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Insumos

Para la producción de pan de molde se utilizó los siguientes insumos:

- ✓ Azúcar refinada, adquirida en CINSA E.I.R.L – Ayacucho.
- ✓ Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) fresca, Fleishman, adquirida en CINSA E.I.R.L. - Ayacucho.
- ✓ Manteca vegetal “Gordito”, adquirida en CINSA E.I.R.L – Ayacucho.
- ✓ Sal de cocina-yodada, adquirida en CINSA E.I.R.L – Ayacucho.
- ✓ Lecitina de soya, marca Puratos.
- ✓ Leche en polvo, marca Anchor.

2.1.3. Reactivos

- ✓ Hidróxido de sodio q.p.
- ✓ Indicador fenolftaleína.
- ✓ Ácido sulfúrico (96%)
- ✓ Ácido clorhídrico 37% (v/v)
- ✓ Ácido bórico

- ✓ Ácido sulfúrico 96% qp
- ✓ Indicador mixto
- ✓ N-hexano
- ✓ Sulfato cúprico
- ✓ Sulfato de potasio

2.1.4. Materiales de laboratorio y otros

- ✓ Vasos de precipitado de 100, 250 y 500 mL.
- ✓ Pipetas de 1, 5 y 10 mL
- ✓ Fiolas de 250, 100, 500 mL
- ✓ Matraz de 250 mL.
- ✓ Bureta de 50 mL
- ✓ Probeta graduada de 100 mL
- ✓ Tubos de ensayo con gradilla
- ✓ Mortero y pilón
- ✓ Termómetro.
- ✓ Papel filtro.

2.1.5. Equipos e instrumentos

- ✓ Amasadora – sobadora marca Nacional, modelo k25, capacidad 40 kg.
- ✓ Balanza analítica marca AND, HR 200, precisión ± 10 mg
- ✓ Sistema analizador de proteínas, marca VELP SCIENTIFIC.
- ✓ Equipo SOXHLET, marca Pyrex
- ✓ Colorímetro, marca SPECTROSCAN
- ✓ Estufa marca RELES.

- ✓ Amasadora, marca Nacional.
- ✓ Horno rotatorio por convección marca ANLIN.
- ✓ Mufla marca RELES.
- ✓ Rebanadora de pan marca Nacional, modelo ESTANDAR.
- ✓ Balanza digital, marca OHAUS, modelo TAJ602

2.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.2.1. Análisis fisicoquímico y sensorial

Las harinas empleadas en la investigación se analizaron como sigue:

- Las determinaciones de la humedad, proteína y cenizas de la harina fueron realizadas por los métodos de la AOAC (1997).
- El contenido de grasa fue determinado según el método 920.39C de la AOAC (1997).
- Los carbohidratos totales se determinaron por diferencia (100% - de los otros componentes.) Las pruebas fueron realizadas por triplicado.
- En la determinación de fibra cruda, se digestaron las sustancias no fibrosas, AOAC (1997). La metodología se presenta en el anexo 2.
- Para la determinación del color de las harinas se utilizó el colorímetro (Marca SPECTROSCAN) siguiendo el sistema CIE – LAB, determinándose los valores de L* luminosidad (Negro 0/ Blanco 100), a* (verde- / rojo+) y b* (azul- / amarillo+). La cromaticidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h*), fue calculado según Minolta (1993).
- Se determinó la mejor formulación con un panel sensorial que se aplicó a los degustadores, esta evaluación se realizó mediante las pruebas de medición del grado de satisfacción, para obtener una mayor información

acerca del producto, para manejar más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuánto les gusta o les desagrada un producto nuevo. Para llevar a cabo estas pruebas se utilizó la escala hedónica de 7 puntos, desde muy desagradable (disgusta muchísimo) a similar al producto testigo (gusta muchísimo), empleándose, para ello 20 panelistas no entrenados.

- Los atributos a analizar fueron: color y sabor
- La cartilla de evaluación sensorial se muestra en el anexo 2.

2.2.2. Análisis microbiológico

- ✓ Recuento total de bacterias aerobias mesófilas viables (RTBAMV): Realizado en el laboratorio de microbiología de la facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH.
- ✓ Determinación de mohos y levaduras: Realizado en el laboratorio de microbiología de la facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH.
- ✓ Determinación de coliformes totales (NMP/ml): Realizado en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNSCH.

La metodología recomendada para determinar bacterias, hongos y levaduras se siguió de acuerdo a la ICMSF (2009).

2.2.3. Procedimiento para la elaboración del pan de molde.

2.2.3.1. Proceso de elaboración de pan de molde estándar

Se incorpora todos los componentes necesarios en la amasadora para el procesamiento del pan de molde. El tiempo de amasado depende de

cuando la masa toma el punto “liga o gluten”, el que nos indica cuando la masa está lista y posteriormente se detiene el amasado. Luego se procede a la división en masas cuya finalidad es obtener una mayor superficie de contacto con la temperatura del ambiente, que facilite el enfriamiento de la masa.

El boleado se realiza de forma manual, apretando suavemente la porción de masa y dando un ligero movimiento de rotación hacia dentro, hasta que se obtenga una forma esférica y una superficie lisa. Se deja reposar, luego se corta le da forma elíptica a cada uno. Finalmente se les coloca en sus respectivos moldes. Éstos se colocan en un coche o carrito panadero, luego ingresan a la cámara de fermentación a una humedad relativa de 69% a 28 °C por 1 hora y 40 minutos aproximadamente, este tiempo depende del comportamiento y desarrollo de la masa con respecto al molde. La altura que se recomienda es los $\frac{3}{4}$ del molde, pues en el horneado termina por crecer aún más. El objetivo de esta etapa del proceso, es obtener un volumen adecuado de la pieza.

Luego se colocan los moldes en el horno rotatorio a 140 °C por 45 minutos. Luego los panes son retirados de sus moldes y colocados en fuentes secas y frías, y llevadas a una zona fresca, seca y libre de contaminación. Los panes se rebanaron y luego envasados en bolsas polipropileno litografiadas selladas con un amarre. Finalmente se procede a almacenar a temperatura ambiente.

Tabla 18: Fórmula para un pan de molde estándar

INSUMOS	%	g
Harina especial	100	1,000
Mejorador Enzimático	1	0,010
Antimoho	0,3	0,003
Sal	2	0,020
Azúcar	8	0,080
Agua	50	0,500
Levadura seca	2	0,020
Manteca	10	0,100
Emulsionante	1	0,010

Fuente: Calaveras (2013)

2.2.3.2. Proceso de elaboración de pan de molde en el estudio

En la figura 12 se presenta el diagrama tentativo para la elaboración del pan de molde enriquecido con harina de coca, pulpa de camote y harina de quinua.



Figura 12: Diagrama de bloques para elaborar pan de molde en la investigación

A continuación, se describe las operaciones que se realizaron para obtener el pan de molde enriquecido con harina de coca, pulpa de camote y harina de quinua según la formulación planteada en el trabajo de investigación.

a) Recepción

Se recibieron las materias primas e insumos teniendo el cuidado de no contaminarse.

b) Pesado y formulación

En esta etapa se pesaron las materias primas e insumos y se formuló según el diseño experimental planteado. Esta operación se realizó en una balanza digital, y permitió determinar la cantidad de materia prima que ingresa, además se determinó el rendimiento final y cuanto se va perdiendo en cada etapa del proceso.



Figura 13: Pesado de las materias primas para el pan de molde

Fuente: Elaboración propia

c) Amasado y sobado

Para cada formulación los ingredientes fueron mezclados en una amasadora-sobadora mecánica marca NACIONAL, modelo T25, capacidad de 25 kg, el tiempo de mezcla en velocidad lenta fue de 5 min y luego se

procedió a monitorear el tiempo hasta que se produjo el desenvolvimiento del gluten (formación del punto liga o gluten) el cual indica que la masa esta lista.



Figura 14: Amasado y sobado de la masa para el pan de molde

Fuente: Elaboración propia

d) Boleado y moldeado

Previo al boleado la masa fue dividida en porciones de 650 gramos para tener mayor superficie de contacto con la temperatura ambiente, luego se realizó el boleado de forma manual, apretando suavemente la porción de masa dando un ligero movimiento de rotación hacia adentro, hasta que se obtuvo una forma esférica y una superficie lisa, después se dejó la masa reposando por un periodo de 15 min, se le dio forma elíptica y las porciones fueron puestas en el molde previamente untados de manteca.



Figura 15: Boleado y moldeado

Fuente: Elaboración propia

e) Fermentación

Luego la masa de los moldes se dejó fermentar en condiciones aproximadas de 28 °C y 69% HR; el tiempo en cada ensayo dependió del comportamiento y desarrollo de la masa con respecto al molde para lo cual hubo monitoreo continuo.



Figura 16: Fermentado

Fuente: Elaboración propia

f) Horneado

Las masas fueron colocadas en el horno (marca ANLIN, modelo MAX1000) a 140 °C por 45min.



Figura 17: Horneado

Fuente: Elaboración propia

g) Enfriamiento

Los panes fueron sacados de sus moldes y colocados en fuentes secas y frías en una zona fresca, libre de contaminación.



Figura 18: Enfriado de los panes de molde

Fuente: Elaboración propia

h) Rebanado y embolsado

Los panes de molde fueron rebanados en la cortadora o rebanadora (marca NACIONAL, modelo ESTANDAR) y luego embolsado en bolsas de polipropileno



Figura 19: Rebanado y embolsado del pan de molde

Fuente: Elaboración propia

i) Almacenamiento

Los panes de molde se almacenaron en un ambiente limpio y fresco, a temperatura ambiente.

2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

La evaluación del experimento consistió en desarrollar la formulación de un pan de molde enriquecido a base de harina de coca, pulpa de camote y harina de quinua, utilizando el Diseño de Mezcla D-Optimo en el desarrollo del experimento. Teniendo como variables independientes para cada una de las formulaciones las siguientes consideraciones:

Pan de molde enriquecido:

Harina de Trigo (%): 70 – 80, Harina de coca (%): 1 – 3; Harina de quinua (%): 5 – 10 y pulpa de camote: 10 - 20

Los porcentajes de sustitución parcial de harina de trigo por harinas de coca, quinua y pulpa de camote no deben exceder el 20% (Calaveras, 2013).

Las variables dependientes o variables respuesta de las formulaciones a estudiar fueron: Nivel proteico, color y sabor.

Tabla 19: Variables dependientes del trabajo de investigación

VARIABLE	NOMBRE
Y ₁	Nivel de proteína
Y ₂	Color
Y ₃	Sabor

2.3.1 Consideraciones al diseño

Existen otros factores no reseñados en el estudio que podrían influir y podrían ser objeto de investigación, son los llamados factores ambientales: Temperatura ambiental, humedad, técnicas operativas del personal, etc. Para su control se intenta que sean constantes o como mínimo se verifican antes de empezar el ensayo, para comprobar que no están en los extremos críticos. La variabilidad debida a materias primas, queda eliminada ya que son utilizadas las mismas materias primas (mismo número de lote) en todos los experimentos. El orden de realización de los experimentos fue aleatorio (es decir no se repitieron los ensayos consecutivamente) a fin de minimizar el sesgo en los resultados y proporcionar seguridad contra los efectos de las variables ocultas.

Resumen del Diseño Experimental

Nombre de Diseño: Mixture Design

Características de Diseño: D-Optimal Design

Base de Diseño

Modelo: cuadrático polinomial Scheffé

Número de factores experimentales: 4

Número de residuos: 3

Número de ejecuciones: 16

Aleatorizado: Si

Tabla 20: Condiciones de los factores de estudio

COMPONENTE	FACTORES	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADES	CONTINUO
A	Coca	1	3	%	Si
B	Camote	10	20	%	Si
C	Quinoa	5	10	%	Si
D	Trigo	70	80	%	Si

Con estas condiciones de factores de estudio ingresado en la base de datos del programa Design Expert nos da la matriz de experiencias que se muestran en la tabla 20, en la cual se ha creado diseños que estudiarán los efectos de 4 factores en 16 pruebas experimentales que se detalla la tabla 21. El diseño será ejecutado en un solo bloque. El orden de los experimentos se ha aleatorizado totalmente. Esto protegerá contra los efectos de variables ocultas.

Tabla 21: Matriz de estudio decodificada y sus variables respuestas

TRATAMIENTOS	FACTORES DE ESTUDIO				VARIABLE RESPUESTA		
	COCA (%)	CAMOTE (%)	QUINUA (%)	TRIGO (%)	Proteína (%)	Color (pts)	Sabor (pts)
1	3	10	10	77			
2	2	18	10	70			
3	1	16	10	73			
4	1	10	10	79			
5	1	20	9	70			
6	1	20	9	70			
7	3	15	7	75			
8	2	10	8	80			
9	1	13	10	76			
10	2	20	5	73			
11	3	20	7	70			
12	1	14	5	80			
13	3	12	5	80			
14	1	17	5	77			
15	3	12	5	80			
16	3	10	10	77			

2.3.2 Optimización de los parámetros

Para la optimización de la superficie de respuesta se usó la metodología D-optimal que es un conjunto de técnicas estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influida por varias variables, y cuyo objetivo fue optimizar la respuesta.

El D-optimal es una técnica secuencial. A menudo, cuando se considera un punto sobre la superficie de respuesta alejada del óptimo, que podrían ser las condiciones actuales, el polinomio de primer grado es aproximadamente

apropiado si existe poca curvatura en el sistema. En este caso, el objetivo consiste en guiar al experimentador rápido y eficientemente a la cercanía general del punto óptimo usando el método de máxima pendiente en ascenso o máxima pendiente en descenso. Una vez que se ha determinado la región del punto óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, como por ejemplo una superficie de respuesta de segundo grado, y hacer un análisis para localizar el óptimo el cual consiste en calcular los puntos estacionario y caracterizar la superficie de respuesta es decir, si los puntos estacionales son mínimos, máximos o puntos de silla.

El análisis para la superficie de respuesta puede interpretarse como el “ascenso a una loma”, donde la cima representa el punto de la máxima respuesta. Si el óptimo real es un punto de respuesta mínima, se puede pensar en el “descenso hacia un valle. Los procedimientos del D-optimal para “escalar una loma” garantiza la convergencia sólo hacia un óptimo relativo.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1. Análisis fisicoquímico de la harina de trigo

3.1.1.1 Composición química proximal

Los resultados del análisis de la composición proximal de la harina de trigo se presentan en la tabla 22.

Tabla 22: Composición química proximal de la harina de trigo

COMPONENTE (%)	VALOR PROMEDIO
Humedad	12,75
Proteína	12,93
Cenizas	1,09
Grasa	1,21
Fibra	2,18
Carbohidratos	69,84

Los valores indicados en la tabla 22 precisan que la harina de trigo muestra un porcentaje promedio de 12,75% de humedad, 1,09% de

cenizas y 2,18% de fibra, los cuales cumplen con la norma del CODEX ALIMENTARIUS (Harina de trigo) (anexo 1). Así mismo el porcentaje promedio de proteína fue de 12,93%.

El contenido de cenizas de la harina de trigo se encuentra principalmente en el pericarpio; así que en este producto habrá una pequeña cantidad de cenizas, lo que indica baja contaminación en el proceso de molienda.

3.1.1.2 Análisis colorimétrico de la harina de trigo

Los valores del análisis colorimétrico de la harina de trigo se muestran en la tabla 23.

Tabla 23: Valores colorimétricos de la harina de trigo

HARINA DE TRIGO	VALOR PROMEDIO
LUMINOSIDAD	98,17
a*	0,17
b*	12,15

El valor mostrado de b* en la tabla 23 indica la tendencia al color amarillo, atributo que podría ser relacionado a la presencia de compuestos carotenoides y el valor de a* una ligera tendencia hacia el color verde.

La variabilidad del color de la harina de trigo se verá afectada por variables como el genotipo del trigo, extracción de la harina, acondicionamiento del grano de trigo antes de la molienda, el tamaño de partícula, el almacenamiento, condiciones climáticas de la cosecha y el lugar de la siembra (Quaglia, 2012).

3.1.2. Análisis fisicoquímico de la harina de coca

3.1.2.1 Composición química proximal

Los valores de la composición química proximal de la harina de coca se muestran en la tabla 24.

Tabla 24: Composición química proximal de la harina de coca

COMPONENTE (%)	VALOR PROMEDIO
Humedad	9,16
Proteínas	19,24
Cenizas	2,97
Grasa	3,41
Fibra	1,23
Carbohidratos	63,9

Los resultados mostrados en la tabla 24 nos indican que la harina de coca presenta un porcentaje de 9,164% en humedad, 2,97% de cenizas, 19,24% de proteínas y 1,23% de fibra, valores similares a lo reportado por Cordero, (2002).

3.1.2.2 Análisis colorimétrico de la harina de coca

En la tabla 25 se muestra los resultados del análisis colorimétrico realizado a la harina de coca.

Tabla 25: Valores colorimétricos de la harina de coca

HARINA DE COCA	VALOR PROMEDIO
Luminosidad (L)	36,49
a*	- 61,14
b*	- 38,32

El valor de b* mostrado en la tabla 25 indica la tendencia al color verde, atributo que podría ser relacionado a la presencia de clorofila de la hoja y el valor de a* una ligera tendencia al color verde azulado.

La variabilidad del color de la harina de coca se verá afectada por las variables de extracción de la harina, lugar de cultivo, condiciones climáticas, entre otras (Ramos -Aliaga *et al.*, 2004).

3.1.3. Análisis fisicoquímico de la harina de quinua

3.1.3.1 Composición química proximal

Tabla 26: Composición química proximal de la harina de quinua

COMPONENTE (%)	VALOR PROMEDIO
Humedad	12,86
Proteínas	11,23
Cenizas	2,09
Grasa	2,17
Fibra	2,12
Carbohidratos	69,53

Los resultados mostrados en la tabla 26 reflejan que la harina de quinua presenta un porcentaje de 12,86% humedad, 11,23% de proteínas y 2,12% de fibra, valores similares a lo reportado por Collazos *et al.*, (1993).

Tapia (2012) refiere que la quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, fue base nutricional en las principales culturas americanas. Desde el punto de Vista nutricional y alimentario la quinua es la fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales.

3.1.3.2 Análisis colorimétrico de la harina de quinua

En la tabla 27 se muestra los resultados del análisis colorimétrico realizado a la harina de quinua.

Tabla 27: Valores colorimétricos de la harina de quinua

HARINA DE QUINUA	VALOR PROMEDIO
Luminosidad (L)	88,27
a*	3,21
b*	13,18

El valor de b* mostrado en la tabla 27 precisa la tendencia al color amarillo, atributo que podría ser relacionado a la presencia de carotenoides y el valor de a* una ligera tendencia al color verde.

La variabilidad del color de la harina de quinua podría ser afectada por las variables de extracción para su elaboración de harina, el tamaño de partícula, el almacenamiento, condiciones climáticas de la cosecha y el lugar de la siembra.

3.1.4. Análisis fisicoquímico de la pulpa de camote

3.1.4.1 Composición química proximal

Los valores de la composición química proximal de la pulpa de camote se muestran en la tabla 28.

Tabla 28: Composición química proximal de la pulpa de camote

COMPONENTE (%)	VALOR PROMEDIO
Humedad	72,15
Proteínas	2,41
Cenizas	1,73
Grasa	0,48
Fibra	1,29
Carbohidratos	69,53

Los resultados mostrados en la tabla 28 precisan que la pulpa de camote presenta un porcentaje de 72,15 % Humedad, 2,41% de proteínas y 1,29% de fibra, valores similares a lo reportado por Collazos *et al.*, (1993).

El camote es el que tiene menos proteína, de los componente utilizados en la elaboración del pan de molde, pero es un excelente productor de energía (114 kcal/100 g); el contenido de almidón varía de 50 a 70% de la materia seca (aproximadamente el 30% del peso fresco). (Babu y Nambisan, 1990).

3.1.4.2 Análisis colorimétrico de la pulpa de camote

En la tabla 29 se muestra los resultados del análisis colorimétrico realizado a la pulpa de camote.

Tabla 29: Valores colorimétricos de la pulpa de camote

PULPA DE CAMOTE	VALOR
Luminosidad (L)	76,49
a*	39,65
b*	57,21

El valor de b* mostrado en la tabla 29 precisa la tendencia al color anaranjado, atributo que podría ser relacionado a la presencia de carotenoides y el valor de a* también una tendencia al color naranja amarillo. La variabilidad del color de la pulpa de camote podría ser afectada por la forma de pulpeado, condiciones de cocido, variedad de camote entre otros (Folquer, 1978).

3.2. FORMULACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DEL PAN DE MOLDE

El proceso de la formulación es lograr un balance adecuado entre el buen nivel de proteína y la aceptabilidad de producto, para eso se valieron de las caracterizaciones sensoriales que se precisan más adelante, normalmente los productos enriquecidos u fortificados con productos alternos que se usan para aumentar el contenido de proteína suelen ser un poco insípido ya que estos productos alternos modifican el sabor y la característica propia del producto, para esto se debe de optimizar el producto en una formulación que contraste adecuadamente el nivel alto de proteína como la aceptabilidad general del producto.

3.2. ANÁLISIS PROXIMAL DEL PAN DE MOLDE ÓPTIMO

En la tabla 30 se muestra el análisis químico proximal del pan de molde óptimo (Ver tabla 37) según el diseño planteado en el estudio.

Tabla 30: Análisis químico proximal del pan de molde óptimo

Componente	Cantidad
Humedad (%)	26,59
Proteína (%)	13,07
Grasa (%)	2,25
Carbohidratos (%)	57,18
Ceniza (%)	0,91

El contenido de humedad es el único parámetro legislado (MINSA, 2011) específicamente para el pan de molde: no puede superar el 40% en los

blancos y el 42% en los integrales. En nuestro caso nuestro pan de molde tiene una humedad de 26,59%, que se encuentra dentro de los parámetros exigidos por las normas.

Las humedades en los distintos panes de molde son: el pan de molde blanco PYC 34,9%, pan de molde blanco Bimbo 37,1%, pan de molde integral PYC 36,7% y pan de molde integral Bimbo 39,5%. Estos datos corresponden a gramos de agua en 100 gramos de parte comestible (base húmeda). El valor de la humedad de nuestro pan de molde fue de 26,59%, valor que se vería afectado por las condiciones de humedad del lugar donde se encuentre almacenado.

Los panes de molde tienen entre el 2,3% y el 5,7% de grasa. El común, sólo el 1,5%. El pan de molde óptimo tiene un porcentaje de grasa de 2.25%, el cual se encuentra dentro del rango para panes de molde (MINSA, 2011).

La proteína obtenida del pan de molde óptimo fue de 13,07%, si comparamos este valor con el pan de molde blanco Bimbo con corteza que tiene como valor 9,3% y el pan de molde con harina integral Bimbo sin corteza que tiene como valor 8,8%, la proteína del pan óptimo es superior a los 2 anteriores, debido principalmente al fortalecimiento a la proteína que le da la harina de coca y la harina de quinua, que al usarse en forma de harinas la proteína tuvo un valor más alto en función a base seca.

Por otro lado, el nutriente fundamental del pan de molde son los hidratos de carbono, y dentro de éstos el almidón. En el blanco representan entre el 45% y el 48% y en el integral, en torno al 40% (MINSA, 2011).

El contenido de carbohidratos del pan de molde blanco Panrico, el pan de molde blanco Bimbo, el pan de molde integral Panrico y el pan de molde integral Bimbo son 45,6%; 45,2%; 38,9% y 38,6% respectivamente, son valores inferiores al pan de molde óptimo que presentó un contenido de carbohidratos de 57,18%, principalmente por el mayor contenido de almidón del pan de molde óptimo, esto se debe al uso de harina de coca y quinua que aumentó el contenido de carbohidratos.

3.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PAN DE MOLDE ÓPTIMO

En la tabla 31 se presenta el análisis microbiológico del pan de molde óptimo según el diseño planteado en el estudio.

Tabla 31: Análisis microbiológico del pan de molde óptimo

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	U.F.C.
Recuento de Mesófilos Viables	< 10
Recuento de Hongos	< 10
Recuento de Coliformes Totales	Ausencia

En la tabla 31 se reportan los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos realizados al pan de molde óptimo en la que se observa la ausencia de los microorganismos tanto en aerobias mesófilos como en mohos y levaduras. Estos valores cumplen con las exigencias de la Norma Sanitaria para productos de panificación (MINSa, 2011)

3.4. VIDA ÚTIL EN ANAQUEL DEL PAN DE MOLDE ÓPTIMO

Realizado los 10 días de almacenamiento a temperaturas ambiente el pan de molde óptimo se mantuvo sin cambios significativos en cuanto a sus características fisicoquímicas, microbiológicos y de aceptabilidad.

El grado a aceptabilidad del pan de molde a temperaturas ambiente fue de alrededor de 90% (valor de 6,23 de 7 puntos); y luego 10 días de almacenamiento fue de 85%. Es importante mencionar que el envase de polietileno empleado es de gran calidad actuando como barrera a la humedad, es decir es impermeable al vapor acuoso evitando la pérdida de consistencia y endurecimiento del pan de molde.

3.5. OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL PAN DE MOLDE ENRIQUECIDO

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el diseño experimental se tiene la matriz de estudio y sus variables respuesta

Con el objeto de diseñar una formulación de pan de molde con características óptimas se utilizó el dispositivo Design Expert y la técnica del diseño estadístico de experimentos D-Optimal para formular un pan de molde a base de coca, camote y quinua.

Los valores de los factores de estudio fueron dados por el software Design Expert así como los 16 tratamientos a experimentar, las variables respuestas fueron obtenidas después de los análisis respectivos a la que fueron sometidas cada tratamiento.

Tabla 32: Matriz de estudio decodificada y sus variables respuesta

TRATAMIENTOS	FACTORES DE ESTUDIO				VARIABLE RESPUESTA		
	COCA (%)	CAMOTE (%)	QUINUA (%)	TRIGO (%)	Proteína (%)	Color (pts)	Sabor (pts)
1	3	10	10	77	14,56	4,49	5,18
2	2	18	10	70	14,23	4,45	5,21
3	1	16	10	73	14,16	7,07	6,64
4	1	10	10	79	14,11	6,71	6,52
5	1	20	9	70	13,88	6,28	6,53
6	1	20	9	70	14,03	6,24	6,49
7	3	15	7	75	14,28	4,21	5,31
8	2	10	8	80	14,01	5,17	5,27
9	1	13	10	76	14,03	6,63	5,89
10	2	20	5	73	13,94	3,96	5,34
11	3	20	7	70	14,26	4,82	5,72
12	1	14	5	80	13,87	5,79	6,83
13	3	12	5	80	14,39	3,91	4,92
14	1	17	5	77	13,94	6,12	6,76
15	3	12	5	80	14,47	3,89	4,87
16	3	10	10	77	14,09	4,15	5,42

Para el diseño de mezclas D-optimal de cuatro factores con restricciones y asumiendo un modelo de regresión cuadrático, el mínimo valor obtenido del Determinante de $(X'X)^{-1} = 0,625$ el cual es el valor que minimiza la suma de las varianzas de los coeficientes de regresión.

3.5.1. Análisis estadístico: Variable respuesta: Proteína

En la tabla 33 se muestra los resultados del diseño experimental del análisis de la variable respuesta: contenido proteico

Tabla 33: ANOVA - Ajuste del Modelo para la variable Proteína

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Prob > F
Modelo	0,389	9	0,043	51,334	< 0,0001
Linear Mixture	0,359	3	0,120	142,209	< 0,0001
AB	0,022	1	0,022	26,320	0,0022
AC	0,026	1	0,026	30,767	0,0015
AD	0,022	1	0,022	26,171	0,0022
BC	0,004	1	0,004	4,824	0,0704
BD	0,000	1	0,000	0,009	0,9293
CD	0,003	1	0,003	3,393	0,1151
Residuo	0,005	6	0,001		
Falta de ajuste	0,004	3	0,001	4,492	0,1244
Error puro	0,001	3	0,000		
Variación Total	0,394	15			
Desviación Estándar	0,029	R-Squared (R ²)	0,9872		
Media	14,137	R ² Ajustado	0,9679		
Coefficiente de Variación %	0,205	R ² Pred.	0,7973		
PRESS	0,080	Adeq Precisión	19,0082		

De la tabla 33 ANOVA para la variable respuesta "Proteína" compara la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. El valor F del modelo es 51,334 lo cual implica que el modelo es significativo.

En este caso tres interacciones de la mezcla AB, AC y AD tienen los p-valores inferiores a 0,05 lo cual nos indica que los términos del modelo son significativos y demuestran que la función polinómica es adecuada para describir los datos experimentales al 95,0 % de confianza.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 98,72 % de la variabilidad en proteína. El estadístico R^2 (ajustado para los grados de libertad de la experiencia), el cual es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independiente, es 96,79%. La suma de cuadrados del error de predicción (PRESS) es de 0,080, esto es una medida de ajuste o de adecuación con que es posible que el modelo del experimento predecirá las respuestas en un nuevo experimento, este modelo se ajusta porque son deseables los valores pequeños de PRESS

El valor F de la falta de ajuste es de 4,492 lo que implica que la falta de ajuste no es significativa.

La función polinómica que ajusta los valores del nivel de proteína obtenidos en este diseño nos demuestra que el modelo polinómico ajustado es adecuado para describir los datos experimentales.

$$\begin{aligned}
 \text{Proteína} = & +1021.91 * \text{Harina de Coca} + 14.52 * \text{Pulpa de Camote} + 75.91 * \\
 & \text{Harina de quinua} + 14.10 * \text{Harina de Trigo} - 1015.16 * \text{Harina de Coca} * \text{Pulpa de} \\
 & \text{Camote} - 1133.38 * \text{Harina de Coca} * \text{Harina de quinua} - 1030.62 * \text{Harina de Coca} \\
 & * \text{Harina de Trigo} - 79.88 * \text{Pulpa de Camote} * \text{Harina de quinua} + 0.90 * \text{Pulpa de} \\
 & \text{Camote} * \text{Harina de Trigo} - 67.64 * \text{Harina de quinua} * \text{Harina de Trigo}
 \end{aligned}$$

3.5.1.1. Influencia de las variables de formulación

Para estudiar la influencia de las variables de formulación se analizan los gráficos de contorno elaborados en base a los resultados obtenidos en los 16 experimentos realizados, fijándose la proporción de los componentes de la mezcla y las variables de respuesta.

En la figura 21 se muestra el gráfico de contorno para la proporción de los componentes de harina de coca, pulpa de camote y harina de quinua, vemos la variación que se tiene manteniendo constante la harina de trigo.

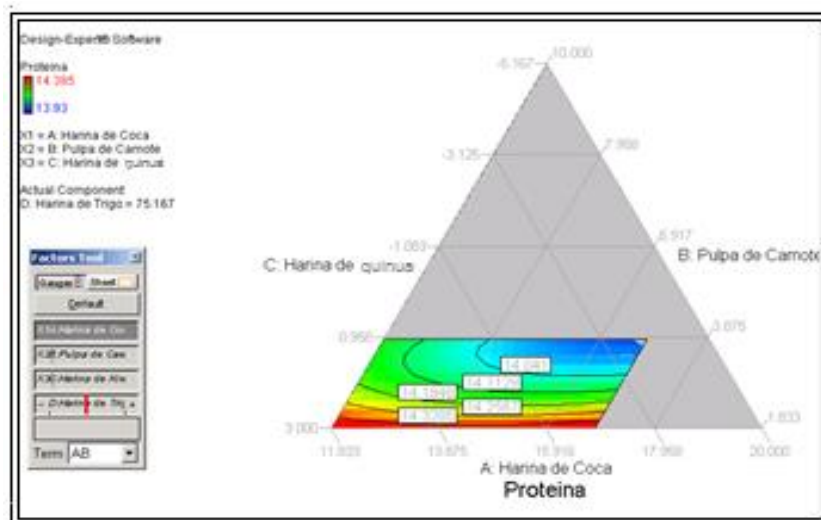


Figura 21: Gráfico de contornos para el análisis de Proteína

La figura 21 muestra el gráfico de contorno para el análisis de proteína en función de los componentes de harina de coca, pulpa de camote, harina de

quinua y harina de trigo, donde la harina de trigo es constante, se observa que los mayores valores de nivel proteico se alcanzan para los niveles altos de concentración de harina de coca y harina de quinua y a niveles bajos de pulpa de camote, los niveles máximos de proteína se localizan en la parte inferior del diagrama triangular. Esto se comprueba representando el pico más alto del grafico en 3D (figura 22) que corresponde a la parte inferior izquierda y los valores son de 3% de harina de coca, 14,174 de pulpa de camote y 9,72 de harina de quinua y al contrastarlo con el nivel más bajo que representa la parte superior derecha del grafico de contorno, los valores son de 1,0% de harina de coca, 18,61% de pulpa de camote y 5,16 de harina de quinua, estos valores nos entrega el programa pasando el curso sobre la superficie en el respectivo gráfico.

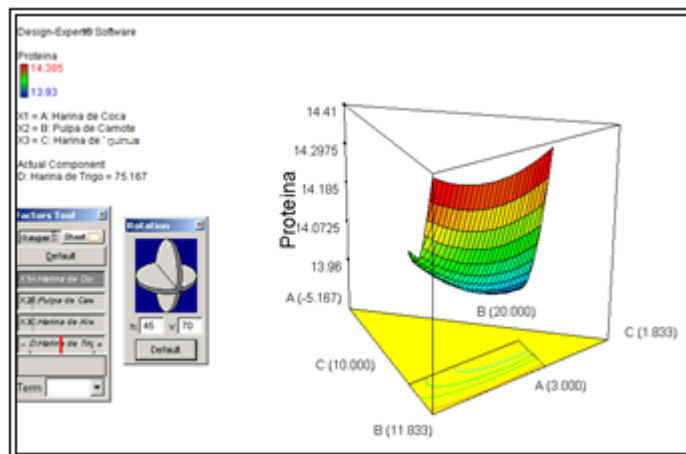


Figura 22: Superficie de Respuesta estimada para la variable respuesta proteína

La superficie de respuesta estimada para la variable respuesta “Proteína” (figura 22), sigue el modelo cuadrático para los factores: harina de coca, pulpa de camote, harina de quinua y harina de trigo, donde al validar

estadísticamente se encuentra, que el modelo cuadrático es altamente significativo, la prueba de falta de ajuste no es significativa y las pruebas de los estadísticos residuales se ajustan apropiadamente como se observa en la tabla 33.

En el gráfico de contorno y de 3D se observa el comportamiento de los factores a un modo superficial, en el cual se observa el comportamiento de los componentes de la mezcla en función de sus variables, estos gráficos se complementan con los gráficos de interacción entre sus componentes la cual nos sirve para estudiar más detenidamente el comportamiento de estos factores.

3.5.1.2. Gráficos de interacción

En los gráficos de interacción vemos el comportamiento de dos componentes en la variable respuesta obtenida mientras que los otros dos componentes se mantienen constantes.

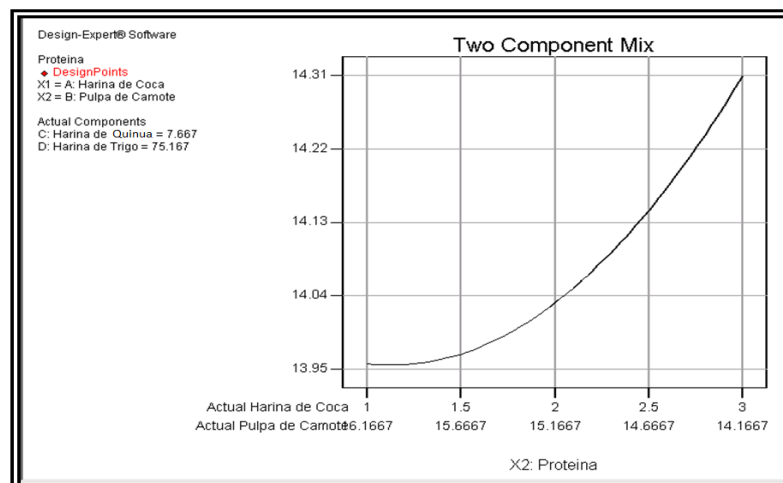


Figura 23: Gráfico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta proteína

Se observa claramente si contrastamos los valores de harina de coca y pulpa de camote, la harina de coca predomina en el extremo superior del nivel de proteína.

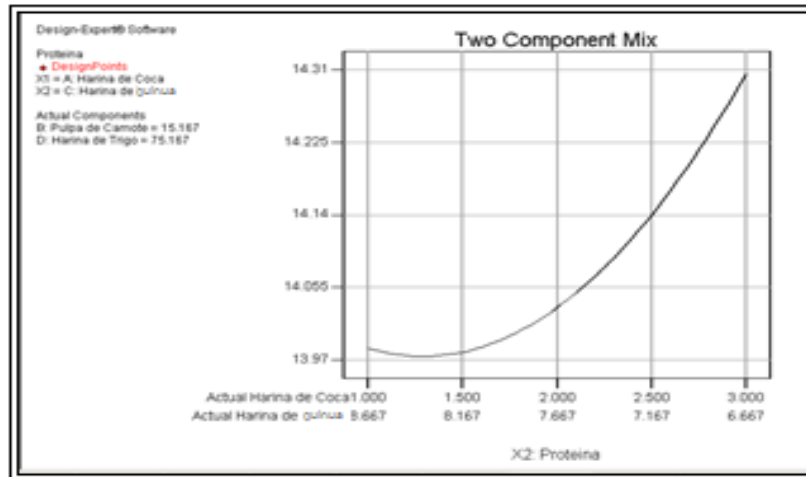


Figura 24: Grafico de interacción AC (Harina de coca – Harina de quinua) para la variable respuesta proteína

De igual manera al contrastar harina de coca y harina de quinua, la harina de coca tiene más influencia en el nivel de proteína.

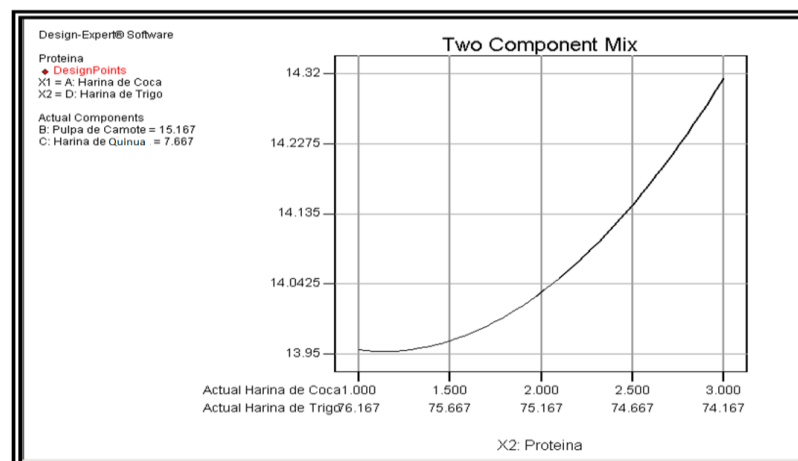


Figura 25: Grafico de interacción AD (Harina de coca – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína

La interacción de harina de coca y harina de trigo también nos refleja el predominio de la harina de coca en la influencia del nivel de proteína. Es decir a mayor porcentaje de harina de coca y menor valor de harina de trigo, mayor es el nivel de proteína.

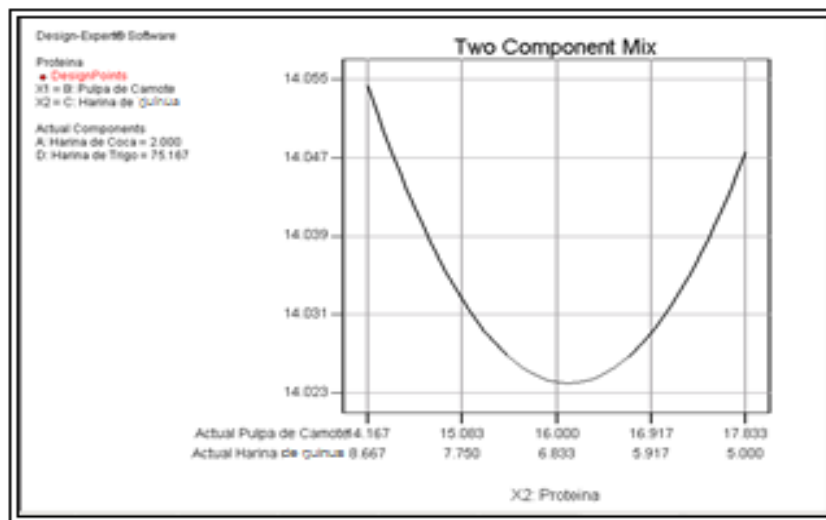


Figura 26: Grafico de interacción BC (Pulpa de camote – harina de quinua) para la variable respuesta proteína

En el grafico observamos un comportamiento de una parábola al contrastar pulpa de camote y harina de quinua el valor más alto aporta la harina de quinua, esto implica que el nivel de proteína aumenta conforme aumenta la harina de quinua

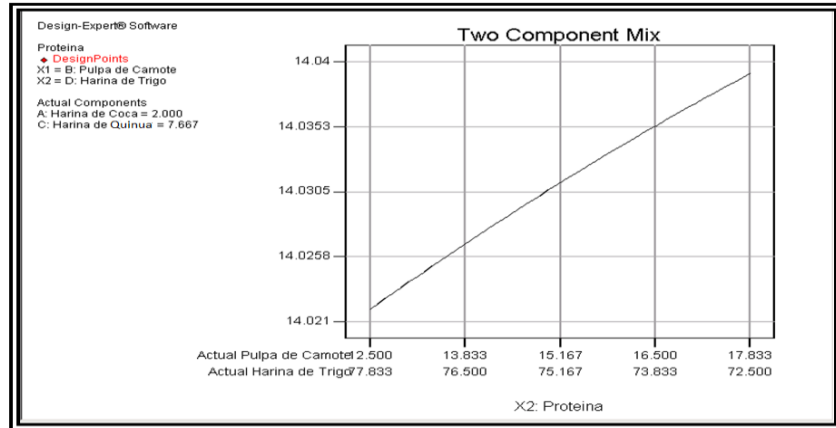


Figura 27: Grafico de interacción BD (Pulpa de camote – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína

En el caso de la pulpa de camote y la harina de trigo, nos refleja una pendiente la cual a niveles bajos de harina de trigo se obtiene más nivel de proteína.

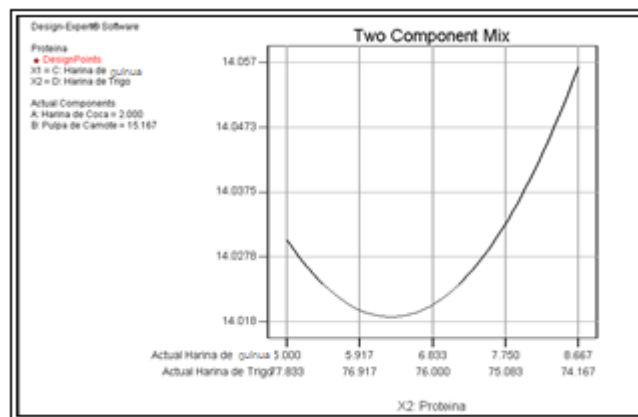


Figura 28: Grafico de interacción CD (Harina de quinoa – Harina de trigo) para la variable respuesta proteína

En la figura 28 observamos que la harina de quinoa direcciona el incremento del nivel de proteína, cuanto más quinoa mayor es el valor proteico.

Se concluye que la harina de coca predomina en el incremento del nivel de proteína, esto porque en su composición tiene un 19,24% de proteína frente a los 11,23% de harina de quinua que es el otro componente que influye en el incremento del nivel de proteína, en lo cual para maximizar el nivel de proteína se tendría que tener porcentajes altos de harina de coca y de quinua.

3.5.1.3. Validación del modelo

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditado a que los supuestos del modelo se cumplan. Cada análisis de varianza (o prueba F) busca probar que el modelo lineal propuesto efectivamente describe el comportamiento de la respuesta observada. Los supuestos a comprobar son normalidad y varianza constante

Supuesto de Normalidad

En la figura 29 se grafican los residuos del diseño. Como la mayoría de los puntos se apegan a la línea colocada visualmente, se concluye que no hay transgresiones al supuesto de normalidad

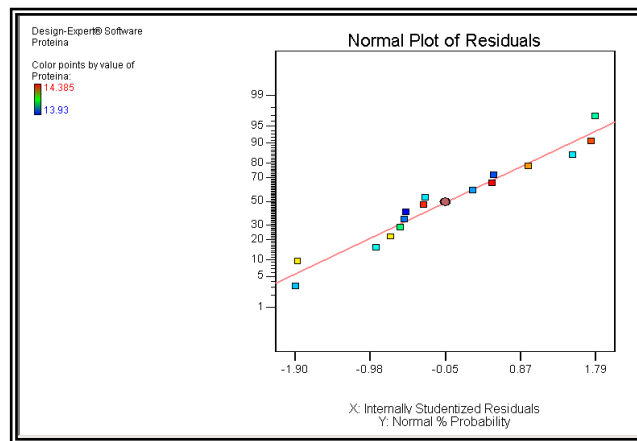


Figura 29: Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta proteína

La representación de los residuos en el orden de la obtención de los datos es útil para detectar correlaciones entre los residuos. Una tendencia a tener secuencias de residuos positivos y negativos indicaría que la hipótesis de independencia ha sido transgredida. Si, en el gráfico residuos frente al orden de ejecución de los distintos ensayos, se observa aleatoriedad en la disposición de los residuos, se confirma la hipótesis de independencia

Supuesto de varianza constante

En ocasiones las habilidades del investigador cambian a medida que se van realizando los experimentos, haciendo que la varianza del error también varíe con el tiempo. Esta situación suele ser visualizada en el gráfico de los residuos frente al orden de ejecución con una mayor dispersión en uno de los extremos de la gráfica que en el otro. La hipótesis de igualdad de varianzas puede comprobarse a través del gráfico de residuos frente a valores predichos por el modelo, cuyos puntos deben distribuirse

aleatoriamente en torno a cero. Si el modelo es correcto y se satisfacen los supuestos, los residuos deberán estar sin estructura; en particular, no deberán estar relacionados con ninguna otra variable, incluyendo la respuesta predicha (figura 30). En este gráfico se muestra una distribución satisfactoria de los residuos.

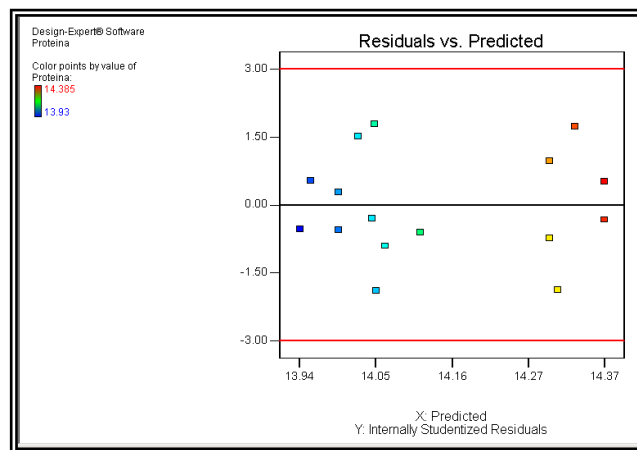


Figura 30: Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta proteína

El supuesto de varianza constante se puede verificar graficando los residuos contra los predichos, se observa que los puntos caen aleatoriamente en el sentido vertical dentro de una banda horizontal y están dentro de dos líneas horizontales que representan los límites superior e inferior para concluir que el supuesto se cumple. Al observar la figura 30, se verifica que el supuesto de varianza constante se cumple.

3.5.2. Análisis Estadístico: Variable respuesta: Color

En la tabla 34 se muestra los resultados del diseño experimental en el análisis de la variable respuesta del nivel de Color.

La tabla 34 ANOVA para la variable respuesta "Color" compara la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. El valor F del modelo es 15,64 lo cual implica que el modelo es significativo.

En este otro caso similar al anterior con tres interacciones de la mezcla AB, AC y AD tienen los p-valores inferiores a 0,05 lo cual nos indica que los términos del modelo son significativos y demuestran que la función polinómica es adecuada para describir los datos experimentales al 95,0 % de confianza.

Tabla 34: ANOVA - Ajuste del modelo para la variable Color

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Prob > F
Model	19,492	9	2,1658	15,640	0.0016
Linear Mixture	17,284	3	5,7613	41,603	0.0002
AB	1,312	1	1,3120	9,474	0.0217
AC	1,267	1	1,2667	9,147	0.0233
AD	1,395	1	1,3948	10,072	0.0192
BC	0,219	1	0,2190	1,581	0.2553
BD	0,016	1	0,0163	0,118	0.7432
CD	0,235	1	0,2347	1,695	0.2407
Residuo	0,831	6	0,1385		
Falta de ajuste	0,749	3	0,2497	9,170	0.0508
Error puro	0,082	3	0,0272		
Variación Total	20,323	15			
Desviación Estándar	0,372	R-Squared (R ²)	0,9578		
Media	5,174	R ² Ajustado	0,8993		
Coefficiente de Variación %	7,192	R ² Pred.	0,1664		
PRESS	16,936	Adeq Precision	10,3790		

El estadístico R² indica que el modelo así ajustado explica el 95,78% de la variabilidad en color. El estadístico R² (ajustado para los grados de libertad de la experiencia), el cual es más adecuado para la comparar modelos con diferente número de variables independiente, es 89,93%. La suma de cuadrados del error de predicción (PRESS) es de 16,936.

La función polinómica que ajusta los valores del comportamiento de la textura en función a los porcentajes de los componentes obtenidos, estos diseños nos demuestran que el modelo polinómico ajustado es adecuado para describir los datos experimentales.

$$\begin{aligned} \text{Color} = & +7748.18 * \text{Harina de Coca} - 27.79 * \text{Pulpa de Camote} - 488.0 * \text{Harina de} \\ & \text{quinua} + 4.77 * \text{Harina de Trigo} - 7815.42 * \text{Harina de Coca} * \text{Pulpa de Camote} - \\ & 7929.66 * \text{Harina de Coca} * \text{Harina de quinua} - 8204.14 * \text{Harina de Coca} * \text{Harina} \\ & \text{de Trigo} + 586.85 * \text{Pulpa de Camote} * \text{Harina de quinua} + 42.87 * \text{Pulpa de Camote} \\ & * \text{Harina de Trigo} + 613.39 * \text{Harina de quinua} * \text{Harina de Trigo} \end{aligned}$$

3.5.2.1. Influencia de las variables de formulación

En la figura 31 se muestra los gráficos de contorno para el análisis de color según el diseño planteado en el estudio.

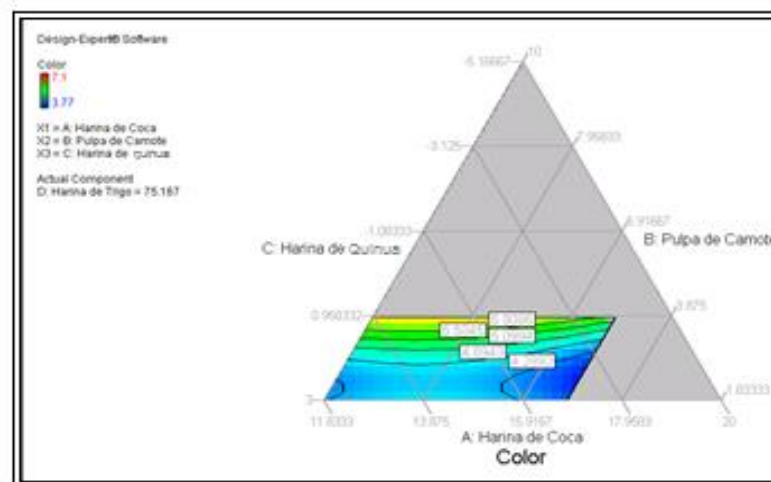


Figura 31: Gráfico de contornos para el análisis de Color

En la Figura 31 se presenta el gráfico de contorno para el análisis de color en función de los componentes de harina de coca, pulpa de camote, harina de quinua y harina de trigo, se observa que los valores en cuanto a la aceptabilidad de color se da en la parte superior del gráfico de contorno y al

contrastarlo con el grafico en 3D observamos que el pico más alto se da en la parte superior izquierda en el cual se tiene menores valores de harina de coca y pulpa de camote y predomina la harina de quinua.

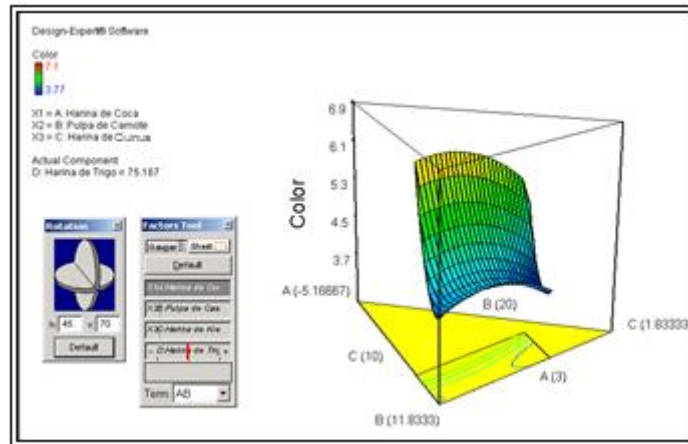


Figura 32: Superficie de Respuesta Estimada para la variable respuesta Color

3.5.2.2. Gráficos de interacción

En la figura 33 se muestra el gráfico de interacción harina de coca – pulpa de camote para la variable Color.

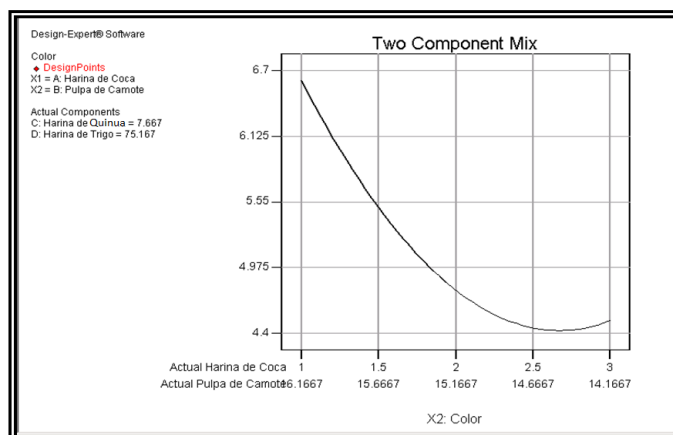


Figura 33: Grafico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta Color

En la figura 33 se muestra la interacción de pulpa de camote y harina de coca en ella se observa que a mayor porcentaje de pulpa de camote y menor porcentaje de harina de coca nos da una mejor puntuación en cuanto a la aceptación de color del pan de molde.

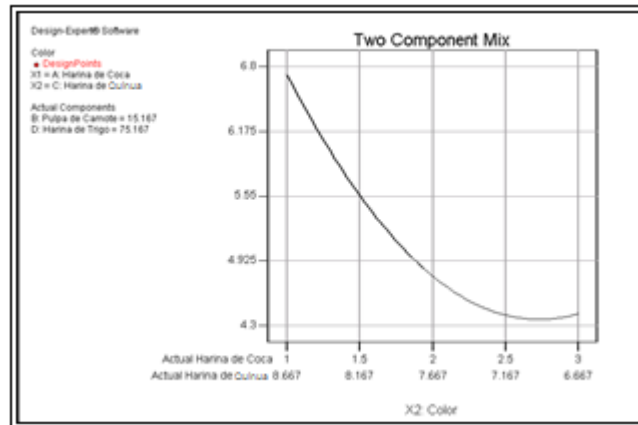


Figura 34: Grafico de interacción AC (Harina de coca – Harina de quinua) para la variable respuesta Color

Con respecto a la harina de coca y harina de quinua, la harina de quinua influye en el incremento en la aceptabilidad del color.

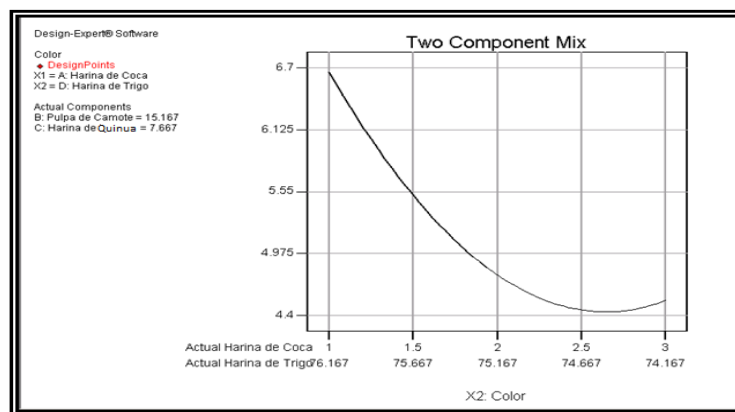


Figura 35: Grafico de interacción AD (Harina de coca – Harina de trigo) para la variable respuesta Color

La interacción de harina de coca y harina de trigo nos refleja la influencia de la harina de coca en el color, a un nivel bajo de harina de coca y un nivel alto de harina de trigo se obtiene un mejor color en el pan.

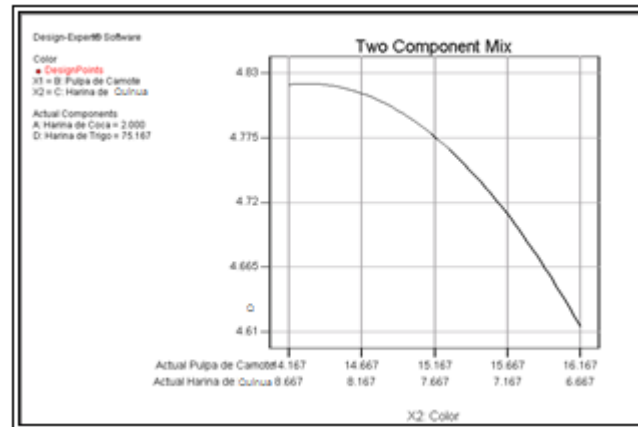


Figura 36: Grafico de interacción BC (Pulpa de camote – Harina de quinua) para la variable respuesta Color

De la figura 36 se observa el comportamiento de una pendiente negativa al contrastar pulpa de camote y harina de quinua, estos dos componentes favorecen el nivel de color en el pan, ahora al contrastarlos vemos que predomina la harina de quinua en el color del pan de molde.

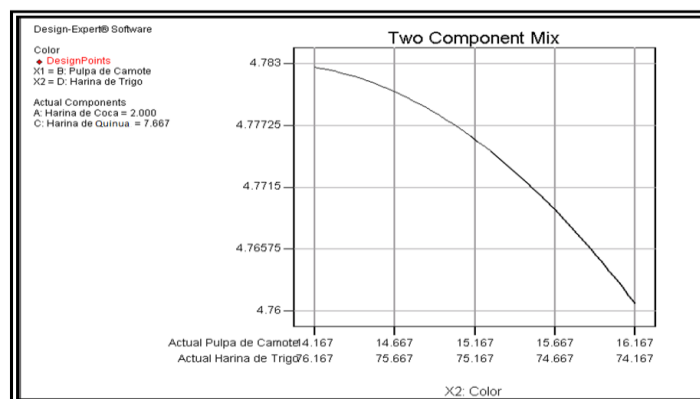


Figura 37: Grafico de interacción BD (Pulpa de camote – harina de trigo) para la variable respuesta Color

En el grafico se observa que la pulpa de camote no influye mucho en el color del pan de molde con respecto de la harina de trigo.

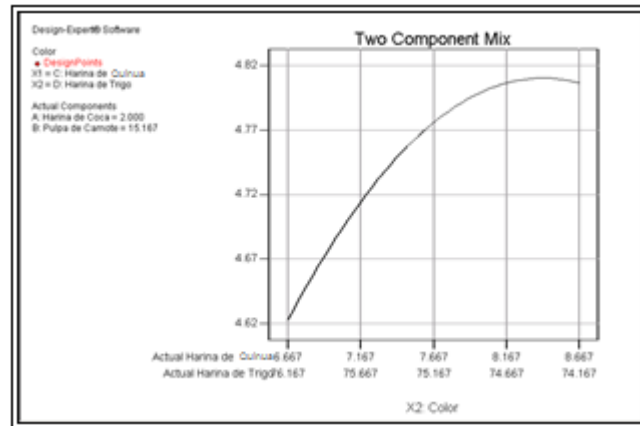


Figura 38: Grafico de interacción CD (Harina de quinua – harina de trigo) para la variable respuesta Color

En la figura 38 se observa claramente la importancia de la harina de quinua con respecto a la harina de trigo, a menores valores de harina de trigo y mayor valor de harina de quinua se obtiene mayor aceptabilidad en cuanto al color en el pan de molde.

Se concluye que la harina de quinua influye en la mejora del color en el pan de molde y lo contrario sucede con la harina de coca, esto debido a que la quinua contiene carotenos (Repo-Carrasco et al., 2003), que es un pigmento natural de color amarillento, y esto que contrasta la clorofila de la harina de coca.

3.5.2.3. Validación del modelo

Los supuestos a comprobar son normalidad y varianza constante

Supuesto de Normalidad

En la figura 39 se grafican los residuos en papel probabilística normal, es decir la probabilidad de residuos para el atributo color y así analizar su significancia estadística; como la mayoría de los puntos se apegan a la línea colocada visualmente, se concluye que no hay transgresiones al supuesto de normalidad.

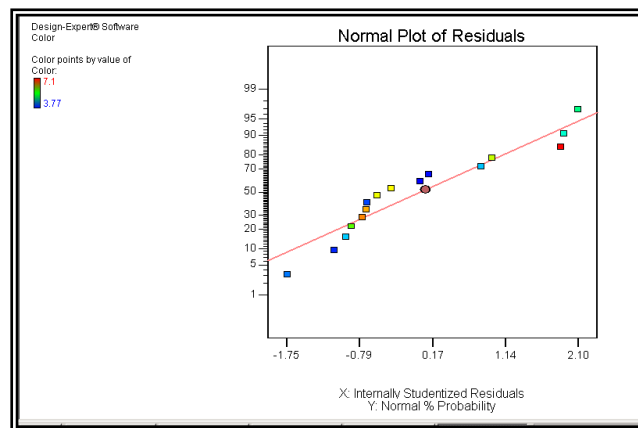


Figura 39: Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta Color

Supuesto de Varianza Constante

El supuesto de varianza constante se puede verificar graficando los residuos contra los predichos, se observa que los puntos caen aleatoriamente en el sentido vertical dentro de una banda horizontal y están dentro de dos líneas horizontales que representan los límites superior e inferior para concluir que el supuesto se cumple.

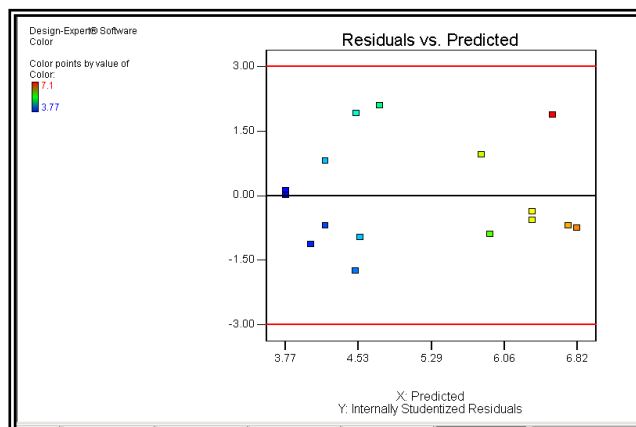


Figura 40: Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta Color

3.5.3. Análisis estadístico: Variable respuesta: Sabor

En la tabla 35 se muestra los resultados del diseño experimental en el análisis de la variable respuesta del nivel de Sabor.

De la tabla 35 el ANOVA para la variable respuesta “Sabor” compara la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. El valor F del modelo es 16,690 lo cual implica que el modelo es significativo.

En la tabla vemos tres interacciones de la mezcla AB, AC y AD que tienen los p-valores inferiores a 0,05 lo cual nos indica que los términos del modelo son significativos y demuestran que la función polinómica es adecuada para describir los datos experimentales al 95,0 % de confianza.

Tabla 35: ANOVA - Ajuste del modelo para la variable Sabor

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Valor F	Prob > F
Model	8,796	9	0,9773	16,690	0.0014
Linear Mixture	7,051	3	2,3504	40,140	0.0002
AB	1,138	1	1,1380	19,435	0.0045
AC	0,882	1	0,8819	15,061	0.0082
AD	1,124	1	1,1243	19,201	0.0047
BC	0,170	1	0,1699	2,901	0.1394
BD	0,107	1	0,1071	1,829	0.2250
CD	0,224	1	0,2242	3,828	0.0982
Residuo	0,351	6	0,0586		
Falta de ajuste	0,350	3	0,1167	318,391	0.0003
Error puro	0,001	3	0,0004		
Variación Total	9,147	15			
Desviación Estándar	0,242	R-Squared (R ²)	0,9616		
Media	5,539	R ² Ajustado	0,9040		
Coefficiente de Variación %	4,368	R ² Pred.	0,1862		
PRESS	7,443	Adeq Precision	10,3110		

El estadístico R² indica que el modelo así ajustado explica el 96,16 % de la variabilidad en el atributo Sabor. El estadístico R² (ajustado para los grados de libertad de la experiencia), el cual es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independiente, es 90,40%. La suma de cuadrados del error de predicción (PRESS) es de 7,443.

La función polinómica que ajusta los valores del comportamiento de la variable sabor en función a los porcentajes de los componentes obtenidos, estos diseños nos demuestran que el modelo polinómico ajustado es adecuado para describir los datos experimentales.

$$\begin{aligned} \text{Sabor} = & +6998.01 * \text{Harina de coca} - 56.28 * \text{Pulpa de camote} - 478.99 * \text{Harina de} \\ & \text{quinua} + 0.66 * \text{Harina de trigo} - 7278.64 * \text{Harina de coca} * \text{Pulpa de camote} - \\ & 6616.49 * \text{Harina de coca} * \text{Harina de quinua} - 7365.92 * \text{Harina de coca} * \text{Harina} \\ & \text{de trigo} + 516.90 * \text{Pulpa de camote} * \text{Harina de quinua} + 109.87 * \text{Pulpa de camote} \\ & * \text{Harina de trigo} + 599.48 * \text{Harina de quinua} * \text{Harina de trigo} \end{aligned}$$

3.5.3.1. Influencia de las variables de formulación

En la figura 41 se muestra el gráfico de contorno para el análisis del sabor según el diseño planteado en el estudio.

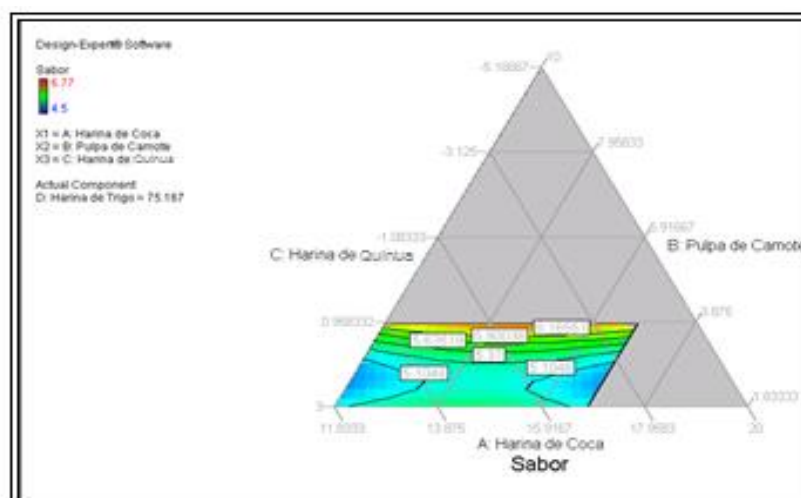


Figura 41: Gráfico de Contorno para el análisis de Sabor

La figura 41 presenta el gráfico de contorno para el análisis del sabor en función de los componentes de harina de coca, pulpa de camote, harina de quinua y harina de trigo, donde la harina de trigo es constante, en el gráfico de contorno se observa la tendencia en cuanto a la aceptación del sabor del

pan de molde, los valores altos se encuentran en la parte superior del gráfico, y al contrastarlo con el gráfico en 3D (figura 42) observamos que se localiza en la parte superior derecha, allí se encuentran la harina de coca en su límite inferior, valores bajos de harina de quinua y predomina la pulpa de camote.

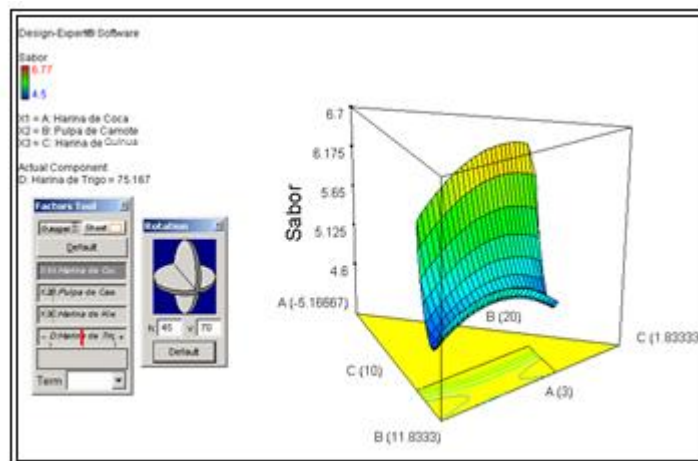


Figura 42: Superficie de respuesta estimada para la variable respuesta Sabor

Con los gráficos de interacción de los componentes de la mezcla podemos hacer un análisis más detallado del comportamiento con respecto a las respuestas obtenidas en el experimento.

3.5.3.2. Gráficos de interacción

En la figura 43 se muestra el gráfico de interacción de harina de coca y pulpa de camote para la variable respuesta Sabor.

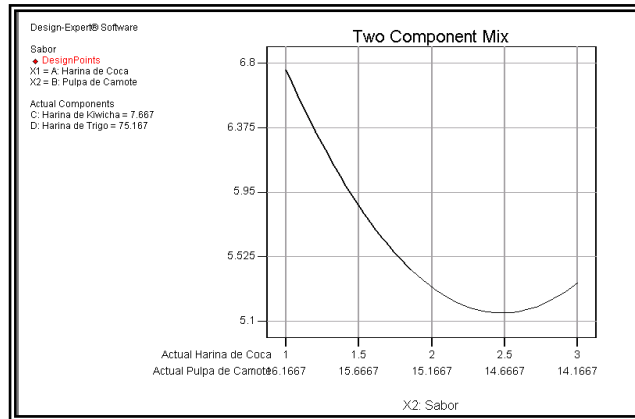


Figura 43: Grafico de interacción AB (Harina de coca – pulpa de camote) para la variable respuesta Sabor

Al observar la figura 43 se verifica que la interacción de pulpa de camote y harina de coca que a mayor porcentaje de pulpa de camote nos da una mejor puntuación en cuanto a la aceptación de sabor del pan de molde

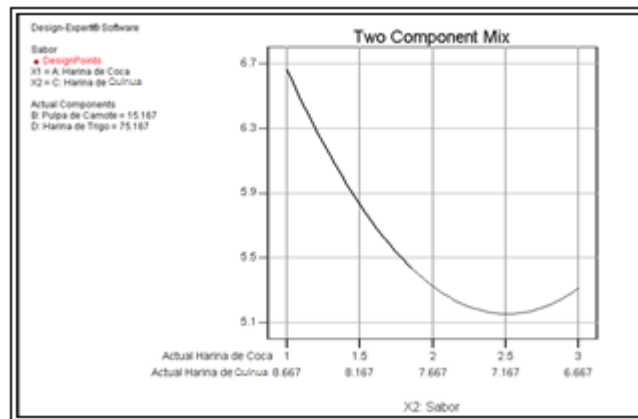


Figura 44: Grafico de interacción AC (Harina de coca – harina de quinoa) para la variable respuesta Sabor

Con respecto a la harina de coca y harina de quinoa, la harina de coca afecta negativamente en el sabor del pan de molde.

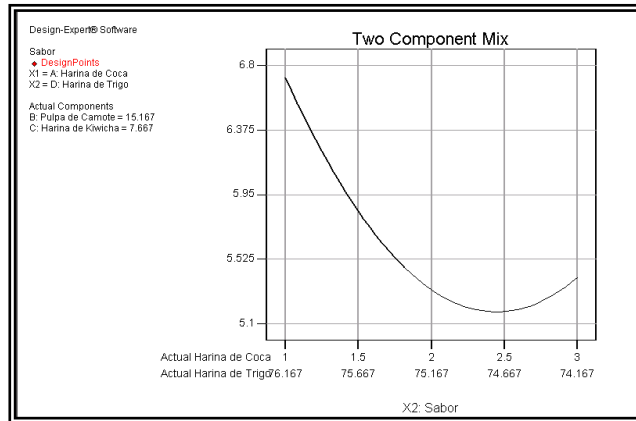


Figura 45: Grafico de interacción AD (Harina de coca – harina de trigo) para la variable respuesta Sabor

De igual manera que en las interacciones anteriores en este caso de harina de coca y harina de trigo nos refleja la influencia negativa de la harina de coca en la aceptación del pan en cuanto a su sabor.

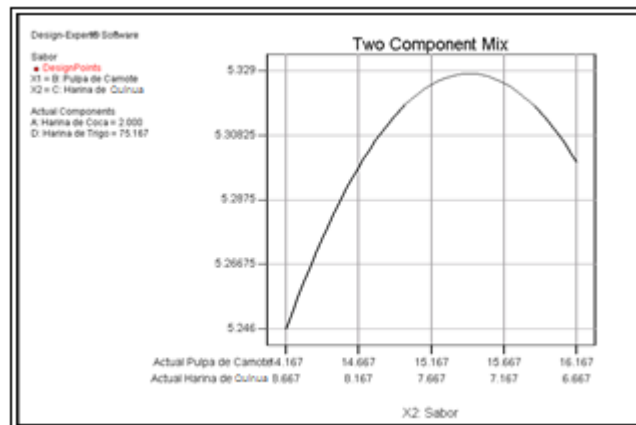


Figura 46: Grafico de interacción BC (Pulpa de camote – harina de quinua) para la variable respuesta sabor

De la figura 46 se observa que la región óptima en cuanto a una mejor puntuación de sabor esta entre 15,17% y 15,67% de pulpa de camote y 7,67% y 7,17% de harina de quinua.

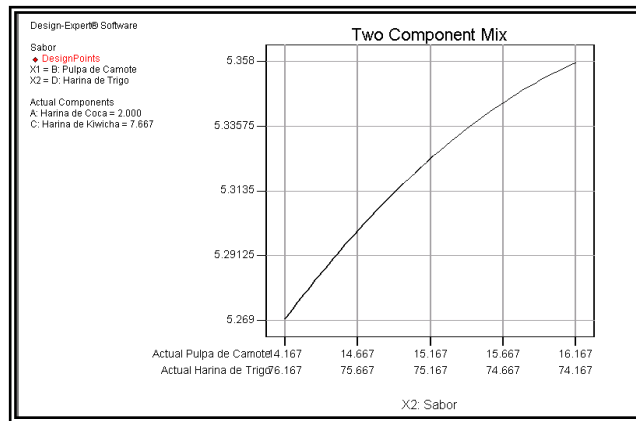


Figura 47: Grafico de interacción BD (Pulpa de camote – Harina de trigo) para la variable respuesta Sabor

En la figura 47 se observa que el camote influye en darle un mejor sabor al pan de molde con respecto de la harina de trigo.

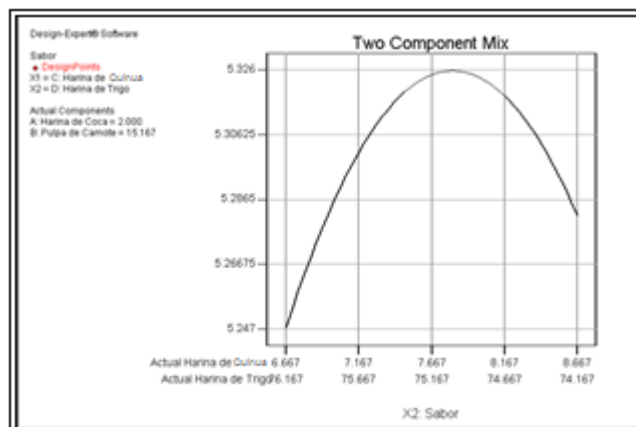


Figura 48: Grafico de interacción CD (Harina de quinua – Harina de trigo) para la variable respuesta Sabor

De la figura 48 se observa que la región óptima para maximizar el sabor comprende entre 7,67% y 8,17% para la harina de quinua y 75,17% y 74,67% para la harina de trigo respectivamente.

Se concluye que la pulpa de camote y la harina de quinua influyen en el grado de aceptación de sabor del pan de molde, pero más significativa es la

harina de coca que afecta considerablemente en disminuir el grado de aceptación del pan de molde, esto debido al contenido de alcaloides, taninos y clorofila.

3.5.3.3. Validación del modelo

Los supuestos a comprobar son normalidad y varianza constante

Supuesto de Normalidad

En la figura 49 se grafican los residuos en papel probabilística normal. Como la mayoría de los puntos se apegan a la línea colocada visualmente, se concluye que no hay transgresiones al supuesto de normalidad

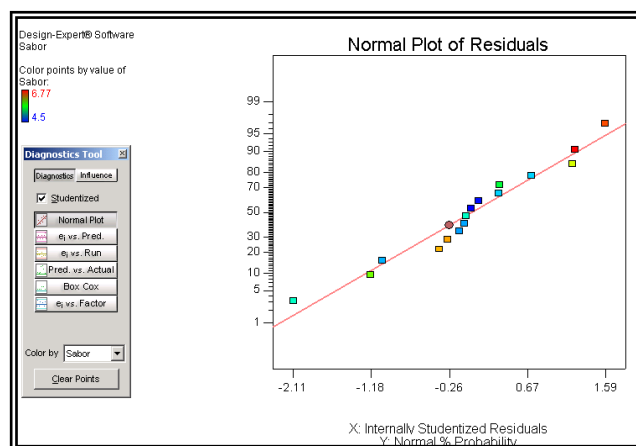


Figura 49: Gráfico de probabilidad para los residuos para la variable respuesta sabor

Supuesto de varianza constante

El supuesto de varianza constante se puede verificar graficando los residuos contra los predichos, se observa que los puntos caen aleatoriamente en el sentido vertical dentro de una banda horizontal y están dentro de dos líneas horizontales que representan los límites superior e

inferior para concluir que el supuesto se cumple. Al observar la figura 50, se comprueba que el supuesto de varianza constante se cumple.

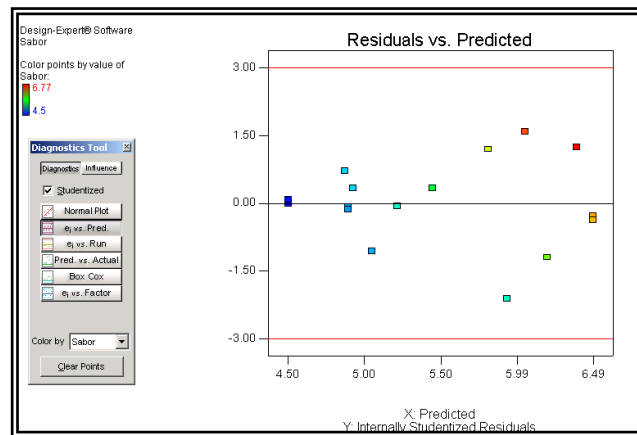


Figura 50: Gráfico de residuos versus valores predichos para la variable respuesta Sabor

3.5.4. Optimización de los parámetros en la elaboración del pan de molde según el diseño planteado

Teniendo en consideración las conclusiones del análisis de proteína, color y sabor esta nos brindará la influencia significativa de cada componente en la mezcla para poder maximizar cada variable, si bien la harina de coca favorece considerablemente en el nivel de proteína sería recomendable utilizar el límite superior de este componente, pero existe una contradicción en el caso de color y sabor pues la harina de coca afecta el grado de aceptación en estas variables, en este caso el programa Design Expert nos ofrece la posibilidad de poder contraponer estos datos y buscar el nivel óptimo maximizando estas variables.

Tabla 36: Criterios para la Optimización de la superficie de respuesta

Nombre	Objetivo	Limite Inferior	Limite Superior	Peso Inferior	Peso Superior	Importancia
Harina de Coca	Maximize	1	3	0,1	1	5
Pulpa de Camote	Maximize	10	20	0,1	1	4
Harina de Quinoa	Maximize	5	10	0,1	1	4
Harina de Trigo	Is in range	70	80	1	1	4
Sabor	Maximize	4,5	6,77	0,1	1	4
Color	Maximize	3,77	7,1	0,1	1	3
Proteína	Maximize	13,93	14,385	0,1	1	5

Al observar la tabla 36 comprobamos que se maximizan todas las variables excepto la harina de trigo, pues esta se mantiene en su rango, en el caso de los componentes de la mezcla le damos más importancia a la harina de coca (5 puntos) pues esta influye en el aporte de proteína al pan de molde, después se considera a la harina de quinoa y pulpa de camote con 4 puntos de importancia.

Se da mayor importancia a la harina de coca y nivel de proteína pues se busca un pan de molde nutritivo y para rescatar sus características organolépticas se da una puntuación de 4 a la aceptación de sabor y posteriormente 3 a la aceptación de color del pan de molde.

Tabla 37: Soluciones de optimización de la superficie de respuesta

N°	Harina de Coca	Pulpa de camote	Harina de quinua	Harina de trigo	Sabor	Color	Proteína	Conveniencia
1	1,00	10,05	8,95	80,00	6,23	6,73	13,99	0,94
2	1,00	16,87	5,00	77,13	6,42	5,82	13,95	0,91
3	2,86	18,78	5,00	73,36	4,99	4,09	14,30	0,85

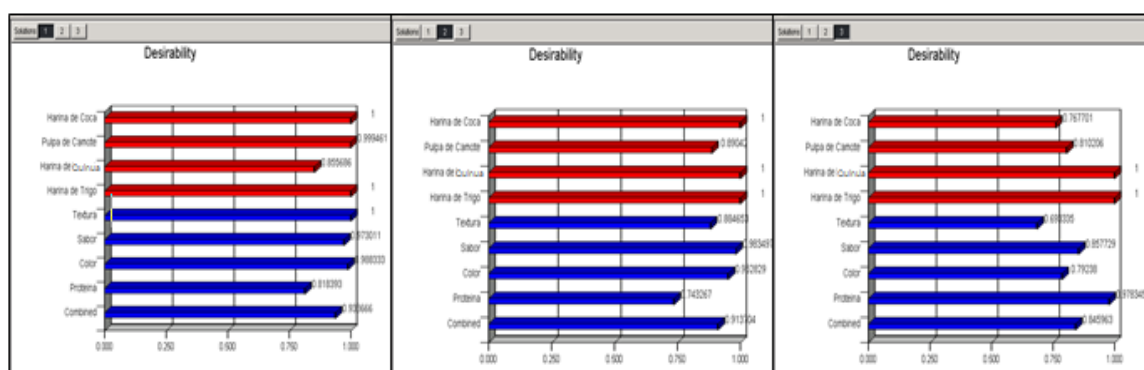


Figura 51: Histograma de la función de conveniencia para las soluciones

En la figura 51 se muestra los histogramas de la función de conveniencia para cada componente, las respuestas y la función de conveniencia global de cada solución. En ellos se observa en qué medida cada solución satisface las condiciones impuestas, la longitud de las barras representan el valor alcanzado por la función de conveniencia para cada componente, cada respuesta y la conveniencia global o combinada.

Las soluciones encontradas alcanzan valores de 0,94; 0,91 y 0,85 de la función de conveniencia global los cuales pudieran ser satisfactorios, aunque no se satisfagan exactamente las restricciones impuestas, Se observa que las dos primeras soluciones satisfacen las exigencias de las características organolépticas del pan de molde, mientras que la tercera solución está más enfocado al nivel proteico.

CONCLUSIONES

- La formulación óptima del pan de molde fue de 1% de harina de coca, 10,05% de pulpa de camote; 8,95% de harina de quinua y 80% de harina de trigo.
- La harina de coca y harina de quinua elevaron el nivel de proteína, pero su influencia en las características organolépticas del pan de molde no fue adecuada por la presencia de harina de coca.
- Los carotenoides de la harina de quinua y de la pulpa de camote predomina en el atributo color del pan de molde.
- La composición química experimental del pan de molde optimizado fue de 26,59% de humedad; 13,07% de proteína; 2,25% de grasa; 57,18% de carbohidratos y 0,91% de cenizas.
- El pan de molde óptimo cumplió con las exigencias sanitarias y microbiológicas según las normas del MINSA (20011), siendo inocuo para su consumo.

RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de panes de molde se pueden emplear otras harinas para enriquecer adecuadamente (chía, harina de kiwicha, pulpa de arracacha).
- Realizar el aminograma y determinación de vitaminas presentes en el producto obtenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Anderson, M. J., Whitcomb, P. J. 2002. Mixture DOE uncovers formulations quicker. *Ruber and Plastics News*, pp. 15-16.
2. Antúnez de Mayolo, S. 1981. *La Nutrición en el Antiguo Perú*. Banco Central de Reserva del Perú. Lima. Perú.
3. Arroyave, L y Esguerra, C. 2007. Utilización de la harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild*) en el proceso de panificación. Tesis Universidad de La Salle. Bogotá. Colombia.
4. Cabieses, C. 1996. "Estudio de Mezclas Proteicas Provenientes de Leguminosas y Cereales Cultivados en el Perú". INDDA, Lima Perú.
5. Calaveras, J. 2013. "Nuevo Tratado de panificación y bollería". Tercera edición. Editorial Mundi Prensa Libros S. A. España.
6. Cardozo, A. y Tapia, M.E. 1979. Valor nutritivo. In. *Quinua y kañiwa. Cultivos andinos. Serie libros y materiales educativos N° 49*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogota. Colombia.
7. Cheftel, C.; Cheftel, H.; 1998. *Introducción a la bioquímica y Tecnología de los alimentos*. España, Acribia; Vol 1; p.333
8. Collazos, C.; White, P.; Vinas, T.; Albistur, R.; Urquirta, R.; 1993. *Composición de los alimentos peruanos*. Séptima edición. Ministerio de salud/ Instituto Nacional de Nutrición.
9. Cordero, T. 2009. Evaluación nutricional de la proteína de la hoja de coca (*Erythroxylum coca Lamarck var. Coca*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
10. Dean, A.; Voss, D. 2009. *Design and Analysis of Experiments*. Springer - Verlag, 740 p

11. Desrosier. N. 2009 Elementos de tecnología de alimentos. Editorial Continental S. A. Tercera edición. Décima reimpresión. México.
12. Duke JA, Aulik D, Plowman T. 1975. *Nutritional value of coca*. Botanical Museum Leaflets Harvard University 1975; 24(6): 113-8.
13. Eriksson, L.; Johansson, E.; Kettaneh-Wold, N.; Wikström, C.; Wold, S. 2001. Design of Experiments. Principles and Applications. Umetrics Academy (Suecia), 320 p.
14. Escobar, M. 1997. La Hoja de Coca, Alimento y Medicina para la Humanidad. Lima, Perú.
15. FAO. 1990. Utilización de alimentos tropicales: raíces y tubérculos. Estudio FAO. Alimentación y Nutrición 47/2. Roma, Italia.
16. FAO. 2000. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y Nutrición. N° 29 ONU. Roma.
17. Folquer, Fausto. 1978. La Batata (Camote) Estudio de la Planta y su producción comercial. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires – Argentina.
18. Fonseca, M., Molina, J. 1996. Resultados de las evaluaciones de un grupo de colecciones de camote con potencial forrajero en la costa central (Huacho 1995-1996).
19. Hosney, 2010. “Principios de Ciencia y Tecnología de los cereales”. Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
20. Huayapa, N. 1990. “Elaboración de una mezcla proteica en base a arroz, kiwicha, soya y frutas”. Tesis UNA La Molina. Lima. Perú.
21. Hurtado, C. 2005. Harina de coca: Solución Prodigiosa Del Hambre-Malnutrición en el Perú y Países Andinos. Perú.

22. ICMSF. 2009. International Commission Microbiological Specifications Foods. 3era edición. Edit. ACRIBIA. Zaragoza. España.
23. Larenas De La F.V., Accatino, L. P. 1994. Producción y uso de la batata o camote (*Ipomoea batatas* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)-Centro Internacional de la Papa (CIP). Serie la Platina No 58. 57p.
24. Lawson, J.; Madrigal, J.L.; Erjavec, J. 1992. Estrategias experimentales para el mejoramiento de la calidad en la industria. Grupo editorial Iberomérica, 378 p.
25. Llosa, T., Chang-F, E., Flores, E., Dongo, S., Luna, LM., Llosa, LM. 2011. Primer Estudio Psicofisiológico y Toxicológico de la Harina de Coca. T. Llosa (ed), Coca Médica, Año 1, N° 1. Lima.
26. López, R., Ramírez, M., González, F., Martínez, A., Espinosa, T. 2002. Una Región de Confianza para las Variables Explicatorias en Experimentos con Mezclas utilizando Calibración. Agrociencia. Vol. 36. No. 5, Septiembre-Octubre p.p. 579-592.
27. Lundstedt, T.; Seifert, E.; Abramo, L.; Thelin, B.; Nyström, A.; Pettersen, J.; Bergaman, R. 1998. Experimental design and optimization. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 42, p. 3 - 40.
28. Machado E. 1972. El género *Erythroxylum* en el Perú, las cocas silvestres y cultivadas en el Perú. Edit. Raymondiana Lima, Perú.
29. Mesas, J. M.; Alegre, M. T. 2002. El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 3, núm. 5. Reynosa, México.

30. MINSA. MINISTERIO DE SALUD. 2011. Dirección General de Salud Ambiental. Norma Sanitaria para la Fabricación, Elaboración y Expendio de Productos de Panificación, Galletería y Pastelería. R.M. N° 1020-2010/MINSA.Lima-Perú.
31. Montaldo, A. 2010. Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
32. Montgomery, D.C. 2002. Diseño y Análisis de experimentos. Editorial Limusa Wiley, 686 p.
33. Muñoz, C y Guzmán, J. 2010. Una exploración de los factores determinantes del rendimiento escolar en la educación primaria. Centro de estudios educativos. Vol. XL, número 2. México.
34. NIST/SEMATECH 2004. Handbook of Statistical Methods. <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.
35. NORMA TECNICA PERUANA. 2011. NTP 206.003. (1976). Pan francés y panes diversos. Requisitos.
36. Núñez de Villavicencio, M. 2000. Diseños de Mezclas. Aspectos teórico prácticos de su aplicación. Tesis de Maestría. I.I.I.A.
37. Peña, D. 2002. Regresión y Diseño de Experimentos. Alianza Editorial S.A., Madrid., 744 p.
38. Pérez, C. 2001. Estadística práctica con Statgraphics. Ed. Prentice Hall. 691 p.
39. Picha, DH. 1986. Influence of storage duration and temperature on sweet potato sugar content and chip color. Journal of Food Science 51(1): 239-240.

40. Quaglia. 2012. Ciencia y tecnología de la panificación. Tercera edición. Editorial Acribia. España.
41. Ramos-Aliaga, R, San Román y Solano, D. 2004. Valor proteico de la hoja de coca libre de alcaloides y pigmentos. Rev. Soc. Quím. Perú, 70, N° 2, (67-75).
42. Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C. and Jacobsen, S.-E. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International. 19(1-2):179-189.
43. Reque, J. 2007. Estudio de prefactibilidad para la fabricación de harina de arroz y su utilización en panificación. Tesis PUCP. Lima. Perú.
44. Risi, J. 1997. La quinua: actualidad y perspectivas. In: Taller sobre desarrollo sostenible de la quinua. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA, Camara de Exportadores. La Paz, Bolivia. 21 de noviembre de 1997
45. Ritva, Repo. 1998. Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos, Lima. Perú.
46. Rodríguez, L. 2011. Elaboración de pan de molde enriquecido con harina de plátano. Informe de prácticas Pre profesionales para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Agroindustrial. UNT. Trujillo. Perú.
47. Rojas, W., M. Pinto y JL. Soto. 2010. Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. In: W. Rojas, M. Pinto, JL. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). Granos Andinos: Avances, logros

- y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioersity International, Roma, Italia. pp 11- 23.
48. Scade J. y García J. 2010. Cereales. Editorial Acribia. España.
 49. Scheffé, H. 1998. Experiments with mixtures. Journal of Royal Statistical Society. Vol. 20, p.p. 344-360.
 50. Scott, G. J., Rosegrant, M. W. y Ringler, C. 2000. Raíces y Tubérculos para el Siglo XXI. Tendencias, Proyecciones y Opciones de Política. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. Washington, D. C., EUA y Centro internacional de la Papa. Lima, Perú.
 51. Shewry, P. R., and Halford, N. G. 2002 Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. Journal of Experimental Botany, 53: 947-958.
 52. Tapia, M. 2012. La Quinoa y Kañiwa, granos andinos, IICA-CIID, Bogota, Colombia.
 53. VILAR, J. 2004. Material didáctico para el estudio de Estadística.
 54. Villareal R., Griggs, D. 1982. Sweet Potato. Proceedings of the first international symposium. China pp. 1-13.
 55. Woolfe, J. 1991. Sweet Potato an untapped food resource. Cambridge University Press. First Edition. England. pp. 128-179.
 56. Yáñez Amayo, V. 2002. Aislamiento y caracterización de marcadores moleculares microsatélites a partir de la construcción de librerías genómicas enriquecidas de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

PAGINAS WEB

- www.botanical-online.com/coca
- es.wikipedia.org/quinua
- <http://www.euf.org/sp/food/pag/food32/food324.htm>
- [/es.wikipedia.org/wiki/Chenopodium_quinoa](http://es.wikipedia.org/wiki/Chenopodium_quinoa)
- www.prodiversitas.bioetica.org
- www.prodiversitas.bioetica.org

ANEXOS

ANEXO 1

NORMA DEL CODEX PARA LA HARINA DE TRIGO

CODEX STAN 152-1985

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

- 1.1 La presente Norma se aplica a la harina de trigo para el consumo humano, elaborada con trigo común, *Triticum aestivum* L. o con trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o una mezcla de los mismos, que ha sido preenvasada y está lista para la venta al consumidor o está destinada para utilizarla en la elaboración de otros productos alimenticios.
- 1.2 No se aplica:
- a ningún producto elaborado con trigo duro, *Triticum durum* Desf., solamente o en combinación con otros trigos;
 - a la harina integral, a la harina o sémola de trigo entero, a la harina fina de trigo común *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado *Triticum compactum* Host., o una mezcla de los mismos;
 - a la harina de trigo destinada a utilizarse como aditivo en la elaboración de la cerveza o para la elaboración del almidón y/o el gluten;
 - a la harina de trigo destinada a la industria no alimentaria;
 - a las harinas cuyo contenido de proteínas se haya reducido o a las que, después del proceso de molienda, hayan sido sometidas a un tratamiento especial que no sea el de secado o blanqueado, y/o a las cuales se les hayan agregado otros ingredientes distintos de los mencionados en las secciones 3.2.2 y 4.

2. DESCRIPCIÓN

2.1 Definición del producto

Por harina de trigo se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura.

3. COMPOSICIÓN ESENCIAL Y FACTORES DE CALIDAD

3.1 Factores de calidad – generales

- 3.1.1 La harina de trigo, así como todos los ingredientes que se agreguen, deberán ser inocuos y apropiados para el consumo humano.
- 3.1.2 La harina de trigo deberá estar exenta de sabores y olores extraños y de insectos vivos.
- 3.1.3 La harina de trigo deberá estar exenta de suciedad (impurezas de origen animal, incluidos insectos muertos), en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.

3.2 Factores de calidad – específicos

3.2.1 Contenido de humedad 15,5 % m/m máximo

Para determinados destinos, por razones de clima, duración del transporte y almacenamiento, deberían requerirse límites de humedad más bajos. Se pide a los gobiernos que acepten esta Norma que indiquen y justifiquen los requisitos vigentes en su país.

3.2.2 Ingredientes facultativos

Los siguientes ingredientes pueden agregarse a la harina de trigo en las cantidades necesarias para fines tecnológicos:

- productos malteados con actividad enzimática, fabricado con trigo, centeno o cebada;
- gluten vital de trigo;
- harina de soja y harina de leguminosas.

4. ADITIVOS ALIMENTARIOS

4.1 Enzimas		Nivel máximo en el producto terminado
4.1.1	Amilasa fúngica de <i>Aspergillus niger</i>	BPF
4.1.2	Amilasa fúngica de <i>Aspergillus oryzae</i>	BPF
4.1.3	Enzima proteolítica de <i>Bacillus subtilis</i>	BPF
4.1.4	Enzima proteolítica de <i>Aspergillus oryzae</i>	BPF
4.2 Agentes para el tratamiento de las harinas		Nivel máximo en el producto terminado
4.2.1	Ácido ascórbico L. y sus sales de sodio y potasio	300 mg/kg
4.2.2	Hidrocloreuro de L.-cisteína	90 mg/kg
4.2.3	Dióxido de azufre (en harinas utilizadas únicamente para la fabricación de bizcochos y pastas)	200 mg/kg
4.2.4	Fosfato monocalcico	2 500 mg/kg
4.2.5	Lecitina	2 000 mg/kg
4.2.6	Cloro en tortas de alto porcentaje	2 500 mg/kg
4.2.7	Dióxido de cloro para productos de panadería crecidos con levadura	30 mg/kg
4.2.8	Peróxido benzoílico	60 mg/kg
4.2.9	Azodicarbonamida para pan con levadura	45 mg/kg

5. CONTAMINANTES

5.1 Metales pesados

La Harina de trigo deberá estar exenta de metales pesados en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.

5.2 Residuos de plaguicidas

La harina de trigo se deberá ajustar a los límites máximos para residuos establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.

5.3 Micotoxinas

La harina de trigo deberá ajustarse a los límites máximos para micotoxinas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.

6. HIGIENE

- 6.1 Se recomienda que el producto regulado por las disposiciones de esta Norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones apropiadas del *Código Internacional de Prácticas Recomendado – Principios Generales de Higiene de los Alimentos* (CAC/RCP 1-1969) y otros códigos de prácticas recomendados por la Comisión del Codex Alimentarius que sean pertinentes para este producto.
- 6.2 En la medida de lo posible, con arreglo a las buenas prácticas de fabricación, el producto estará exento de materias objetables.
- 6.3 Cuando se analice mediante métodos apropiados de muestreo y análisis, el producto:
- deberá estar exento de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud;
 - deberá estar exento de parásitos que puedan representar un peligro para la salud; y
 - no deberá contener ninguna sustancia procedente de microorganismos en cantidades que puedan representar un peligro para la salud.

7. ENVASADO

- 7.1 La harina de trigo deberá envasarse en recipientes que salvaguarden las cualidades higiénicas, nutritivas, tecnológicas y organolépticas del producto.
- 7.2 Los recipientes, incluido el material de envasado, deberán estar fabricados con sustancias que sean inocuas y adecuadas para el uso al que se destinan. No deberán transmitir al producto ninguna sustancia tóxica ni olores o sabores desagradables.
- 7.3 Cuando el producto se envase en sacos, éstos deberán estar limpios, ser resistentes, y estar bien cosidos o sellados.

8. ETIQUETADO

Además de los requisitos de la *Norma General del Codex para el Etiquetado de los Alimentos Preenvasados* (CODEX STAN 1-1985) deberán aplicarse las siguientes disposiciones específicas:

8.1 Nombre del producto

- 8.1.1 El nombre del producto que deberá aparecer en la etiqueta será "harina de trigo".

8.2 Etiquetado de envases no destinados a la venta al por menor

La información relativa a los envases no destinados a la venta al por menor deberá figurar en el envase o en los documentos que lo acompañan, salvo que el nombre del producto, la identificación del lote y el nombre y la dirección del fabricante o envasador deberán aparecer en el envase. No obstante, la identificación del lote y el nombre y la dirección del fabricante o envasador podrán ser sustituidos por una marca de identificación, siempre que tal marca sea claramente identificable con los documentos que acompañen al envase.

9. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO

Véase textos relevantes del Codex sobre métodos de análisis y muestreo.

APÉNDICE

En los casos en que figure más de un límite de factor y/o método de análisis se recomienda encarecidamente a los usuarios que especifiquen el límite y método de análisis apropiados.

Factor/Descripción	Límite	Método de análisis
CENIZA	A gusto del comprador	AOAC 923.03 ISO 2171:1980 Método ICC No. 10411 (1999)
ACIDEZ DE LA GRASA	Máx. 70 mg por 100 g de harina respecto a la materia seca expresada como ácido sulfúrico - o - Se necesitará no más de 50 mg de hidróxido de	Método ISO 7305 (1988) - o - AOAC 939.05
PROTEINA (N x 5,7)	Min. 7,0 % referido al peso del producto seco	ICC 105/1 - Método de determinación de la proteína bruta en cereales y productos a base de cereales para alimentos de consumo humano y piensos, utilizando catalizador de selenio/cobre (Método del Tipo I)
SUSTANCIAS NUTRITIVAS ,, vitaminas ,, minerales	De conformidad con la legislación del país en que se vende el producto	No se ha definido ningún método
TAMAÑO DE LAS PARTICULAS (GRANULOSIDAD)	El 98 % o más de la harina deberá pasar a través de un tamiz (No. 70) de 212 micras	AOAC 965.22

ANEXO 2

“DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA”

METODOLOGIA

- (a) A 2.0 g de muestra se le extrae la grasa, la que si es menor del 1% la extracción puede ser omitida.
- (b) Transferir a un vaso de 600 ml, evitar la contaminación con la fibra de papel.
- (c) Agregar 1 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo.
- (d) Colocar el vaso en el aparato sobre la placa caliente preajustada para que hierva exactamente 30 minutos. Girar el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.
- (e) Quitar el vaso y filtrar a través de papel o tela de lino.
- (f) Enjuagar el vaso con 50-70 ml de agua hirviendo y verterla sobre el papel satinado o el lino.
- (g) Lavar el residuo tantas veces como sea necesario, hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual al del agua destilada.
- (h) Transferir el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 1.25% hirviendo y calentar a ebullición exactamente 30 minutos.
- (i) Quitar el vaso y filtrar en buckner con papel filtro de masa cocida y cenizas conocidas.

(j) Lavar con agua hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual al del agua destilada. Transferir el residuo a un crisol a masa constante y secar a 130°C durante 2 horas.

(k) Enfriar y determinar su masa.

(l) Calcinar a 600°C durante 30 minutos.

(m) Enfriar y determinar su masa.

CÁLCULOS

$$\% \text{ de fibra cruda} = \frac{(P_s - P_p) - (P_c - P_{cp})}{M} \times 100$$

Donde:

P_s = masa en gramos del residuo seco a 130°C.

P_p = masa en gramos de papel filtro.

P_{cp} = masa en gramos de las cenizas del papel.

M = masa de la muestra en gramos.

P_c = masa en gramos de las cenizas.

ANEXO 3

CARTILLA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

Nombre:.....Fecha:

Instrucciones: Pruebe la muestra e indique con una “X” su nivel de agrado con la escala a que se presenta a continuación:

ATRIBUTO: COLOR

ESCALA	M U E S T R A					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Gusta muchísimo						
Gusta mucho						
Gusta moderadamente						
Gusta poco						
Disgusta un poco						
Disgusta mucho						
Disgusta muchísimo						

ATRIBUTO: SABOR

ESCALA	M U E S T R A					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Gusta muchísimo						
Gusta mucho						
Gusta moderadamente						
Gusta poco						
Disgusta un poco						
Disgusta mucho						
Disgusta muchísimo						