

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“ELABORACIÓN DE UN BOCADITO EXTRUIDO DE QUINUA,
TARWI Y FÉCULA DE CAMOTE PARA NIÑOS ESCOLARES”**

Presentado por:

KATHERINE PIERINA PÉREZ RAMOS

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

Lima – Perú

2019

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“ELABORACIÓN DE UN BOCADITO EXTRUIDO DE QUINUA, TARWI Y
FÉCULA DE CAMOTE PARA NIÑOS ESCOLARES”**

Presentado por:

KATHERINE PIERINA PÉREZ RAMOS

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

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**Mg.Sc. Gloria Pascual Chagman
PRESIDENTE**

**Mg.Sc. Laura del Rosario Linares
García
MIEMBRO**

**Ph.D. Ritva Ann Mari Repo de Carrasco
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Carlos Cesar Augusto Elías
Peñañiel
ASESOR**

**Mg.Sc. Víctor Daniel Delgado Soriano
CO-ASESOR**

Lima – Perú

2019

*Esta tesis se la dedico a mis padres,
Percy y Lily, porque mis logros son
los suyos también.*

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y ser mi fortaleza.

A mi familia, por su amor y apoyo constante.

A mis asesores Mg.Sc. Carlos Elías Peñafiel y Mg.Sc. Víctor Delgado Soriano, por brindarme su tiempo, conocimientos, recomendaciones y respaldo durante toda la investigación, muchas gracias.

A los ingenieros Jorge Cabrera y Jorge Mayeda de la empresa VIOPERU E.I.R.L, por la confianza y permitirme ser parte del proyecto PIMEN-9-P-021-012-15.

A INNOVATE PERÚ por el financiamiento en el desarrollo de la investigación.

A mis amigos de la universidad, por ser parte de mi vida y alentarme siempre; y en especial a Miguel, por brindarme su apoyo incondicional.

A los técnicos de los laboratorios de la FIAL, Sr. Máx, Zahara, Yelena, Juan, y al Sr. Mauro del Laboratorio de Evaluación Biológica, por facilitarme el uso de los laboratorios y compartir sus conocimientos.

A todas las personas que de alguna manera han hecho posible la realización y culminación de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1.	MALNUTRICIÓN EN EL PERÚ	4
2.1.1.	SOBREPESO Y OBESIDAD	5
2.1.2.	SOBREPESO Y OBESIDAD EN NIÑOS EN EDAD ESCOLAR EN EL PERÚ	5
2.2.	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN NIÑOS EN EDAD ESCOLAR	7
2.3.	QUINUA	9
2.3.1.	ASPECTOS GENERALES	9
2.3.2.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	10
2.3.3.	GRANO DE QUINUA	10
2.3.4.	VALOR NUTRICIONAL DEL GRANO DE QUINUA	11
2.3.5.	USOS DEL GRANO DE QUINUA	16
2.4.	TARWI	17
2.4.1.	ASPECTOS GENERALES	17
2.4.2.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	18
2.4.3.	VALOR NUTRICIONAL DEL GRANO DE TARWI	18
2.4.4.	USOS DEL GRANO DE TARWI	21
2.5.	FÉCULA DE CAMOTE	22
2.5.1.	UTILIZACIÓN DE FÉCULA DE CAMOTE	23
2.6.	EXTRUSIÓN	23
2.6.1.	TIPOS DE EXTRUSOR	24
2.6.2.	CAMBIOS FÍSICOQUÍMICOS DURANTE LA EXTRUSIÓN	27
2.7.	CALIDAD PROTEICA	29
2.8.	DISEÑO DE MEZCLAS	31
2.8.1.	RESTRICCIONES EN LOS COMPONENTES DE UNA MEZCLA	34

2.9.	EVALUACIÓN SENSORIAL	35
2.9.1.	PRUEBAS DE MEDICIÓN DEL GRADO DE SATISFACCIÓN	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	39
3.2.	MATERIA PRIMA E INSUMOS	39
3.2.1.	MATERIA PRIMA	39
3.2.2.	INSUMOS	39
3.3.	MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS	39
3.3.1.	MATERIALES	39
3.3.2.	REACTIVOS	40
3.3.3.	EQUIPOS	41
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	42
3.4.1.	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	42
3.4.2.	DETERMINACIÓN DE ALCALOIDES TOTALES	44
3.4.3.	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	45
3.4.4.	DENSIDAD APARENTE	45
3.4.5.	DUREZA	45
3.4.6.	ANÁLISIS SENSORIAL	45
3.4.7.	VALOR BIOLÓGICO VERDADERO Y DIGESTIBILIDAD VERDADERA	46
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	47
3.5.1.	OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA	47
3.5.2.	OBTENCIÓN DE LA HARINA DE TARWI	48
3.5.3.	ELABORACIÓN DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS	50
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL	53
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	59
3.7.1.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO PROTEICO, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA	59
3.7.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1.	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS	63

4.1.1.	QUINUA	63
4.1.2.	TARWI	64
4.1.3.	FÉCULA DE CAMOTE	66
4.2.	ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS	67
4.2.1.	CONTENIDO DE PROTEÍNA	67
4.2.2.	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	69
4.2.3.	DENSIDAD APARENTE	72
4.2.4.	DUREZA	74
4.3.	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO DE PROTEÍNA, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS	77
4.3.1.	CONTENIDO DE PROTEÍNA	77
4.3.2.	ÍNDICE DE EXPANSIÓN	81
4.3.3.	DENSIDAD APARENTE	85
4.3.4.	DUREZA	90
4.4.	ANÁLISIS SENSORIAL	93
4.5.	OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA	95
4.6.	VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	98
4.7.	ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	99
4.8.	VALOR BIOLÓGICO VERDADERO Y DIGESTIBILIDAD VERDADERA DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	101
V.	CONCLUSIONES	104
VI.	RECOMENDACIONES	105
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
VIII.	ANEXOS	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Requerimiento energético estimado (REE), Cantidad diaria recomendada (CDR) e Ingesta adecuada (IA) de agua, energía y macronutrientes	8
Cuadro 2: Patrón de requerimiento de aminoácidos en niños en edad escolar	9
Cuadro 3: Composición química del grano de quinua	12
Cuadro 4: Composición proximal de cereales y granos andinos (g/100 g materia seca)	12
Cuadro 5: Contenido de aminoácidos en granos (g aminoácidos/16 g Nitrógeno)	13
Cuadro 6: Composición mineral (mg/kg de peso seco) y concentración de vitaminas (mg/100 g de peso seco) en quinua y algunos cereales	15
Cuadro 7: Comparación de la composición del tarwi y soya (g/100 g)	18
Cuadro 8: Contenido de aminoácidos en tarwi, soya, frijol y maní (mg/g de N Total)	19
Cuadro 9: Composición de ácidos grasos del tarwi (% de ácidos grasos totales)	20
Cuadro 10: Restricciones sobre los ingredientes que conforman el bocadito extruido	53
Cuadro 11: Formulaciones dadas por el programa Design-Expert® en base a las restricciones impuestas	54
Cuadro 12: Diseño experimental de la investigación	58
Cuadro 13: Diseño de bloques incompletos balanceados utilizado en el análisis sensorial de las 16 formulaciones de bocaditos extruidos	61
Cuadro 14: Composición químico proximal de la harina de quinua	63
Cuadro 15: Composición químico proximal de tarwi crudo y harina de tarwi	64
Cuadro 16: Contenido de alcaloides totales en tarwi desamargado	
Cuadro 17: Composición químico proximal de la fécula de camote	66
Cuadro 18: Valores observados y estimados del contenido de proteína en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos	67
Cuadro 19: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos	68

Cuadro 20: Valores observados y estimados del índice de expansión en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos	70
Cuadro 21: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el índice de expansión de los bocaditos extruidos	71
Cuadro 22: Valores observados y estimados de la densidad aparente en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos	72
Cuadro 23: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la densidad aparente de los bocaditos extruidos	73
Cuadro 24: Valores observados y estimados de la dureza en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos	74
Cuadro 25: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la dureza de los bocaditos extruidos	76
Cuadro 26: Formulaciones obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas	97
Cuadro 27: Resultados de la prueba experimental y rangos de validación de las variables respuesta en la formulación óptima	98
Cuadro 28: Composición químico proximal del bocadito extruido correspondiente a la formulación óptima	99
Cuadro 29: Contenido de proteína, grasa y carbohidratos de bocaditos comerciales y la formulación óptima	100
Cuadro 30: Digestibilidad proteica verdadera y valor biológico verdadero del bocadito extruido óptimo	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tendencia del sobrepeso y obesidad en niños de 5 a 9 años 2007-2014, Perú	6
Figura 2: Partes del grano de quinua	11
Figura 3: Usos del grano de quinua	16
Figura 4: Sistema coordinado trilineal	32
Figura 5: Ejemplo de escala facial. La escala varía desde “muy desagradable” (1) hasta “muy agradable” (5)	38
Figura 6: Flujo de operaciones para la obtención de harina de quinua	48
Figura 7: Flujo de operaciones para la obtención de harina de tarwi	50
Figura 8: Flujo de operaciones para la elaboración de bocaditos extruidos	52
Figura 9: Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones sobre los niveles de harina de quinua, tarwi y fécula de camote.	55
Figura 10: Superficie de respuesta para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos	78
Figura 11: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos	79
Figura 12: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos	80
Figura 13: Superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos	81
Figura 14: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos	82
Figura 15: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para el índice de expansión de los bocaditos extruidos	83
Figura 16: Superficie de respuesta para la densidad aparente de los bocaditos extruidos	86
Figura 17: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para la densidad aparente de los bocaditos extruidos	87

Figura 18: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para la densidad aparente de los bocaditos extruidos	88
Figura 19: Superficie de respuesta para la dureza de los bocaditos extruidos	90
Figura 20: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para la dureza de los bocaditos extruidos	91
Figura 21: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para la dureza de los bocaditos extruidos	92
Figura 22: Promedio de las respuestas obtenidas del análisis sensorial	95
Figura 23: Zona de formulación factible	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO	116
ANEXO 2: COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTAL Y APROTEICA	117
ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA Y VALOR BIOLÓGICO VERDADERO DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	117
ANEXO 4: DESARROLLO DE LA PRUEBA DE DURBIN	129
ANEXO 5: DESAMARGADO DE TARWI	149
ANEXO 6: ANÁLISIS REALIZADOS A LOS BOCADITOS EXTRUIDOS	150
ANEXO 7: DIGESTIBILIDAD Y VALOR BIOLÓGICO VERDADERO REALIZADO EN RATAS	151
ANEXO 8: BOCADITOS EXTRUIDOS CORRESPONDIENTES A LAS 16 FORMULACIONES	152

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la elaboración de un bocadito extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y fécula de camote (*Ipomoea batatas* L.) destinado a niños en etapa escolar. Para su formulación se aplicó el método de diseño de mezclas usando la herramienta computacional - estadística Design Expert® versión 7.0, siendo las variables independientes las harinas de quinua, tarwi y fécula de camote; y las variables dependientes, el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza de los bocaditos extruidos elaborados a partir de las 16 formulaciones obtenidas del diseño de mezclas. La formulación óptima se determinó aplicando la prueba de deseabilidad basada en los modelos de regresión ajustados, dicha formulación se obtuvo maximizando el contenido de proteína e índice de expansión; y minimizando la dureza y la densidad aparente de los extruidos. La formulación óptima tuvo un porcentaje de quinua, tarwi y fécula de camote de 57 por ciento, 26 por ciento y 17 por ciento respectivamente. El análisis fisicoquímico de la fórmula óptima dio como resultado 20,16 por ciento de proteína, 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm³ densidad aparente y 9,31 N de dureza. La calidad proteica de la formulación óptima fue determinada mediante el ensayo de digestibilidad verdadera y valor biológico verdadero en ratas, obteniéndose 83,5 por ciento y 62,9 por ciento respectivamente. Además, se realizó la evaluación sensorial en niños escolares de los bocaditos extruidos recubiertos con una solución de miel a 50°Brix, mediante la cual se determinó que no hubo diferencia significativa en el nivel de agrado y que todas las formulaciones fueron del agrado de los niños.

Palabras clave: diseño de mezclas; quinua; tarwi; fécula de camote; extrusión.

ABSTRACT

The aim of this research was to elaborate an extruded snack from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) and sweet potato starch (*Ipomoea batatas* L.) for school children. For its formulation, the mixture design method was applied using Design Expert® 7.0 software. Quinoa, tarwi and sweet potato starch were the independent variables, and the dependent variables were the protein content, expansion index, bulk density and hardness of the extrudates snacks of the 16 formulations obtained from the design of mixtures. The optimal formulation was determined by applying the test of desirability based on adjusted regression models, this formulation was obtained by maximizing the protein content and expansion index, and minimizing the hardness and bulk density of the extrudates. The optimal formulation was obtained from a mixture of quinoa, tarwi and sweet potato starch of 57 percent, 26 percent, and 17 percent respectively. Physicochemical analysis of the optimal formula resulted in 20,16% protein, 2,19 expansion index, 0,220 g/cm³ bulk density and 9,31 N hardness. The protein quality of the optimal formulation was determined by the assays of true protein digestibility and true biological value in rats, obtaining 83,5 percent and 62,9 percent, respectively. In addition, sensory evaluation of the extruded snacks coated with a honey solution at 50 ° Brix was carried out in school children, through which it was determined that there was no significant difference in the degree of pleasure and all formulations were liked by children.

Key words: mixture design; quinoa; tarwi; sweet potato starch; extrusion.

I. INTRODUCCIÓN

La malnutrición es un problema que afecta al Perú, ya sea si es por déficit (desnutrición) o por exceso (sobrepeso y obesidad). Sus efectos en la niñez se prolongan a lo largo de la vida, incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónico - degenerativas (diabetes, hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares, cáncer, etc.) que afectarían la calidad de vida en la etapa adulta (Tarqui *et al.*, 2015).

En los últimos años la malnutrición por exceso ha mostrado un incremento en niños en edad escolar. En el estudio del Estado nutricional por etapas de vida en la población peruana 2013-2014 se ha reportado un notable incremento del exceso de peso, donde el 17,5 por ciento de niños entre cinco y nueve años tuvieron sobrepeso y el 14,8 por ciento, obesidad (Tarqui *et al.*, 2015). La exposición a alimentos hipercalóricos, ricos en grasas saturadas, azúcar y sal, y pobres en nutrientes; junto a una escasa actividad física produce un desequilibrio energético entre las calorías consumidas y gastadas, que resulta en el crecimiento del sobrepeso y la obesidad (Morán y Narváez, 2015).

Uno de los productos que tienen gran aceptación entre los niños son los bocaditos, que suelen ser tildados como productos no saludables ya que se caracterizan por presentar altas cantidades de azúcar, grasa, sal, colorantes, saborizantes y ser bajos en nutrientes; contribuyendo de esta manera, con el incremento de los problemas de salud en los consumidores. En estudios previos, los consumidores conscientes de las consecuencias que producen el consumo de bocaditos no saludables, expresaron su preferencia hacia bocaditos que presenten los siguientes atributos: ingredientes naturales, libres de colorantes y sabores artificiales, libre de organismos genéticamente modificados; bajos en sodio, azúcar, grasa, calorías; altos en proteína, fibra y con granos enteros (The Nielsen Company, 2014).

El desarrollo de nuevos productos con dichas características requiere del uso de tecnologías en el procesamiento de alimentos. Una tecnología utilizada en el desarrollo de bocaditos es la cocción por extrusión, que tiene los beneficios de desnaturalizar las enzimas indeseables,

inactivar algunos factores antinutricionales (inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos), mejorar la digestibilidad del almidón y de las proteínas, esterilizar el producto terminado y conservar los colores y sabores naturales de los alimentos (Singh *et al.*, 2007a). Además, la extrusión es una tecnología que permite crear nuevos productos utilizando ingredientes tradicionales y novedosos para la fabricación de bocaditos saludables.

Los cereales son las materias primas más utilizadas en la elaboración de alimentos extruidos, principalmente debido a las propiedades funcionales, bajo costo y disponibilidad. Sin embargo, se pueden utilizar de manera efectiva, leguminosas y semillas oleaginosas debido al alto contenido de proteína para obtener una mejora nutricional de los aperitivos extruidos a base de cereales (Deshpande y Poshadri, 2011).

El tarwi es una leguminosa de alto valor nutritivo ya que puede alcanzar hasta un 50 por ciento de proteína en el grano y presenta mayor contenido de triptófano y tirosina frente a otras leguminosas como la soya y el frijol (Camarena *et al.*, 2012). Si bien el contenido de proteínas es alto, existe una deficiencia del aminoácido esencial metionina, lo que disminuye la calidad de la proteína del tarwi o chocho; sin embargo cuando es mezclado con alguno de los granos andinos, se convierte en un alimento completo en cuanto a contenido de proteínas (Tapia *et al.*, 2007).

La quinua es un grano andino que presenta un alto contenido en proteínas (alrededor del 15 por ciento), las cuales son principalmente albúminas y globulinas. Su balance de aminoácidos esenciales es excelente debido a un espectro de aminoácidos más amplio que en los cereales y leguminosas. Por ello, las proteínas de la quinua son capaces de complementar las proteínas de cereales o leguminosas (Abugoch *et al.*, 2008).

Las raíces de camote o batata dulce están compuestas principalmente por carbohidratos, siendo la mayor parte almidón ya que representa hasta aproximadamente el 80 por ciento de la materia seca (Wang *et al.*, 2016). Las características funcionales del almidón contribuyen en gran medida a diversas aplicaciones, incluyendo espesantes, gelificantes, estabilizantes, aglutinantes y agentes de retención de la humedad (Srichuwong y Jane, 2007).

En estudios anteriores se ha demostrado que es factible el uso de granos andinos en la elaboración de alimentos extruidos. Por ejemplo, en el estudio realizado por Ramos *et al.* (2017) se demostró que es posible producir extruidos a base de maíz que contienen hasta 50% de kañiwa o como máximo 20% de lupino manteniendo un alto valor de índice de expansión y mejorando su valor nutricional.

En este contexto, la presente investigación tuvo como principal objetivo la elaboración de un bocadito extruido a base de tarwi, quinua y fécula de camote, dirigido a niños en edad escolar.

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar, mediante el diseño de mezclas, la formulación óptima maximizando el contenido de proteínas, índice de expansión; y minimizando la dureza y densidad aparente de los extruidos.

- Determinar la calidad proteica de la formulación óptima mediante el ensayo de digestibilidad verdadera y valor biológico verdadero en ratas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MALNUTRICIÓN EN EL PERÚ

La Organización Mundial de la Salud define a la malnutrición como las carencias, excesos y desequilibrios de la ingesta calórica y de nutrientes de una persona. Abarca tres grandes grupos de afecciones:

- La desnutrición, que incluye la emaciación (un peso insuficiente respecto de la talla), el retraso del crecimiento (una talla insuficiente para la edad) y la insuficiencia ponderal (un peso insuficiente para la edad);
- La malnutrición relacionada con los micronutrientes, que incluye las carencias de micronutrientes (la falta de vitaminas o minerales importantes) o el exceso de micronutrientes; y
- El sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación (como las cardiopatías, la diabetes y algunos cánceres) (WHO, 2017a).

En el Perú, la malnutrición es un problema de salud pública, que está condicionada por determinantes de la salud, expresados como factores sociales y de desarrollo, asociados con la pobreza y brechas de inequidad (Salinas *et al.*, 2011).

El panorama es preocupante ya que en el país subsiste paralelamente una malnutrición por déficit (retardo de crecimiento y deficiencia de micronutrientes como el hierro, vitamina A, yodo, ácido fólico, zinc, calcio) y una malnutrición por exceso (sobrepeso y obesidad) siendo estos dos últimos, factores de riesgo asociados a un predominio de enfermedades crónico-degenerativas no transmisibles que afectan la calidad de vida en la etapa adulta (Salinas *et al.*, 2011).

2.1.1. SOBREPESO Y OBESIDAD

Según el Salinas *et al.* (2011), los factores más importantes implicados en la obesidad parecen ser los hábitos dietéticos y de actividad física, que están afectados por genes, que a su vez afectan al gasto energético, al metabolismo de sustratos energéticos y al consumo de alimentos. Sin embargo, las crecientes tasas de obesidad no pueden ser explicadas exclusivamente por causas genéticas, ya que en algunos casos están asociados con el consumo de dietas de alta densidad energética o ricas en grasa y por el creciente sedentarismo de las sociedades, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Los factores más reconocidos son: el consumo de energía con presencia elevada de carbohidratos refinados altos en grasa y bajos en fibra y el nivel de actividad física. Es en base a las determinantes de estas y la asociación de sobrepeso y obesidad con las enfermedades no transmisibles, asociadas a la dieta, que se han incrementado en los últimos años en la población peruana.

2.1.2. SOBREPESO Y OBESIDAD EN NIÑOS EN EDAD ESCOLAR EN EL PERÚ

Los resultados del estudio del Estado Nutricional por Etapas de Vida en la Población Peruana 2013-2014 (Tarqui *et al.*, 2015), indicaron que en los niños de cinco a nueve años hubo un incremento del exceso de peso en 2.9 puntos porcentuales respecto al informe del 2012-2013. El estudio señala que aproximadamente la tercera parte de los niños de este grupo etario tuvieron sobrepeso u obesidad.

Cabe resaltar que dos de cada cinco niños tuvieron exceso de peso (sobrepeso u obesidad) en la zona rural y fue más predominante en Lima Metropolitana y en la región costa.

En la Figura 1 se observa la tendencia al incremento del sobrepeso y la obesidad en el Perú, donde el 17,5 por ciento de niños entre 5 y 9 años tuvieron sobrepeso y el 14,8 por ciento, obesidad (Tarqui *et al.*, 2015).

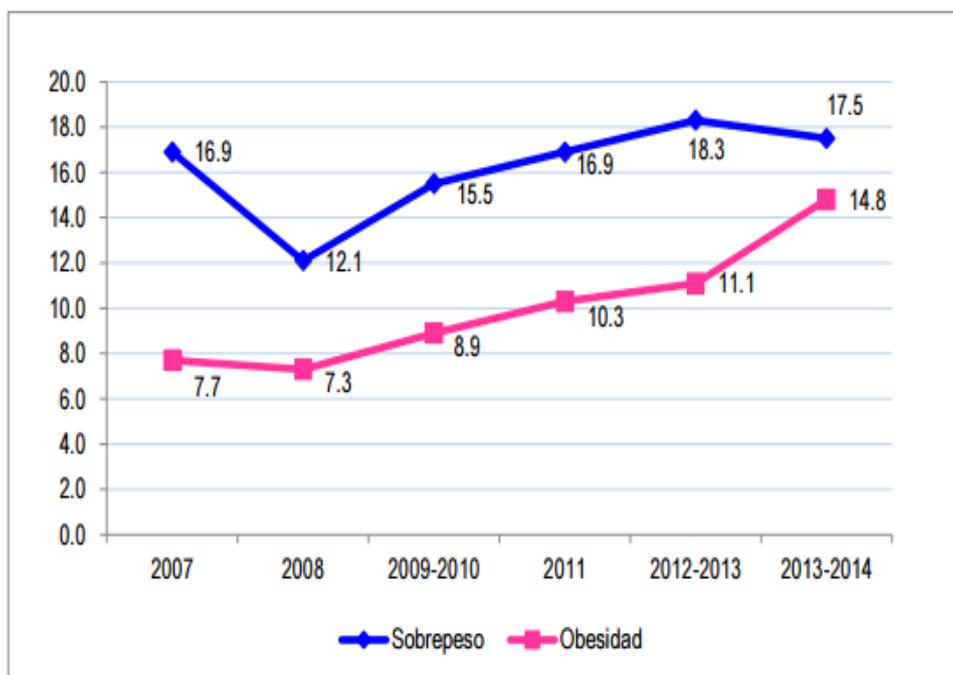


Figura 1: Tendencia del sobrepeso y obesidad en niños de 5 a 9 años 2007-2014, Perú

FUENTE: Tarqui *et al.*, (2015)

El incremento del sobrepeso y obesidad en los niños es una situación preocupante, ya que un niño obeso tiene más riesgo de ser obeso en la adultez comparado con los niños con estado nutricional normal, incrementando el riesgo de aparición de patologías crónicas en la edad adulta, como hipertensión, diabetes mellitus, hiperlipoproteinemia y enfermedades cardiovasculares que condicionarán a una menor esperanza de vida y un aumento en el deterioro de la calidad de vida (Rosado-Cipriano *et al.*, 2011).

La WHO (2017b) señala que la causa fundamental del sobrepeso y la obesidad infantil es el desequilibrio entre la ingesta calórica y el gasto calórico, producido por la disminución de la actividad física y el aumento de la ingesta de alimentos hipercalóricos con abundantes grasas y azúcares, pero con escasas vitaminas, minerales y otros micronutrientes saludables.

2.2. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES EN NIÑOS EN EDAD ESCOLAR

Según Hidalgo y Güemes (2011) el periodo escolar comprende desde los 6 hasta aproximadamente los 12 años con el comienzo de la pubertad. Durante este periodo, se produce una desaceleración en la velocidad de crecimiento en comparación con la etapa preescolar, que se traduce en una disminución de las necesidades de nutrientes y del apetito. No obstante, durante la edad escolar, la nutrición adecuada desempeña todavía una función importante para asegurar que el niño alcance su pleno potencial de crecimiento, desarrollo y salud para evitar problemas de nutrición (Brown *et al.*, 2013).

Los niños requieren alimentos variados que proporcionen suficientes proteínas, energía, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales para el crecimiento y desarrollo óptimos. En el Cuadro 1 se muestran el Requerimiento energético estimado, Cantidad diaria recomendada e Ingesta adecuada de agua, energía y macronutrientes en niños en edad escolar.

Las necesidades de energía de los niños en esta etapa reflejan el índice de crecimiento lento pero estable de esta etapa del desarrollo, que dependen de su nivel de actividad y talla corporal. El consumo de proteínas para niños de edad escolar es de 0.95 g de proteína/kg de peso corporal al día para niñas y niños de 4 a 13 años. Según encuestas de consumo de alimentos en niños, la ingesta promedio de la mayoría de los nutrientes satisface o excede las recomendaciones. Sin embargo, ciertos subgrupos de niños no satisfacen sus necesidades de nutrientes clave como hierro y zinc (importantes para el crecimiento), así como de calcio, necesario para alcanzar la cifra máxima de masa ósea (Brown *et al.*, 2013).

Cuadro 1: Requerimiento energético estimado (REE), Cantidad diaria recomendada (CDR) e Ingesta adecuada (IA) de agua, energía y macronutrientes

Edad (años)	IMC de referencia (kg/m ²)	Altura de referencia (cm)	Peso de referencia (kg)	Agua IA (L/día)	Energía REE (Kcal/día)	Carbohidratos CDR (g/día)	Fibra total IA (g/día)	Grasa total IA (g/día)	Ácido Linoleico IA (g/día)	Ácido linolenico IA (g/día)	Proteína CDR (g/día)	Proteína CDR (g/kg/día)
Hombres	15.3	115	20	1.7	1742	130	25	-	10	0.9	19	0.95
4-8												
9-13	17.2	144	36	2.4	2279	130	31	-	12	1.2	34	0.95
14-18	20.5	174	61	3.3	3152	130	38	-	16	1.6	52	0.85
Mujeres	15.3	115	20	1.7	1642	130	25	-	10	0.9	19	0.95
4-8												
9-13	17.4	144	37	2.1	2071	130	26	-	10	1.0	34	0.95
14-18	20.4	163	54	2.3	2368	130	26	-	11	1.1	46	0.85

FUENTE: Adaptado de FOOD AND NUTRITION INFORMATION CENTER (2016)

Respecto al requerimiento de aminoácidos en niños de 3 a 14 años, en el Cuadro 2 se muestra el patrón recomendado según la FAO (2013).

Cuadro 2: Patrón de requerimiento de aminoácidos en niños en edad escolar

Aminoácido esencial	Patrón recomendado (mg AA/ g proteína)
	Niños de 3 a 14 años
Histidina	16
Isoleucina	30
Leucina	61
Lisina	48
Aminoácidos sulfurados	23
Aminoácidos aromáticos	41
Treonina	25
Triptófano	6,6
Valina	40

FUENTE: FAO (2013)

2.3. QUINUA

2.3.1. ASPECTOS GENERALES

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta alimenticia del área andina y su cultivo data de 5000 años a. C. Los incas y las culturas preincaicas reconocieron desde muy temprano su alto valor nutricional, considerándola como un alimento sagrado, que además fue empleado para usos medicinales (Repo-Carrasco *et al.*, 2007).

Entre sus características más resaltantes destaca su extraordinaria versatilidad para adaptarse a diferentes pisos agroecológicos. Se adapta a climas desde el desértico hasta climas calurosos y secos (por ello se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 4000 m de altura), puede crecer con humedades relativas desde 40 hasta 88 por ciento, y soporta temperaturas desde -8°C hasta 38°C. Es una planta eficiente al uso de agua, es tolerante y

resistente a la falta de humedad del suelo y permite producciones aceptables con precipitaciones de 100 a 200 mm. Por estas características en 1996 la quinua fue catalogada por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad, no sólo por sus grandes propiedades nutricionales y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana (Apaza *et al.*, 2013).

2.3.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

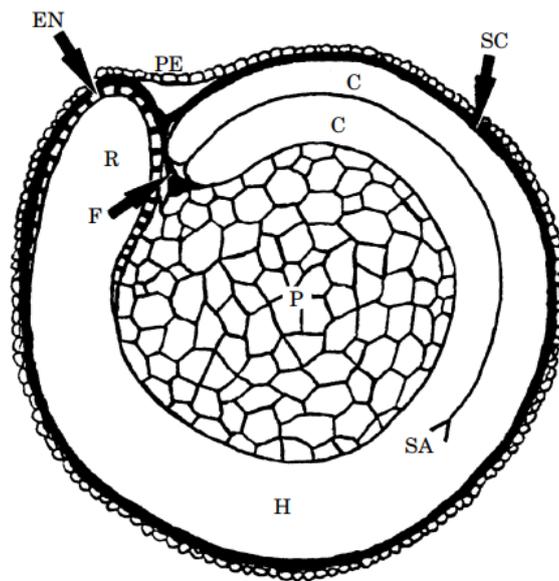
Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Caryophyllidae
Orden	:	Caryophyllales
Familia	:	Amaranthaceae
Subfamilia	:	Chenopodioideae
Género	:	Chenopodium
Especie	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow

(Gómez y Eguiluz, 2011)

2.3.3. GRANO DE QUINUA

Gandarillas (1979) define al grano de quinua como un aquenio cubierto por el perigonio, del que se desprende con facilidad al frotarlo cuando está seco. El color del fruto está dado por el del perigonio y se asocia directamente con el de la planta, de donde resulta que puede ser verde, púrpura o rojo. En estado maduro el perigonio tiene forma estrellada, por la quilla que presentan los cinco sépalos.

El pericarpio del fruto que está pegado a la semilla, presenta alveolos y en algunas variedades se pueden separar fácilmente. Pegada al pericarpio se encuentra la saponina, que le transfiere el sabor amargo. La semilla está envuelta por el episperma en forma de una membrana delgada. El embrión está formado por los cotiledones y la radícula y constituye la mayor parte de la semilla que envuelve al perisperma como un anillo. El perisperma es almidonoso y normalmente de color blanco (Gandarillas, 1979). En la Figura 2 se pueden observar las secciones descritas del grano.



Leyenda: PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla o Episperma, EN: Endosperma; C: Cotiledones, H: Hipocotilo; SA: Ápice del meristemo; R: Radícula, P: Perisperma; F: Funículo

Figura 2: Partes del grano de quinua

FUENTE: Prego *et al.* (1998)

2.3.4. VALOR NUTRICIONAL DEL GRANO DE QUINUA

La quinua es una excelente fuente de proteínas, lípidos y carbohidratos, como se observa en el Cuadro 3. El embrión del grano de quinua ocupa una mayor proporción de la semilla que en los cereales comunes, por lo que la proteína y el contenido de aceite son relativamente altos (Repo-Carrasco, 2011). El germen representa el 30 por ciento del peso total de la semilla, mientras que en el caso de cereales comunes, como el trigo, el germen representa sólo el uno por ciento de la semilla (Cardozo y Tapia, 1979).

Cuadro 3: Composición química del grano de quinua

Componente	Promedio (%)	Rango (%)	Número de determinaciones
Humedad	12,65	6,80 - 20,70	58
Proteína	13,81	7,47 - 22,08	77
Grasa	5,01	1,80 - 9,30	60
Cenizas	3,36	2,22 - 9,80	60
Carbohidratos	59,74	71,30 - 38,72	50
Celulosa	4,38	1,50 - 12,20	22
Fibra	4,14	1,10 - 16,32	30

FUENTE: Cardozo y Tapia (1979)

Si bien el grano de quinua no tiene un contenido elevado de proteína comparado con otros granos (Cuadro 4), la calidad nutricional del grano es importante por su calidad proteica.

Cuadro 4: Composición proximal de cereales y granos andinos (g/100 g materia seca)

Cereales/Granos andinos	Proteína	Grasa	Fibra cruda	Cenizas	Hidratos de carbono
Trigo Manitoba	16,0	2,9	2,6	1,8	74,1
Trigo Inglés	10,5	2,6	2,5	1,8	78,6
Cebada	11,8	1,8	5,3	3,1	78,1
Avena	11,6	5,2	10,4	2,9	69,8
Centeno	13,4	1,8	2,6	2,1	80,1
Triticale	15,0	1,7	2,6	2,0	78,7
Arroz	9,1	2,2	10,2	7,2	71,2
Maíz	11,1	4,9	2,1	1,7	80,2
Sorgo	12,4	3,6	2,7	1,7	79,7
Quinua	14,4	6,0	4,0	2,9	72,6
Kañiwa	18,8	7,6	6,1	4,1	63,4
Kiwicha	14,5	6,4	5,0	2,6	71,5

FUENTE: Kent (1983), Repo-Carrasco (1992)

Repo-Carrasco *et al.*, (2007) menciona que las proteínas de quinua son principalmente del tipo albúmina y globulina. Éstas tienen una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecida a la composición aminoacídica de la caseína, la proteína de la leche. Según Repo-Carrasco (1998) la composición de aminoácidos en las diferentes fracciones proteicas es variable. Las proteínas solubles, albúminas y globulinas, tienen mayor contenido de aminoácidos esenciales, especialmente lisina, que las proteínas insolubles (prolaminas y glutelinas), por eso su valor biológico es superior. La lisina es el primer aminoácido limitante en los cereales, pero en los granos andinos no se ha encontrado deficiencias en este aminoácido, demostrándose que en los granos andinos como la quinua el contenido de lisina es el doble que en el trigo (Repo-Carrasco, 2011). La composición de aminoácidos de quinua y otros granos son presentados en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Contenido de aminoácidos en granos (g aminoácidos/16 g Nitrógeno)

Aminoácidos	Quinua	Kañiwa	Kiwicha	Arroz	Trigo
Ácido aspártico	7,8	7,9	7,4	8,0	4,7
Treonina	3,4	3,3	3,3	3,2	2,9
Serina	3,9	3,9	5,0	4,5	4,6
Ácido glutámico	13,2	13,6	15,6	16,9	31,3
Prolina	3,4	3,2	3,4	4,0	10,4
Glicina	5,0	5,2	7,4	4,1	6,1
Alanina	4,1	4,1	3,6	5,2	3,5
Valina	4,2	4,2	3,8	5,1	4,6
Isoleucina	3,4	3,4	3,2	3,5	4,3
Leucina	6,1	6,1	5,4	7,5	6,7
Tirosina	2,5	2,3	2,7	2,6	3,7
Fenilalanina	3,7	3,7	3,7	4,8	4,9
Lisina	5,6	5,3	6,0	3,2	2,8
Histidina	2,7	2,7	2,4	2,2	2,0
Arginina	8,1	8,3	8,2	6,3	4,8
Metionina	3,1	3,0	3,8	3,6	1,3

«Continuación»

Cisteína	1,7	1,6	2,3	2,5	2,2
Triptófano	1,1	0,9	1,1	1,1	1,2
% Nitrógeno en el grano	2,05	2,51	2,15	1,52	2,24
% proteína	12,8	15,7	13,4	9,5	14,0

FUENTE: Repo-Carrasco (1992)

Repo-Carrasco (2011) menciona que los aminoácidos leucina y treonina son los primeros aminoácidos limitantes en algunas variedades de quinua, mientras que otras variedades como “Amarilla de Marangani” no tiene ningún aminoácido limitante.

La digestibilidad de la proteína o biodisponibilidad (digestibilidad verdadera) de los aminoácidos de la quinua varía según la variedad y el tratamiento a que son sometidas. La FAO (2011) señala que en estudios comparativos donde se utilizó el método de balance en ratas, se clasificaron los valores de la digestibilidad verdadera de la proteína en tres rangos: digestibilidad alta de 93 a 100 por ciento para los alimentos de origen animal y la proteína aislada de soya; digestibilidad intermedia con valores de 86 a 92 por ciento para el arroz pulido, trigo entero, harina de avena y harina de soya; y digestibilidad baja de 70 a 85 por ciento para diferentes tipos de leguminosas incluyendo frijoles, maíz y lentejas. De acuerdo a esta clasificación, el grano de la quinua se encuentra en la segunda posición, es decir digestibilidad intermedia; ya que Guzmán-Maldonado *et al.* (1998) reporta la digestibilidad entre 91,7 y 92 por ciento, mientras que la utilización neta de proteínas y el valor biológico de las proteínas fue 75,7 por ciento y 82,6 por ciento, respectivamente

La quinua contiene en promedio seis por ciento de grasa, este contenido es mayor en comparación con cereales como el maíz, el arroz y trigo. Del contenido total de materia grasa en la quinua, más del 50 por ciento está conformado por los ácidos grasos poliinsaturados esenciales linoleico (omega 6) y linolénico (omega 3). Repo-Carrasco *et al.* (2003) indica que el 82,7 por ciento de los ácidos grasos en el aceite de quinua son insaturados, de los cuales el 50,2 por ciento corresponde al linoleico (omega 6), 26 por ciento al oleico (omega 9) y 4,8 por ciento al linolénico (omega 3).

El componente principal en la quinua consiste en carbohidratos, y varían de 67 a 74 por ciento de la materia seca. El contenido de almidón en los granos se encuentra entre 52 a 60

por ciento. El contenido de amilosa es de aproximadamente el 11 por ciento, que es menor que en los cereales, como el arroz (17 por ciento), trigo (22 por ciento) o cebada (26 por ciento). Otros carbohidratos se encuentran en pequeñas cantidades, como monosacáridos (2 por ciento) y disacáridos (2,3 por ciento), fibra cruda (2,5-3,9 por ciento) y pentosanos (2,9-3,6 por ciento) (Valencia-Chamorro 2003).

La quinua es una buena fuente de minerales, contiene más calcio, magnesio, hierro y zinc que los cereales (Cuadro 6). Sin embargo, el contenido de minerales se reduce en cierta medida después de pulir y lavar los granos de quinua, la concentración de hierro, zinc y potasio se reduce de un 12 a 15 por ciento, además de causar una pérdida de 27 por ciento de cobre y 3 por ciento de magnesio. La quinua contiene más riboflavina y α -tocoferol que el arroz, la cebada o el trigo. (Valencia-Chamorro 2003).

Cuadro 6: Composición mineral (mg/kg de peso seco) y concentración de vitaminas (mg/100 g de peso seco) en quinua y algunos cereales

Minerales	Quinua	Trigo	Arroz	Cebada
Ca	1487	503	69	430
Mg	2496	1694	735	1291
K	9267	5783	1183	5028
P	3837	4677	1378	3873
Fe	132	38	7	32
Cu	51	7	2	3
Zn	44	47	6	35
Vitaminas				
Tiamina (B1)	0,38	0,55	0,47	0,49
Riboflavina (B2)	0,39	0,16	0,10	0,20
Niacina	1,06	5,88	5,98	5,44
Ácido Ascórbico	4,00	0	0	0
α-Tocoferol	5,37	1,15	0,18	0,35
β-Caroteno	0,39	0,02	-	0,01

FUENTE: Koziol (1992)

2.3.5. USOS DEL GRANO DE QUINUA

La quinua es un producto del cual se puede obtener una serie de subproductos de uso alimenticio, cosmético, farmacéutico y otros, como se muestra en la Figura 3.

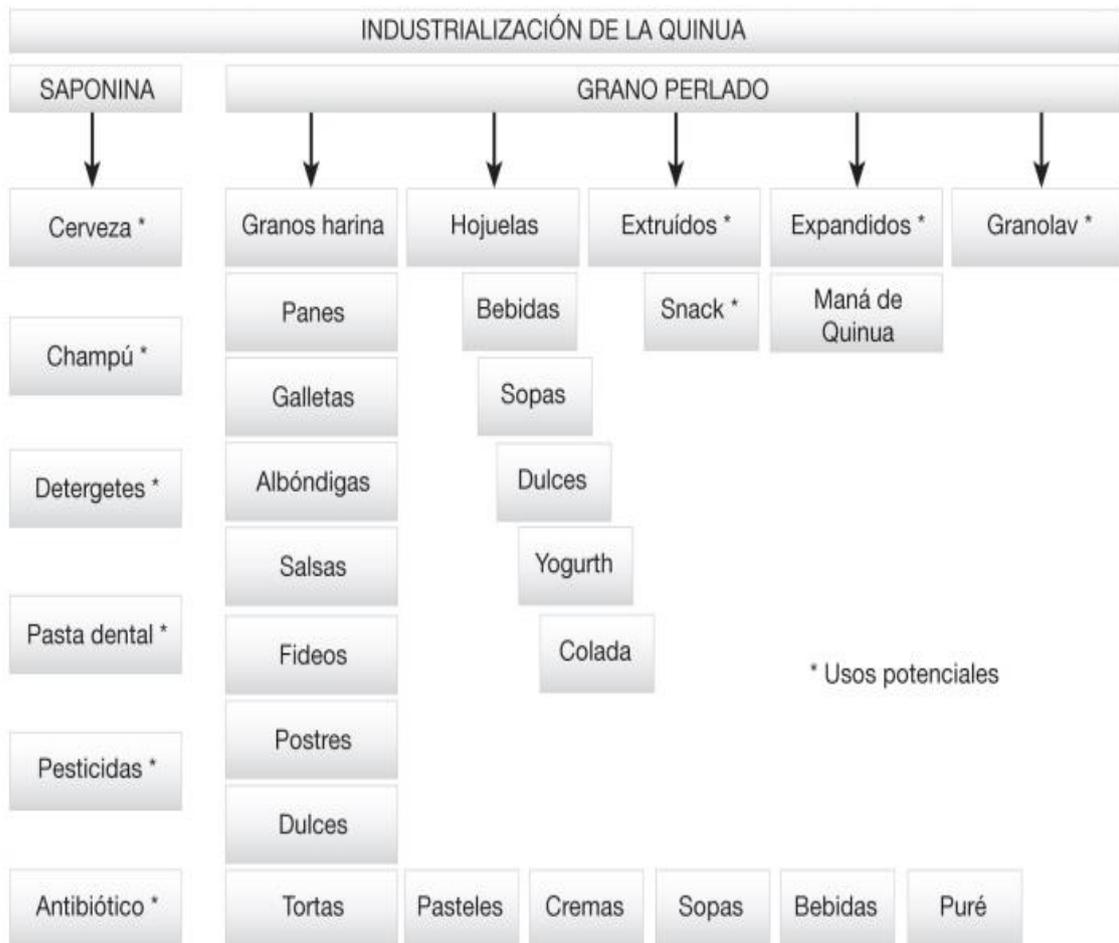


Figura 3: Usos del grano de quinua

FUENTE: Montoya *et al.* (2005)

Los granos de quinua desaponificados pueden utilizarse para la producción de harina, hojuelas, extruidos, expandidos y granola. La harina es utilizada para la fabricación de panes, galletas, albóndigas, salsas, fideos, postres, dulces, tortas, pasteles, cremas, sopas, bebidas, puré, etc (Montoya *et al.* (2005).

La quinua se puede combinar con leguminosas como las habas secas, el fréjol y el tarwi para mejorar la calidad de la dieta especialmente de los niños pre-escolares y escolares a través del desayuno escolar. Entre los productos elaborados o semielaborados a partir de quinua,

están los llamados “cereales” que son productos listos para consumirse y que generalmente se toman como desayuno, entre estos están los cereales inflados, extruidos, en hojuelas, rallados y cereales calientes que son a los que se les agrega un líquido caliente para consumiros y finalmente están las papillas reconstituidas (FAO, 2011).

2.4. TARWI

2.4.1. ASPECTOS GENERALES

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa que se cultiva tradicionalmente en los Andes desde los 1500 m, encontrándose en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Su centro de origen está ubicado en la región andina de Bolivia, Ecuador y Perú, ya que en ellas se encuentra la mayor variabilidad genética. En esta región se han identificado 83 especies del género *Lupinus* (Jacobsen y Mujica, 2006).

Los granos de tarwi poseen un elevado contenido de proteínas y aceites; sin embargo, el grano requiere un tratamiento previo para su consumo, siendo necesario eliminar las sustancias antinutricionales que le permiten a las semillas disponer de defensas naturales contra el ataque de insectos. Estas sustancias son alcaloides formados por esparteína, lupinina, lupanidina, principalmente (Jacobsen y Mujica, 2006).

Otra característica resaltante en el tarwi es que fija nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de 100 kg/ha, restituyendo la fertilidad del suelo cultivada en el área andina desde épocas preincaicas. Se desarrolla en valles templados y áreas alto andinas. Su cultivo y consumo del grano paulatinamente están siendo disminuidos en los países andinos, sobretodo en Colombia, Argentina y Chile, no solo por falta de difusión de las formas de uso, sino también por el desinterés de las instituciones encargadas de promover su consumo y cultivo, a pesar de su gran valor nutritivo y resistencia a factores adversos climáticos en las zonas donde se siembra (Jacobsen y Mujica, 2006)

2.4.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica según Camarena *et al.* (2012), es la siguiente:

Reino	:	Vegetal
División	:	Fanerógama
Clase	:	Dicotiledonea
Orden	:	Fabales
Familia	:	Fabaceae
Tribu	:	Genisteas
Género	:	<i>Lupinus</i>
Especie	:	<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet
Nombre común:		Tarwi

2.4.3. VALOR NUTRICIONAL DEL GRANO DE TARWI

Las semillas de tarwi presentan un alto contenido de proteínas y grasa. Su contenido proteico es incluso superior al de la soya, mientras que su contenido graso es muy similar a esta, como se observa en el Cuadro 7. Repo-Carrasco (1988) menciona que el contenido de proteínas en el tarwi varía entre 35 y 50 por ciento; mientras que en una muestra desgrasada y sin alcaloides el contenido de proteínas es muy elevado, 47 a 64 por ciento. La fracción principal de la proteína del tarwi es la globulina, seguida por la albúmina.

Jacobsen y Mujica (2006) indican que existe una correlación positiva entre proteína y alcaloides, mientras que es negativa entre proteína y aceite.

Cuadro 7: Comparación de la composición del tarwi y soya (g/100 g)

Componente	Tarwi	Tarwi*			Soya
		Semilla (100 %)	Cotiledón (88.97 %)	Tegumento (11.03 %)	
Proteína	44.3	44.87	49.22	9.39	33.4
Grasa	16.5	13.91	15.58	2.20	16.4
Carbohidratos	28.2	27.12	27.08	27.50	35.5
Fibra	7.1	8.58	2.42	58.35	5.7
Ceniza	3.3	5.52	5.89	2.55	5.5
Humedad	7.7	9.63	9.67	10.79	9.2

FUENTE: Jacobsen y Mujica, 2006; *Ortega *et al.* (2010)

La composición de aminoácidos esenciales presentes en las semillas de tarwi, se muestra en el Cuadro 8. Los aminoácidos limitantes del tarwi son los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), al igual que en otras leguminosas. Suca y Suca (2015) mencionan que en general, las leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados; sin embargo, las semillas de tarwi son ricas en lisina y cisteína en comparación con sus similares especies de *Lupinus* del mediterráneo.

Cuadro 8: Contenido de aminoácidos en tarwi, soya, frijol y maní
(mg/g de N Total)

Aminoácidos	Tarwi	Soya	Frijol	Maní
Isoleucina	274	284	262	211
Leucina	449	486	476	400
Lisina	331	399	450	221
Metonina	4	79	66	72
Cistina	87	83	53	78
Fenilalanina	231	309	326	311
Tirosina	231	196	158	244
Treonina	228	24	248	163
Triptófano	110	80	-	65
Valina	252	300	287	261
Arginina	594	452	355	697
Histidina	163	158	177	148
Alanina	221	266	262	243
Ácido aspártico	685	731	748	712
Ácido glutámico	1372	1169	924	1141
Glicina	259	261	237	349
Prolina	257	343	223	272
Serina	317	320	347	299
Total aminoácidos	6051	6157	5662	5887
Total aminoácidos	2183	2457	2389	2026
esenciales				

FUENTE: Villacrés et al. (1998)

En comparación con otras leguminosas como la soya, frijol y maní, el tarwi presenta mayor contenido de triptófano y tirosina. Si bien el contenido de metionina es limitado pero se puede equilibrar con los cereales ya que estos son deficientes en lisina (Camarena *et al.*, 2012).

Schoeneberger *et al.* (1982) encontraron que la calidad de la proteína de tarwi es relativamente baja, ya que obtuvieron bajos valores de PER (relación de eficiencia proteica). Pero cuando estas proteínas fueron suplementadas con metionina, el valor PER fue 3,05; que es muy cercano al de la caseína. También se determinó la digestibilidad verdadera, la utilización neta de proteínas y el valor biológico. Los resultados de estos estudios mostraron una digestibilidad verdaderamente alta (92 por ciento), que fue equivalente al de la caseína.

Las semillas de tarwi presentan ácidos grasos esenciales como el oleico (Omega 9), linoleico (Omega 6) y linolénico (omega 3) que representan el 40,4 por ciento, 37,1 por ciento y 2,9 por ciento del total respectivamente (Jacobsen y Mujica, 2006). El ácido graso predominante es el oleico (Cuadro 9). Un aspecto a destacar en el aceite de tarwi es que no contiene ácido erúcido como sus parientes mediterráneas (*L. angustifolius*); lo cual es una ventaja ya que este ácido es potencialmente tóxico (Suca y Suca, 2015).

Cuadro 9: Composición de ácidos grasos del tarwi (% de ácidos grasos totales)

Ácidos grasos	%
Oleico (Omega 9)	40,4
Linoleico (Omega 6)	37,1
Linolénico (Omega 3)	2,9
Palmítico	13,4
Palmitoleico	0,2
Esteárico	5,7
Mirístico	0,6
Araquídico	0,2
Behénico	0,2
Erúcido	0,0
Cociente polisat/satur	2,0

FUENTE: Jacobsen y Mujica (2006).

Quispe (2015) menciona que el contenido de carbohidratos entre especies de lupino varía de 30 a 40 por ciento, estando el *L. mutabilis* como rango inferior (alrededor de 30 por ciento). Comparando su contenido de carbohidratos con otras leguminosas, el lupino tiene mucha semejanza a la soja, pero muy por debajo de las demás leguminosas que sobrepasan el 60 por ciento de carbohidratos. Entonces presentar un contenido de carbohidratos menor a todas las leguminosas no sería desventajoso, considerando su bajo contenido glicémico.

Repo-Carrasco (2011) indica que el contenido de estaquiosa en tarwi es relativamente alto. Esto es interesante porque existe evidencia sustancial de que el alto contenido de estaquiosa reduce la digestibilidad de los carbohidratos y, por tanto, de la energía total.

El patrón de vitaminas de semillas de lupino es algo similar a otras legumbres; son buenas fuentes de vitaminas del grupo B, particularmente la niacina, con niveles superiores a 4 mg por 100 g. El contenido de tiamina es de aproximadamente 0,5 mg por 100 g y el de riboflavina aproximadamente 0,4 mg por 100 g. Los carotenoides y tocoferoles están presentes, siendo los primeros responsables principalmente del color de la fracción de aceite (Trugo *et al.*, 2003).

Por otra parte, Jarrín (2003) citado por Camarena *et al.* (2012) menciona que los granos de tarwi son una fuente valiosa de nutrientes para la alimentación humana, principalmente de potasio (11,06 a 13,56 mg/g), además de magnesio (2,00 a 3,02 mg/g), calcio (1,07 a 1,53 mg/g) y fósforo (0,44 a 0,88 mg/g). Sin embargo el calcio se encuentra principalmente en la cáscara, mientras que el fósforo está en el núcleo. Por lo que hay que tener presente, que la relación calcio-fósforo se altera después del descascarado del grano.

2.4.4. USOS DEL GRANO DE TARWI

Jacobsen y Mujica (2006) mencionan que el tarwi se utiliza en la alimentación humana previa eliminación del sabor amargo, para lo cual existen diversos métodos eficientes que garantizan su completa eliminación. Las formas de preparación varían según las regiones y ocasiones de consumo: Mote de tarwi, ensaladas, sopas (crema de tarwi), guisos (pepian), postres (mazamoras con naranja) y cebiche serrano. Industrialmente se obtiene harina, usando un 15 por ciento en la panificación con excelentes resultados por el contenido en

grasas. Tiene la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico del producto. Asimismo, permite una conservación más prolongada del pan, debido a la retrogradación del almidón, obteniéndose un mayor volumen por las propiedades emulgentes que tiene la lecitina del tarwi.

2.5. FÉCULA DE CAMOTE

El camote es uno de los cultivos alimenticios más importantes del mundo en términos de consumo humano, especialmente en el sub Sahara de África, algunas partes de Asia y las islas del Pacífico. Fue domesticado por primera vez hace 5,000 años en América Latina, es el cultivo de raíz más sembrado en muchos países en desarrollo. A pesar de que su nombre en inglés (*sweet potato*) significa literalmente “papa dulce”, no está emparentado con la papa. Es una raíz, no un tubérculo, y pertenece a la familia de las *Convolvulaceae*. Muchas partes de la planta son comestibles, incluyendo las hojas, raíces y lianas y sus variedades abarcan un amplio rango de colores de la cáscara y la pulpa, desde el blanco, amarillo, naranja y morado intenso (CIP, 2016).

El almidón es un polisacárido de gran peso molecular que se encuentra como gránulos insolubles en agua y son de naturaleza semicristalina. En el camote, el almidón de reserva que se sintetiza, se acumula en las raíces, aumentando el contenido de almidón por célula y el porcentaje de almidón del peso seco y fresco. Se ha encontrado una relación de linear entre el peso seco de la raíz y el contenido de almidón. Durante la acumulación, la mayoría del almidón se deposita en amiloplastos dentro de las raíces.

El almidón representa el carbohidrato primario que se encuentra en las raíces. Se encuentra en dos formas generales: amilosa, una larga cadena lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces α -1,4, y amilopectina, una molécula ramificada formada por una cadena α -1,4 lineal de glucosa que tiene ramificaciones α -1,6 a intervalos variables (Kays, 1992).

Las propiedades de la amilosa y la amilopectina difieren considerablemente. La amilosa muestra una estructura cristalina que es inestable en soluciones acuosas. La molécula de amilopectina es más grande, amorfa y estable en soluciones acuosas. Como consecuencia, la relación de amilosa a amilopectina ejerce una influencia pronunciada sobre las propiedades del almidón en las raíces (Kays, 1992).

Kaur y Sandhu (2016) mencionan que el camote contiene entre 75 y 80 por ciento de amilopectina y 20 a 25 por ciento de amilosa; a diferencia de las leguminosas que contienen entre 30 y 40 por ciento de amilosa y 60 a 70 por ciento de amilopectina en sus gránulos de almidón, mientras que la mayoría de los otros almidones contienen entre 25 y 30 por ciento de amilosa y 70 a 75 por ciento de amilopectina.

Según Tsou y Hong (1992), el gránulo de almidón de camote es de forma poligonal con un diámetro de 2 a 25 μm . Tiene un contenido de amilosa de aproximadamente 18 por ciento. Su afinidad al yodo es 3,66 por ciento y su temperatura de gelatinización es de 58-63-69 °C.

2.5.1. UTILIZACIÓN DE FÉCULA DE CAMOTE

Los almidones tienen amplias aplicaciones en las industrias alimentarias y afines. El almidón juega un papel importante en los sistemas alimentarios al estabilizar y crear la estructura de los alimentos. También interactúa con otros componentes para suministrar o mantener el nutriente y el sabor. El almidón de camote se puede utilizar en muchos productos, incluyendo fideos, pasteles, pan, galletas, postres, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, pudines y productos de confitería. Las aplicaciones del almidón en los sistemas alimentarios se rigen principalmente por la gelificación, la gelatinización, la solubilidad, el poder de hinchamiento, el color y la digestibilidad (Kaur y Sandhu, 2016).

En los bocaditos, el almidón se utiliza con frecuencia para ayudar a conseguir los atributos sensoriales y la textura deseada, mejorando la crocancia, las propiedades de unión al aceite, expansión y la calidad general de los alimentos. Las propiedades de la amilosa y la amilopectina como componentes principales del almidón son importantes para la textura (Kaur y Sandhu, 2016).

2.6. EXTRUSIÓN

La extrusión se define comúnmente como un proceso termomecánico, en el que los materiales se transforman físico-químicamente debido a las tensiones térmicas y mecánicas generadas por los tornillos giratorios y los barriles climatizados, y luego son forzadas a salir a través de una restricción. La extrusión es una tecnología de procesamiento continuo que

depende de una combinación de múltiples operaciones de la unidad, tales como el transporte y compresión, mezcla, corte, plastificación, fusión, cocción, la desnaturalización, la fragmentación, la texturización y conformación, extrusión reactiva, funcionalización, separación, etc. (Azad, 2016).

En la extrusión, se utilizan principalmente dos diseños diferentes: la extrusora de un solo tornillo y la extrusora de doble tornillo. Dentro de cada diseño, hay varias opciones adicionales de diseño de procesos, incluyendo el tamaño de tornillo, la geometría del tornillo, la velocidad del tornillo, la rotación del tornillo (co-rotativo, rotación en sentido opuesto), la longitud del extrusor, geometría a la salida, la geometría del barril, el rendimiento, etc. Dependiendo de los requisitos de procesamiento, las extrusoras pueden tener rendimientos que van desde varios gramos por hora a varias toneladas por hora (Azad, 2016).

Una de las áreas de aplicación más común es el tratamiento de cereales, en el que la tecnología de extrusión se utiliza para la conversión de las harinas de cereales en productos alimenticios listos para consumir. En el caso de los cereales para el desayuno y aperitivos, la alta temperatura y presión durante la cocción de la pasta, a base de almidón, y la caída de la alta presión en la boquilla de la extrusora produce la evaporación de agua en la salida de la boquilla. Esta evaporación conduce a la formación de burbujas (nucleación) y es responsable de la expansión significativa del producto que resulta en sus propiedades sensoriales específicas, es decir, sabor, textura crujiente, y "sensación en la boca" (Horvat *et al.*, 2013 citado por Azad, 2016).

2.6.1. TIPOS DE EXTRUSOR

La selección de un extrusor para una aplicación particular debe tener en cuenta la naturaleza de los ingredientes, el tipo de producto, su densidad aparente requerida, propiedades sensoriales, y la tasa de producción requerida.

Existen dos diseños básicos de extrusor: extrusores de uno o dos tornillos. Todos los extrusores deben transportar los ingredientes a lo largo del barril sin deslizarse o girar con el tornillo. Los extrusores de doble tornillo actúan como bombas de desplazamiento positivo, pero los extrusores de un solo tornillo requieren características de diseño que aseguran que

el material no se resbale. Estos incluyen las ranuras en el cañón, los tramos interrumpidos, o las restricciones al flujo de producto (conocidos como "anillos de estrangulación") (Fellows, 2009).

a) Extrusora de un tornillo

Este tipo de extrusores contienen un solo tornillo giratorio en un barril metálico, y es el más utilizado para aplicaciones sencillas de cocción y conformado. El tornillo es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable que es suficientemente potente para bombear el alimento contra la presión generada en el barril. La velocidad del tornillo es uno de los principales factores que influyen en el rendimiento del extrusor; controla el tiempo de residencia del producto, la cantidad de calor de fricción generado, las velocidades de transferencia de calor y las fuerzas de cizallamiento sobre el producto.

Los extrusores de un solo tornillo tienen diferentes grados de acción de corte. Las extrusoras de alta cizalladura tienen altas velocidades de tornillo y tramos poco profundos para crear altas presiones y temperaturas que son necesarias para elaborar cereales para el desayuno y aperitivos expandidos. Los extrusores de cizalladura media se utilizan para fabricar productos de panificación, proteínas texturizadas y alimentos semi-húmedos para mascotas; y los extrusores de baja cizalladura tienen tramos profundos y velocidades más bajas para crear presiones bajas, aptas para la elaboración de pastas, productos cárnicos o gomas de confitería (Fellows, 2009).

b) Extrusora de doble tornillo

Los extrusores de doble tornillo se agrupan de acuerdo con el sentido de giro de los tornillos (contra-rotantes o co-rotantes) y el grado en que se entrelazan. Los tornillos que no engranan actúan como dos extrusores de un solo tornillo, mientras que los tornillos entrelazados producen una acción de bombeo de desplazamiento positivo para mover el producto a lo largo del barril. Los tornillos giran en forma de 8, en el barril. Las relaciones de longitud de tornillo: diámetro están entre 10: 1 y 25: 1. Una de las principales ventajas de los extrusores de doble tornillo es la mayor flexibilidad de operación para manejar una gama más amplia de ingredientes y producir diferentes productos. Esto se consigue cambiando el grado de entrelazado de los tornillos, el número de tramos o el ángulo del paso de los tornillos, o el

ajuste de los discos de amasado para aumentar la acción de cizallamiento. Los tornillos de entrecruzamiento co-rotantes, se encuentran más comúnmente en las aplicaciones de procesamiento de alimentos. Cuando el barril se divide al final, los productos se pueden dirigir a dos o más canales y se pueden introducir diferentes colorantes o aromatizantes justo antes de la matriz para producir productos bicolors o abigarrados. Ejemplos de productos de máquinas de doble tornillo incluyen productos co-extrusionados/rellenos, gomas y jaleas alimentarias, pastas alimenticias, productos de confitería, malvaviscos, cereales, bocadillos rellenos de chocolate, galletas y arroz o fideos instantáneos. Algunos productos, incluyendo caramelos pegajosos y otros productos de confitería de azúcar, no pueden fabricarse con extrusores de un solo tornillo, y otros, incluyendo alimentos para mascotas que contienen hasta 30 por ciento de carne fresca o alimentos acuáticos ultrafinos y ricos en grasa, tienen la más alta calidad usando extrusores de doble tornillo (Fellows, 2009).

Los extrusores de doble tornillo tienen mayor capacidad y flexibilidad para controlar los parámetros del producto y del proceso. Tienen un diseño flexible que permite una fácil limpieza y cambio rápido del producto. Debido a la capacidad de igualar mejor la cizalla deseada, la extrusora de doble husillo tiene más control sobre la variabilidad del producto. El extrusor de doble tornillo es una mejor opción para las plantas que producen una amplia variedad de productos de alto valor a bajo volumen porque la velocidad del tornillo es una variable muy influyente (Guy, 2001).

Los extrusores de un solo tornillo están limitados a trabajar con un nivel de grasa del 12-17 por ciento en la fórmula. La grasa por encima de ese nivel reduce la fricción debido a la lubricación y no ayuda a transformar la energía mecánica en calor para la cocción. Mientras que el nivel de grasa en extrusores de doble tornillo puede ser tan alto como 18-22 por ciento y todavía mantener la energía mecánica. Esto sólo es posible debido al mayor número de opciones en la configuración de tornillo en las extrusoras de doble tornillo, en comparación con extrusores de un tornillo. En extrusoras de un solo tornillo con la ayuda de inyección de vapor, el nivel de grasa de la receta se puede alcanzar hasta 17 por ciento, pero las mismas formulaciones con la adición de vapor en extrusoras de doble tornillo procesarán más consistentemente, lo que resulta en una mejor unión de la grasa en el producto y la reducción de fuga de grasa en los productos durante la manipulación y el envasado (Guy, 2001).

El contenido de humedad es muy crítico durante el proceso de extrusión para la gelatinización del almidón y la desnaturalización de la proteína. Un contenido de humedad promedio en una fórmula típica oscila entre 20-28 por ciento. La humedad, como vapor y/o agua, se añade al pre-acondicionador y al barril de extrusión para ayudar a suavizar los ingredientes crudos y reducir su abrasividad (Guy, 2001).

2.6.2. CAMBIOS FISICOQUÍMICOS DURANTE LA EXTRUSIÓN

Las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión son el almidón y los materiales basados en proteínas. La estructura de los productos extruidos puede estar formada a partir de almidón o proteína. La mayoría de los productos, como cereales de desayuno, bocadillos y galletas se elaboran a partir de almidón, mientras que las proteínas se utilizan para producir productos que tienen características similares a la carne y que se utilizan como sustituto total o parcial de la carne en comidas preparadas, alimentos secos y muchos productos alimenticios para animales domésticos (Dehghan-Shoar *et al.*, 2010).

Los cambios químicos o fisicoquímicos que pueden ocurrir durante la cocción por extrusión incluyen: unión, escisión, pérdida de conformación nativa, fragmentación, recombinación y degradación térmica. Ramachandra (2015) menciona que los principales cambios que se producen durante el proceso de extrusión son:

a) Cambios en el almidón

La principal diferencia entre el procesamiento por extrusión y el procesamiento convencional de alimentos es que la gelatinización del almidón tiene lugar en contenidos de humedad muchos más bajos (12-22 por ciento). Una vez dentro del extrusor, y a temperaturas relativamente altas, los gránulos de almidón se funden y se vuelven suaves, además de cambiar su estructura que se comprime a una forma aplanada. La aplicación de calor, la acción del cizallamiento sobre el gránulo de almidón y el contenido de agua destruyen la estructura molecular organizada, dando como resultado la hidrólisis molecular del material. Los polímeros de almidón se dispersan y se degradan para formar una masa fundida continua. El polímero fluido retiene burbujas de vapor de agua y se extiende durante la expansión del extruido hasta la ruptura de la estructura celular. Las paredes de las células

del polímero de almidón retroceden y se endurecen mientras se enfrían para estabilizar la estructura del material extruido. Finalmente, el polímero de almidón se vuelve vítreo a medida que se retira la humedad, formando una textura frágil y dura.

b) Cambios en las proteínas

Las proteínas son biopolímeros con un gran número de grupos químicos cuando se comparan con los polisacáridos y por lo tanto son más reactivos y sufren muchos cambios durante el proceso de extrusión, siendo los más importantes la desnaturalización. Durante la extrusión, los enlaces disulfuro se rompen y pueden volver a formarse. Las interacciones electrostáticas e hidrófobas favorecen la formación de agregados insolubles. La creación de nuevos enlaces peptídicos durante la extrusión es discutible. Las proteínas de alto peso molecular pueden disociarse en subunidades más pequeñas. Las enzimas, pierden su actividad después de ser sometido al proceso de extrusión debido a altas temperaturas y cizallamiento.

c) Cambios en los lípidos

Los lípidos tienen una poderosa influencia en los procesos de cocción por extrusión actuando como lubricantes, porque reducen la fricción entre las partículas en la mezcla y entre las superficies del tornillo y del cilindro, y la fusión del fluido.

d) Cambios en las fibras

La cocción por extrusión puede producir cambios en las fibras, produciendo cambios en sus características estructurales y propiedades fisicoquímicas, siendo el principal efecto una redistribución de fibra insoluble a fibra soluble. Este efecto sería el resultado de la ruptura de enlaces covalentes y no covalentes entre carbohidratos y proteínas asociadas a la fibra, resultando en fragmentos moleculares más pequeños, que serían más solubles (Ramachandra, 2015).

2.7. CALIDAD PROTEICA

La calidad de la proteína está determinada por el patrón y concentración de aminoácidos esenciales, la digestibilidad de la proteína y la biodisponibilidad de sus aminoácidos. Para satisfacer las necesidades de proteína del cuerpo, la dieta debe suministrar tanto de los indispensables aminoácidos (IAA) en proporciones requeridas y suficientes de nitrógeno amino total para la síntesis de aminoácidos no esenciales. Estos son necesarios para apoyar la síntesis de proteínas del cuerpo y la producción de otros compuestos que contienen nitrógeno, tales como hormonas y neurotransmisores involucrados en una serie de funciones fisiológicas (Gilani y Lee, 2003).

La calidad de la proteína es una medida de la biodisponibilidad de la proteína, el término general para la proporción de cualquier nutriente que puede ser absorbido de la dieta y utilizado. La biodisponibilidad comprende la digestibilidad, la integridad química y la ausencia de interferencia en el metabolismo, resaltando aquellos aspectos de la utilización de aminoácidos que pueden ser importantes con alimentos específicos y métodos de procesamiento de alimentos. La evaluación de la biodisponibilidad puede realizarse directamente con distintos grados de dificultad en los seres humanos, pero es evidente que el uso de animales es mejor en términos de costo y tiempo (WHO, 2007).

Vásquez *et al.*, (2005), menciona que la calidad proteica puede modificarse por los tratamientos tecnológicos del alimento, la presencia de antinutrientes (inhibidores de las enzimas digestivas) y el grado de digestibilidad (que es mayor en proteínas globulares que en fibrosas)

La utilización de proteínas se discute generalmente en términos de digestibilidad, una medida de la ingesta dietética que se pone a disposición del organismo después de la digestión y la absorción, y el valor biológico, una medida de qué tan bien el perfil de aminoácidos absorbido coincide con el requerimiento (WHO, 2007).

- Digestibilidad de las proteínas

La digestibilidad es la proporción de proteína alimentaria que es absorbida, se define a partir de las mediciones del contenido de nitrógeno de los alimentos y las heces. Para la digestibilidad "verdadera" se toma en cuenta el nitrógeno fecal endógeno, que a su vez se mide como pérdida de nitrógeno fecal en una dieta libre de proteínas, es decir,

$$\text{Digestibilidad proteica aparente (\%)} = \frac{I - F \times 100}{I}$$

$$\text{Digestibilidad proteica verdadera (\%)} = \frac{I - (F - F_k) \times 100}{I}$$

Donde I = ingesta de nitrógeno, F = pérdida de nitrógeno fecal en la dieta de prueba, F_k = pérdida de nitrógeno fecal en la dieta libre de proteína (WHO, 2007).

- Valor biológico

El perfil de aminoácidos es adoptado para determinar la eficacia con la que el nitrógeno dietético absorbido puede ser utilizado, que se define usualmente en términos de valor biológico, es decir,

$$\text{Valor biológico aparente (\%)} = \frac{(I - F - U) \times 100}{I - F}$$

$$\text{Valor biológico verdadero (\%)} = \frac{I - (F - F_k) - (U - U_k) \times 100}{I - (F - F_k)}$$

Donde U = pérdida de nitrógeno urinario en la dieta de prueba, U_k = pérdida de nitrógeno urinario en la dieta libre de proteína (WHO, 2007).

- Score de aminoácidos

La puntuación de aminoácidos determina la eficacia con la que el nitrógeno dietario absorbido puede satisfacer el requerimiento de aminoácidos esenciales en el nivel seguro de ingesta de proteínas. Esto se logra mediante una comparación del contenido del aminoácido limitante en la proteína o dieta con su contenido en el patrón requerido (WHO, 2007):

$$\text{Score de aminoácidos} = \frac{\text{mg de aminoácidos en 1 g de proteína en estudio}}{\text{mg de aminoácidos en el patrón de requisito}}$$

$$\text{PDCAAS} = \text{digestibilidad} \times \text{score de aminoácidos}$$

2.8. DISEÑO DE MEZCLAS

Existen muchos problemas reales y de investigación que involucran productos que resultan al mezclar diferentes componentes. Por ejemplo: bebidas, medicamentos, detergentes, pinturas, resinas, gasolinas, cementos, etc., están formados por una mezcla de distintos ingredientes o componentes. En general, se supone que las características de calidad de la mezcla dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

Gutiérrez y de la Vara (2008) indica que entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

Los experimentos con mezclas son diseños en los que los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla. Las variables de respuesta dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes en la mezcla y no de la cantidad de mezcla (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

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

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

$$x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \text{ (es decir 100 por ciento)}$$

En una mezcla con tres componentes, el espacio de la mezcla es un triángulo con vértices que corresponden a las formulaciones que son mezclas puras (mezclas que son 100 por ciento de un solo componente). Cuando hay tres componentes en la mezcla, la región experimental restringida puede representarse de manera conveniente en papel milimétrico trilineal, como se muestra en la Figura 4, donde cada uno de los tres lados de la gráfica representa una mezcla que carece de alguno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de graduación en cada dirección marcan incrementos de 10 por ciento en el componente respectivo (Montgomery, 2004).

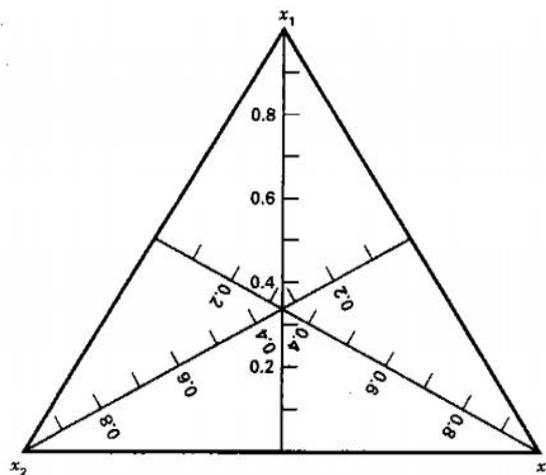


Figura 4: Sistema coordenado trilineal

FUENTE: Montgomery (2004)

Kuehl (2001) menciona que los principales diseños de tratamientos para mezclas son:

a) Diseño de retícula Simplex:

El arreglo formado por una distribución uniforme de coordenadas de diseño en un sistema simplex, se conoce como retícula. Los diseños de retícula simplex se componen de una malla de coordenadas de diseño construidas de manera que permiten estimar las ecuaciones polinomiales de la superficie de respuesta.

La designación {k,m} se usa en un diseño de retícula simplex con k componentes para estimar una ecuación polinomial de superficie de respuesta de grado m. Por ejemplo, el diseño de retícula simplex {3,2} tiene tres componentes en la mezcla para estimar una ecuación de superficie de respuesta cuadrática.

Las proporciones de cada componente incluida en los diseños de retícula Simplex {k, m) son:

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1$$

Los diseños consisten de todas las combinaciones posibles de los niveles de x_i , donde $\sum x_i = 1$ para cualquier combinación de proporciones.

b) Diseño simplex con centroide

El diseño simplex con centroide es un diseño en el sistema de coordenadas simplex que se compone de mezclas que contienen 1, 2, 3, ... o k componentes en proporciones iguales. En consecuencia, existen k mezclas de un componente, todas las mezclas posibles de dos componentes con proporción 1/2 para cada una, todas las mezclas posibles de tres componentes con proporción 1/3 para cada una, etcétera, hasta una mezcla de k componentes con proporción de 1/k.

c) Diseño simplex con centroide ampliado

Las combinaciones de la mezcla para los diseños de retícula Simplex y Simplex con centroides se encuentran en las orillas del espacio de factores Simplex con la excepción de un punto centroide que contiene la mezcla de todos los componentes. Es posible obtener

mezclas más completas si se aumentan los diseños centroides Símplex con mezclas sobre los ejes del espacio de factores. Los puntos del diseño se colocan en cada eje, equidistantes al centro o centroide, hacia los vértices. Los puntos axiales adicionales proporcionarán una mejor distribución de la información a lo largo de la zona del experimento.

2.8.1. RESTRICCIONES EN LOS COMPONENTES DE UNA MEZCLA

Ya sea por razones técnicas o económicas, es común que algunos componentes en un experimento de mezclas se restrinjan de la siguiente manera:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1$$

Donde a_i es la restricción inferior para el componente x_i de la mezcla, y b_i es la restricción superior. En esencia, a_i representa la mínima proporción del i -ésimo componente que debe existir en cualquiera de las mezclas que se probarán en el experimento, y b_i representa el nivel o proporción máxima del i -ésimo componente. En general, las restricciones delimitarán la región experimental factible a una zona o subregión del simplex (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

Cuando la región experimental factible no tiene la forma del simplex, resulta un polígono o hiperpolígono irregular. En estos casos los diseños del tipo simplex no pueden ser usados, por lo que es necesario recurrir a otros criterios considerados usualmente en los sistemas computacionales. Por ejemplo, un diseño usado con frecuencia en los experimentos de mezclas con restricciones son los que se conocen como vértices extremos propuestos por McLean y Anderson (1966). Ellos sugieren usar los vértices de la región restringida como la base del diseño, junto con una subserie de puntos a lo largo de los centroides de la subregión y el centroide global. También es posible utilizar los criterios D -óptimo para seleccionar los puntos. Este criterio fundamentalmente selecciona puntos de una lista de puntos candidatos, de manera tal que las varianzas de los coeficientes de regresión en el modelo con mezclas son minimizadas. La efectividad de este método depende de la lista de los puntos candidatos, de la adecuación del modelo propuesto y del número de puntos de diseño seleccionados.

Los *diseños basados en distancia* también son muy útiles para experimentos con restricciones. Este criterio trata de distribuir de manera uniforme los puntos de diseño en la frontera de la región factible. El algoritmo para seleccionar los puntos inicia con el punto de la región experimental restringida que está más cerca de un vértice de la región sin

restricciones, y luego se agrega el punto de la región factible para el cual la distancia euclidiana es un máximo. Todos los puntos subsecuentes son agregados de forma similar (Gutiérrez y de la Vara, 2008).

2.9. EVALUACIÓN SENSORIAL

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para la que se efectúe. Existen tres tipos principales de pruebas: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas.

Las pruebas afectivas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro. Estas pruebas son las que presentan mayor variabilidad en los resultados y éstos son más difíciles de interpretar, ya que se trata de apreciaciones completamente personales.

Para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 jueces no entrenados, éstos deben ser consumidores habituales –o potenciales- y compradores del tipo de alimento en cuestión (Anzaldúa-Morales, 1994).

Las pruebas afectivas pueden clasificarse en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación.

2.9.1. PRUEBAS DE MEDICIÓN DEL GRADO DE SATISFACCIÓN

Cuando se evalúan más de dos muestras a la vez, o cuando se desea obtener mayor información acerca de un producto, puede recurrirse a las pruebas de medición del grado de satisfacción. Estas son intentos para manejar más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuánto les gusta o les disgusta un alimento.

Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan las escalas hedónicas, que son instrumentos de medición de las sensaciones placenteras o desagradables producidas por un alimento a quienes lo prueban (Anzaldúa-Morales, 1994).

Las escalas hedónicas pueden ser semánticas o gráficas.

a) Escalas semánticas

Mediante estas escalas se describe verbalmente la sensación generada por los productos. Este tipo de escalas se han desarrollado y se han utilizado con gran variedad de productos y con bastante éxito. Son fáciles de entender y de realizar, además pueden ser reproducibles con distintos grupos de jueces. Se recomienda que contengan un número impar de puntos, de tal modo que el punto medio corresponda a la opción “ni me gusta ni me disgusta” (Ibáñez y Barcina, 2001). Si bien el número máximo de puntos que pueden disponer en este tipo de escala es de nueve (son posibles las escalas de 11 puntos) y el mínimo de tres, son más apropiadas las escalas cinco o siete puntos. Ello se debe a que, en el caso de una escala de nueve o más puntos, los jueces tienen dificultades para decidir entre dos puntos sucesivos, ya que el significado de cada punto no queda muy claro (Anzaldúa-Morales, 1994). Por el contrario, las escalas de tres puntos, si bien resultan ser de las más sencillas, sólo pueden aplicarse en la evaluación de dos muestras como máximo.

Para el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos mediante esta escala, se pueden transformar las respuestas en números, existiendo dos alternativas:

- Asignar valores entre uno, para el extremo inferior “altamente desagradable”, y nueve, para el extremo superior “altamente agradable”.
- Asociar la calificación de cero al punto medio “ni agradable ni desagradable”, de manera que los puntos que estén por encima de este valor sean valores positivos y los que estén por debajo sean negativos (Ibáñez y Barcina, 2001).

Las pruebas basadas en estas escalas han sido criticadas porque las distancias entre los puntos sean realmente iguales como por la dificultad para determinar los intervalos. A pesar de esto, esta escala continúa utilizándose, probablemente por su facilidad de uso para el juez como por la ausencia de números que puedan conducirlo al error.

Cuando el número de muestras que se ha de probar sea grande, cada uno de los jueces no podrá degustar todos los productos, ya que se corre el riesgo de fatigarles. En tales circunstancias es aconsejable diseñar la distribución de los productos de tal modo que cada juez analice un subconjunto de los mismos (Ibáñez y Barcina, 2001).

Una observación de especial importancia cuando se recurre a este tipo de pruebas es que no se deben evaluar atributos o características de textura, sabor u olor; por las siguientes razones:

- Los jueces no están capacitados para evaluar una características sensorial determinada, ya que cada juez entenderá tal característica de modo particular y la evaluarán con una técnica diferente (por ejemplo, cada juez entenderá la textura de manera distinta, uno evaluará según la firmeza mientras que otro la evaluará según la rugosidad).
- Cuando el sujeto asigna un valor numérico a una característica sobresaliente, inconscientemente tiende a calificar a las restantes propiedades en función de dicha característica sobresaliente.
- Si el juez recibiera algún entrenamiento sobre la evaluación de las características sensoriales, no sería representativo del conjunto poblacional sometido a estudio, y además, la prueba que estaría realizando sería de tipo discriminante (Ibáñez y Barcina, 2001).

Si bien los jueces solo evalúan el grado de satisfacción global de la muestra, se puede incluir un apartado en la ficha de evaluación para que el juez exprese los comentarios pertinentes. En tal caso, el coordinador de la prueba clasificará los comentarios según las características de apariencia, textura, olor y sabor (Ibáñez y Barcina, 2001).

b) Escalas gráficas

Anzaldúa-Morales (1994) indica que cuando hay dificultad para describir los puntos de una escala hedónica debido al tamaño de ésta, o cuando los jueces tienen limitaciones para comprender las diferencias entre los términos mencionados en la escala (por ejemplo, en los casos en que se emplean a niños como jueces), pueden utilizarse escalas gráficas. Un ejemplo de este tipo de escalas es la “escala de caritas” o escala facial, que pueden describirse como una serie de dibujos lineales de expresiones faciales ordenadas en una secuencia desde un ceño fruncido hasta una sonrisa, tal como se muestra en la Figura 5. Esta escala puede ampliarse en algunos casos a 11 e incluso 13 puntos.



Figura 5: Ejemplo de escala facial. La escala varía desde “muy desagradable” (1) hasta “muy agradable” (5)

FUENTE: Ibáñez y Barcina (2001)

La desventaja de estas escalas es que, en ocasiones, no son tomadas en serio por los jueces, ya que les parecen un tanto infantiles. Por ello, es preferible trabajar con ellas cuando se hacen pruebas sensoriales con jueces niños. En el caso de jueces adultos es posible usarlas siempre y cuando los jueces las hayan aceptado sin tomarlas como juego. Además, se debe considerar que las pruebas afectivas deben llevarse a cabo con consumidores habituales o potenciales del producto a probar (Anzaldúa-Morales, 1994).

La ventaja al utilizar las escalas hedónicas ya sea gráficas o verbales es que se logra objetivizar las respuestas de los jueces acerca de las sensaciones provocadas por un producto alimenticio. Los valores numéricos obtenidos pueden ser tratados como cualquier otra dimensión física, y por tanto pueden ser graficados, promediados, sometidos a análisis estadísticos tales como la prueba “t de Student”, la prueba F, el análisis de varianza, análisis de regresión, etc. (Anzaldúa-Morales, 1994)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación fue realizada en la Planta Piloto de Alimentos, Laboratorio de Investigación, Laboratorio de Análisis Físicoquímicos de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Facultad de Zootecnia, pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina. La elaboración de los productos extruidos se realizó en el Instituto de Desarrollo Agroindustrial y la evaluación sensorial se llevó a cabo en la I.E 2002 “Virgen María del Rosario”.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

- Quinoa blanca escarificada, marca comercial El Plebeyo
- Tarwi adquirido en el mercado Huamantanga del distrito de Puente Piedra - Lima
- Fécula de camote, marca comercial CoproAgro

3.2.2. INSUMOS

- Agua de mesa, marca Cielo AJE®
- Miel de abeja, marca comercial Panalza

3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Balones de digestión Kjeldahl
- Bolsas de aluminio con zipper

- Bolsas de empaado al vacío
- Bolsas de polietileno con zipper
- Botella con spray
- Bowl de acero inoxidable
- Cápsulas de aluminio con tapa
- Crisoles de porcelana
- Cuchara
- Embudo Büchner
- Espátula
- Materiales de vidrio (matraces, bureta, pipetas, probetas, beakers, fiolas, vasos precipitados, baguetas, tubos)
- Micropipetas marca Brand modelo Transferpette de 10 – 100 μL , 1000 – 1000 μL
- Papel filtro Whatman
- Pinzas
- Platos descartables
- Soporte universal
- Tubos de extracción de grasa
- Vasos descartables

3.3.2. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico 95-98% (libre de nitrógeno)
- Agua destilada
- Alcohol 95%
- Amoniaco concentrado
- Catalizador $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} : \text{K}_2\text{SO}_4 : 1 : 300$
- Cloroformo
- Etanol 95%
- Éter de petróleo
- Isopropanol
- Oxido de aluminio básico
- Solución de ácido bórico al 4%
- Solución de ácido clorhídrico 0.1 N

- Solución de ácido sulfúrico 0.225 ± 0.005 N: 1.25 g H₂SO₄/100 mL
- Solución de hidróxido de potasio al 15%
- Solución de hidróxido de sodio 0.313 ± 0.005 N: 1.25 g Na OH/100 mL
- Solución de hidróxido de sodio al 30%, libre de nitrato
- Solución de púrpura bromocresol (BKP)
- Solución indicadora de rojo de metilo/verde de bromocresol
- Timol
- Tolueno

3.3.3. EQUIPOS

- Agitador orbital LAB. COMPANION SK-300
- Analizador de humedad OHAUS® MB 45
- Balanza analítica HR-250AZ A&D Company
- Balanza de precisión OHAUS® Adventurer™
- Balanza mecánica
- Campana desecadora
- Cocinilla de digestión de proteínas Reles
- Destilador Kjeldahl UDK 129 VELP Scientifica®
- Envasadora al vacío Boxer 42 Henkelman®
- Equipo Soxhlet
- Espectrofotómetro UV Thermo Scientific™ GENESYS 20
- Estufa Universal Memmert®
- Extrusor de doble tornillo LABOR PQ DRX-50
- Horno mufla Reles
- Jaulas metabólicas de acero inoxidable, con comederos de 15 g de capacidad, bebederos de vidrio y sistema recolector de heces y orina.
- Marmita enchaquetada con agitador
- Molino de cuchillas GRINDOMIX GM 200 Retsch®
- Molino de martillos MV 35-45 Vulcano
- Plancha de calentamiento
- Refractómetro Atago®

- Secador de bandejas
- Texturómetro Instron® modelo 3365 - Software Bluehill 3
- Vernier Digital de acero inoxidable Control Company Traceable®

3.4. METODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

El análisis químico proximal se realizó por triplicado a las materias primas: quinua, tarwi crudo y desamargado, fécula de camote y al producto extruido óptimo. La determinación del contenido de proteínas se realizó por triplicado a las 16 formulaciones obtenidas del diseño de mezclas.

En el análisis químico proximal se determinó:

a) Humedad

La determinación de la humedad se realizó mediante el secado de las muestras en una estufa a 105°C hasta alcanzar un peso constante. La pérdida de peso se reportó como porcentaje de humedad, como se indica en el método AOAC 950.46 (AOAC, 2005).

b) Proteína total

La determinación del contenido de proteína total se realizó por el método Kjeldahl, con el cual se determina el contenido de nitrógeno tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte en sulfato de amonio mediante la digestión. La mezcla resultante de la digestión se neutralizó con hidróxido de sodio y se destiló. El destilado se recogió en una solución de ácido bórico, para ser luego titulado y determinar el nitrógeno contenido en la muestra. Finalmente el contenido de proteína se calculó utilizando 6,25 como factor de conversión, como se indica en el método AOAC 984.13 (AOAC, 2005).

c) Grasa total o extracto etéreo

El contenido de grasa se calculó obteniendo cierta cantidad de muestra previamente homogeneizada, seca y pesada. Cada muestra fue sometida a una extracción con éter de petróleo en el equipo Soxhlet. El extracto etéreo se determinó gravimétricamente después de eliminar los disolventes, como se indica en el método AOAC 2003.05 (AOAC, 2005).

d) Fibra cruda

La fibra cruda se expresó como la pérdida de masa que se pierde en la incineración del residuo seco, obtenido después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio al 1,25 %. Se empleó el método 962.09 (AOAC, 2005).

e) Cenizas

La determinación de cenizas se realizó mediante la incineración de las muestras en mufla a 550°C. Se calculó el residuo de incineración por diferencia de peso como se indica en el método AOAC 942.05.05 (AOAC, 2005).

f) Carbohidratos

Los carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) se obtuvieron por diferencia, después de haber completado los análisis para la determinación de la humedad, proteína, grasa, fibra y ceniza.

3.4.2. DETERMINACIÓN DE ALCALOIDES TOTALES

Los alcaloides totales se determinaron por el método de púrpura bromocresol en espectrofotómetro UV (Von Baer, 1978). La preparación de los reactivos y la metodología se describe a continuación:

Preparación de reactivos:

- Solución de Hidróxido de Potasio 15% (w/v): Se prepara 1.5 g de KOH en una fiola de 10 mL con agua destilada. Almacenable a temperatura ambiente.
- Solución Púrpura bromocresol (BKP) 4 mg/mL (w/v): Se prepara 40 mg de BKP en una fiola de 10 mL con isopropanol. Se cubre con papel aluminio. Preparación al día.

Metodología:

- Se mezclaron 100 mg de harina de lupino, 300 mg de óxido de aluminio básico y 0.1 mL de solución de hidróxido de potasio al 15% en un vaso precipitado.
- La mezcla homogénea obtenida se trasladó a un matraz añadiendo 10 mL de cloroformo, se tapó y se agitó por 30 min.
- La solución de cloroformo se filtró con papel Whatman a una fiola de 25 mL, se extrajo el residuo dos veces más con 5 mL de cloroformo, y se enrasó con cloroformo.
- Se mezcló 1 mL de la solución, 9 mL de cloroformo y 0.1 mL de BKP en un tubo de vidrio. Se agitó y se dejó reposar por 10 minutos a temperatura ambiente. Esta operación se realizó por triplicado.
- Se realizó la lectura en un espectrofotómetro UV a 410 nm contra un blanco de 10 mL de cloroformo y 0.1 mL de solución BKP.
- El contenido de alcaloides totales se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Alcaloides} = \frac{Abs \times F \times PM \times V_T}{P \times V_P} \times 0.1$$

Donde: A, Absorbancia a 410 nm; F, factor de calibración (para lupanina 0,422); V_T, volumen total del extracto (mL); V_P, volumen de alícuota del extracto que se utiliza para la reacción con la solución púrpura bromocresol BKP (mL); PM, peso molecular (para la lupanina es 248 mg) y P, peso de la muestra (mg).

3.4.3. ÍNDICE DE EXPANSIÓN

Se define como la relación entre el área de la sección transversal del producto extruido y la matriz (Mäkilä *et al.*, 2014). Las mediciones en los bocaditos extruidos se realizaron utilizando un calibrador Vernier, y el valor del índice de expansión fue calculado de un promedio de 20 observaciones por formulación (ver Anexo 6).

3.4.4. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de los bocaditos extruidos se determinó usando el método de desplazamiento de semillas. Se utilizaron semillas de kiwicha, las cuales se vertieron en una probeta graduada de 250 mL. La probeta fue sacudida suavemente 20 veces para acomodar las semillas y evitar espacios vacíos. La densidad aparente (g/cm^3) se calculó dividiendo el peso de los extruidos por el volumen desplazado (Yang *et al.*, 2008).

3.4.5. DUREZA

La resistencia mecánica de los bocaditos extruidos fue medida haciendo uso del texturómetro Instron® modelo 3365 Software Bluehill 3. Se utilizó un cabezal de punción de 4 mm de diámetro para penetrar la muestra a una deformación de 10 mm, con una velocidad de carga de 60 mm/min y precarga de 10 gf.

3.4.6. ANÁLISIS SENSORIAL

La evaluación sensorial se realizó mediante la prueba de medición del grado de satisfacción o nivel de agrado en 100 niños (panelistas no entrenados) entre nueve y trece años de edad, quienes son consumidores habituales o potenciales de bocaditos extruidos. Para llevar a cabo esta prueba se utilizó una escala hedónica gráfica (escala de caritas) ya que al emplearse a niños como jueces, podría ser difícil para ellos comprender las diferencias entre los términos mencionados en la escala (Anzaldúa-Morales, 1994). El formato de evaluación utilizado se presenta en el Anexo 1.

Con el diseño de mezclas se obtuvieron 16 formulaciones que debían ser evaluados por niños, pero al ser un número alto de tratamientos a evaluar se optó por usar un diseño de bloques incompletos balanceados. Cochran y Cox (1990), señalan que una solución para este problema es arreglar los objetos en un diseño en bloques incompletos balanceados, para tener un número óptimo de unidades que pueden ser evaluadas. De este modo, cada niño evaluó cuatro formulaciones.

Cabe señalar que sólo para la evaluación sensorial se utilizaron bocaditos extruidos recubiertos con una solución de miel a 50°Brix.

3.4.7. VALOR BIOLÓGICO VERDADERO Y DIGESTIBILIDAD VERDADERA

Los ensayos de valor biológico verdadero y digestibilidad verdadera se realizaron a la formulación óptima obtenida, siguiendo la metodología de la FAO (1991). Para los ensayos se utilizaron 12 ratas macho raza Holtzman provenientes de camadas distintas y de 25 días de nacidas.

Las ratas se pesaron y distribuyeron en dos grupos de seis, de tal manera que el peso promedio de éstas fuese el mismo en cada grupo. Luego fueron colocadas en jaulas metabólicas individuales con sus respectivos comederos y bebederos (ver Anexo 7). A un grupo de seis ratas se le ofreció la dieta experimental y al otro grupo la dieta apteica.

Las dietas se elaboraron de acuerdo con la fórmula AIN-93 establecida por Reeves *et al.* (1993) para ratas en crecimiento, con un contenido de proteína del 10 por ciento. En el Anexo 2 se presenta la composición de la dieta experimental y apteica.

La duración del ensayo fue de 10 días, durante los cuatro primeros días de acostumbramiento se registró el consumo diario de alimento y el peso de cada rata. Finalizado el periodo de acostumbramiento, se acondicionaron las jaulas metabólicas con sus respectivos embudos colectores de heces y tubos de ensayo para recolectar la orina. En cada tubo se agregó cuatro gotas de tolueno para conservar el nitrógeno urinario. Además se colocaron hojas de papel debajo de cada jaula para recolectar y posteriormente cuantificar el desperdicio de alimento.

Finalmente se suministró la dieta experimental y aprotéica combinada con 10 mg de colorante carmín, que sirvió como indicador para el inicio del experimento.

Durante los seis días de evaluación se registró el peso de cada rata, el peso de la ración servida, del residuo y del desperdicio. Asimismo, se cuantificó la cantidad de orina y heces; éstas últimas se almacenaron con 100 mg de timol y en refrigeración con el fin de conservar el nitrógeno fecal. La cantidad del nitrógeno de las dietas, así como el nitrógeno fecal y urinario se determinó mediante el método Kjeldahl.

Los datos obtenidos de los ensayos biológicos se presentan en el Anexo 3.

Con los datos obtenidos se calculó la digestibilidad verdadera y el valor biológico verdadero con las siguientes fórmulas:

$$\text{Digestibilidad proteica verdadera (\%)} = \frac{I - (F - F_k) \times 100}{I}$$

Donde I = ingesta de nitrógeno, F = pérdida de nitrógeno fecal en la dieta de prueba, F_k = pérdida de nitrógeno fecal en la dieta libre de proteína.

$$\text{Valor biológico verdadero (\%)} = \frac{I - (F - F_k) - (U - U_k) \times 100}{I - (F - F_k)}$$

Donde U = pérdida de nitrógeno urinario en la dieta de prueba, U_k = pérdida de nitrógeno urinario en la dieta libre de proteína (FAO, 1991).

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE QUINUA

La quinua blanca escarificada se compró envasada. Los granos de quinua se molieron en un molino de martillos, luego se tamizó en una malla N°20 para evitar que pasen granos enteros.

La harina obtenida se envasó al vacío y se almacenó a temperatura ambiente.

En la Figura 6 se observa el flujo de operaciones para la obtención de harina de quinua

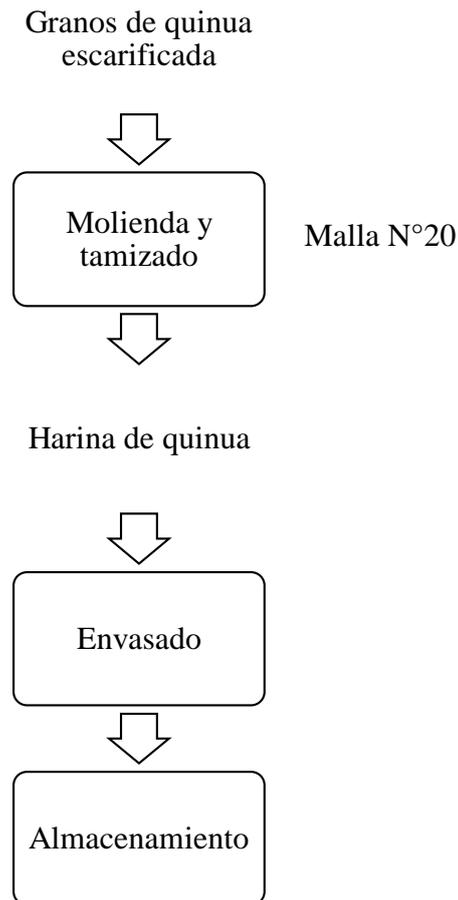


Figura 6: Flujo de operaciones para la obtención de harina de quinua

3.5.2. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE TARWI

El proceso de desamargado se realizó adaptando la metodología descrita por Gutiérrez *et al.* (2016). En la Figura 7 se observa el flujo de operaciones para la obtención de harina de tarwi; en el Anexo 5 se observan fotografías del proceso.

Las operaciones unitarias a seguir para la obtención de la harina de tarwi se presentan a continuación:

- a) Selección: Los granos de tarwi pasaron por un proceso de selección y limpieza manual para seleccionar los granos sanos y enteros de los granos dañados, y eliminar las piedras, paja e impurezas.

- b) Pesado: Los granos de tarwi sanos y enteros se pesaron para determinar la cantidad de agua a utilizar en el remojo.
- c) Remojo: El remojo se llevó a cabo en una marmita enchaquetada con agitador, en la cual se colocaron los granos de tarwi y agua en una proporción de 1:6 (p/v) (materia prima:agua). El tiempo de remojo fue de ocho horas a temperatura ambiente.
- d) Cocción: El agua de remojo se eliminó y se procedió a llenar la marmita con agua en una proporción de 1:5 (p/v) (materia prima:agua). El tiempo de cocción fue de una hora a una temperatura de 90°C. La cocción se realizó en la marmita enchaquetada con agitación.
- e) Lavado: El lavado se realizó en la marmita enchaquetada con agitación a temperatura ambiente. Los cambios de agua se realizaron cada 12 horas, realizándose en total seis cambios de agua por el lapso de tres días. La proporción tarwi:agua utilizada fue de 1:6 (p/v).
- f) Secado: Los granos de tarwi desamargados se secaron en un secador de bandejas a 60°C por 24 horas. Los granos secos se almacenaron en bolsas de polietileno a temperatura ambiente hasta su molienda.
- g) Molienda y tamizado: Los granos de tarwi secos se molieron en un molino de martillos, luego se tamizó la harina en una malla N°20.
- h) Envasado: La harina obtenida se envasó al vacío en bolsas de empacado al vacío con el fin de evitar la oxidación de la grasa presente en el tarwi.
- i) Almacenamiento: La harina embolsada se almacenó a temperatura ambiente.

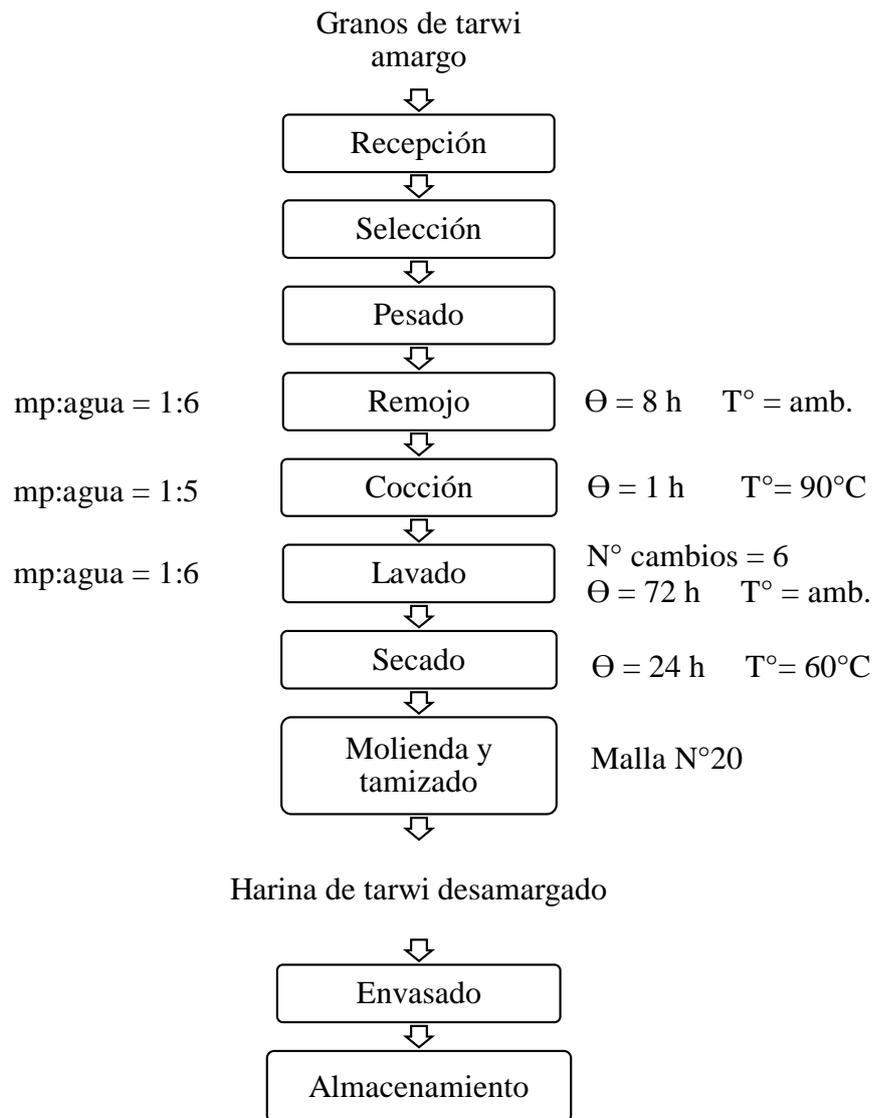


Figura 7: Flujo de operaciones para la obtención de harina de tarwi

3.5.3. ELABORACIÓN DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS

Las operaciones unitarias a seguir en la elaboración de los bocaditos extruidos se presentan a continuación:

- a) Pesado: Las harinas de quinua, tarwi y fécula de camote se pesaron siguiendo las 16 formulaciones obtenidas en el programa Design Expert®.

- b) Humectado - Mezclado: Con los datos de humedad de las harinas de quinua, tarwi y fécula de camote obtenidos del análisis químico proximal, se realizó el cálculo de balance de masa para determinar la cantidad de agua a agregar en cada formulación. Este cálculo se realizó con el fin de que cada formulación presente 15 por ciento de humedad. El humectado se realizó en un bowl y para adicionar el agua se utilizó una botella con spray. A medida que se agregaba el agua se mezclaban las harinas con una cuchara. Las formulaciones se envasaron en bolsas de polietileno con zipper y se almacenaron por 24 horas en refrigeración (5°C) antes de la extrusión.

- c) Extrusión: La extrusión de las 16 formulaciones se llevó a cabo en un extrusor de doble tornillo en el que se trabajó a una velocidad de 800 RPM, velocidad de alimentación de 22 Hz, velocidad de cortador de 4 Hz, temperaturas de 30, 40, 50, 70, 90, 120 y 150°C (a lo largo de las secciones del extrusor). El dado o boquilla utilizada fue de forma rectangular de dimensiones 0.098 x 0.787 pulg.

- d) Secado: Los bocaditos extruidos se secaron en un secador de bandejas a 50°C por 18 horas para reducir la humedad a cinco por ciento. En el Anexo 8 se observan las 16 formulaciones de los bocaditos extruidos después del secado.

- e) Envasado: Los bocaditos extruidos se envasaron en bolsas de aluminio con zipper.

- f) Almacenamiento: Los extruidos embolsados se almacenaron a temperatura ambiente.

En la Figura 8 se observa el flujo de operaciones para la obtención de bocaditos extruidos.

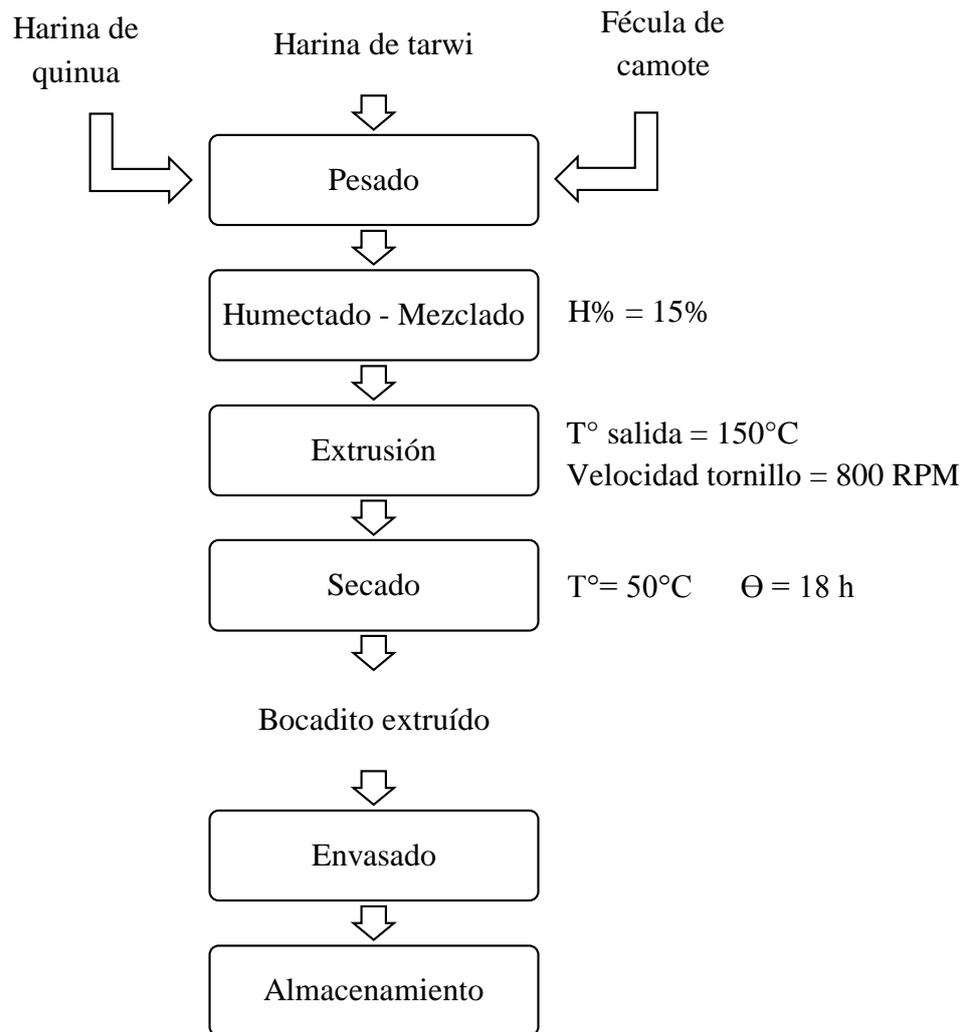


Figura 8: Flujo de operaciones para la elaboración de bocaditos extruidos

* Cabe resaltar que sólo para la evaluación sensorial se utilizaron bocaditos extruidos recubiertos con una solución de miel a 50°Brix. Para ello, se utilizaron 200 g de extruidos de cada formulación, obtenidos siguiendo la metodología anterior. La solución de miel se preparó con agua de mesa y miel de abeja (80°Brix), y se añadió a los bocaditos extruidos usando una botella con spray. Finalmente estos bocaditos extruidos se secaron a 60°C por 18 horas y se envasaron en bolsas de aluminio con zipper.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación estuvo dividida en las siguientes etapas:

a) Obtención y caracterización de las harinas

Los granos de quinua fueron molidos para obtener harina de quinua, mientras que los granos de tarwi fueron desamargados, secados y molidos para obtener harina de tarwi.

El análisis químico proximal se realizó por triplicado en los tres componentes (harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote).

b) Obtención de las formulaciones y elaboración de los bocaditos extruidos

Para evaluar el efecto de simultáneo de la harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote (variables independientes) sobre el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza (variables dependientes) de los bocaditos extruidos, se aplicó el método de diseño de mezclas usando la herramienta computacional - estadística Design-Expert® versión 7.0. Se utilizó un diseño de mezclas D-óptimo ya que este diseño es útil cuando hay restricciones en las proporciones de los componentes de la mezcla.

Mediante pruebas preliminares se establecieron las restricciones máximas y mínimas de los componentes, los cuales se observan en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Restricciones sobre los ingredientes que conforman el bocadito extruido

Ingrediente	Restricción mínima	Restricción máxima
Harina de quinua	57 %	84 %
Harina de tarwi	16 %	26 %
Fécula de camote	0 %	17 %

Considerando las restricciones en los tres componentes o variables independientes, se aplicó el software estadístico Design-Expert® versión 7.0, con el cual se obtuvieron los puntos experimentales dentro del espacio factorial de mezclas conocido como D-óptimo.

El diseño experimental estuvo conformado por 16 mezclas o formulaciones, las cuales se observan en el Cuadro 11. Las 16 formulaciones fueron elegidas por el programa, seis de ellas representaron los puntos experimentales con los que se estimaron los modelos matemáticos para cada respuesta, cinco puntos fueron repeticiones utilizados para una mejor estimación de la varianza del error y cinco puntos para el análisis de falta de ajuste de los modelos. La representación gráfica del diseño se observa en la Figura 9, donde la región experimental no ocupa todo el triángulo sino sólo una región restringida por cuatro vértices, debido a las restricciones impuestas en las proporciones de los componentes.

Cuadro 11: Formulaciones dadas por el programa Design-Expert® en base a las restricciones impuestas

Formulación	Harina de Quinoa (%)	Harina de Tarwi (%)	Fécula de Camote (%)
F1	75.56	24.44	0.00
F2	67.65	26.00	6.36
F3	75.56	24.44	0.00
F4	67.65	26.00	6.36
F5	63.05	21.26	15.69
F6	68.84	16.00	15.16
F7	84.00	16.00	0.00
F8	61.70	26.00	12.30
F9	68.84	16.00	15.16
F10	79.49	19.98	0.53
F11	77.13	16.86	6.02
F12	69.66	20.79	9.55
F13	73.52	21.57	4.92
F14	84.00	16.00	0.00
F15	57.01	25.99	17.00
F16	57.01	25.99	17.00

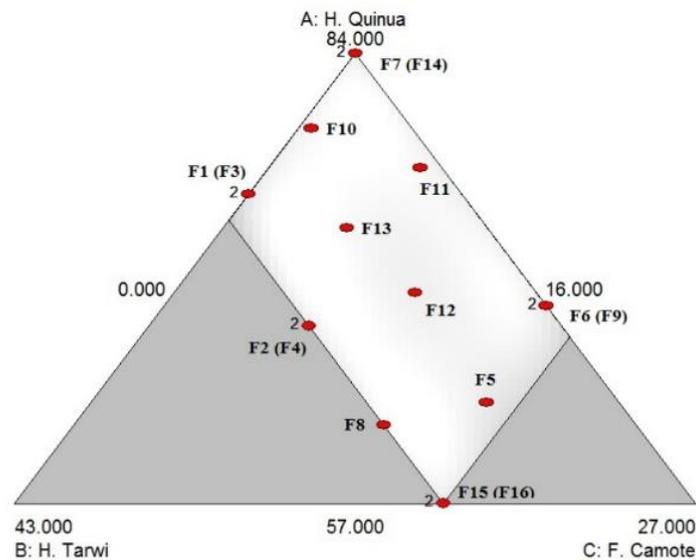


Figura 9: Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones sobre los niveles de harina de quinua, tarwi y fécula de camote

c) Evaluación de las formulaciones

Los bocaditos extruidos fueron elaborados siguiendo las 16 formulaciones. A cada formulación se le realizó el análisis de contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza.

Los resultados del contenido de proteína, densidad aparente y dureza en los bocaditos extruidos se expresaron como el promedio de las tres observaciones registradas por cada formulación. Los resultados del índice de expansión representaron el promedio de 20 observaciones por cada formulación.

En el programa Design-Expert® se introdujeron el promedio de los valores observados en las formulaciones experimentales para obtener el modelo matemático y análisis estadístico para cada variable respuesta.

También se realizó la evaluación sensorial a las 16 formulaciones, la cual se llevó a cabo mediante el diseño de bloques incompletos balanceados.

d) Optimización simultánea de las respuestas

La optimización simultánea de las respuestas se realizó con el objetivo de determinar la formulación que cumpliera con determinadas restricciones impuestas sobre cada una de las respuestas. Para ello, se establecieron las siguientes restricciones:

- Maximización del contenido de proteína (20,00 – 21,86 por ciento)
- Maximización del índice de expansión (1,80 – 2,24)
- Minimización de la densidad aparente (0,199 – 0,30 g/cm³)
- Minimización de la dureza (8,29 – 11,70 N)

Las restricciones se introdujeron al software Design Expert ® versión 7.0, en el cual se graficaron las restricciones en forma de contornos sobre el espacio factorial de mezcla. La intersección de los contornos definió la zona de formulación factible, que estuvo conformada por las mezclas que cumplían simultáneamente con las restricciones impuestas.

La formulación seleccionada como óptima fue aquella que presentó mayor valor de deseabilidad global, que representa la media geométrica de los valores de las deseabilidades individuales, es decir:

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \times d_4)^{1/4}$$

Donde:

d_1 = Función de deseabilidad para el contenido de proteína en el bocadito extruido.

d_2 = Función de deseabilidad para el índice de expansión en el bocadito extruido.

d_3 = Función de deseabilidad para la densidad aparente en el bocadito extruido.

d_4 = Función de deseabilidad para la dureza en el bocadito extruido.

Luego de conocida la formulación óptima y sus valores predichos para las variables respuestas, se elaboraron los bocaditos extruidos siguiendo la formulación óptima, con el fin de validar los resultados.

e) Caracterización y evaluación de la calidad proteica a la formulación óptima

La formulación óptima fue caracterizada respecto a su composición químico proximal, índice de expansión, densidad aparente y dureza. También se le realizaron los ensayos de valor biológico verdadero y digestibilidad verdadera para evaluar la calidad proteica.

En el Cuadro 12 se observa el diseño experimental de la investigación.

Cuadro 12: Diseño experimental de la investigación

Etapas	Obtención y caracterización de las harinas	Formulación	Elaboración de bocaditos extruidos	Evaluación de las formulaciones	Optimización	Caracterización y evaluación de la calidad proteica al producto final
Tratamientos						
Parámetros	<p>Desamargado de tarwi:</p> <p>Remojo: mp:agua =1:6 Θ = 8 h T° = amb.</p> <p>Cocción: mp:agua =1:5 Θ = 1 h T° = 90°C</p> <p>Lavado: mp:agua = 1:6 Nº cambios = 6 Θ = 72 h T° = amb.</p> <p>Secado: Θ = 24 h T° = 60°C</p>		<p>Humectado: H = 15 por ciento</p> <p>Extrusión: T° salida = 150°C Velocidad de tornillo = 800 RPM</p> <p>Secado: T° = 50°C Θ = 18 h</p>		<p>Maximización del contenido de proteína (20,00 – 21,86 por ciento)</p> <p>Maximización del índice de expansión (1,80 – 2,24)</p> <p>Minimización de la densidad aparente (0,199 – 0,300 g/cm³)</p> <p>Minimización de la dureza (8,29 – 11,70 N)</p>	
Análisis	<p>Análisis químico proximal</p> <p>Alcaloides</p>	<p>Análisis químico proximal</p>		<p>Contenido de proteínas</p> <p>Índice de expansión</p> <p>Densidad aparente</p> <p>Dureza</p> <p>Evaluación sensorial</p>	<p>Análisis estadístico con software Design Expert®</p>	<p>Análisis químico proximal</p> <p>Índice de expansión, densidad aparente, dureza</p> <p>Valor biológico verdadero</p> <p>Digestibilidad verdadera</p>

HQ: Harina de quinua

HT: Harina de tarwi

FC: Fécula de camote

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.7.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO PROTEICO, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA

Los resultados obtenidos del contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza en las 16 formulaciones de los bocaditos extruidos se introdujeron al programa Design-Expert® versión 7.0. Con los resultados se realizó un análisis de regresión múltiple, con la finalidad de obtener el polinomio canónico de Scheffé que describa la dependencia de cada una de dichas características en función de los componentes que conforman al bocadito extruido. Además del modelo de regresión, el análisis de varianza y la prueba de significancia de coeficientes (nivel de significación $\alpha = 0,05$), también fueron llevados a cabo mediante la utilización del programa estadístico Design Expert® versión 7.0. El ANVA consistió en establecer la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo, además de una falta de ajuste (lack of fit) no significativa (Cornell, 2002). La significancia estadística del modelo y de los coeficientes se estableció mediante la prueba F de Fisher, debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0,05; mientras que para la falta de ajuste, el valor de probabilidad F (Prob > F) debía ser mayor a 0,05. Los parámetros estadísticos utilizados para evaluar y seleccionar el modelo mejor ajustado son el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).

Los gráficos de contorno, gráficos de superficie de respuesta tridimensional y los trazos de Cox para cada respuesta también fueron generados por el software Design Expert ® versión 7.0 para una mejor explicación. El objetivo de los dos primeros gráficos fue brindar una visión panorámica de la variación de la variable en cuestión, en función de los ingredientes estudiados; mientras que con los trazos de Cox se pudo establecer el efecto que cada ingrediente ejerció sobre cada variable en estudio.

3.7.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Del diseño de mezclas se obtuvieron 16 formulaciones que debían ser evaluadas por 100 niños, pero al ser un número alto de tratamientos o formulaciones a evaluar se optó por usar un diseño de bloques incompletos balanceados.

Para distribuir las muestras a evaluar, se realizó el arreglo de distribución de tratamientos, bloques, repeticiones y pares de tratamientos; siguiendo el Diseño 10.20 de Cochran y Cox (1990):

$$t = 16, k = 4, n = 20, r = 5, \lambda = 1$$

Donde:

t = número de muestras o tratamientos

k = número de muestras que aparece en cada bloque ($k > t$)

n = número de bloques o jueces

r = número de repeticiones por muestra o tratamiento

λ = número de veces que un par de muestras son comparadas

Se cumple que $kn = rt$ y que $\lambda = r(k-1)/(t-1)$

Como el diseño está distribuido para 20 jueces, el número de jueces (100) fue dividido en cinco grupos.

En el Cuadro 13 se observa el diseño de bloques incompleto balanceado utilizado para distribuir las muestras en la evaluación sensorial.

Cuadro 13: Diseño de bloques incompletos balanceados utilizado en el análisis sensorial de las 16 formulaciones de bocaditos extruidos

Panelista	F1 516	F2 728	F3 931	F4 245	F5 459	F6 862	F7 174	F8 380	F9 695	F10 910	F11 171	F12 214	F13 813	F14 415	F15 581	F16 196
1	X	X	X	X												
2					X	X	X	X								
3									X	X	X	X				
4													X	X	X	X
5	X				X				X				X			
6		X				X				X				X		
7			X				X				X				X	
8				X				X				X				X
9	X					X					X					X
10		X			X							X			X	
11			X					X	X					X		
12				X			X			X			X			
13	X						X					X		X		
14		X						X			X		X			
15			X		X					X						X
16				X		X			X						X	
17	X							X		X					X	
18		X					X		X							X
19			X			X						X	X			
20				X	X						X			X		

FUENTE: Cochran y Cox (1990)

Posteriormente, las respuestas obtenidas mediante la escala hedónica se transformaron en números. Se asignaron valores entre uno, para la carita de “no me gusta nada”, y cinco, para la carita de “me gusta mucho”.

Con los resultados obtenidos, se aplicó la prueba de Durbin siguiendo el siguiente procedimiento:

I. Planteamiento de hipótesis:

H₀: Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H₁: Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

Se ordenaron las observaciones dentro de cada bloque, asignando el rango 1 a la observación menor y así sucesivamente hasta el rango 4 para la observación mayor. En las observaciones con valores iguales se promediaron los rangos disputados a cada una de las observaciones empatadas.

Se determinó la suma de los rangos asignados para cada tratamiento y se realizó el cálculo del estadístico de prueba:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

IV. Criterios de decisión: Se comparó el valor calculado con el valor tabulado

Se aceptó la H₀ si $T_3 \leq X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

Se rechazó la H₀ si $T_3 > X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

V. Conclusiones

Se concluyó a un nivel de significación de 0,05 si las muestras de extruidos presentaron el mismo grado de satisfacción o si al menos una de las muestras de extruidos presentó diferente grado de satisfacción.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS

4.1.1. QUINUA

Uno de los componentes utilizados en la elaboración de los bocaditos extruidos fue la quinua. Para ello se utilizaron granos de quinua escarificada que posteriormente fueron molidos. En el Cuadro 14 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal, los cuales fueron obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

Cuadro 14: Composición químico proximal de la harina de quinua

Componente	Porcentaje (% b.h)	Porcentaje (% b.s)
Humedad	9,71 ± 0,312	-
Proteína	10,88 ± 0,019	12,05 ± 0,056
Grasa	4,98 ± 0,211	5,51 ± 0,225
Carbohidratos	69,85 ± 0,399	77,36 ± 0,282
Fibra cruda	2,44 ± 0,106	2,71 ± 0,125
Ceniza	2,14 ± 0,026	2,37 ± 0,032

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal cumplen con los requisitos fisicoquímicos para la harina de quinua establecidos en la NTP 011.451 (INDECOPI, 2013). En la que se indica que la harina de quinua debe tener como máximo 13,5 por ciento de humedad y 3 por ciento de cenizas totales, y como mínimo 10 por ciento de proteína, 1,7 por ciento de fibra cruda, 4 por ciento de grasa y 72,7 por ciento de carbohidratos.

En las Tablas peruanas de composición de alimentos (Reyes *et al.*, 2009) se ha reportado la composición químico proximal de la quinua blanca de Junín y quinua blanca de Puno. Para la quinua blanca de Junín, se indica una composición de 11,8 por ciento de humedad, 12,2 por ciento de proteínas, 6,2 por ciento de grasa, 67,2 por ciento de carbohidratos totales, 5,7

por ciento de fibra cruda y 2,6 por ciento de ceniza. Para la quinua blanca de Puno se indica una composición de 11,1 por ciento de humedad, 13,3 por ciento de proteína, 6,1 por ciento de grasa, 67,1 por ciento de carbohidratos totales, 5,1 por ciento de fibra cruda y 2,4 por ciento de ceniza.

A pesar de que los valores obtenidos en la literatura citada provienen de quinua blanca, éstos varían con respecto a los valores encontrados en la composición químico proximal de la quinua utilizada en la investigación; dicha diferencia puede deberse al lugar de procedencia de la quinua.

4.1.2. TARWI

Los resultados del análisis químico proximal del tarwi crudo y tarwi desamargado transformado en harina se presentan en el Cuadro 15. Los resultados fueron obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones, y se presentan en base húmeda y base seca.

Cuadro 15: Composición químico proximal de tarwi crudo y harina de tarwi

Componente	Tarwi crudo		Harina de tarwi	
	Porcentaje (% b.h)	Porcentaje (% b.s)	Porcentaje (% b.h)	Porcentaje (% b.s)
Humedad	11,54 ± 0,117	-	3,90 ± 0,116	-
Proteína	43,54 ± 0,665	49,22 ± 0,747	56,66 ± 0,575	58,96 ± 0,528
Grasa	17,20 ± 0,273	19,44 ± 0,292	23,20 ± 0,096	24,14 ± 0,113
Carbohidratos	17,53 ± 0,688	19,83 ± 0,782	3,08 ± 0,429	3,20 ± 0,450
Fibra cruda	7,78 ± 0,165	8,79 ± 0,183	10,60 ± 0,015	11,03 ± 0,029
Ceniza	2,41 ± 0,358	2,72 ± 0,406	2,56 ± 0,005	2,67 ± 0,003

Quispe (2015) realizó una investigación en nueve genotipos de *Lupinus mutabilis* crudo, los cuales presentaron valores de 41 a 47 por ciento de proteína cruda, 16 a 24 por ciento de grasa, 31 a 37 por ciento de carbohidratos, 8 a 12 por ciento de fibra cruda y 4 a 5 por ciento de cenizas en base seca. Después del desamargado acuoso, los genotipos de *Lupinus mutabilis* presentaron valores de 43 a 53 por ciento de proteína cruda, 13 a 24 por ciento de

grasa, 25 a 34 por ciento de carbohidratos, 11 a 21 por ciento de fibra cruda y 3 a 4 por ciento de cenizas en base seca.

Como se observa en el Cuadro 15, solo el contenido de grasa y fibra del tarwi crudo y la harina de tarwi desamargado se encuentran dentro de los rangos reportados por Quispe (2015).

En cuanto al contenido de proteína, Carvajal-Larenas *et al.* (2016) mencionan que el contenido de proteína en base seca de *Lupinus mutabilis* sin desamargar varía de 32 a 52,6 por ciento. Este amplio rango es asociado a factores genéticos y agronómicos que reflejan la amplia variabilidad genética, que ha sido observada especialmente en la forma de la planta, crecimiento vegetativo, susceptibilidad a heladas y enfermedades, y en el contenido de proteínas, aceite y alcaloides (Haq, 1993 citado por Carvajal-Larenas *et al.*, 2016). Asimismo, Carvalho *et al.* (2005) demostraron que la fracción lipídica en el tarwi es afectada por el estrés hídrico, es decir, el contenido de lípidos se reduce a la mitad en condiciones de estrés hídrico; mientras que la variabilidad en el contenido de fibra y ceniza también puede ser explicada parcialmente por este factor.

Al compararse la composición del tarwi crudo y harina de tarwi obtenida a partir de tarwi desamargado, se evidencia que durante el desamargado se producen cambios importantes que traen como consecuencia el aumento del contenido de proteínas, grasa y fibra cruda, mientras que el contenido de carbohidratos disminuye.

Carvajal-Larenas *et al.* (2016) mencionan que durante el proceso de desamargado acuoso se pierde materia seca soluble en el agua de procesamiento, lo cual da lugar a aumentos aparentes en el contenido de proteína por la lixiviación de los carbohidratos solubles y minerales. Mostafa *et al.* (2013) también indican que al eliminarse el líquido del desamargado se eliminan oligosacáridos, minerales, alcaloides, flavonoides y fibra. Por otra parte, Carvajal-Larenas *et al.* (2014) mencionan que la pérdida de proteínas se reduce debido a la coagulación de estas durante la cocción durante el proceso de desamargado.

Quispe (2015) menciona que el incremento porcentual de fibra cruda que provoca el desamargado en los genotipos de *L. mutabilis* podría deberse a que estos poseen más fibra

soluble (pectina, gomas y mucílagos) que insoluble. La pérdida de fibra soluble durante los lavados ocasionaría que la materia seca disminuya, por consiguiente, el valor de fibra cruda aumentaría porcentualmente.

Cuadro 16: Contenido de alcaloides totales en tarwi desamargado

Muestra	Repetición	Abs	Peso (mg)	% Alcaloides b.h	% Alcaloides b.s
Tarwi desmargado	R1	0.119	100.7	0.013 ± 0.007	0.014 ± 0.007
	R2	0.115	100.7		
	R3	0.120	100.7		

Respecto al contenido de alcaloides, después del desamargado el tarwi presentó 0,014 por ciento de alcaloides en base seca (Cuadro 16). El valor obtenido se encuentra dentro del límite permitido por la norma ecuatoriana INEN 2390:2004 y las normas europeas (ANZFA, 2001; ACFNP, 1996) que establecen como límite máximo 0,07 por ciento y 0,02 por ciento, respectivamente.

4.1.3. FÉCULA DE CAMOTE

En el Cuadro 17 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la fécula de camote, los cuales fueron obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

Cuadro 17: Composición químico proximal de la fécula de camote

Componente	Porcentaje (% b.h)	Porcentaje (% b.s)
Humedad	12,49 ± 0,051	-
Proteína	1,03 ± 0,034	1,18 ± 0,038
Grasa	0,03 ± 0,001	0,03 ± 0,001
Carbohidratos	86,32 ± 0,047	98,65 ± 0,041
Fibra cruda	0,00	0,00
Ceniza	0,13 ± 0,003	0,14 ± 0,003

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal difieren a los obtenidos por Abegunde *et al.* (2013), en cuya investigación realizada en almidones de once cultivares de

camote, se presentaron valores de 3,86 a 6,52 por ciento de humedad, 0,28 a 0,75 por ciento de proteína, 0,10 a 0,47 por ciento de cenizas y de 0,00 a 0,02 por ciento de grasa. Como se observa en el Cuadro 17, el contenido de humedad y proteína fue mayor a los valores encontrados por Abegunde *et al.* (2013). Este autor menciona que la variación en la humedad puede atribuirse al grado de secado de los almidones. Sin embargo, el contenido de humedad en la fécula de camote se encuentra dentro de lo recomendado, ya que la humedad recomendada para almidones comerciales debe estar debajo del 20 por ciento.

4.2. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS

4.2.1. CONTENIDO DE PROTEÍNA

En el Cuadro 18 se presentan los valores observados y estimados del contenido de proteína correspondiente a cada formulación estudiada.

Cuadro 18: Valores observados y estimados del contenido de proteína en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos

Formulación	x₁ Harina de quinua (%)	x₂ Harina de tarwi (%)	x₃ Fécula de camote (%)	y_i Contenido de proteína observado (%)	ŷ_i Contenido de proteína estimado (%)
F1	75,56	24,44	0,00	21,28	21,98
F2	67,65	26,00	6,36	21,65	21,95
F3	75,56	24,44	0,00	21,86	21,98
F4	67,65	26,00	6,36	21,71	21,95
F5	63,05	21,26	15,69	18,51	19,69
F6	68,84	16,00	15,16	17,33	18,07
F7	84,00	16,00	0,00	19,43	19,31
F8	61,70	26,00	12,30	21,77	21,46
F9	68,84	16,00	15,16	18,29	18,07
F10	79,49	19,98	0,53	20,14	20,52
F11	77,13	16,86	6,02	19,13	19,09
F12	69,66	20,79	9,55	20,64	20,04
F13	73,52	21,57	4,92	21,39	20,67
F14	84,00	16,00	0,00	19,97	19,31
F15	57,01	25,99	17,00	21,46	21,07
F16	57,01	25,99	17,00	21,67	21,07

El promedio de los valores obtenidos en el análisis de contenido de proteína realizado a las 16 formulaciones de los bocaditos extruidos, se sometieron al análisis de regresión múltiple correspondiente, del cual se obtuvo la siguiente ecuación polinómica de primer grado:

$$\hat{y} = 0,143x_1 + 0,458x_2 + 0,061x_3$$

Donde \hat{y} representa el contenido de proteína estimado; mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, respectivamente.

El modelo fue evaluado usando el análisis de varianza, el cual se muestra en el Cuadro 19. En este cuadro se observa que el valor- p (o p -value) del modelo es menor a 0,05, lo cual prueba que el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Con este criterio se seleccionó el modelo lineal.

La falta de ajuste es no significativa, ya que el valor- p es mayor a 0,05. Es deseable que la falta de ajuste sea no significativa, ya que indica que el modelo proporciona un ajuste adecuado a los datos.

Cuadro 19: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p Prob > F
Modelo	27,48	2	13,74	37,84	< 0,0001
Falta de ajuste	3,92	8	0,49	3,07	0,1157
Error puro	0,80	5	0,16		
Total	32,20	15			
R² = 0,8534			R²_{adj} = 0,8309		

Como se observa en el Cuadro 19, el valor F calculado para el modelo (37,84) fue mayor al valor tabular $F_{(2,13,0,95)} = 3,81$. Con lo cual se concluye que a un nivel de significación del 5 por ciento, y con la información estadística recolectada se puede afirmar que al menos una

de las variables independientes (harina de quinua, tarwi o fécula de camote) se relaciona linealmente con el contenido de proteína de los bocaditos extruidos.

El coeficiente de determinación, R^2 , resultó 0,8534. Según Montgomery (2004), el coeficiente de determinación (R^2) se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos explicada por el modelo del análisis de varianza. En este sentido se afirmarí que el 85,34 por ciento de la variabilidad del contenido de proteína en los bocaditos extruidos es explicada por las variables independientes (porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote) en el modelo seleccionado.

En el Cuadro 19, además del coeficiente de determinación (R^2) se presenta el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), ya que como menciona Montgomery (2004), un valor grande de R^2 no implica necesariamente que el modelo de regresión sea adecuado. Esto se debe a que siempre que se agregue una variable al modelo, R^2 se incrementará, independientemente de que la variable adicional sea estadísticamente significativa o no. Por lo tanto, es posible que los modelos que tienen valores grandes de R^2 produzcan predicciones pobres de nuevas observaciones o estimaciones pobres de la respuesta media.

Algunos constructores de modelos de regresión prefieren usar el estadístico R^2 ajustado, que refleja el número de factores presentes en el modelo, y puede ser un estadístico útil en experimentos más complejos en los que intervienen varios factores en el diseño, cuando quiere evaluarse el impacto de aumentar o disminuir el número de términos del modelo. El coeficiente de determinación ajustado no siempre se incrementará cuando se agreguen variables al modelo, de hecho, si se agregan términos innecesarios, el valor de R^2_{adj} se reducirá con frecuencia (Montgomery, 2004).

Gutiérrez y de la Vara (2008) señalan que entre R^2_{adj} y R^2 , se cumple que $0 < R^2_{adj} \leq R^2 < 1$; y que en general, para afirmar que un modelo tiene un ajuste satisfactorio es necesario que ambos coeficientes tengan valores superiores a 0,7. Entonces se puede afirmar que modelo de regresión para el contenido de proteína tiene un ajuste satisfactorio.

4.2.2. ÍNDICE DE EXPANSIÓN

En el Cuadro 20 se presentan los valores observados y estimados del índice de expansión correspondiente a cada formulación estudiada.

Cuadro 20: Valores observados y estimados del índice de expansión en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos

Formulación	x ₁ Harina de quinua (%)	x ₂ Harina de tarwi (%)	x ₃ Fécula de camote (%)	y _i Índice de expansión observado	ŷ _i Índice de expansión estimado
F1	75,56	24,44	0,00	1,71	1,62
F2	67,65	26,00	6,36	1,69	1,75
F3	75,56	24,44	0,00	1,28	1,62
F4	67,65	26,00	6,36	1,55	1,75
F5	63,05	21,26	15,69	1,72	2,09
F6	68,84	16,00	15,16	2,23	2,20
F7	84,00	16,00	0,00	1,87	1,81
F8	61,70	26,00	12,30	1,95	1,90
F9	68,84	16,00	15,16	2,08	2,20
F10	79,49	19,98	0,53	1,85	1,74
F11	77,13	16,86	6,02	1,64	1,94
F12	69,66	20,79	9,55	2,21	1,95
F13	73,52	21,57	4,92	1,96	1,81
F14	84,00	16,00	0,00	2,06	1,81
F15	57,01	25,99	17,00	2,24	2,02
F16	57,01	25,99	17,00	2,21	2,02

El promedio de los valores obtenidos en la medición del índice de expansión, se sometieron al análisis de regresión múltiple correspondiente, del cual se obtuvo la siguiente ecuación polinómica de primer grado:

$$\hat{y} = 0,022x_1 - 0,0004x_2 + 0,047x_3$$

Donde \hat{y} representa el índice de expansión estimado; mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, respectivamente. El análisis de varianza correspondiente al modelo de regresión obtenido, se muestra en el Cuadro 21. En este cuadro se observa que el valor- p (o p -value) del modelo es menor a 0,05, lo cual prueba que el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Con este criterio se seleccionó el modelo lineal.

Respecto a la falta de ajuste, esta resultó ser no significativa ya que el valor- p es mayor a 0,05. Es deseable que la falta de ajuste sea no significativa, porque esto indica que el modelo proporciona un ajuste adecuado a los datos.

Cuadro 21: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el índice de expansión de los bocaditos extruidos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p Prob > F
Modelo	0,49	2	0,25	4,75	0,0283
Falta de ajuste	0,54	8	0,068	2,57	0,1569
Error puro	0,13	5	0,027		
Total	1,17	15			
$R^2 = 0,4221$			$R^2_{adj} = 0,3332$		

Como se observa en el Cuadro 21, el valor F calculado para el modelo (4,75) fue mayor al valor tabular $F_{(2,13,0,95)} = 3,81$. Con lo cual se concluye que a un nivel de significación del 5 por ciento, y con la información estadística recolectada se puede afirmar que al menos una de las variables independientes (harina de quinua, tarwi o fécula de camote) se relaciona linealmente con el índice de expansión de los bocaditos extruidos.

El coeficiente de determinación, R^2 , y el coeficiente de determinación ajustado, R^2_{adj} , resultaron 0,4221 y 0,3332, respectivamente. Según Montgomery (2004), el coeficiente de determinación (R^2) se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos explicada por el modelo del análisis de varianza. En este sentido se afirmarí que el 42,21 por ciento

de la variabilidad del índice de expansión en los bocaditos extruidos es explicada por las variables independientes (porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote) en el modelo seleccionado.

Gutiérrez y de la Vara (2008) señalan que entre R^2_{adj} y R^2 , se cumple que $0 < R^2_{adj} \leq R^2 < 1$; y que en general, para afirmar que un modelo tiene un ajuste satisfactorio es necesario que ambos coeficientes tengan valores superiores a 0,7. Como se observa en el Cuadro 21, los valores de R^2 y R^2_{adj} son inferiores a 0,7; sin embargo, el valor- p bajo que corresponde al modelo de regresión lineal, aun indica que existe una relación real entre los predictores significativos y la variable respuesta.

4.2.3. DENSIDAD APARENTE

En el Cuadro 22 se presentan los valores observados y estimados de la densidad aparente correspondiente a cada formulación estudiada.

Cuadro 22: Valores observados y estimados de la densidad aparente en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos

Formulación	x₁	x₂	x₃	y_i	ŷ_i
	Harina de quinua (%)	Harina de tarwi (%)	Fécula de camote (%)	Densidad aparente observada (g/cm³)	Densidad aparente estimada (g/cm³)
F1	75,56	24,44	0,00	0,285	0,335
F2	67,65	26,00	6,36	0,328	0,305
F3	75,56	24,44	0,00	0,427	0,335
F4	67,65	26,00	6,36	0,322	0,305
F5	63,05	21,26	15,69	0,240	0,217
F6	68,84	16,00	15,16	0,206	0,186
F7	84,00	16,00	0,00	0,308	0,280
F8	61,70	26,00	12,30	0,249	0,268
F9	68,84	16,00	15,16	0,199	0,186
F10	79,49	19,98	0,53	0,282	0,303
F11	77,13	16,86	6,02	0,290	0,248

«Continuación»

F12	69,66	20,79	9,55	0,206	0,252
F13	73,52	21,57	4,92	0,280	0,286
F14	84,00	16,00	0,00	0,203	0,280
F15	57,01	25,99	17,00	0,228	0,239
F16	57,01	25,99	17,00	0,211	0,239

El promedio de los valores obtenidos en la medición de la densidad aparente en los bocaditos extruidos, se sometieron al análisis de regresión múltiple correspondiente, del cual se obtuvo la siguiente ecuación polinómica de primer grado:

$$\hat{y} = 0,0018x_1 + 0,0082x_2 - 0,0045x_3$$

Donde \hat{y} representa la densidad aparente estimada; mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, respectivamente.

El análisis de varianza correspondiente al modelo de regresión obtenido, se muestra en el Cuadro 23. En este cuadro se observa que el valor- p (o p -value) del modelo es menor a 0,05, lo cual prueba que el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y de la Vara, 2008). La falta de ajuste de la ecuación resultó ser no significativa ya que el valor- p es mayor a 0,05. Es deseable que la falta de ajuste sea no significativa, porque esto indica que el modelo proporciona un ajuste adecuado a los datos.

Cuadro 23: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la densidad aparente de los bocaditos extruidos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p Prob > F
Modelo	0,032	2	0,016	8,23	0,0049
Falta de ajuste	0,0094	8	0,0012	0,37	0,8961
Error puro	0,016	5	0,0032		
Total	0,057	15			
R² = 0,5588			R²_{adj} = 0,4909		

En el Cuadro 23 se observa que el valor F calculado del modelo de regresión (8,23) fue mayor al valor tabular $F_{(2,13,0,95)} = 3,81$. Con lo cual se concluye que a un nivel de significación del 5 por ciento, y con la información estadística recolectada se puede afirmar que al menos una de las variables independientes (harina de quinua, tarwi o fécula de camote) se relaciona linealmente con la densidad aparente de los bocaditos extruidos.

El coeficiente de determinación, R^2 , y el coeficiente de determinación ajustado, R^2_{adj} , resultaron 0,5588 y 0,4909, respectivamente. Según Montgomery (2004), el coeficiente de determinación (R^2) se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos explicada por el modelo del análisis de varianza. En este sentido se afirmaría que el 55,88 por ciento de la variabilidad de la densidad aparente en los bocaditos extruidos es explicada por las variables independientes (porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote) en el modelo seleccionado.

Gutiérrez y de la Vara (2008) mencionan que entre R^2_{adj} y R^2 , se cumple que $0 < R^2_{adj} \leq R^2 < 1$; y que en general, para afirmar que un modelo tiene un ajuste satisfactorio es necesario que ambos coeficientes tengan valores superiores a 0,7. Como se observa en el Cuadro 23, los valores de R^2 y R^2_{adj} son inferiores a 0,7; sin embargo, el valor- p bajo que corresponde al modelo de regresión lineal, aun indica que existe una relación real entre los predictores significativos y la variable respuesta.

4.2.4. DUREZA

En el Cuadro 24 se presentan los valores observados y estimados de la dureza correspondiente a cada formulación estudiada.

Cuadro 24: Valores observados y estimados de la dureza en las formulaciones experimentales de los bocaditos extruidos

Formulación	x ₁ Harina de quinua (%)	x ₂ Harina de tarwi (%)	x ₃ Fécula de camote (%)	y _i Dureza observada (N)	ŷ _i Dureza estimada (N)
F1	75,56	24,44	0,00	12,87	14,85
F2	67,65	26,00	6,36	14,88	13,18
F3	75,56	24,44	0,00	15,59	14,85
F4	67,65	26,00	6,36	13,41	13,18
F5	63,05	21,26	15,69	11,84	11,45
F6	68,84	16,00	15,16	10,95	10,67
F7	84,00	16,00	0,00	10,01	9,33
F8	61,70	26,00	12,30	10,67	11,26
F9	68,84	16,00	15,16	9,82	10,67
F10	79,49	19,98	0,53	12,54	12,63
F11	77,13	16,86	6,02	11,62	10,48
F12	69,66	20,79	9,55	12,08	12,14
F13	73,52	21,57	4,92	12,90	12,94
F14	84,00	16,00	0,00	8,29	9,33
F15	57,01	25,99	17,00	9,34	9,74
F16	57,01	25,99	17,00	9,64	9,74

El promedio de los valores obtenidos en la medición de la dureza en las 16 formulaciones de los bocaditos extruidos, se sometieron al análisis de regresión múltiple correspondiente, del cual se obtuvo la siguiente ecuación polinómica de segundo grado:

$$\hat{y} = -0,172x_1 - 1,964x_2 + 0,573x_3 + 0,041x_1x_2$$

Donde \hat{y} representa el contenido de proteína estimado; mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, respectivamente. Los términos x_1x_3 y x_2x_3 se excluyeron del modelo estimado por ser no significativos.

El análisis de varianza se muestra en el Cuadro 25. Se observa que el valor- p (o p -value) del modelo es menor a 0,05, lo cual prueba que el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y de la Vara, 2008). Con este criterio se seleccionó el modelo cuadrático.

La falta de ajuste es no significativa, ya que el valor- p es mayor a 0,05. Es deseable que la falta de ajuste sea no significativa, ya que indica que el modelo proporciona un ajuste adecuado a los datos.

Cuadro 25: Resultados del Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la dureza de los bocaditos extruidos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Valor-p Prob > F
Modelo	49,52	3	16,51	16,85	0,0001
Términos lineales	23,85	2	11,93	12,18	0,0013
Término cuadrático (x_1x_2)	25,66	1	25,66	26,29	0,0003
Falta de ajuste	4,81	7	0,69	0,50	0,8074
Error puro	6,94	5	1,39		
Total	61,27	15			
$R^2 = 0,8081$			$R^2_{adj} = 0,7602$		

Como se observa en el Cuadro 25, el valor F calculado para el modelo (16,85) fue mayor al valor tabular $F_{(3,12,0,95)} = 3,49$. Con lo cual se concluye que a un nivel de significación del 5 por ciento, y con la información estadística recolectada, se puede afirmar que al menos una de las variables independientes (harina de quinua, tarwi o fécula de camote) se relaciona con la dureza de los bocaditos extruidos.

El coeficiente de determinación, R^2 , resultó 0,8081. Según Montgomery (2004), el coeficiente de determinación (R^2) se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos explicada por el modelo del análisis de varianza. En este sentido se afirmarían que el 80,81 por ciento de la variabilidad del contenido de proteína en los bocaditos extruidos es explicada por las variables independientes (porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote) en el modelo seleccionado.

En el Cuadro 25, además del coeficiente de determinación (R^2) se presenta el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), ya que como menciona Montgomery (2004), un valor grande de R^2 no implica necesariamente que el modelo de regresión sea adecuado. Esto se debe a que siempre que se agregue una variable al modelo, R^2 se incrementará, independientemente de que la variable adicional sea estadísticamente significativa o no. Por lo tanto, es posible que los modelos que tienen valores grandes de R^2 produzcan predicciones pobres de nuevas observaciones o estimaciones pobres de la respuesta media.

Algunos constructores de modelos de regresión prefieren usar el estadístico R^2 ajustado, que refleja el número de factores presentes en el modelo, y puede ser un estadístico útil en experimentos más complejos en los que intervienen varios factores en el diseño, cuando quiere evaluarse el impacto de aumentar o disminuir el número de términos del modelo. El coeficiente de determinación ajustado no siempre se incrementará cuando se agreguen variables al modelo, de hecho, si se agregan términos innecesarios, el valor de R^2_{adj} se reducirá con frecuencia (Montgomery, 2004).

Gutiérrez y de la Vara (2008) señalan que entre R^2_{adj} y R^2 , se cumple que $0 < R^2_{adj} \leq R^2 < 1$; y que en general, para afirmar que un modelo tiene un ajuste satisfactorio es necesario que ambos coeficientes tengan valores superiores a 0,7. Entonces se puede afirmar que modelo de regresión correspondiente a la dureza de los bocaditos extruidos tiene un ajuste satisfactorio.

4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL CONTENIDO DE PROTEÍNA, ÍNDICE DE EXPANSIÓN, DENSIDAD APARENTE Y DUREZA DE LOS BOCADITOS EXTRUIDOS

4.3.1. CONTENIDO DE PROTEÍNA

El efecto de los componentes de la mezcla en el contenido de proteína de los bocaditos extruidos se analizó mediante la superficie de respuesta, el gráfico de contornos y gráfico de trazas (Trazos de Cox) presentados en la Figura 10, 11 y 12, respectivamente.

Design-Expert® Software

Proteínas
21.8628
17.3253

X1 = A: H. Quinoa
X2 = B: H. Tarwi
X3 = C: F. Camote

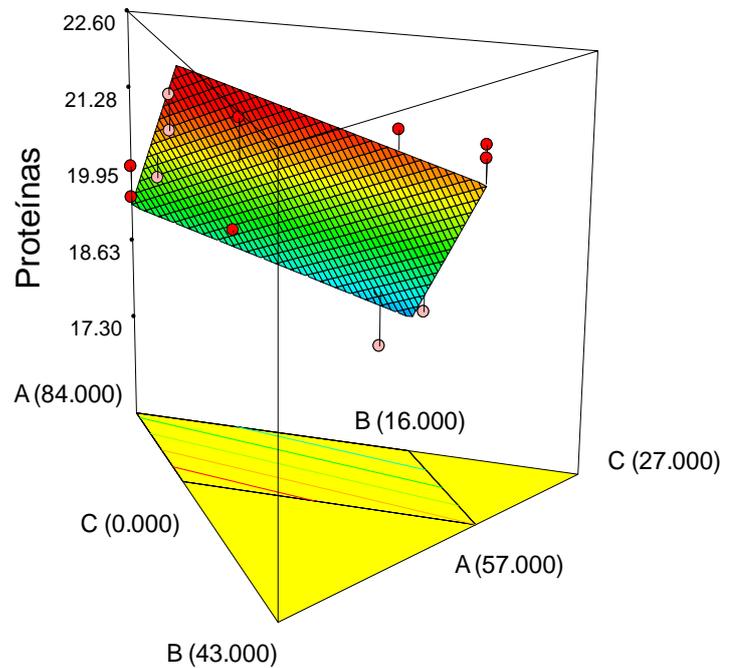


Figura 10: Superficie de respuesta para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos

Gutiérrez y de la Vara (2008) definen a la superficie de respuesta como la gráfica que representa el modelo ajustado, y describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental. Como se observa en la Figura 10, el gráfico de la superficie de respuesta para el contenido de proteína describe un comportamiento lineal sobre la región experimental.

Para una mejor visualización de la superficie de respuesta se generó el gráfico de contornos (Figura 11), en el cual se puede observar que cada curva representa un valor específico de la altura de la superficie.

Design-Expert® Software

Proteínas

● Design Points

21.8628

17.3253

X1 = A: H. Quinoa

X2 = B: H. Tarwi

X3 = C: F. Camote

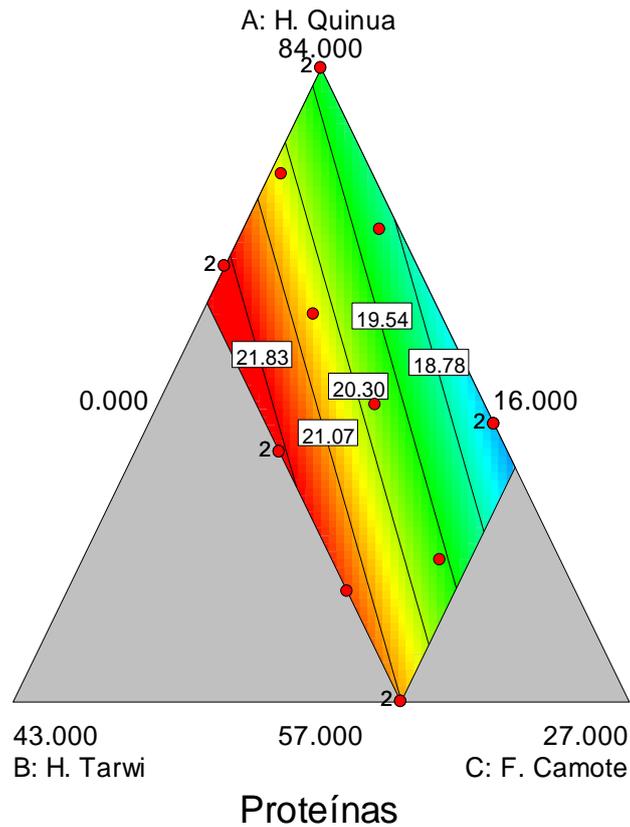


Figura 11: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos

En la Figura 11 se observa que los valores más altos del contenido de proteína están representados por el color rojo, y los valores más bajos por el color azul. El componente que tiene mayor influencia sobre el contenido de proteína es la harina de tarwi, ya que el área donde la proporción de harina de tarwi es mayor está representada por el color rojo.

Con el fin de analizar detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla en el contenido de proteína se utilizó el gráfico de trazos de Cox. La utilidad de este gráfico radica en que a partir de una mezcla de referencia, el gráfico muestra cómo cambia la respuesta conforme aumenta o disminuye la participación de cada componente en la mezcla.

Design-Expert® Software

Proteínas

Actual Components

A: H. Quinoa = 70.500

B: H. Tarwi = 21.000

C: F. Camote = 8.500

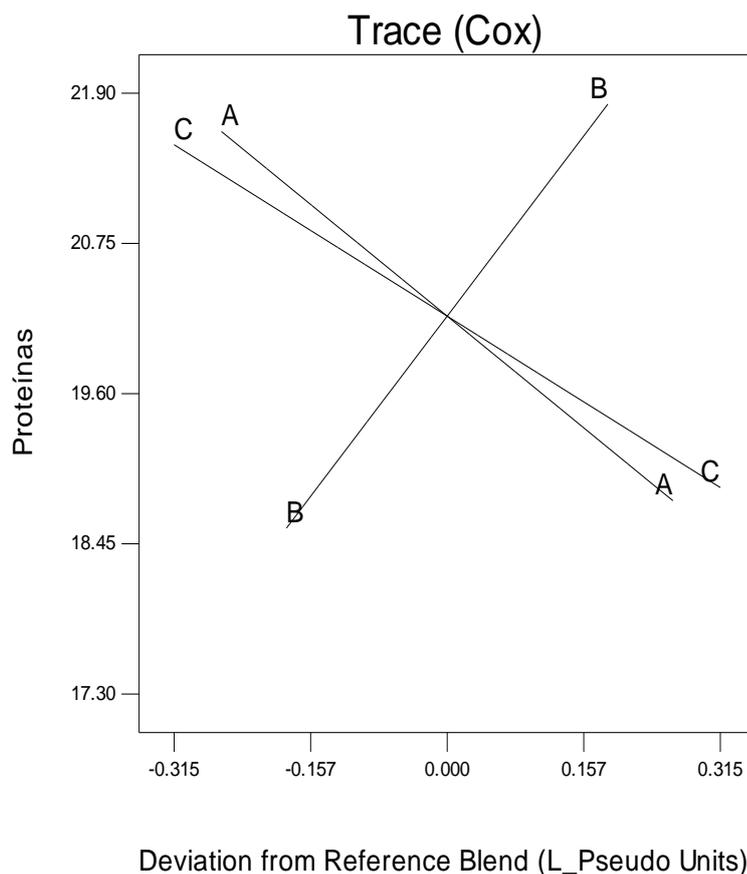


Figura 12: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos

En la Figura 12 se muestra el gráfico de trazas de Cox, en el cual se observa que las trazas de cada componente son rectas. Cornell (2002), afirma que cuando se tiene un modelo de regresión lineal, donde las trazas son rectas, los componentes que tienen las trazas de respuesta más pronunciadas tienen el mayor impacto en la respuesta; y si hay dos o más componentes con trazas de respuesta casi idénticas, éstos tendrán efectos aproximadamente idénticos sobre la respuesta.

Lo anterior se evidencia en la Figura 12. La traza pronunciada correspondiente a la harina de tarwi indica que este componente tiene el mayor efecto sobre el contenido de proteína; es decir, cuando este componente aumenta en la mezcla, el contenido de proteína también aumenta en los bocaditos extruidos. Por el contrario, la harina de quinoa y fécula de camote provocan la disminución del contenido de proteína conforme se incrementan sus niveles en la mezcla.

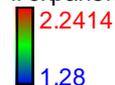
Al comparar las formulaciones 1 y 7 (Cuadro 18), se observa que a pesar de haber un incremento en la proporción de harina de quinua en la mezcla, al reducirse la proporción de harina de tarwi, el contenido de proteína en la formulación disminuye. De ello se concluye que el incremento en el contenido de proteína de los bocaditos extruidos es influenciado principalmente por la participación de harina de tarwi en la mezcla, debido a que es el componente con el mayor contenido de proteína, tal como lo indica el análisis químico proximal (Cuadro 15).

4.3.2. ÍNDICE DE EXPANSIÓN

Las Figuras 13 y 14 muestran la superficie de respuesta y el gráfico de contornos, respectivamente, que corresponden al índice de expansión de los bocaditos extruidos en función al porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote.

Design-Expert® Software

I. expansión



X1 = A: H. Quinua
X2 = B: H. Tarwi
X3 = C: F. Camote

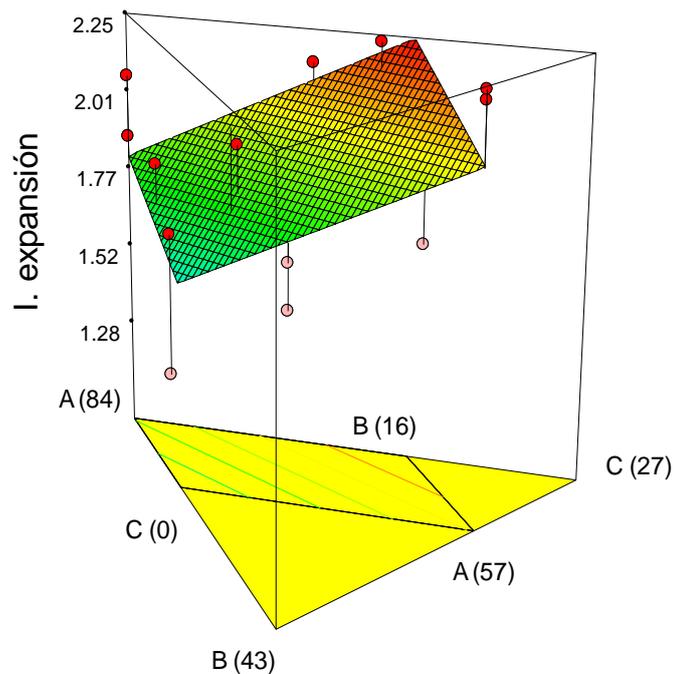


Figura 13: Superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos

La superficie de respuesta representa el modelo ajustado, y describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental. Como se observa en la Figura 13, el gráfico de la superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos describe un comportamiento lineal sobre la región experimental.

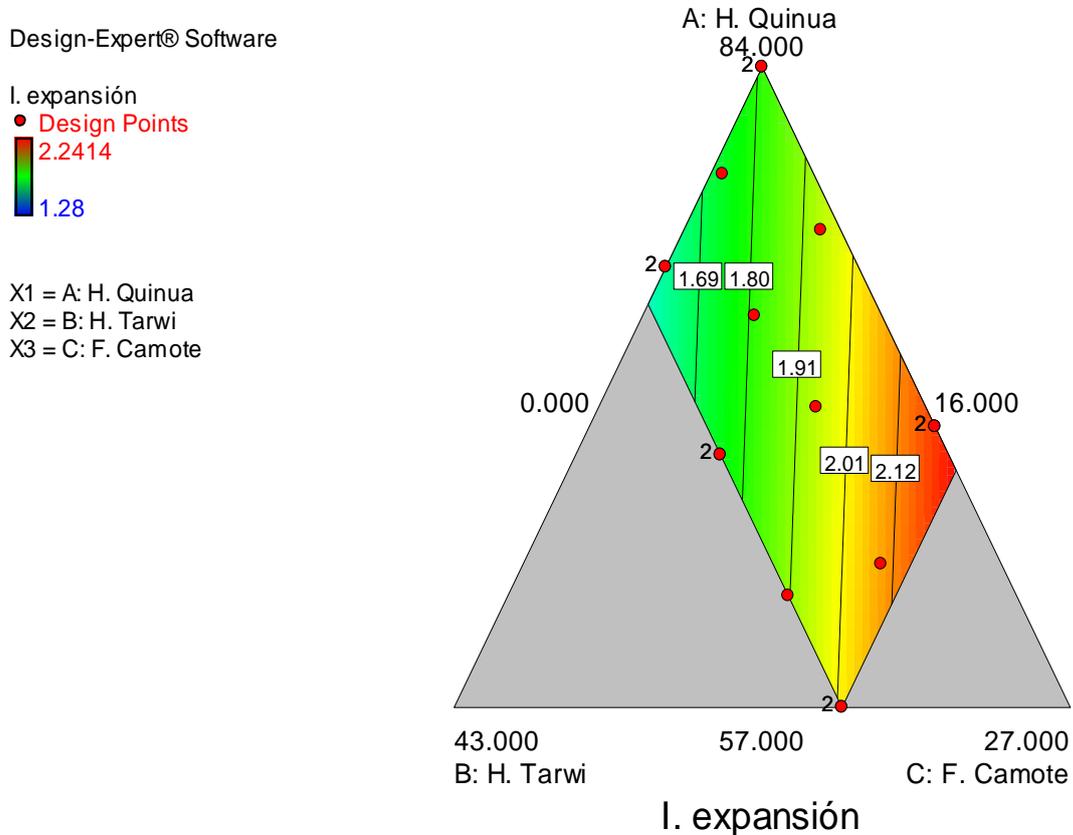


Figura 14: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos

En la Figura 14 se aprecia el gráfico de contornos, en el cual se puede observar que cada curva representa un valor específico de la altura de la superficie. Los valores más altos del índice de expansión están representados por el color rojo, y los valores más bajos por el color verde. En este gráfico se observa que el componente que tiene mayor influencia sobre el índice de expansión es la fécula de camote, ya que el área donde la proporción de fécula de camote es mayor está representada por el color rojo.

Design-Expert® Software

I. expansión

Actual Components

A: H. Quinoa = 70.500

B: H. Tarwi = 21.000

C: F. Camote = 8.500

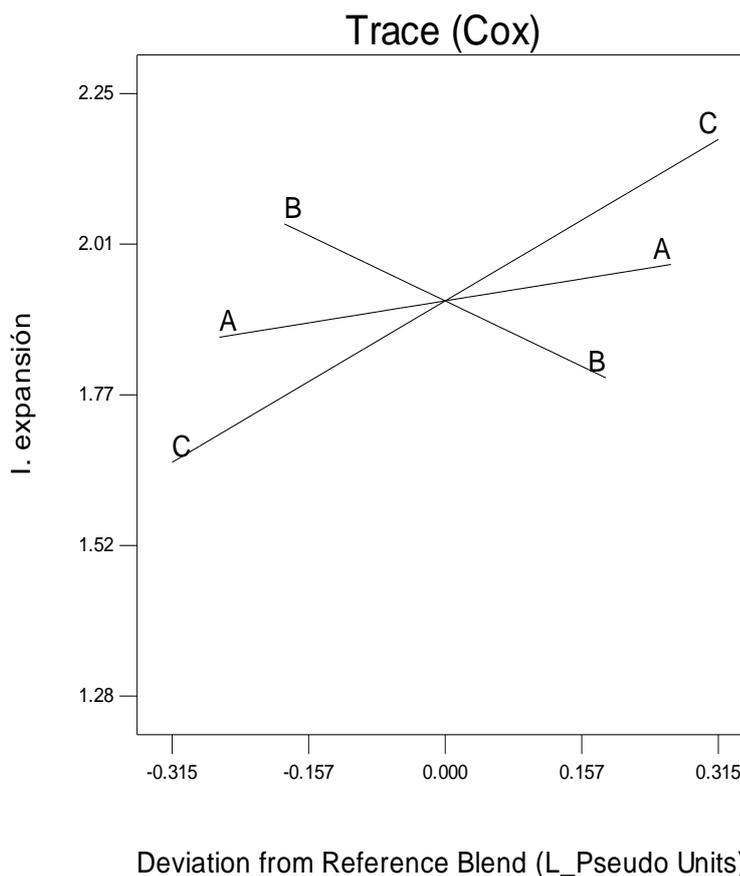


Figura 15: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para el índice de expansión de los bocaditos extruidos

Para analizar detalladamente la influencia de cada componente de la mezcla en el índice de expansión se utilizó el gráfico de trazos de Cox. En la Figura 15 se muestra el gráfico de trazas, en el cual se observa que el componente con mayor efecto sobre el índice de expansión es la fécula de camote, seguida de la harina de quinua.. Esta relación se verifica al comparar las formulaciones 2 y 8 (Cuadro 20), donde se observa que el porcentaje de harina de tarwi permanece constante, mientras que el porcentaje de harina de quinua disminuye y el de fécula de camote aumenta, produciéndose un incremento en el índice de expansión.

Según Riaz y Rokey (2012), a medida que los niveles de almidón se incrementan en una formulación, el extruido resultante se expande más. El aumento de los niveles de almidón en una formulación también contribuye a la unión y durabilidad del producto extruido. Sin embargo, por encima del 65 por ciento, el almidón puede crear algunos desafíos durante la

extrusión, ya que puede llegar a producir extruidos muy pegajosos. El aumento de los niveles de almidón también puede tener impacto en la capacidad de los extruidos para absorber líquidos durante las etapas de recubrimiento y revestimiento. Asimismo, Riaz y Rokey (2012) mencionan que el almidón con alto contenido de amilosa contribuye a la elasticidad y viscosidad del extruido, propiedades que mejoran la unión y expansión en la salida del extrusor.

En referencia al efecto ejercido por la harina de tarwi, se observa un comportamiento opuesto al observado para la fécula de camote. Es decir, el incremento de harina de tarwi en la mezcla provoca la disminución del índice de expansión.

Oliveira *et al.* (2015) evaluaron el índice de expansión en extruidos elaborados a partir de gritz de arroz y lupino. Las formulaciones siguieron la proporción de gritz arroz:gritz lupino de 100:00, 90:10 y 80:20, que resultaron en un 3,04, 2,04 y 1,67 de índice de expansión, respectivamente. De la misma manera que en la presente investigación, las muestras con lupino mostraron un menor grado de expansión, y formas más irregulares que la muestra de 100 por ciento gritz de arroz; lo cual fue atribuido al alto contenido de proteína y bajo contenido de almidón al añadir los gritz de lupino.

Como se mencionó anteriormente, la harina de tarwi presenta mayor contenido de proteína y grasa que la harina de quinua y fécula de camote. Shirani y Ganesharanee (2009), argumentan que las proteínas influyen en la expansión de los extruidos a través de su estructura macromolecular y su conformación, así como también, a través de su capacidad para afectar la distribución del agua en la matriz. Es decir, como resultado de la competencia por el agua disponible entre las fracciones de almidón y proteína, se conduciría a un retraso en la gelatinización del almidón, y por consiguiente a una menor expansión en los productos extruidos. Por otra parte, Moraru y Kokini (2003) han informado que la gelatinización del almidón disminuye a medida que los niveles de lípidos aumentan, evitando una degradación mecánica severa de los gránulos de almidón por esfuerzo cortante y evitando que el agua sea absorbida por el almidón. Por consiguiente, la reducción de la gelatinización del almidón provoca una disminución de la expansión.

Los valores del índice de expansión observados estuvieron entre 1,28 a 2,24. Estos valores son bajos y se acercan a los valores encontrados por Kowalski *et al.* (2016) en extruidos a base de quinua. El autor menciona que los valores observados variaron de 1,19 a 1,67, y fueron bajos en comparación con otras harinas de uso común en el procesamiento por extrusión, tales como los extruidos de almidón de maíz comercial que presentan 4,0 de índice de expansión. El bajo índice de expansión se atribuyó al hecho de que la harina de quinua tenía mayores cantidades de proteína, fibra y grasa en comparación con otros cereales. Kowalski *et al.* (2016) menciona que la reducción de la expansión en los productos extruidos se da principalmente por la presencia de fibra insoluble, ya que el agua queda retenida en la matriz de la fibra durante la cocción por extrusión, reduciendo así el vapor creado. A diferencia de los polímeros basados en almidón, las fibras inertes tienden a ser rígidas y pueden causar la ruptura de las paredes celulares y evitar que las burbujas de aire se expandan al nivel máximo (Obradović *et al.*, 2015).

4.3.3. DENSIDAD APARENTE

Las Figuras 16 y 17 muestran la superficie de respuesta y el gráfico de contornos, respectivamente, correspondientes a la densidad aparente de los bocaditos extruidos en función al porcentaje de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote.

Densidad



X1 = A: H. Quinoa
X2 = B: H. Tarwi
X3 = C: F. Camote

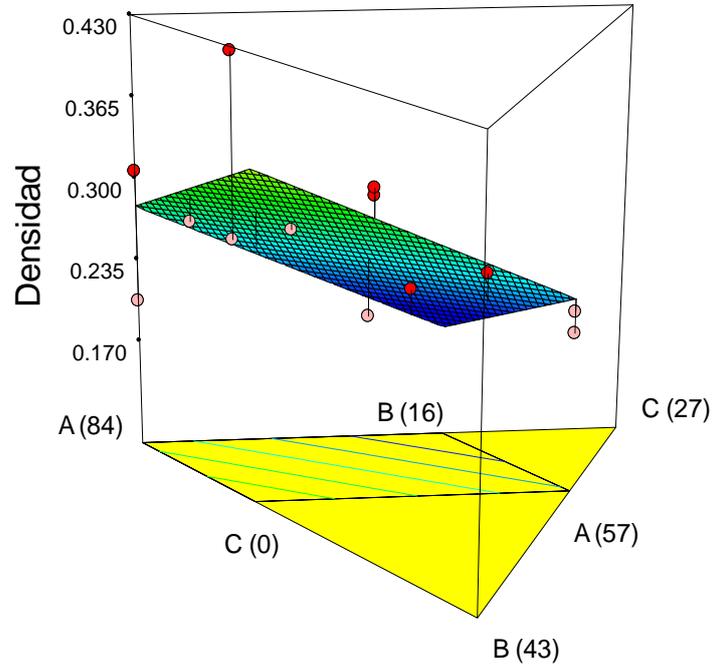


Figura 16: Superficie de respuesta para la densidad aparente de los bocaditos extruidos

La superficie de respuesta representa el modelo ajustado, y describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental. Como se observa en la Figura 16, el gráfico de la superficie de respuesta correspondiente a la densidad aparente de los bocaditos extruidos describe un comportamiento lineal sobre la región experimental.

Design-Expert® Software

Densidad

Actual Components

A: H. Quinoa = 70.500

B: H. Tarwi = 21.000

C: F. Camote = 8.500

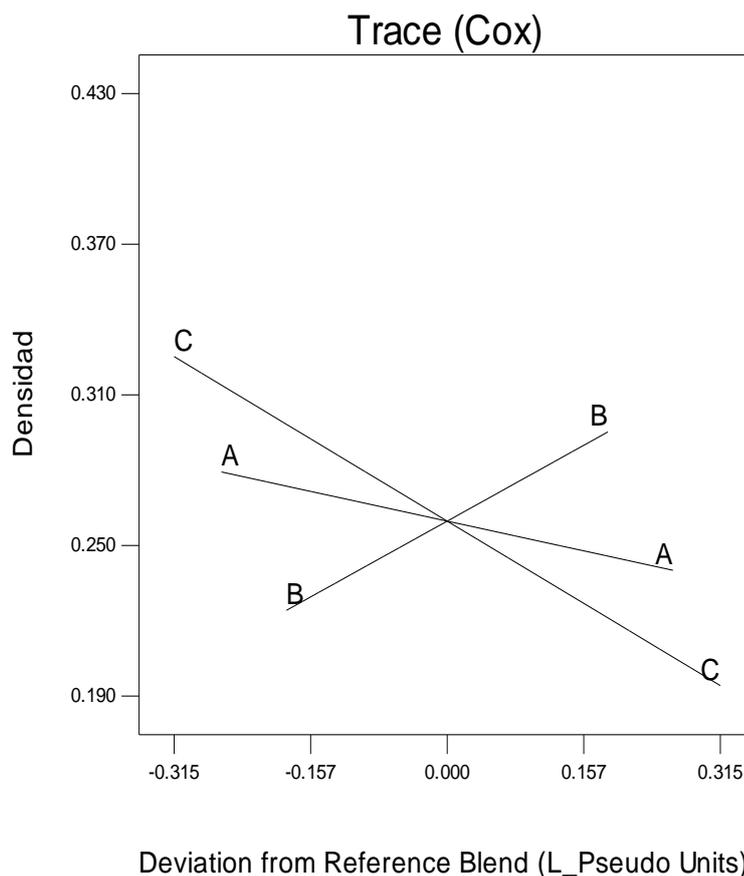


Figura 18: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para la densidad aparente de los bocaditos extruidos

Para analizar detalladamente la influencia de cada componente de la mezcla en la densidad aparente de los bocaditos extruidos, se utilizó el gráfico de trazos de Cox. En la Figura 18 se muestra el gráfico de trazas, en el que se observa que el componente con mayor efecto sobre la densidad aparente es la harina de tarwi, ya que al aumentar el porcentaje de este componente en la mezcla, la densidad aumenta. Por el contrario, la fécula de camote produce la disminución de la densidad aparente a medida que se incrementa el porcentaje de este componente en la mezcla.

La influencia de la harina de tarwi en el aumento de la densidad aparente en los bocaditos extruidos puede deberse al alto contenido de proteína y fibra cruda que presenta el tarwi en comparación con la quinua y la fécula de camote. De acuerdo con Maskan y Altan (2011), a diferencia del almidón, las fibras por sí solas no tienen la capacidad de formar estructuras

porosas altamente expandidas. Así, el aumento de su concentración generalmente aumenta la densidad del producto extruido, produciendo estructuras con un tamaño de celda más pequeño. Asimismo, Maskan y Altan (2011) mencionan que las proteínas de cereales y leguminosas no son buenas como el almidón cuando se trata de formar una estructura porosa altamente expandida. Por lo tanto, el aumento de su concentración a expensas del almidón generalmente aumenta la densidad del producto expandido.

Los valores observados de la densidad aparente estuvieron entre 0,199 y 0,427 g/cm³. Estos valores se acercan a los reportados por Potter *et al.* (2013), en cuya investigación encontraron que en las formulaciones elaboradas con harinas de frutas, la densidad aparente fue significativamente alta (entre 0,209 y 0,311 g/cm³) a comparación del extruido control (0,05 g/cm³) que no contenía harina de frutas en su composición. Según señalan los autores, el aumento de la densidad de los bocaditos extruidos puede ser atribuida a la presencia de azúcar y fibra soluble que absorben la humedad y afectan la expansión de los extruidos y por consiguiente la densidad; ya que estas características están relacionadas directamente, lo que significa que con un incremento en la expansión se produce la disminución de la densidad y viceversa.

Ravindran *et al.* (2011) mencionan que la densidad es un parámetro que es controlado por el grado de expansión, y es medido frecuentemente como propósito del control de calidad en productos extruidos. Los extruidos que presentan baja densidad se caracterizan por tener estructuras bien expandidas que están conformadas por células grandes y paredes delgadas.

Rehal *et al.* (2017) evaluaron bocaditos extruidos comerciales, y encontraron que en algunos de ellos la densidad aparente no fue mayor a pesar de tener alto contenido de proteína. Este comportamiento fue atribuido a que la proteína no se incorporó en la pre-mezcla, sino que se revistió sobre el producto extruido; es decir, la proteína recubierta no tuvo ningún papel en la alteración de la gelatinización del almidón o la estructura de la proteína. Por lo tanto, el uso del componente proteico como revestimiento ofrece una alternativa para obtener un producto extruido alto en proteína sin afectar la densidad.

4.3.4. DUREZA

El efecto de los componentes de la mezcla en la dureza de los bocaditos extruidos se analizó mediante la superficie de respuesta, el gráfico de contornos y gráfico de trazas (Trazos de Cox) presentados en la Figura 19, 20 y 21, respectivamente.

Design-Expert® Software

Dureza
15.59
8.29

X1 = A: H. Quinoa
X2 = B: H. Tarwi
X3 = C: F. Camote

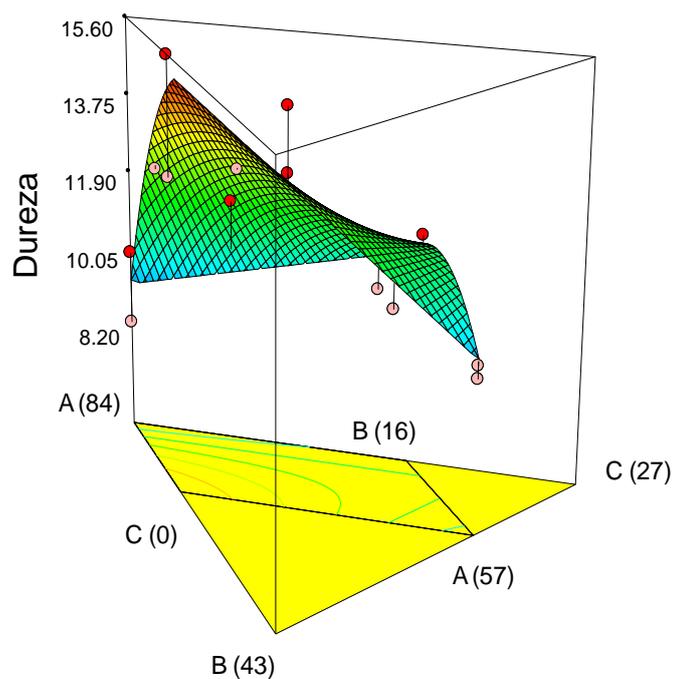


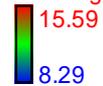
Figura 19: Superficie de respuesta para la dureza de los bocaditos extruidos

En la Figura 19 se presenta el gráfico de la superficie de respuesta correspondiente a la dureza de los bocaditos extruidos, el cual representa el modelo ajustado, y describe el comportamiento de la respuesta promedio en cada punto de la región experimental.

Design-Expert® Software

Dureza

● Design Points



X1 = A: H. Quinoa

X2 = B: H. Tarwi

X3 = C: F. Camote

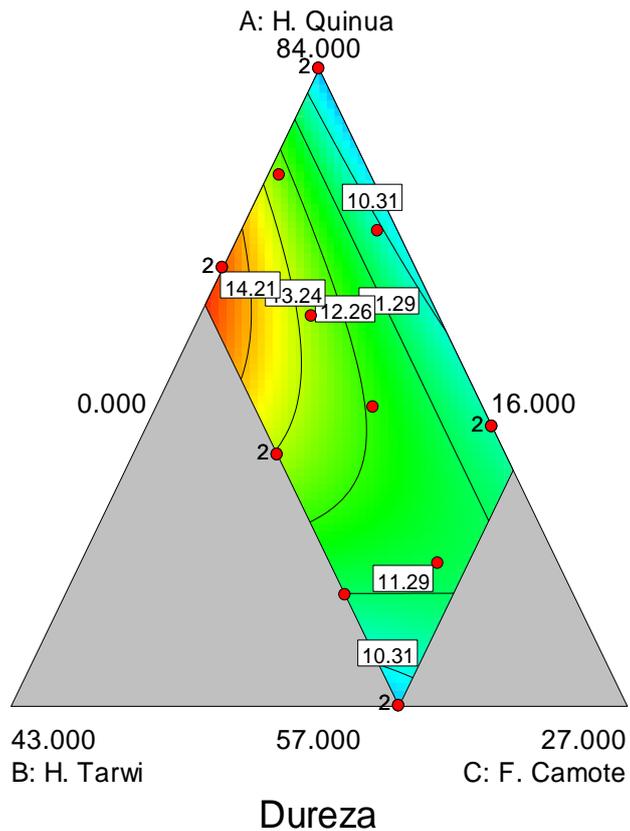


Figura 20: Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para la dureza de los bocaditos extruidos

En el gráfico de contornos (Figura 20), se observan las curvas y sus respectivos valores específicos que representan la altura de la superficie sobre cada isolínea. Los valores más altos de la dureza están representados por el color rojo, y los valores más bajos por el color azul.

Con el fin de analizar detalladamente la influencia de cada componente de la mezcla en la densidad aparente de los bocaditos extruidos, se utilizó el gráfico de trazos de Cox.

Design-Expert® Software

Dureza

Actual Components

A: H. Quinoa = 70.500

B: H. Tarwi = 21.000

C: F. Camote = 8.500

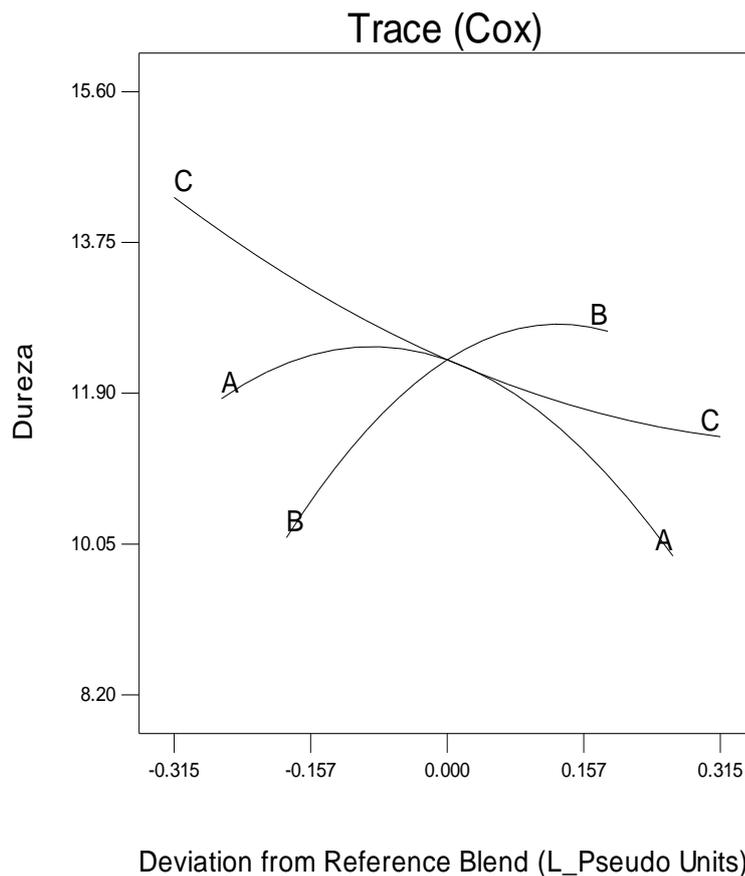


Figura 21: Gráfico de trazas (Trazos de Cox) para la dureza de los bocaditos extruidos

La Figura 21 muestra el gráfico de trazas, en el que se observa que el componente con mayor efecto positivo sobre la dureza es la harina de tarwi, ya que al aumentar el porcentaje de este componente en la mezcla, la dureza se incrementó. Por el contrario, la fécula de camote produce la disminución de la dureza a medida que se incrementa el porcentaje de este componente en la mezcla. Respecto a la influencia de la harina de quinua, se observa que a bajas concentraciones produce un ligero aumento de la dureza y a concentraciones más elevadas, la dureza disminuye.

La dureza de los bocaditos extruidos se encontró entre 8,29 y 15,59 N. Los valores más bajos de dureza pertenecieron a las formulaciones cuya proporción de harina de tarwi fue menor; no obstante, las formulaciones 15 y 16 también presentaron valores bajos de dureza pese a presentar una alta proporción de harina de tarwi. Los bajos valores de dureza en estas formulaciones pueden haberse dado porque la proporción de fécula de camote fue mayor en

comparación con las demás formulaciones.

Oliveira *et al.* (2015), encontraron una relación negativa entre el índice de expansión y la dureza de los extruidos de arroz y lupino; donde las muestras que presentaban mayor proporción de lupino se caracterizaban por presentar menos expansión y mayor dureza. Según se señala en la investigación, estas características son causadas por el incremento en el contenido de proteína y la reducción de del contenido de almidón al añadir lupino en las mezclas. Lo cual explica que los extruidos con mayor contenido de harina de tarwi presentaran mayor dureza.

Según Maskan y Altan (2011), la incorporación de leguminosas en la elaboración de productos extruidos produce la reducción de la expansión y el aumento de la densidad y de la resistencia a la rotura, como consecuencia del alto contenido de proteína. De igual manera, Yanniotis *et al.* (2007) mencionan que el contenido de fibra produce una matriz menos porosa, una pared celular más gruesa y un extruido más duro. Maskan y Altan (2011) señalan que en diferentes estudios se han encontrado que existe una correlación negativa entre el índice de expansión y la dureza, mientras que entre la dureza y la densidad aparente hay una correlación positiva.

4.4. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se llevó a cabo mediante la prueba de medición del grado de satisfacción. Esta es una prueba sensorial afectiva en la cual los jueces expresan su reacción subjetiva ante el producto (cuánto les gusta o les disgusta un alimento). Anzaldúa-Morales (1994) menciona que para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 jueces no entrenados, quienes deben ser consumidores habituales o potenciales compradores del tipo de alimento en cuestión. Es por ello que la evaluación sensorial se realizó con 100 niños de nueve a trece años.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó una escala hedónica gráfica (escala de caritas) ya que al emplearse a niños como jueces, podría ser difícil para ellos comprender las diferencias entre los términos mencionados en la escala. Las respuestas obtenidas mediante esta escala

se transformaron en números, asignando valores entre uno, para la carita de “no me gusta nada”, y cinco, para la carita de “me gusta mucho”.

Las 16 formulaciones obtenidas del diseño de mezclas debían ser evaluadas por los 100 niños, pero al ser un número alto de tratamientos a evaluar, se optó por usar un diseño de bloques incompletos balanceados. Para distribuir las muestras a evaluar, se realizó el arreglo de distribución de tratamientos, bloques, repeticiones y pares de tratamientos; siguiendo el Diseño 10.20 de Cochran y Cox (1990). Como el diseño está distribuido para 20 jueces, el número de jueces (100) fue dividido en cinco grupos, de esta manera, cada niño evaluó cuatro formulaciones, tal como se indica en el sección 3.7.2 (análisis estadístico de la evaluación sensorial).

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de Durbin con el fin de determinar si al menos una de las formulaciones presentaba diferente nivel de agrado frente a las demás formulaciones. El desarrollo y resultados de la prueba de Durbin para cada grupo evaluado se muestran en el Anexo 4, en el que se llegó a la conclusión que a un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

Si bien el análisis estadístico indicó que no habían diferencias en cuanto al nivel de satisfacción, el promedio de las respuestas obtenidas estuvo entre 3,68 y 4,6 (Figura 22). Lo cual indica que los bocaditos extruidos gustaron a los niños.

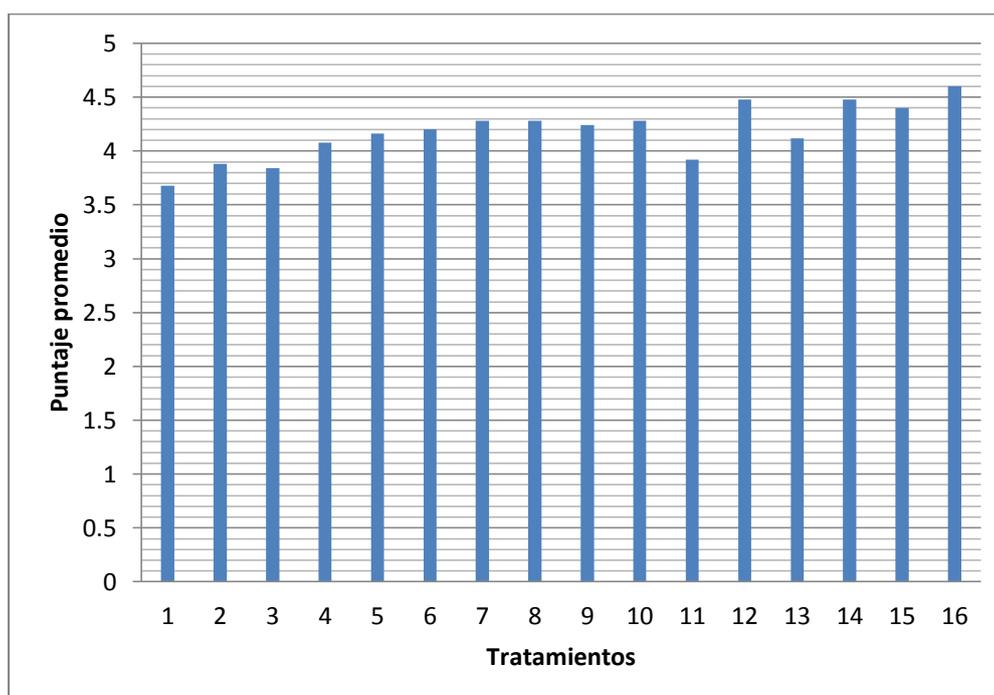


Figura 22: Promedio de las respuestas obtenidas del análisis sensorial

4.5. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE LAS VARIABLES RESPUESTA

Para obtener la formulación óptima se realizó la optimización simultánea de las respuestas. El objetivo de la optimización fue obtener una formulación que ofrezca un alto contenido de proteína e índice de expansión y una baja densidad y dureza. Para ello, se establecieron las siguientes restricciones:

- Maximización del contenido de proteína (20,00 – 21,86 por ciento)
- Maximización del índice de expansión (1,80 – 2,24)
- Minimización de la densidad aparente (0,199 – 0,30 g/cm³)
- Minimización de la dureza (8,29 – 11,70 N)

Las restricciones se introdujeron al software Design Expert® versión 7.0, en el cual se graficaron las restricciones en forma de contornos sobre el espacio factorial de mezcla. La zona de formulación factible fue definida por la intersección de los contornos, como se muestra en la Figura 23.

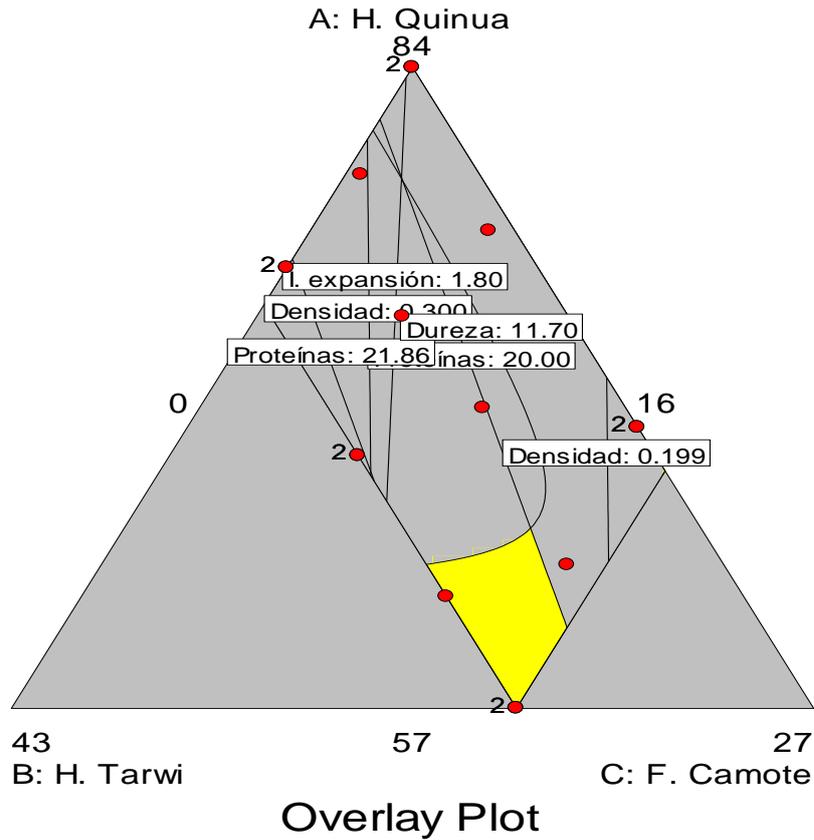


Figura 23: Zona de formulación factible

El programa generó tres formulaciones óptimas que cumplían con las restricciones, es decir se encontraban dentro de la zona de formulación factible. En el Cuadro 26 se observa la composición y características de las formulaciones obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas.

Cuadro 26: Formulaciones obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas

Formulación	Composición			Característica			Deseabilidad	
	Harina de Quinoa	Harina de Tarwi	Fécula de Camote	Contenido de proteína	Índice de expansión	Densidad aparente		Dureza
1	57,00	26,00	17,00	21,08	2,02	0,239	9,74	0,565
2	63,75	22,49	13,76	20,23	2,02	0,236	11,64	0,163
3	79,30	18,71	1,99	20,00	1,80	0,285	11,69	0,004

De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 26, la formulación 1 fue seleccionada como óptima, debido a que su valor de deseabilidad global fue mayor. Como se puede observar, esta formulación cumple con las restricciones impuestas, asimismo, presenta el mayor contenido proteico y menor dureza, que fueron las características buscadas en el bocadito extruido.

4.6. VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Luego de conocida la formulación óptima y sus valores predichos para las variables respuestas, se procedió a validar lo obtenido por el programa. Para ello, se elaboraron bocaditos extruidos con las proporciones de la formulación óptima y se determinó el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza de dicha formulación.

Cuadro 27: Resultados de la prueba experimental y rangos de validación de las variables respuesta en la formulación óptima

Respuesta	Prueba experimental	Predicción Design Expert®	Intervalo de confianza al 95%		Intervalo de predicción al 95%	
			Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior
Contenido de proteína	20,16	21,08	20,44	21,71	19,63	22,52
Índice de expansión	2,19	2,02	1,78	2,26	1,47	2,57
Densidad aparente	0,22	0,24	0,19	0,29	0,13	0,34
Dureza	9,31	9,74	8,46	11,02	7,24	12,25

En el Cuadro 27 se muestran los valores obtenidos tras la determinación del contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza de la prueba experimental. Si bien existen variaciones entre los resultados de la prueba experimental y los determinados por el programa Design Expert®, se observa que los valores de las variables respuesta correspondientes a la prueba experimental se encuentran dentro de los límites del intervalo

de predicción, mientras que los valores del índice de expansión, densidad aparente y dureza se encuentran dentro de los límites del intervalo de confianza que generó el programa.

4.7. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Los resultados del análisis químico proximal realizado a la formulación óptima de la prueba experimental se observan en el Cuadro 28.

Cuadro 28: Composición químico proximal del bocadito extruido correspondiente a la formulación óptima

Componente	Porcentaje (% b.h)
Humedad	6,26 ± 0,325
Proteína	20,16 ± 0,003
Grasa	6,17 ± 0,141
Carbohidratos	62,28 ± 0,219
Fibra cruda	3,20 ± 0,035
Ceniza	1,93 ± 0,001

Maskan y Altan (2011) mencionan que la tecnología de cocción por extrusión ha sido aplicada con frecuencia en la producción de alimentos nutritivos para programas de intervención nutricional. Se espera que estos productos contengan un mínimo de 16 por ciento de proteína, un contenido energético de 340 kcal por 100 g de alimento, menos de 6 por ciento de humedad, y la vida útil debe ser de al menos 6 meses cuando se envasa en materiales de embalaje flexibles como polietileno de baja densidad o polipropileno.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el bocadito extruido obtenido se puede usar en programas de intervención nutricional ya que el contenido de proteína es de 20,16 por ciento. Asimismo, una porción de bocaditos extruidos de la formulación óptima aporta mayor contenido de proteína que los bocaditos comerciales, como se observa en el Cuadro 29.

Cuadro 29: Contenido de proteína, grasa y carbohidratos de bocaditos comerciales y la formulación óptima

	Angel Chock En 1 porción (22 g)	Angel Zuck En 1 porción (22 g)	Fresia almohada En 1 porción (18 g)	Corn flakes Gloria En 1 porción (20 g)	Angel Frutt En 1 porción (22 g)	Chicharrón tipo soya En 1 porción (20 g)	Chicharrón Quinwich En 1 porción (20 g)	Formulación óptima En 1 porción (20 g)
Proteína	1 g	1 g	2 g	1.4 g	1 g	1.11 g	0.748 g	4 g
Grasa total	0.4 g	0.2 g	3 g	0.5 g	0.2 g	5.96 g	7.146 g	1 g
Carbohidrato total	20 g	20 g	13 g	15.9 g	19 g	11.43 g	11.37 g	13 g

Coutinho *et al.* (2013) elaboraron bocaditos extruidos a partir de una mezcla de granos de arroz partidos, salvado de arroz y pulpa de soya negra (81:9:10). Se utilizaron el arroz y la soya debido al mayor contenido de proteína y el mejor perfil de aminoácidos esenciales de estos en relación con el maíz; sin embargo, el contenido de proteína solo alcanzó el 10,5%. Asimismo, Rehal *et al.* (2017) encontraron que el contenido de proteína de bocaditos extruidos comerciales se encontraba en el rango de 2,8 a 9,2%.

En contraste a los valores del contenido de proteína en los bocaditos extruidos mencionados anteriormente, el contenido proteico del bocadito extruido de formulación óptima es mayor.

4.8. VALOR BIOLÓGICO VERDADERO Y DIGESTIBILIDAD VERDADERA DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Para evaluar la calidad proteica se realizaron los ensayos biológicos del valor biológico verdadero y la digestibilidad verdadera. Según WHO (2007) la evaluación de la calidad de la proteína tiene como objetivo determinar la capacidad de las fuentes proteicas para satisfacer la demanda metabólica de aminoácidos y nitrógeno. Por lo tanto, la medida de la calidad proteica debería predecir la eficacia general de la utilización de proteínas.

La utilización de proteínas generalmente se analiza en términos de digestibilidad, que es una medida de la ingesta dietética que se pone a disposición del organismo después de la digestión y la absorción; y el valor biológico, que da una medida de qué tan bien coincide el perfil de aminoácidos absorbido con el requerimiento (WHO, 2007).

Maskan y Altan (2011) afirman que la alta digestibilidad de proteínas es especialmente importante para el destete de alimentos y otros alimentos consumidos por los niños, ya que la proteína es esencial para el crecimiento y desarrollo de los tejidos magros. Por su parte, Singh *et al.* (2007b) mencionan que la digestibilidad de las proteínas se considera el factor más importante, además de la cantidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales al evaluar el valor nutricional de las proteínas.

La FAO (1991) menciona que en estudios de digestibilidad usando el método del balance en ratas se encontraron valores bajos de digestibilidad verdadera de proteínas (70-85 por ciento)

correspondientes a diferentes tipos de frijoles secos; valores intermedios (86-92 por ciento) fueron obtenidos en garbanzos, avena, cereal integral y concentrado de proteínas de arveja; y valores de alta digestibilidad (93-100 por ciento) fueron encontrados en alimentos de origen animal y proteína aislada de soja. Por otro lado, la FAO (1991) menciona que los cereales listos para comer o procesados (maíz, trigo, arroz o avena) presentan baja digestibilidad (70-77 por ciento), causada probablemente por el calor involucrado en su procesamiento.

Cuadro 30: Digestibilidad proteica verdadera y valor biológico verdadero del bocadito extruido óptimo

Ensayo biológico	Porcentaje (%)
Digestibilidad proteica verdadera	83,5
Valor biológico verdadero	62,9

Como se observa en el Cuadro 30, la digestibilidad verdadera del bocadito extruido de formulación óptima resultó 83,5 por ciento. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por la FAO (1991) para la digestibilidad verdadera de proteínas de frijoles secos; y en comparación al rango de digestibilidad de los cereales procesados, el bocadito extruido de formulación óptima presentó mayor digestibilidad proteica verdadera.

Según la FAO (1985), las diferencias de digestibilidad pueden deberse a diferencias intrínsecas en la naturaleza de las proteínas alimentarias (naturaleza de la pared celular), a la presencia de otros factores dietéticos que modifiquen la digestión (fibra y polifenoles alimentarios, incluido taninos) y a reacciones químicas que alteran la liberación de los aminoácidos en las proteínas por procesos enzimáticos. Además, la ingestión de fibra abundante en la dieta, en especial hemicelulosas y salvados de cereal, aumenta la excreción de nitrógeno en las heces, reduciendo la digestibilidad aparente de las proteínas en un 10 por ciento. Gross *et al.* (1989) encontró que el tarwi posee un alto contenido de α -galactosidos no digerible (aproximadamente 10 por ciento), lo cual podría reducir la digestibilidad de la proteína.

El valor biológico verdadero del bocadito extruido de formulación óptima resultó 62,9 por ciento. Este valor se acerca a lo reportado por Schoeneberger *et al.* (1982), quienes

encontraron que el valor biológico del tarwi desamargado y sometido a cocción se incrementó de 38,6 por ciento a 66,5 por ciento al ser suplementado con 0,2 por ciento de metionina. Asimismo, la suplementación mejoró la digestibilidad verdadera del tarwi desamargado, incrementando este valor de 90,8 por ciento a 92 por ciento.

Se podría decir que en la formulación óptima, la quinua habría mejorado el balance de aminoácidos del tarwi, lo que permitió obtener un valor biológico cercano al tarwi suplementado con 0,2 por ciento de metionina. Gross *et al.* (1989) mencionan que en investigaciones anteriores se ha encontrado que el tarwi tiene baja calidad proteica, sin embargo, se puede mejorar si se mezcla con un grano andino que contiene proteínas complementarias ricas en aminoácidos azufrados.

A pesar de que la formulación óptima estaba compuesta por una mezcla de leguminosa y grano andino, es decir, tendría una mejor complementación aminoacídica y en consecuencia mayor valor biológico verdadero que un cereal, el valor biológico verdadero de la formulación óptima fue menor al valor del maíz extruido reportado por Masetta *et al.* (2017), quienes encontraron que la digestibilidad verdadera y el valor biológico verdadero del maíz extruido fueron 63,60 y 68,54 por ciento, respectivamente. La diferencia en el valor biológico verdadero puede deberse a las temperaturas del proceso de extrusión, debido a que la temperatura máxima a la que fue extruido el maíz fue de 130°C, mientras que la temperatura máxima de extrusión de la formulación óptima fue de 150°C. Por el contrario, las altas temperaturas parecen mejorar la digestibilidad.

Según Onyango *et al.* (2004) la extrusión, además de mejorar la digestibilidad del almidón, mejora la digestibilidad de proteínas mediante la reorientación y la desnaturalización térmica de las proteínas, lo que expone los sitios accesibles a las enzimas. No obstante, Ruales *et al.* (1988) señalan que a mayor temperatura de extrusión la lisina disminuye, al igual que los aminoácidos azufrados, arginina y triptófano cuando la humedad de la alimentación es inferior al 15 por ciento. Estas condiciones pueden haber causado la disminución de algunos aminoácidos esenciales y por ende la disminución del valor biológico en el bocadito extruido de formulación óptima.

V. CONCLUSIONES

- Se elaboró un bocadito extruido a base de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, cuyos porcentajes de incorporación en la mezcla óptima fueron: 57, 26 y 17 por ciento respectivamente.
- Los bocaditos extruidos obtenidos con la formulación óptima presentaron 6,26 por ciento de humedad, 20,16 por ciento de proteína, 6,17 por ciento de grasa, 62,28 por ciento de carbohidratos, 3,20 por ciento de fibra cruda y 1,93 por ciento de ceniza. Respecto a sus propiedades físicas, dicha formulación presentó 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm³ de densidad aparente y 9,31 N de dureza.
- La incorporación de harina de tarwi en las mezclas provocó el aumento del contenido de proteína, densidad aparente y dureza; y la disminución del índice de expansión en los bocaditos extruidos. Por el contrario, la fécula de camote incrementó el índice de expansión, y produjo disminución en la densidad aparente y dureza de los extruidos.
- La calidad proteica de la formulación óptima fue medida a través de pruebas biológicas en ratas. La digestibilidad verdadera fue de 83,5 por ciento y el valor biológico verdadero fue de 62,9 por ciento.
- El análisis sensorial realizado a los bocaditos extruidos recubiertos con una solución de miel a 50°Brix, determinó que no existe diferencia significativa entre el nivel de agrado de las 16 formulaciones. Sin embargo, el promedio de las respuestas obtenidas estuvo entre 3,68 y 4,6 lo cual indica que los bocaditos extruidos con miel fueron del agrado de los niños.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar la vida útil de los bocaditos extruidos correspondiente a la formulación óptima.
- Elaborar bocaditos extruidos con la formulación óptima realizando un desgrasado previo a las semillas de tarwi.
- Saborizar el bocadito extruido y evaluarlo sensorialmente.
- Determinar el contenido de fibra dietaria del extruido de formulación óptima.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abegunde, O.K.; Mu, T.H.; Chen, J.W.; Deng, F.M. 2013. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids* 33(2): 169-177.
- Abugoch, L.E.; Romero, N.; Tapia, C.A.; Silva, J.; Rivera, M. 2008. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 56(12): 4745-4750.
- ACNFP (Advisory Committee on Novel Foods and Processes). 1996. Annual Report. Appendix IX. Report on seeds from narrow leaved lupin. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF) and Department of Health. Londres, Inglaterra. p. 107-123.
- Anzaldúa-Morales, A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza, España, Editorial Acribia. 220 p.
- ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2001. Lupin Alkaloids in Food. A Toxicological Review and Risk Assessment. Technical Report Series No. 3. Canberra, Australia. 21 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA.
- Apaza, V; Cáceres, G; Estrada, R; Pinedo, R. 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Ministerio de Agricultura y Riego, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Lima, Perú, INIA. 82 p.

- Azad, E. 2016. Extrusion. Reference Module in Food Science. Elsevier. Consultado 12 de jun. 2016. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965034132>.
- Brown, J; Isaacs, J; Krinke, B; Lechtenberg, E; Murtaugh, M; Sharbaugh, C; Splet, P; Stang, J; Wooldridge, N. 2013. Nutrition Through the Life Cycle. 5 ed. Belmont, CA, Estados Unidos de América, Cengage Learning. 624 p.
- Camarena M. F., Huaranga J. A., Jiménez D. J. y Mostacero N.E. 2012. Revalorización de un cultivo subutilizado: Chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Primera Edición. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria la Molina – Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica CONCYTEC. 222 p.
- Cardozo, A; Tapia, M. 1979. Valor nutritivo. In Tapia, M; Gandarillas, H; Alandía, S; Cardozo, A; Mujica, A; Ortiz, R; Otazu, V; Rea, J; Salas, B; Zanabria, E. La Quinua y la Kañiwa, Cultivos Andinos. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). p. 149-192.
- Carvajal-Larenas, F.E.; Linnemann, A.R.; Nout, M.J.R.; Koziol, M.; Van Boekel, M. J.A.S. 2016. *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology and Debittering. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56(9): 1454-1487.
- Carvajal-Larenas, F.E.; Van Boekel, M.J.A.S.; Koziol, M.; Nout, M.J.R.; Linnemann, A.R. 2014. Effect of Processing on the Diffusion of Alkaloids and Quality of *Lupinus mutabilis* Sweet. Journal of Food Processing and Preservation 38(4): 1461–1471.
- Carvalho, I., Chaves, M., Pinto, C. 2005. Influence of water stress on the chemical composition of seeds of two lupins (*Lupinus albus* and *Lupinus mutabilis*). J. Agronomy & Crop Science 191:95–98.

- CIP. 2016. El camote y la nutrición (en línea). Consultado 16 abr. 2016. Disponible en: <http://cipotato.org/es/programas-de-investigacion/camote/sweetpotato-nutrition/>
- Cochran, W; Cox, G. 1990. Diseños experimentales. Editorial Trillas. México. 661 p.
- Cornell, J. 2002. Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data. 3 ed. New York. John Willey & Sons, Inc. 649 p.
- Coutinho, L; Batista, J; Caliar, M; Soares, M. 2013. Optimization of extrusion variables for the production of snacks from by-products of rice and soybean. Food Science and Technology (Campinas) 33(4): 705-712.
- Dehghan-Shoar, Z; Hardacre, A; Brennan, C. 2010. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. Food chemistry 123(4):1117-1122.
- Deshpande, H; Poshadri, A. 2011. Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from Foxtail millet based composite flours. International Food Research Journal 18(2):751-756.
- FAO. 1985. Necesidades de Energía y de Proteínas. Informe de una reunión consultiva conjunta FAO/OMS/UNU de expertos. Informe Técnico 724. Ginebra, Suiza. 132 p.
- FAO. 1991. Protein quality evaluation: Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 66 p.
- FAO. 2011. Informe técnico “La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial” (en línea). Consultado 22 oct. 2016. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf.
- FAO. 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper 92. Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 79 p.

- Fellows, P. 2009. Food Processing Technology: Principles and Practice. Thrid edition. Cambridge, MA, United States, Woodhead Publishing. 928 p.
- Food and Nutrition Information Center. 2016. Dietary reference intakes. Consultado el 15 de Mayo del 2016. Disponible en https://fnic.nal.usda.gov/sites/fnic.nal.usda.gov/files/uploads/recommended_intakes_individuals.pdf
- Gandarillas, H. 1979. Botánica. In Tapia, M; Gandarillas, H; Alandia, S; Cardozo, A; Mujica, A; Ortiz, R; Otazu, V; Rea, J; Salas, B; Zanabria, E. La Quinoa y la Kañiwa, Cultivos Andinos. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). p. 20-44.
- Gilani, G; Lee, N. 2003. Protein quality. In Caballero, B; Finglas, P; Trugo, L. Encyclopedia of Food Science and Nutrition. Amsterdam, Netherlands, Academic Press. p. 3623-3629.
- Gómez, L; Eguiluz, A. 2011. Catálogo del Banco de germoplasma de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Primera edición. Lima, Perú, UNALM. 185 p.
- Gross, R; Koch, F; Malaga, I; De Miranda, A; Schoeneberger, H; Trugo, L. 1989. Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources. Food Chemistry 34(1): 25-34.
- Gutiérrez, A; Infantes, M; Pascual, G; Zamora, J. 2016. Evaluación de los factores en el desamargado de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Agroindustrial Science 6(1): 145-149.
- Gutiérrez, H; De la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición. México, D.F., México, McGraw-Hill. 545 p.
- Guy, R. 2001. Extrusion cooking: Technology and Applications. Cambridge, England, Woodhead Publishing. 206 p.

- Guzman-Maldonado, S; Paredes-Lopez, O. 1998. Functional Products of Plant Indigenous to Latin America. Amaranth and Quinoa, Common Beans and Botanicals. In: Functional Foods. Biochemical and Processing Aspects. Mazza, G. (ed.). Pennsylvania, United States, Technomic Publishing Company. p. 293-328.
- Hidalgo, M; Güemes, M. 2011. Nutrición del preescolar, escolar y adolescente. Revista Pediatría Integral 11(4):347-362.
- Ibáñez, F; Barcina, Y. 2001. Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones. Barcelona, España, Editorial Springer. 180 p.
- INDECOPI. 2013. Norma Técnica Peruana, NTP 011.451:2013. GRANOS ANDINOS. Harina de quinua. Requisitos. 1era edición. Lima, Perú. 8 p.
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). 2004. Norma Técnica NTE INEN 2390:2004: Leguminosas. Grano desamargado de chocho. Requisitos. 1era edición. Quito, Ecuador. 11 p.
- Jacobsen, S; Mujica, A. 2006. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. In Moraes, M; Ollgaard, B; Kvist, L; Borchsenius, F; Balslev, H. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. p. 458-482.
- Kaur, M; Sandhu, K. 2016. Sweet Potato Flour and Starch. In Sharma, H; Njintang, N; Singhal, R; Kaushal, P. Tropical Roots and Tubers: Production, Processing and Technology. Chichester, United Kingdom, John Wiley & Sons, Ltd. p. 479-506.
- Kays, S. 1992. The Chemical Composition of Sweetpotato. In Hill, W; Bonsi, C; Loretan, P. Sweet potato Technology for the 21st Century. Tuskegee University, Tuskegee, Alabama. p. 201-215.
- Kent N. 1983. Technology of Cereals. Third edition. Pergamon Press. Oxford, New York. 121 p.

- Kowalski, R.J.; Medina-Meza, I. G.; Thapa, B. B.; Murphy, K. M.; Ganjyal, G.M. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science* 70: 91-98.
- Koziol, M. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition Analysis* 5: 35–68.
- Kuehl, R. 2001. *Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Segunda edición. México, D.F., México, Thomson Learning. 667 p.
- Mäkilä, L.; Laaksonen, O.; Ramos Diaz, J. M.; Vahvaselkä, M.; Myllymäki, O.; Lehtomäki, I.; Kallio, H. 2014. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology* 57(2): 618-627.
- Maseta, E; Mosha, T; Nyaruhucha, C; Laswai, H. 2017. Nutritional quality of quality protein maize-based supplementary foods. *Nutrition & Food Science* 47(1): 42-52.
- Maskan, M; Altan, A. 2011. *Advances in food extrusion technology*. Boca Raton, Florida, CRC Press. 412 p.
- Montgomery, D. 2004. *Diseño y análisis de experimentos*. Segunda Edición. México D.F., México, Editorial Limusa. 686 p.
- Montoya, L.; Martínez, L; Peralta, J. 2005. Análisis de las variables estratégicas para la conformación de una cadena productiva de la quinua en Colombia. *Revista INNOVAR* 15(25):103-119.
- Morán, L; Narváez, K. 2015. *Riesgo de morbi-mortalidad en pacientes obesos de 20-40 años de edad que acuden al Centro de Salud Juan Montalvo de la ciudad de Guayaquil*. Tesis para optar el título de licenciada en Enfermería. Guayaquil, Ecuador. Universidad Estatal de Guayaquil. 99 p.
- Moraru, C; Kokini, J. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comp Reviews Food Sci Food Safety* 2: 120–138.

- Mostafa, A., Haiam, E. 2013. Effect of debittering process on characterization of egyptian lupine seeds oil (*Lupinus albus*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 7(2): 728-734.
- Obradović, V; Babić, J; Šubarić, D; Jozinović, A; Ačkar, Đ. 2015. Physico-chemical properties of corn extrudates enriched with tomato powder and ascorbic acid. *Chemical and biochemical engineering quarterly* 29(3): 325-342.
- Oliveira, C.T.; Gutierrez, É.M.R.; Caliari, M.; Monteiro, M.R.P.; Labanca, R.A.; Carreira, R.L. 2015. Development and Characterization of Extruded Broken Rice and Lupine (*Lupinus albus*). *American Journal of Plant Sciences* 6(12): 1928-1936.
- Onyango, C; Noetzold, H; Bley, T; Henle, T. 2004. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize–finger millet blend. *LWT - Food Sci Technol* 37: 827-832.
- Ortega, E; Rodríguez, A; David, A; Zamora, A. 2010. Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. *Acta agronómica* 59(1):111-118.
- Potter, R.; Stojceska, V.; Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children’s diets. *LWT - Food Science and Technology* 51(2): 537-544.
- Prego, I; Maldonado, S; Otegui, M. 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany* 82(4):481-488.
- Quispe, D. 2015. Composición nutricional de diez genotipos de lupino (*L. mutabilis* y *L. albus*) desamargados por proceso acuoso. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos. Lima, Perú, UNALM. 215 p.
- Ramachandra, H; Thejaswini, M. 2015. Extrusion technology: A novel method of food processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* 2(4):358-369.

- Ramos, J; Sundarrajan, L; Kariluoto, S; Lampi, A; Tenitz, S; Jouppila, K. 2017. Partial Least Squares Regression Modeling of Physical and Chemical Properties of Corn-Based Snacks Containing Kaniwa and Lupine. *Journal of Food Process Engineering* 40(2): n/a.
- Ravindran, G.; Carr, A.; Hardacre, A. 2011. A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea–rice blends. *Food Chemistry* 124(4): 1620-1626.
- Reeves, P.G.; Nielsen, F.H.; Fahey G.C. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *Journal of Nutrition* 123(11):1939–1951.
- Rehal, J; Kaur, G; Kaur, A; Singh, A. 2017. Comparative Evaluation of Different Attributes of the Existing Extruded Snacks. *Journal of Krishi Vigyan* 5(2): 15-21.
- Repo-Carrasco R. 1998. *Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos*. Lima, Perú, Ediagraria. 137 p.
- Repo-Carrasco, R. 1988. *Cultivos andinos, importancia nutricional y posibilidades de procesamiento*. Cusco, Perú, Centro de Estudios Rurales Andinos Bartolomé de las Casas. 110 p.
- Repo-Carrasco, R. 1992. *Andean Crops and Infant Nourishment*. Report B 25. Institute of Development Studies. University of Helsinki. Finland.
- Repo-Carrasco, R. 2011. *Andean Indigenous Food Crops: Nutritional Value and Bioactive Compounds*. Turku, Finlandia. 189 p.
- Repo-Carrasco, R; Cortez, G; Onofre, R; Quispe, L; Ramos, I. 2007. *Cultivos Andinos*. In León, A; Rosell, C. *De tales harinas, tales panes*. Cordova, Argentina, Baéz ediciones. p. 243-294.

- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international* 19(1-2):179-189.
- Reyes, M.; Gómez-Sánchez, I.; Espinoza, C.; Bravo, F.; Ganoza, L. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud. Octava edición. Lima, Perú. 64 pp.
- Riaz, M; Rokey, G. 2012. Extrusion problems solved: Food, pet food and feed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 226. Cambridge, UK, Woodhead Publishing. 154 p.
- Rosado-Cipriano, M; Silvera-Robles, V; Calderón-Ticona, J. 2011. Prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños escolares. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna* 24(4):163-169.
- Ruales, J; Pólit, P; Nair, B. 1988. Nutritional quality of blended foods of rice, soy and lupins, processed by extrusion. *Food chemistry* 29(4):309-321.
- Salinas, W; Valenzuela, R; Valdivia, SS; Blitchtein, D; Flores, ME; Lino, J; Cuevas, C; Munayco, C; Sachún, M; Campos, J. 2011. Lineamientos de gestión de la estrategia sanitaria de alimentación y nutrición saludable. Documento técnico. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud. Lima, Perú. 54 p.
- Schoeneberger, H., Gross, R., Cremer, H; Elmadfa, I. 1982. Composition and protein quality of *Lupinus mutabilis*. *The Journal of nutrition* 112(1): 70-76.
- Shirani, G.; Ganesharane, R. 2009. Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering* 90(1): 44-52.
- Singh, S., Gamlath, S. and Wakeling, L. 2007a. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology* 42: 916–929.

- Singh, S., Wakeling, L., and Gamlath, S. 2007b. Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars. *J Agric Food Chem* 55: 8779–8786.
- Srichuwong, S.; Jane, J. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology* 16(5): 663-674.
- Suca, G; Suca, C. 2015. Potencial del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como futura fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 18(2): 55-71.
- Tapia, M; Fries, A. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO, ANPE-PERÚ. Lima, Perú. 209 pp.
- Tarqui, C; Álvarez, D. 2015. Informe técnico: Estado nutricional por etapas de vida en la población peruana; 2013-2014. Instituto Nacional de Salud. Lima, Perú. 224 pp.
- The Nielsen Company. 2014. Snack attack what consumers are reaching for around the world (en línea). Nielsen Global Snacking Survey. Consultado 12 de jun. 2016. Disponible en <http://www.nielsen.com/content/dam/nielsen-global/kr/docs/global-report/2014/Nielsen%20Global%20Snacking%20Report%20September%202014.pdf>.
- Trugo, L; von Baer, D; von Baer, E. 2003. Lupin. In Caballero, B; Finglas, P; Trugo, L. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Amsterdam, Netherlands, Academic Press. p. 3623-3629.
- Tsou, S; Hong, T. 1992. The Nutrition and Utilization of Sweetpotato. In Hill, W; Bonsi, C; Loretan, P. *Sweet potato Technology for the 21st Century*. Tuskegee University, Tuskegee, Alabama. p. 359-365.
- Valencia-Chamorro, S. 2003. Quinoa. In Caballero, B; Finglas, P; Trugo, L. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Amsterdam, Netherlands, Academic Press. p. 4895-4902.

- Vásquez, C; De Cos, A; López, C. 2005. Alimentación y nutrición: manual teórico-práctico. Madrid, España, Ediciones Díaz de Santos. 488 p.
- Villacrés, E; Caicedo, C; Peralta, E. 1998. Disfrute Cocinando con Chocho. Recetario. Programa Nacional de Leguminosas-Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador, INIAP. 48 p.
- Von Baer D. 1978. Procedimiento rápido para la determinación de los alcaloides totales en *L. mutabilis* con purpura bromocresol (BKP). Proyecto lupino. Informe N°3. Lima, Perú. Pp. 102-108.
- Wang, S.; Nie, S.; Zhu, F. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Research International* 89: 90-116.
- WHO (Organización Mundial de la Salud). 2017a. Malnutrición (en línea). Consultado 17 de jun. 2017. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/malnutrition/es/>.
- WHO (Organización Mundial de la Salud). 2017b. ¿Cuáles son las causas? (en línea). Consultado 24 jun. 2017. Disponible en http://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood_why/es/
- WHO. 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation (935). Geneva, Switzerland, WHO. 265 p.
- Yang, S.H.; Peng, J.; Lui, W.B.; Lin, J. 2008. Effects of adlay species and rice flour ratio on the physicochemical properties and texture characteristic of adlay-based extrudates. *Journal of Food Engineering* 84(3): 489-494.
- Yanniotis, S; Petraki, A; Soumpasi, E. 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering* 80:594–599.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO

<u>Evaluación sensorial de <i>snacks</i> extruidos</u>					
Nombre: _____					
Grado y sección: _____		Fecha: _____			
Prueba las muestras que están en los platitos y marca (X) la carita que represente lo que te pareció el producto.					
516					
	No me gusta nada	No me gusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
728					
	No me gusta nada	No me gusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
931					
	No me gusta nada	No me gusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
245					
	No me gusta nada	No me gusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
¿Hay algo más que quieras contar acerca del producto que probaste? Por favor escríbelo en este espacio:					

Si tienes alguna pregunta, no dudes en hacerla					
¡Gracias por tu participación!					

ANEXO 2: COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTAL Y APROTEICA

Insumo	Dieta experimental (g)	Dieta aproteica (g)
Harina extruidos	49,60	-
Sales minerales	4,00	4,00
Vitaminas	5,00	5,00
Grasa vegetal	6,00	9,00
Azúcar	8,50	19,00
Maicena	23,48	58,00
Fibra	3,42	5,00
Total	100,00	100,00
Kcal	380,62	380,03

ANEXO 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA Y VALOR BIOLÓGICO VERDADERO DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Parámetro	Extruido	Dieta aproteica
Número de animales	6	6
Peso inicial (g)	82,25	68,42
Peso final (g)	85,87	60,08
Ganancia de peso (g)	3,62	-8,33
Alimento consumido (g)	39,07	17,74
Materia seca del alimento (%)	94,50	94,32
Nitrógeno en alimento (%)	1,58	0,12
Nitrógeno consumido (g) - NI	0,6170	0,0216
Promedio de heces excretadas (g)	8,50	2,67
Materia seca de heces (%)	65,99	77,70
Nitrógeno en heces (%)	1,61	1,41
Nitrógeno excretado en heces (g) - NF	0,1379	0,0358
Densidad de la orina	1,0148	1,0041
Promedio de orina excretada (ml)	54,49	28,43
Promedio de orina excretada (g)	55,34	28,54
Nitrógeno en orina (%)	0,46	0,22
Nitrógeno excretado en orina (g) - NU	0,2543	0,0633
VALOR BIOLÓGICO VERDADERO (%)	62,9	
DIGESTIBILIDAD VERDADERA (%)	83,5	

ANEXO 4: DESARROLLO DE LA PRUEBA DE DURBIN

Grupo 1:

I. Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H_1 : Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

A continuación se presentan los resultados de los jueces del grupo 1 y sus respectivos rangos asignados:

Panelista			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N°	Nombre	Edad	516	728	931	245	459	862	174	380	695	910	171	214	813	415	581	196
1	Marjhorin Liliana Ponte Reyes	10	4 (1)	5 (3)	5 (3)	5 (3)												
2	Gean Franco Miguel Ruiz Neyra	11					5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)								
3	Faviana Milen Aguirre Sandoval	11									5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)				
4	Jefferson Daniel Paculio Feliz	11													5 (4)	4 (2,5)	3 (1)	4 (2,5)
5	Tamara Jannet Carmen Muchotrigo	11	4 (1)				5 (3)				5 (3)				5 (3)			
6	Harold Gabriel Villanueva Santiago	11		5 (3)				4 (1)				5 (3)				5 (3)		
7	María del Rosario Ampuero Ortiz	11			2 (1)				3 (2)				4 (3)				5 (4)	
8	Alex Andres Cabrera Ortega	11				5 (2,5)				5 (2,5)				5 (2,5)				5 (2,5)
9	Johan Nolberto Ruíz Melendez	10	4 (2,5)					5 (4)					1 (1)					4 (2,5)
10	Aisha Amna Paez Chavez	11		5 (4)			4 (2,5)							4 (2,5)			3 (1)	

«Continuación»

11	Derley Yair Fernandez Guevara	12			4 (2)					4 (2)	4 (2)					5 (4)		
12	Luz Aide Cabrera Marin	11				2 (1)			5 (3,5)			4 (2)			5 (3,5)			
13	Ana Elisa Rios Chirado	11	4 (1,5)						5 (3,5)					4 (1,5)		5 (3,5)		
14	William Goicochea Velarde	11		1 (1)						4 (2)			5 (3,5)		5 (3,5)			
15	Darley Hellen Sanchez Palacios	10			3 (1)		5 (3,5)					5 (3,5)						4 (2)
16	Julio Andres Sumari Isuiza	11				4 (2,5)		4 (2,5)			4 (2,5)						4 (2,5)	
17	Sadith Helen Aguayo Pinedo	10	4 (1)							5 (3)		5 (3)					5 (3)	
18	Jean Franco Venancio Castañeda	12		4 (1)					5 (3)		5 (3)							5 (3)
19	Luz Melina Marrufo Ramos	11			5 (3)			5 (3)						5 (3)	4 (1)			
20	Daniel Yolistac Tafur Guevara	10				4 (1)	5 (3)						5 (3)			5 (3)		

A partir del cuadro de respuestas se obtuvo la suma de rangos:

$R_1 = 7; R_2 = 12; R_3 = 10; R_4 = 10; R_5 = 14,5; R_6 = 13; R_7 = 14,5; R_8 = 12; R_9 = 13;$
 $R_{10} = 14; R_{11} = 13; R_{12} = 12; R_{13} = 15; R_{14} = 16; R_{15} = 11,5; R_{16} = 12,5$

Cálculo del estadístico:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde: $t = 16, k = 4, n = 20, r = 5, \lambda = 1$

$$T_3 = 11,1$$

IV. Criterios de decisión: Comparación del valor calculado con el valor tabulado

Se acepta la H_0 si $T_3 \leq X_{(0,95;15)}^2 = 24,996$

Se rechaza la H_0 si $T_3 > X_{(0,95;15)}^2 = 24,996$

V. Conclusión

A un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

Grupo 2:

I. Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H_1 : Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

A continuación se presentan los resultados de los jueces del grupo 2 y sus respectivos rangos asignados:

Panelista			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N°	Nombre	Edad	516	728	931	245	459	862	174	380	695	910	171	214	813	415	581	196
1	Maria Estefani Arona Landeo	11	2 (1)	3 (2)	4 (3)	5 (4)												
2	Durby Geraldine Zegarra Obregon	11					2 (1,5)	3 (3,5)	2 (1,5)	3 (3,5)								
3	Abel Arias Bellido	10									4 (2)	5 (3,5)	3 (1)	5 (3,5)				
4	Elvis Vega Carrillo	11													5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)	5 (2,5)
5	Joseph Josue Navarro Castañeda	11	4 (2)				3 (1)				5 (3,5)				5 (3,5)			
6	Heidy Coraly Zegarra Obregón	11		3 (1)				4 (2,5)				4 (2,5)				5 (4)		
7	Ancelmo Mallqui Cisneros	13			5 (3,5)				4 (1,5)				4 (1,5)				5 (3,5)	
8	Yulissa Rodriguez Zamara	11				4 (1)				5 (3)				5 (3)				5 (3)
9	Brizeth Estrella Casas Limaylla	10	4 (1,5)					4 (1,5)					5 (3,5)					5 (3,5)
10	Giovani Alexander Pacherras Cuadros	9		5 (2,5)			5 (2,5)							5 (2,5)			5 (2,5)	

«Continuación»

11	Anali Viviana Anaya Machado	9			4 (1)					5 (3)	5 (3)					5 (3)		
12	Perla Rosa Cespedes Inga	10				3 (1)			5 (3)			5 (3)			5 (3)			
13	Astrid Alejandra Coronado Achuya	9	2 (1)						3 (2)					5 (3,5)		5 (3,5)		
14	Luz Karen Rodriguez Rosales	9		4 (1)						5 (3)			5 (3)		5 (3)			
15	Denis Antony De la Cruz Perez	10			4 (1)		5 (3)					5 (3)						5 (3)
16	Aarón Isac Rodriguez Villafuerte	10				4 (2,5)		4 (2,5)			5 (4)						3 (1)	
17	Alberto Huamani Espino	10	5 (2,5)							5 (2,5)		5 (2,5)					5 (2,5)	
18	Darian Elizabeth Magallanes Llauce	10		5 (2,5)					5 (2,5)		5 (2,5)							5 (2,5)
19	Jefferson Smith Barros Castillo	12			2 (1,5)			4 (3)						2 (1,5)	5 (4)			
20	Piero Guerrero Espinoza	12				4 (1,5)	5 (3,5)						5 (3,5)			4 (1,5)		

A partir del cuadro de respuestas se obtuvo la suma de rangos:

$R_1 = 8; R_2 = 9; R_3 = 10; R_4 = 10; R_5 = 11,5; R_6 = 13; R_7 = 10,5; R_8 = 15; R_9 = 15;$
 $R_{10} = 14,5; R_{11} = 12,5; R_{12} = 14; R_{13} = 16; R_{14} = 14,5; R_{15} = 12; R_{16} = 14,5$

Cálculo del estadístico:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde: $t = 16, k = 4, n = 20, r = 5, \lambda = 1$

$$T_3 = 13,43$$

IV. Criterios de decisión: Comparación del valor calculado con el valor tabulado

Se acepta la H_0 si $T_3 \leq X_{(0,95;15)}^2 = 24,996$

Se rechaza la H_0 si $T_3 > X_{(0,95;15)}^2 = 24,996$

V. Conclusión

A un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

Grupo 3:

I. Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H_1 : Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

A continuación se presentan los resultados de los jueces del grupo 3 y sus respectivos rangos asignados:

Panelista			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N°	Nombre	Edad	516	728	931	245	459	862	174	380	695	910	171	214	813	415	581	196
1	Luis Armando Gonzales Salazar	12	5 (3,5)	3 (1)	4 (2)	5 (3,5)												
2	Yeremy Castillo Reátegui	11					1 (1)	3 (2)	5 (4)	4 (3)								
3	Licelli Alexandra Vidaurre Baldera	12									2 (1)	4 (4)	3 (2,5)	3 (2,5)				
4	Milagros Gabriela Medina Rodriguez	11													3 (2,5)	3 (2,5)	3 (2,5)	3 (2,5)
5	Mariana Nahomy Rodriguez Quijano	11	1 (2,5)				1 (2,5)				1 (2,5)				1 (2,5)			
6	Angie Xiomara Guerrero Moran	11		1 (2,5)				1 (2,5)				1 (2,5)				1 (2,5)		
7	Elizabeth Susana Mamani Quenaya	12			1 (1)				4 (3)				4 (3)				4 (3)	
8	Zaleth Nadia Hinostroza Landeo	12				1 (1)				5 (3)				5 (3)				5 (3)
9	Geraldin Duran Rodriguez	12	3 (1)					4 (3)					4 (3)					4 (3)
10	Jhonatan Galvez Bustamante	12		4 (1)			5 (3)							5 (3)			5 (3)	

«Continuación»

11	Ronaldo Tarazona Rios	13			4 (2,5)					3 (1)	4 (2,5)					5 (4)		
12	Moises Romero Velasquez	11				4 (2,5)			5 (4)			3 (1)				4 (2,5)		
13	Javier Aricochea Vasquez	11	4 (1)						5 (3)					5 (3)		5 (3)		
14	Ernesto Valentin Huayta Castro	11		4 (2)						5 (4)			4 (2)			4 (2)		
15	Jaime Leonardo Nuñez Diaz	12			4 (1,5)		5 (3,5)					5 (3,5)						4 (1,5)
16	Cielo Alejandra Arquinico Quijano	11				3 (1)		4 (2)			5 (3,5)						5 (3,5)	
17	Andrea Mendoza Saldaña	11	3 (1)							4 (2,5)		4 (2,5)					5 (4)	
18	Sergio Zevallos Portalatino	11		5 (2,5)					5 (2,5)		5 (2,5)							5 (2,5)
19	Aaron Yasser Santiago Pinco	12			5 (2,5)			5 (2,5)						5 (2,5)	5 (2,5)			
20	Jose Jeremy Cumpa Piscocoya	12				5 (3)	4 (1)						5 (3)			5 (3)		

A partir del cuadro de respuestas se obtuvo la suma de rangos:

$R_1 = 9; R_2 = 9; R_3 = 9,5; R_4 = 11; R_5 = 11; R_6 = 12; R_7 = 16,5; R_8 = 13,5; R_9 = 12;$
 $R_{10} = 13,5; R_{11} = 13,5; R_{12} = 14; R_{13} = 12; R_{14} = 15; R_{15} = 16; R_{16} = 12,5$

Cálculo del estadístico:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde: $t = 16, k = 4, n = 20, r = 5, \lambda = 1$

$$T_3 = 11,78$$

IV. Criterios de decisión: Comparación del valor calculado con el valor tabulado

Se acepta la H_0 si $T_3 \leq X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

Se rechaza la H_0 si $T_3 > X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

V. Conclusión

A un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

Grupo 4:

I. Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H_1 : Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

A continuación se presentan los resultados de los jueces del grupo 4 y sus respectivos rangos asignados:

Panelista			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N°	Nombre	Edad	516	728	931	245	459	862	174	380	695	910	171	214	813	415	581	196
1	Brayan Diego Marcos Acuña	12	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)												
2	Rosa Maria Dueñas Salazar	11					4 (3,5)	4 (3,5)	2 (1)	3 (2)								
3	Angela Celeste Ayala Arca	12									3 (1,5)	4 (3)	3 (1,5)	5 (4)				
4	Belén Lizeth Barboza Lopez	11													4 (1,5)	4 (1,5)	5 (3,5)	5 (3,5)
5	Maricielo Genesis Valerio Godoy	11	4 (2)				5 (4)				4 (2)				4 (2)			
6	Frederich Amaringo Mozombite	12		3 (2,5)				4 (4)				2 (1)				3 (2,5)		
7	Eytter Adrian Huallaquispe Salazar	10			2 (2,5)				3 (4)				2 (2,5)				1 (1)	
8	Sayuri Sanchez Rodriguez	9				3 (2,5)				3 (2,5)				3 (2,5)				3 (2,5)
9	Sheyla Karol Polino Huacho	10	3 (1)					5 (3,5)					4 (2)					5 (3,5)
10	Estrella Belen Aronés Manor	10		4 (1)			5 (3)							5 (3)			5 (3)	

«Continuación»

11	Rocio Burgos Colque	9			5 (2,5)					5 (2,5)	5 (2,5)					5 (2,5)	
12	Zulema Xiomara Cumpa Pircolla	10				4 (2,5)			4 (2,5)			4 (2,5)			4 (2,5)		
13	Joselyn Fiorella Rivera Reyes	10	4 (2,5)						4 (2,5)				4 (2,5)		4 (2,5)		
14	Alondra Arangues Lizana	9		4 (2,5)						4 (2,5)			4 (2,5)		4 (2,5)		
15	Valentin Lueza Sulla	9			5 (2,5)		5 (2,5)					5 (2,5)					5 (2,5)
16	David Francis De la Cruz Cuellar	10				5 (2,5)		5 (2,5)			5 (2,5)						5 (2,5)
17	Camila Yano Huillca	10	5 (2,5)							5 (2,5)		5 (2,5)					5 (2,5)
18	Natalia Antonela Olano Ordoñez	9		4 (1)					5 (3)		5 (3)						5 (3)
19	Yeysy Maylin Cachique Villalobos	10			2 (1,5)			3 (3,5)						3 (3,5)	2 (1,5)		
20	Maricarmen Chavez Rojas	10				3 (1)	5 (4)						4 (2,5)			4 (2,5)	

A partir del cuadro de respuestas se obtuvo la suma de rangos:

$R_1 = 9; R_2 = 9; R_3 = 12; R_4 = 12,5; R_5 = 17; R_6 = 17; R_7 = 13; R_8 = 12; R_9 = 11,5;$
 $R_{10} = 11,5; R_{11} = 11; R_{12} = 15,5; R_{13} = 10; R_{14} = 11,5; R_{15} = 12,5; R_{16} = 15$

Cálculo del estadístico:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde: $t = 16, k = 4, n = 20, r = 5, \lambda = 1$

$$T_3 = 13,88$$

IV. Criterios de decisión: Comparación del valor calculado con el valor tabulado

Se acepta la H_0 si $T_3 \leq X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

Se rechaza la H_0 si $T_3 > X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

V. Conclusión

A un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

Grupo 5:

I. Planteamiento de hipótesis:

H_0 : Las muestras de extruidos presentan el mismo grado de satisfacción

H_1 : Al menos una de las muestras de extruidos presenta diferente grado de satisfacción

II. Nivel de significación: 0,05

III. Desarrollo de la prueba estadística

A continuación se presentan los resultados de los jueces del grupo 5 y sus respectivos rangos asignados:

Panelista			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
N°	Nombre	Edad	516	728	931	245	459	862	174	380	695	910	171	214	813	415	581	196
1	Maria Elizabeth Ñahuincopa Arotoma	12	4 (1,5)	5 (3,5)	4 (1,5)	5 (3,5)												
2	Dallana Guianella Liberato Astuquipan	13					4 (2,5)	5 (4)	4 (2,5)	2 (1)								
3	Bruce Jorzzy Castillo Pinchi	12									4 (3)	2 (2)	1 (1)	5 (4)				
4	Nicoll Jhajaira Ramos Fernández	12													4 (1,5)	5 (3,5)	5 (3,5)	4 (1,5)
5	Brisa Maricielo Sedamano Contreras	12	4 (4)				2 (3)				1 (1,5)				1 (1,5)			
6	Eidy Fernandez Lozano	12		5 (2,5)														
7	Angelo Eloy Pérez Huaymacari	11			4 (1,5)				5 (3,5)				4 (1,5)				5 (3,5)	
8	Cristina Juliet Vargas Bernedo	12				5 (2,5)												
9	Roger Alexander Chirocker Quiroz	11	4 (1)					5 (3)					5 (3)					5 (3)

«Continuación»

10	Leyda Carranza Davila	11		4 (2)			5 (4)						4 (2)			4 (2)	
11	Kassandra Ami Fernandez Cordova	11			5 (3)					4 (1)	5 (3)					5 (3)	
12	Daniela Gomez Mori	11				5 (2,5)			5 (2,5)			5 (2,5)			5 (2,5)		
13	Leyla Marin Zamora	13	5 (2,5)						5 (2,5)				5 (2,5)		5 (2,5)		
14	Gean Franco Carrasco Luciano	12		5 (3,5)						4 (1,5)			4 (1,5)		5 (3,5)		
15	Franco Jimmy Gamarra Ccoños	12			5 (2,5)		5 (2,5)					5 (2,5)					5 (2,5)
16	Almendra Campos Pozo	11				5 (2,5)		5 (2,5)			5 (2,5)						5 (2,5)
17	Margot Huamani Espino	12	5 (2,5)							5 (2,5)		5 (2,5)					5 (2,5)
18	Jeremy Eli Cipriano Saavedra	12		4 (1,5)					4 (1,5)		5 (3,5)						5 (3,5)
19	Kenia Luz Borja Macukachi	11			5 (3)			5 (3)						5 (3)	4 (1)		
20	Fernando Salazar Taype	12				5 (3)	4 (1)						5 (3)			5 (3)	

A partir del cuadro de respuestas se obtuvo la suma de rangos:

$R_1 = 11,5$; $R_2 = 13$; $R_3 = 11,5$; $R_4 = 14$; $R_5 = 13$; $R_6 = 15$; $R_7 = 12,5$; $R_8 = 8,5$;
 $R_9 = 13,5$; $R_{10} = 12$; $R_{11} = 10$; $R_{12} = 14$; $R_{13} = 10$; $R_{14} = 14,5$; $R_{15} = 14$; $R_{16} = 13$

Cálculo del estadístico:

$$T_3 = \frac{12(t-1)}{rt(k-1)(k+1)} \sum_{i=1}^t Ri^2 - \frac{3r(t-1)(k+1)}{k-1}$$

Donde: $t = 16$, $k = 4$, $n = 20$, $r = 5$, $\lambda = 1$

$$T_3 = 7,43$$

IV. Criterios de decisión: Comparación del valor calculado con el valor tabulado

Se acepta la H_0 si $T_3 \leq X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

Se rechaza la H_0 si $T_3 > X^2_{(0,95;15)} = 24,996$

V. Conclusión

A un nivel de significación de 0,05 se puede afirmar que todas las formulaciones de los bocaditos extruidos presentan el mismo grado de satisfacción.

ANEXO 5: DESAMARGADO DE TARWI



Impurezas encontradas entre los granos de tarwi



Granos de tarwi seleccionados



Remojo del tarwi



Cocción del tarwi



Lavados sucesivos



Secado del tarwi desamargado

ANEXO 6: ANÁLISIS REALIZADOS A LOS BOCADITOS EXTRUIDIDOS



Determinación de la densidad



Medición del índice de expansión



Destilador Kjeldahl para determinar contenido de proteína



Medición de la dureza



Evaluación sensorial

**ANEXO 7: DIGESTIBILIDAD Y VALOR BIOLÓGICO VERDADERO
REALIZADO EN RATAS**



Jaulas metabólicas



Control del peso de cada rata



Orina excretada por las ratas



Heces excretadas por las ratas

ANEXO 8: BOCADITOS EXTRUIDOS CORRESPONDIENTES A LAS 16 FORMULACIONES

