

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN PÚBLICA**



**“NIVEL DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE EXTRUIDOS DE  
QUINUA CON MAÍZ MORADO COMO UNA  
ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN SALUDABLE”**

Presentada por:

**ROCÍO DEL PILAR GALINDO LUJÁN**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN PÚBLICA**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN NUTRICIÓN PÚBLICA**

**“NIVEL DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE EXTRUIDOS  
DE QUINUA CON MAÍZ MORADO COMO UNA  
ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN SALUDABLE”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER  
SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**ROCÍO DEL PILAR GALINDO LUJÁN**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

.....  
M.Sc. Walter Francisco Salas Valerio

**PRESIDENTE**

.....  
M.Sc. Gloria Pascual Chagman

**PATROCINADOR**

.....  
Mg.Sc. Dayana Angela Barriga Rodríguez

**CO-PATROCINADORA**

.....  
Mg.Sc. Alejandrina Sotelo Méndez

**MIEMBRO**

.....  
Mg.Sc. Elva Ríos Ríos

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A **Dios** por protegerme, guiarme en mi camino y bendecirme con mi hermosa familia.

A mis padres **Maricela y Silvestre** por brindarme su amor, fortaleza y confianza en todo momento. Siempre disciplinados, nunca se alejan de los desafíos, no importa cuán grande sea, abordan los obstáculos como una oportunidad de crecimiento. Los respeto mucho y aspiro replicar su ejemplo.

A **Alfredo Curi** por aceptarme tal como soy a pesar de mis errores, y acompañarme en mi camino de la vida. Gracias por inspirarme a querer conquistar el mundo, pues siempre me dan energía para afrontar los retos.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Mg. Sc. Gloria Pascual Chagman y la Mg. Sc. Dayana Ángela Barriga Rodríguez por apoyarme con su tiempo, orientación y dedicación para la realización de la presente investigación.
- Al Lic. Fredy Quispe Jacobo por su guía, orientación y facilitarme los recursos necesarios para la ejecución de la tesis.
- Un sincero agradecimiento a los directores de las instituciones educativas IE 1229 JAP Antúnez de Mayolo de Vitarte, IE 1207 Sagrado Corazón de Jesús y IE N.º 1230 Viña Alta del distrito de La Molina por su acogida, amabilidad y disposición en la investigación.
- A los estudiantes de las institución educativas IE 1229 JAP Antúnez de Mayolo de Vitarte, IE 1207 Sagrado Corazón de Jesús y IE N.º 1230 Viña Alta del distrito de La Molina que contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.
- A mis profesores, compañeros, amigos y conocidos que de una y otra manera contribuyeron en la ejecución de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

### RESUMEN

### ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1. Alimentación sana .....	3
2.1.1. Cómo promover una alimentación sana .....	3
2.2. Obesidad y sobrepeso .....	5
2.2.1. Causas.....	5
2.2.2. Consecuencias .....	6
2.2.3. Medición del sobrepeso y la obesidad.....	6
2.2.4. Sobrepeso y obesidad infantil .....	7
2.3. Quinoa.....	9
2.3.1. Distribución geográfica .....	9
2.3.2. Descripción botánica y agronómica .....	10
2.3.3. Composición química.....	14
2.3.4. Vitaminas .....	18
2.3.5. Minerales .....	19
2.3.6. Compuestos fenólicos .....	24
2.4. Maíz morado .....	27
2.4.1. Composición química.....	27
2.4.2. Propiedades funcionales .....	28
2.5. Extrusión de los alimentos .....	28
2.5.1. Fenómeno de extrusión .....	29
2.5.2. Principales cambios físicoquímicos durante la extrusión: .....	29
2.5.3. Etapas del proceso de extrusión .....	30
2.5.4. Parámetros evaluados en el proceso de extrusión .....	32
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1. Lugar de ejecución.....	34
3.2. Materia prima e insumos .....	34
3.3. Materiales, equipos y reactivos.....	34
3.3.1. Equipos.....	34

3.3.2.	Materiales .....	35
3.3.3.	Reactivos .....	35
3.4.	Métodos de análisis.....	35
3.4.1.	Color.....	35
3.4.2.	Relación de expansión.....	36
3.4.3.	Índice de solubilidad en agua (WSI) e índice de absorción de agua (WAI) ..	36
3.4.4.	Determinación de humedad.....	36
3.4.5.	Determinación de fibra cruda.....	36
3.4.6.	Determinación de cenizas.....	36
3.4.7.	Determinación de proteínas.....	36
3.4.8.	Determinación de grasa.....	37
3.4.9.	Determinación de carbohidratos.....	37
3.4.10.	Determinación de la energía total.....	37
3.4.11.	Fenoles totales .....	37
3.4.12.	Flavonoides totales .....	38
3.4.13.	Determinación de capacidad antioxidante.....	38
3.4.14.	Minerales .....	40
3.4.15.	Evaluación sensorial.....	40
3.5.	Metodología experimental .....	40
3.6.	Diseño experimental .....	42
3.7.	Análisis estadístico .....	42
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
4.1.	Evaluación de color .....	44
4.2.	Índice de expansión (ER).....	45
4.3.	Índice de solubilidad en agua (WSI) e Índice de absorción de agua (WAI) .....	46
4.4.	Comparación nutricional de harinas extruidas de quinua y maíz morado.....	47
4.4.1.	Contenido de grasa .....	47
4.4.2.	Contenido ceniza .....	48
4.4.3.	Contenido de proteína .....	49
4.4.4.	Fibra cruda.....	49
4.4.5.	Contenido de humedad.....	49
4.5.	Minerales .....	51
4.6.	Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante .....	54
4.7.	Evaluación sensorial .....	56

4.8. Contribución de los snacks de quinua y maíz morado para disminuir los problemas de malnutrición en el Perú .....	61
4.9. Impacto de los snacks de quinua y maíz morado en relación a la seguridad alimentaria y nutricional de nuestro país .....	62
4.10. Costo de producción .....	64
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición proximal de la quinua (g/100 g de porción comestible).....	15
Cuadro 2: Perfiles de aminoácidos esenciales de quinua cruda, arroz, maíz amarillo, y patrones sugeridos de requerimientos para adultos (g / 100 g de proteína) .....	16
Cuadro 3: Ácidos grasos de quinua cruda, harina de quinua, arroz y soja (g / 100 g de porción comestible) .....	17
Cuadro 4: Contenido en vitaminas de la quinua frente a otros alimentos, mg/100 g peso seco .....	18
Cuadro 5: Contenido de vitaminas en el grano de quinua (mg/100 g de materia seca) .....	19
Cuadro 6: Contenido inorgánico de quinua, amaranto, maíz morado y arroz.....	20
Cuadro 7: Contribución de cereales andinos para la ingesta diaria de minerales priorizados en los adultos, expresado en por ciento (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia .....	22
Cuadro 8: Contenido de compuestos fenólicos libres y ligados, flavonoles y capacidad antioxidante total de semillas de quinoa coloreadas ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) del Altiplano .....	26
Cuadro 9: Composición química del maíz morado .....	28
Cuadro 10: Diámetro, índice de expansión, índice de solubilidad e índice de absorción de agua <sup>1,2</sup> (mg/100 g) de los extruidos de quinua con maíz morado.....	45
Cuadro 11: Contenido químico proximal <sup>1,2</sup> (g/100 g, bs) de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado .....	48
Cuadro 12: Contribución de los extruidos de quinua con maíz morado para la ingesta diaria de macronutrientes priorizados en niños de 4 a 9 años y hombres de 9 a 13 años, expresado en porcentaje (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia .....	50
Cuadro 13: Contenido de minerales <sup>1,2</sup> (mg/100 g, bs) de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado .....	51
Cuadro 14: Contribución de los extruidos de quinua con maíz morado para la ingesta diaria de minerales priorizados en niños de 4 a 9 años y hombres de 9 a 13 años, expresado en porcentaje (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia .....	52



Cuadro 15: Fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante según DPPH y ABTS de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado. Los resultados se expresan en base seca .....	55
Cuadro 16: Costo de producción .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planta de quinua de la variedad pasankalla.....	11
Figura 2: Sección longitudinal del grano.....	13
Figura 3: Corte transversal del grano de quinua.....	14
Figura 4: Fases de transición durante la extrusión. ....	30
Figura 5: Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo.....	31
Figura 6: Estructura del complejo tricloruro de aluminio–flavonoide. ....	38
Figura 7: Reacción entre DPPH • y el antioxidante para formar DPPH. ....	39
Figura 8: Formación de radical ABTS a partir de ABTS estable con persulfato de potasio.....	39
Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de extruidos de quinua y maíz morado .	41
Figura 10: Esquema experimental del nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua y maíz morado .....	43
Figura 11: Diferencia total de color ( $\Delta E$ ) de las harinas extruidas de quinua con maíz morado en comparación con el color de la harina de quinua con maíz morado (sin procesar). ....	44
Figura 12: Porcentaje de jueces que prefieren cada tratamiento para los atributos de aceptabilidad general. ....	56
Figura 13: Análisis descriptivo del color de los extruidos de quinua con maíz morado.....	57
Figura 14: Análisis descriptivo del olor de los extruidos de quinua con maíz morado.....	58
Figura 15: Análisis descriptivo del sabor de los extruidos de quinua con maíz morado. ...	58
Figura 16: Análisis descriptivo de la textura de los extruidos de quinua con maíz morado.....	59
Figura 17: Análisis descriptivo de la preferencia de consumo de los extruidos de quinua con maíz morado.....	60
Figura 18: Análisis descriptivo de la frecuencia de consumo de los extruidos de quinua con maíz morado. ....	61

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Formato de evaluación sensorial.....	78
Anexo 2: Cuestionario de evaluación sensorial.....	79
Anexo 3: Análisis estadístico del diámetro de los extruidos de quinua y maíz morado .....	80
Anexo 4: Análisis estadístico del índice de expansión de los extruidos de quinua y maíz morado .....	80
Anexo 5: Análisis estadístico del índice de absorción de agua de los extruidos de quinua y maíz morado .....	81
Anexo 6: Análisis estadístico del índice solubilidad en agua de los extruidos de quinua y maíz morado .....	81
Anexo 7: Análisis estadístico del contenido químico proximal .....	82
Anexo 8: Análisis estadístico del contenido de minerales .....	85
Anexo 9: Análisis estadístico del contenido de compuestos bioactivos.....	89
Anexo 10: Análisis estadístico de la prueba de grado de satisfacción .....	90
Anexo 11: Galería fotográfica del proceso de extrusión .....	91
Anexo 12: Galería fotográfica de la evaluación sensorial.....	92

## RESUMEN

Cuatro formulaciones de extruidos de quinua con maíz morado en proporciones: quinua: maíz (100:00), quinua: maíz (90:10), quinua: maíz (70:30), quinua: maíz (50:50) fueron evaluadas con respecto al color, índice de expansión, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, contenido de proteína, grasa, ceniza, fibra cruda, carbohidratos, minerales (fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio zinc, cobre, manganeso y hierro), ensayos de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidantes por ABTS y DPPH). La evaluación estadística encontró diferencias significativas en índice de expansión, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, proteínas, ceniza, minerales, y compuestos bioactivos en los cuatro tratamientos. El extruido: maíz morado (50:50) presentó los más altos valores en fenólicos totales, flavonoides, actividad antioxidantes, pero los menores porcentajes en índice de expansión, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, proteína, ceniza, grasa, minerales. Para identificar aquel tratamiento con mayor aceptabilidad sensorial se sometieron los cuatro tratamientos a la prueba de grado de satisfacción en escala hedónica gráfica evaluados por 200 escolares entre 6 y 13 años de edad. La muestra con mayor aceptabilidad fue la que contenía quinua:maíz morado (50:50) concluyendo que la incorporación del maíz morado mejora los atributos organolépticos. Adicionalmente evaluaron un cuestionario para conocer la percepción de los consumidores en cuanto a los atributos de color, olor, sabor, la frecuencia de consumo y la presentación de consumo del producto. Los extruidos fueron calificados por presentar un color claro 87.2 %, un olor a tostado 49.31 %, sabor a insípido 35.10 %, de textura crocante 71.86 %, con una preferencia de consumo de una vez por semana., además que el 45.65 % de los jueces prefieren consumirlos bañados con chocolate. Se recomienda la elaboración y consumo de snack de quinua y maíz morado para mantener un organismo sano debido a su contenido nutritivo y funcional e incluir este producto en la alimentación del niño, adolescente, adulto y anciano.

**Palabras clave:** *Chenopodium quinoa*, *Zea maiz*, extrusión, snack, valor nutricional, minerales, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, evaluación sensorial.

## ABSTRACT

Four formulations of quinoa with purple corn extruded in proportions: quinoa: corn (100:00), quinoa: corn (90:10), quinoa: corn (70:30), quinoa: corn (50:50) were evaluated with regarding color, expansion index, water solubility index, water absorption index, protein content, fat, ash, crude fiber, carbohydrates, minerals (phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium zinc, copper, manganese and iron) , trials of bioactive compounds (phenolic compounds, flavonoids and antioxidant capacity by ABTS and DPPH). The statistical evaluation found significant differences in index of expansion, index of solubility in water, index of absorption of water, proteins, ash, minerals, and bioactive compounds in the four treatments. The extruded: purple corn (50:50) presented the highest values in total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, but the lowest percentages in expansion index, water solubility index, water absorption index, protein, ash, fat , minerals. To identify the treatment with greater sensory acceptability, the four treatments were subjected to the satisfaction test on a graphical hedonic scale evaluated by 200 schoolchildren between 6 and 13 years of age. The sample with greater acceptability was the one that contained quinoa: purple corn (50:50) concluding that the incorporation of purple corn improves the organoleptic attributes. Additionally, they evaluated a questionnaire to know the perception of consumers regarding the attributes of color, smell, taste, frequency of consumption and the presentation of product consumption. The extrudates were rated as having a clear color of 87.2%, a toasted odor of 49.31%, taste to tasteless 35.10%, a crispy texture of 71.86%, with a preference of consumption once a week., In addition, 45.65% of the judges prefer to consume them bathed with chocolate. The elaboration and consumption of quinoa snack and purple corn is recommended to maintain a healthy organism due to its nutritional and functional content and to include this product in the feeding of the child, adolescent, adult and old.

**Key words:** *Chenopodium quinoa*, *Zea corn*, extrusion, snack, nutritional value, minerals, antioxidant capacity, phenolic compounds, sensory evaluation.

## I. INTRODUCCIÓN

El 65 % de la población mundial vive en países donde el sobrepeso y la obesidad causan más muertes que la insuficiencia ponderal. El 44 % de los casos mundiales de diabetes, el 23 % de cardiopatía isquémica y el 7–41 % de determinados cánceres son atribuibles al sobrepeso y la obesidad OMS (2015). En este contexto, el consumidor necesita tener accesibilidad de opciones dietéticas más saludables, por lo cual ha surgido en los últimos años un notable mercado que hoy en día permite una mayor innovación en cuanto a productos saludables, funcionales y nutraceúticos. Dentro de este tipo de alimentos se tiene al maíz morado (*Zea mays* L). El maíz morado ha despertado gran interés para la industria alimentaria debido a su alto contenido de antocianinas, los cuales imparten colores atractivos y una potente capacidad antioxidante al ser consumidos (Aguilera *et al.* 2011).

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un uno de los alimentos de origen vegetal más nutritivo a nivel mundial debido a su cantidad y calidad de proteína (10.4-17 %) (Reyes *et al.*, 2006). Su importancia radica en la calidad de su proteína, pues posee una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecida a la composición aminoácido de la caseína (FAO 2011). Además, sus altas concentraciones de calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc, vitaminas E y del complejo B, como así también los bajos niveles de factores anti nutricionales, hacen de este grano un producto de interés en la elaboración de nuevos alimentos (FAO 2011). Puede ser sometida a diferentes procesos tecnológicos como la extrusión que al aplicar altas temperaturas, presiones y tiempos cortos evitan una mayor pérdida de su calidad nutritiva con respecto a otros métodos térmicos.

Por lo expuesto, el presente trabajo expone la investigación científica que consiste en la obtención de extruidos a base de quinua y maíz morado y su determinar mediante pruebas sensoriales y fisicoquímicas el valor nutritivo del producto y su aceptación sensorial en escolares; con este propósito se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el color, índice de expansión, índice de solubilidad, índice de absorción en agua, contenido químico proximal, minerales, poder antioxidante, flavonoides y polifenoles totales de los extruidos de quinua y maíz morado.
- Evaluar el grado de aceptación sensorial del extruido de quinua y maíz morado.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Alimentación sana**

Llevar una dieta sana a lo largo de la vida ayuda a prevenir la malnutrición en todas sus formas, así como distintas enfermedades no transmisibles y diferentes afecciones. Sin embargo, el aumento de la producción de alimentos procesados, la rápida urbanización y el cambio en los estilos de vida han dado lugar a un cambio en los hábitos alimentarios. Ahora se consumen más alimentos hipercalóricos, más grasas saturadas, más grasas de tipo trans, más azúcares libres y más sal o sodio; además, hay muchas personas que no comen suficientes frutas, verduras y fibra dietética, como por ejemplo cereales. La composición exacta de una alimentación saludable, equilibrada y variada depende de las necesidades de cada persona (por ejemplo, de su edad, sexo, hábitos de vida, ejercicio físico), el contexto cultural, los alimentos disponibles localmente y los hábitos alimentarios integrales (OMS 2015).

#### **2.1.1. Cómo promover una alimentación sana**

Según la OMS (2015), la alimentación evoluciona con el tiempo y se ve influida por muchos factores e interacciones complejas. Los ingresos, los precios de los alimentos (que afectarán a la disponibilidad de alimentos saludables y a su asequibilidad), las preferencias y creencias individuales, las tradiciones culturales, y los factores geográficos, ambientales y socioeconómicos interactúan de manera compleja para configurar los hábitos individuales de alimentación. Por consiguiente, promover un entorno alimentario saludable, que incluya sistemas alimentarios que promuevan una dieta diversificada, equilibrada y sana, requiere la participación de distintos actores y sectores, entre estos el sector público y el sector privado. Los poderes públicos desempeñan un papel fundamental en la creación de un entorno alimentario saludable que permita al individuo adoptar y mantener hábitos alimentarios sanos. A continuación se detalla algunas medidas prácticas que pueden adoptar las instancias normativas a fin de crear un marco propicio para la alimentación saludable:



a. Armonizar las políticas y los planes de inversión nacionales, en particular las políticas comerciales, alimentarias y agrícolas, para promover la alimentación saludable y proteger la salud pública:

- Ofrecer más incentivos a los productores y los minoristas para que cultiven, utilicen y vendan frutas y verduras frescas.
- Desincentivar la continuación y el aumento de la producción de alimentos procesados con grasas saturadas y azúcares libres por la industria alimentaria.
- Alentar la reformulación de la composición de los productos alimentarios, con el fin de reducir su contenido en sal, grasas (saturadas y de tipo trans) y azúcares libres.
- Aplicar las recomendaciones de la OMS sobre la promoción de alimentos y bebidas no alcohólicas dirigida a los niños.
- Promulgar normas que fomenten hábitos de alimentación saludables garantizando la disponibilidad de alimentos sanos, inocuos y asequibles en parvularios, escuelas, otras instituciones públicas y lugares de trabajo.
- Estudiar la posibilidad de formular instrumentos normativos de observancia facultativa, como políticas sobre comercialización y etiquetado de los alimentos y medidas de incentivación o disuasión de carácter económico (por ejemplo, impuestos y subvenciones) para promover una alimentación saludable.
- Alentar a los servicios de comedor y restauración transnacionales, nacionales y locales a que mejoren la calidad nutricional de los alimentos que ofrecen, garanticen la disponibilidad y la accesibilidad de opciones sanas y revisen el tamaño y precio de las raciones.

b. Promover entre los consumidores la demanda de productos alimentarios y comidas saludables:

- Sensibilizar a los consumidores sobre la dieta sana.
- Formular políticas y programas escolares que animen a los niños a adoptar una dieta sana.

- Educar a los niños, los adolescentes y los adultos en materia de nutrición y hábitos alimentarios saludables.
  - promover el aprendizaje de habilidades culinarias, incluso en las escuelas
  - ayudar a mejorar la información sobre los productos alimentarios en los puntos de venta, por ejemplo mediante un etiquetado que garantice una información precisa, normalizada y comprensible sobre su contenido nutricional, en consonancia con las directrices de la Comisión del Codex Alimentarius
  - proporcionar asesoramiento sobre la alimentación y la dieta en los servicios de atención primaria de salud.
- c. Promover hábitos alimentarios adecuados entre los lactantes y los niños pequeños:
- Aplicar el Código Internacional de Comercialización de Sucedáneos de la Leche Materna y las subsiguientes resoluciones de la Asamblea Mundial de la Salud que sean pertinentes
  - Aplicar políticas y prácticas que promuevan la protección de las madres trabajadoras
  - Promover, proteger y apoyar la lactancia materna en los servicios de salud y los servicios comunitarios, incluso mediante la Iniciativa Hospitales Amigos del Niño.

## **2.2. Obesidad y sobrepeso**

Según la OMS (2016), sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que supone un riesgo para la salud. El índice de masa corporal (IMC) es un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad en los adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

### **2.2.1. Causas**

Según la OMS (2016), la causa fundamental del sobrepeso y la obesidad es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas. A nivel mundial ha ocurrido lo siguiente:

- Un aumento en la ingesta de alimentos de alto contenido calórico que son ricos en grasa.
- Un descenso en la actividad física debido a la naturaleza cada vez más sedentaria de muchas formas de trabajo, los nuevos modos de transporte y la creciente urbanización.

### **2.2.2. Consecuencias**

Un IMC elevado es un importante factor de riesgo de enfermedades no transmisibles. La OMS (2016) menciona las siguientes:

- Las enfermedades cardiovasculares (principalmente las cardiopatías y los accidentes cerebrovasculares).
- La diabetes.
- Los trastornos del aparato locomotor (en especial la osteoartritis, una enfermedad degenerativa de las articulaciones).
- Algunos cánceres (endometrio, mama, ovarios, próstata, hígado, vesícula biliar, riñones y colon).

El riesgo de contraer estas enfermedades no transmisibles crece con el aumento del IMC. La obesidad infantil se asocia con una mayor probabilidad de obesidad, muerte prematura y discapacidad en la edad adulta. Sin embargo, además de estos mayores riesgos futuros, los niños obesos sufren dificultades respiratorias, mayor riesgo de fracturas e hipertensión, y presentan marcadores tempranos de enfermedades cardiovasculares, resistencia a la insulina y efectos psicológicos (OMS 2016).

### **2.2.3. Medición del sobrepeso y la obesidad**

La OMS (2016) describe a continuación la medición de sobrepeso y obesidad para cada grupo etario.

#### **a. Adultos**

En el caso de los adultos se define el sobrepeso cuando el y la obesidad como se indica a continuación:

- Sobrepeso: IMC igual o superior a 25.
- Obesidad: IMC igual o superior a 30.

El IMC proporciona la medida más útil del sobrepeso y la obesidad en la población, pues es la misma para ambos sexos y para los adultos de todas las edades. Sin embargo, hay que considerarla como un valor aproximado porque puede no corresponderse con el mismo nivel de grosor en diferentes personas. En el caso de los niños, es necesario tener en cuenta la edad al definir el sobrepeso y la obesidad.

**b. Niños menores de 5 años**

El sobrepeso es el peso para la estatura con más de dos desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS (2016); y la obesidad es el peso para la estatura con más de tres desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS (2016).

**c. Niños de 5 a 19 años**

En el caso de los niños de 5 a 19 años, el sobrepeso y la obesidad se definen de la siguiente manera: el sobrepeso es el IMC para la edad con más de una desviación típica por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS (2016), y la obesidad es mayor que dos desviaciones típicas por encima de la mediana establecida en los patrones de crecimiento infantil de la OMS (2016).

**2.2.4. Sobrepeso y obesidad infantil**

La OMS (2016) menciona que la obesidad infantil es uno de los problemas de salud pública más graves del siglo XXI. El problema es mundial y está afectando progresivamente a muchos países de bajos y medianos ingresos, sobre todo en el medio urbano. Los niños obesos y con sobrepeso tienden a seguir siendo obesos en la edad adulta y tienen más probabilidades de padecer a edades más tempranas enfermedades no transmisibles como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Por consiguiente hay que dar una gran prioridad a la prevención de la obesidad infantil.

**a. Consecuencias de los modos de vida poco saludables durante la infancia**

La obesidad infantil se asocia a una mayor probabilidad de muerte y discapacidad prematuras en la edad adulta. Los niños con sobrepeso u obesos tienen mayores probabilidades de seguir siendo obesos en la edad adulta y de padecer a edades más tempranas enfermedades no transmisibles como la diabetes o las enfermedades cardiovasculares.

El riesgo de la mayoría de las enfermedades no transmisibles resultantes de la obesidad depende en parte de la edad de inicio y de la duración de la obesidad. La obesidad en la infancia y la adolescencia tienen consecuencias para la salud tanto a corto como a largo plazo.

**b. Causas sociales de la epidemia de obesidad infantil**

La OMS (2016) reconoce que la prevalencia creciente de la obesidad infantil se debe a cambios sociales. La obesidad infantil se asocia fundamentalmente a la dieta malsana y a la escasa actividad física, pero no está relacionada únicamente con el comportamiento del niño, sino también, cada vez más con el desarrollo social y económico y las políticas en materia de agricultura, transportes, planificación urbana, medio ambiente, educación y procesamiento, distribución y comercialización de los alimentos.

**c. Estrategias para luchar contra la epidemia de obesidad infantil**

El sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles conexas son en gran medida prevenibles. Se acepta que la prevención es la opción más viable para poner freno a la epidemia de obesidad infantil, dado que las prácticas terapéuticas actuales se destinan en gran medida a controlar el problema, más que a la curación. El objetivo de la lucha contra la epidemia de obesidad infantil consiste en lograr un equilibrio calórico que se mantenga a lo largo de toda la vida. Para ello se debe seguir las siguientes recomendaciones generadas por la OMS (2016):

- Aumentar el consumo de frutas y hortalizas, legumbres, cereales integrales y frutos secos

- Reducir la ingesta total de grasas y sustituir las saturadas por las insaturadas
- Reducir la ingesta de azúcares
- Mantener la actividad física: un mínimo de 60 minutos diarios de actividad física de intensidad moderada o vigorosa que sea adecuada para la fase de desarrollo y conste de actividades diversas. Para controlar el peso puede ser necesaria una mayor actividad física.

### 2.3. Quinoa

La quinoa es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva. Presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4000 msnm; muy tolerante a factores climáticos adversos como sequía, heladas, salinidad de suelos entre otros que afectan al cultivo (Apaza *et al.* 2013).

Según la FAO (2011), la clasificación botánica de esta especie es la siguiente:

- Reino: Vegetal
- División: Fanerógamas
- Clase: Dicotiledóneas
- Sub-Clase: Angiospermas
- Orden: Centrospernales
- Familia: Chenopodiáceas
- Género: *Chenopodium quinoa* Willd
- Nombre: Quinoa  
Vulgar

#### 2.3.1. Distribución geográfica

Según MINAGRI (2017), la producción de quinoa se concentra fundamentalmente en los departamentos de Puno (44.4 por ciento), Ayacucho (21 por ciento), Apurímac (8.1 por ciento), Arequipa (7.8 por ciento), Cuzco (5 por ciento) y Junín (4.8 por ciento). En el Mercado Mayorista de Lima Metropolitana se comercializan las variedades de quinoa Blanca, Roja y Negra, destacando la quinoa Blanca por su mayor demanda en el mercado nacional.

Los Estados Unidos y la Unión Europea se han convertido en los principales compradores de quinua al representar en promedio el 75 por ciento del total exportado por Perú al mundo, a pesar que en este año haya descendido a 73 por ciento por la presencia de pequeños mercados muy activos, como Canadá, Australia, Brasil, Chile, Hong Kong, Taiwán, entre otros MINAGRI (2017).

### **2.3.2. Descripción botánica y agronómica**

El periodo vegetativo de la quinua varía desde los 90 hasta los 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 2600 mm anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4.5 hasta alcalinos con pH de 9.0, sus semillas germinan hasta con 56 mmhos/cm de concentración salina, se adapta a diferentes tipos de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillento, anaranjado, granate y demás gamas que se pueden diferenciar Apaza *et al.* (2013). En la Figura 1 se muestra una planta de quinua donde se puede apreciar la inflorescencia. Las características agromorfológicas de la quinua según Apaza *et al.* (2013) se describe a continuación:

- **Planta**

Es erguida, alcanza alturas variables desde 0.60 a 3.00 m, dependiendo del tipo de quinua, los genotipos, de la fertilidad de los suelos y las condiciones ambientales donde crece.

- **Raíz**

Es pivotante, vigorosa, y profunda logrando alcanzar hasta 1.80 cm de profundidad. Es bastante ramificada y fibrosa, lo cual le confiere resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta.

- **Tallo**

Es cilíndrico en el cuello de la planta y angulosos a partir de las ramificaciones, de coloración variable desde el verde al rojo, muchas veces presenta estrías y también axilas pigmentadas de color, verde rojo o púrpura.



**Figura 1: Planta de quinua de la variedad pasankalla.**

FUENTE: Apaza *et al.* (2013)

– **Hojas**

Las hojas son alternas y están formadas por peciolo y lámina, los peciolos son largos, finos y acanalados en su parte superior y de longitud variable dentro de la misma planta. La lámina en la misma planta puede tener forma romboidal, triangular o lanceolada, plana u ondulada, algo gruesa, carnosa y tierna, cubierta por cristales de oxalato de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino, tanto en el haz como en el envés. La coloración de la hoja es muy variable va del verde al rojo con diferentes tonalidades.

– **Inflorescencia**

Es una panoja típica, constituida por un eje central y ramificaciones secundarias, terciarias y pedicelos que sostienen a los glomérulos. El eje principal está más desarrollado que los secundarios, ésta puede ser laxa (amarantiforme) o compacta (glomerulada), existiendo formas intermedias entre ambas. La longitud de la panoja es variable, dependiendo de los genotipos, tipo de quinua, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad de los suelos, alcanzando de 30 a 80 cm de longitud por



5 a 30 cm de diámetro, el número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el número de semillas por panoja de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia.

– **Flores**

Son pequeñas, con tamaño máximo de 3 mm, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos, pueden ser hermafroditas, pistiladas (femeninas) y androestériles, tienen 10 por ciento de polinización cruzada.

– **Fruto**

Es un aquenio, tiene forma cilíndrica- lenticular, levemente ensanchado hacia el centro.

Está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo, y contiene una sola semilla, de coloración variable, la cual se desprende con facilidad a la madurez.

– **Semilla**

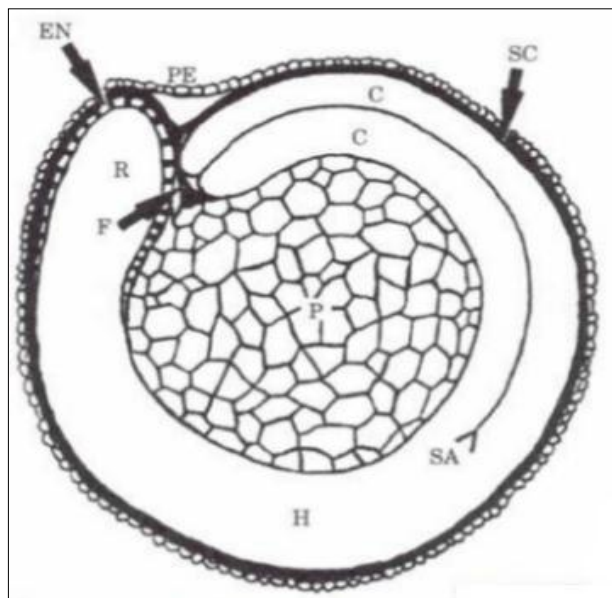
Constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presentando tres partes bien definidas que son:

- **Episperma:** está constituida por cuatro capas, una externa de superficie rugosa, quebradiza, la cual se desprende fácilmente al frotarla, en ella se ubica la saponina que le da el sabor amargo al grano y cuya adherencia a la semilla es variable con los genotipos, tiene células de forma alargada con paredes rectas; la segunda capa es muy delgada y lisa, se observa sólo cuando la capa externa es translúcida; la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la cuarta capa, translúcida, está constituida por un solo estrato de células (Villacorta y Talavera, 1976; citados por Mujica *et al.* 2001).
- **Embrión:** está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye el 30 por ciento del volumen total de la semilla, el cual envuelve al perisperma como un anillo, con una curvatura de 320°, es de color amarillo, mide 3.54 mm de longitud

y 0.36 mm de ancho.

- Perisperma: es el principal tejido de almacenamiento y está constituido principalmente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60 por ciento de la superficie de la semilla.

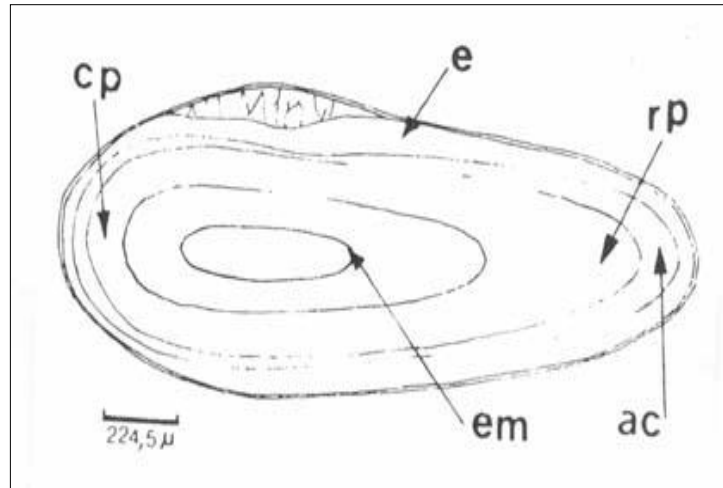
En las Figuras 2 y 3 se muestra la sección longitudinal y transversal del grano de quinua, respectivamente.



**Figura 2: Sección longitudinal del grano.**

PE: pericarpio, SC: cubierta de la semilla, EN: endosperma; C: cotiledones, H: hipocotilo; SA: ápice del meristemo; R: radícula, P: perisperma; F: funículo

FUENTE: Prego *et al.* (1988); citados por Mujica *et al.* (2001).



**Figura 3: Corte transversal del grano de quinua.**

e (endosperma); ac (cámara de aire); cp (polo cotiledonal); rp (polo radicular) y em (embrión).

FUENTE: Gallardo *et al.* (1997); citados por Mujica *et al.* (2001)

### 2.3.3. Composición química

#### – Proteína

El contenido de proteínas en la materia seca de las semillas de quinua varía entre 13.8 por ciento y 16.5 por ciento; Sin embargo, se informa como un 15 por ciento en promedio. El contenido total de proteínas de la quinua es mayor que el del arroz, la cebada, el maíz, el centeno y el sorgo, y está cerca del trigo (USDA, 2015; citados por Navruz-Varli y Sanlier, 2016). La mayoría de las proteínas almacenadas en la quinua está compuesta de albuminas (35 por ciento) y globulinas (37 por ciento), contiene concentraciones bajas de prolaminas, y estos porcentajes pueden variar en diferentes especies (Abugoch 2009). En el Cuadro 1 se muestra la composición proximal de la quinua (g/100 g de porción comestible).

#### – Hidratos de carbono y fibra

El principal componente de carbohidratos de la quinua es el almidón, y constituye el 52-69 por ciento de la misma. Su fibra dietética total es cercana a la de los productos de grano (7-9.7 por ciento), mientras que su contenido de fibra soluble se sabe que está en la banda del 1.3-6.1 por ciento. La quinua contiene azúcar en un 3 por ciento, en su mayor parte contiene maltosa, D-galactosa y D-ribosa, además de bajos niveles

de fructosa y glucosa (Abugoch 2009).

Debido a su perfecta estabilidad congelación-descongelación, bajo punto de gelificación y resistencia a bajas temperaturas de almacenamiento, la quinua es un espesante ideal para salsas, sopas y harinas. Por otra parte, su resistencia a la retrogradación hace posible utilizar la quinua en otras aplicaciones y obtener una textura cremosa y lisa similar a la de las grasas (Abugoch 2009).

**Cuadro 1: Composición proximal de la quinua (g/100 g de porción comestible)**

Nutrientes	Quinua cruda <sup>a</sup> min-max, (n)	Quinua sin cocer <sup>b</sup>	Maíz amarillo <sup>b</sup>	Trigo duro blanco <sup>b</sup>	Arroz crudo blanco pulido <sup>c</sup>
Energía (kJ) <sup>d</sup>	1505 1399–1609 (n=34)	1493	1531	1436	1501
Energía(kcal) <sup>d</sup>	357 333–381 (n=34)	340	354	340	354
Humedad	10.1 8.2–13.1 (n=64)	13.3	10.4	9.6	11.7
Proteína	13.1 9.1–15.7 (n=37)	14.1	9.4	11.3	6.8
Ácido grasos	5.7 4.0–7.6 (n=37)	6.1	4.7	1.7	0.7
Carbohidratos disponibles <sup>e</sup>	59.9 48.5–69.8 (n=34)	57.2	67	63.7	79.7
Fibra dietaria total	11.7 8.8–14.1 (n=7)	7	7.3	12.2	0.6
Fibra cruda	3.3 1.0–9.2 (n=23)	NA	NA	NA	NA
Ceniza	3.3 2.0–7.7 (n=37)	2.4	1.2	1.5	0.5

NA: no disponible.

<sup>a</sup> Un BioFoodComp2.1, donde n representa el número de puntos de datos.

<sup>b</sup> Base de datos de nutrientes USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2013).

<sup>c</sup> Fuente de datos ASEAN Tabla de composición de alimentos (Instituto de Nutrición, Universidad de Mahidol, 2014).

<sup>d</sup> Energía calculada de acuerdo con las directrices FA (FAO / INFOODS, 2012).

<sup>e</sup> Calculado como 100- (humedad + proteína + grasa + ceniza + fibra + alcohol).

FUENTE: Nowak *et al.* (2016)

– **Aminoácidos**

Según la FAO (2011), entre el 16 y el 20 % del peso de una semilla de quinua lo constituyen proteínas de alto valor biológico, entre ellas todos los aminoácidos, incluidos los esenciales, es decir, los que el organismo es incapaz de fabricar y por tanto requiere ingerirlos con la alimentación. Los valores del contenido de aminoácidos en la proteína de los granos de quinua cubren los requerimientos de aminoácidos recomendados para niños en edad preescolar, escolar y adultos. En el Cuadro 2 se observa el contenido de aminoácidos esenciales de quinua cruda, arroz, maíz amarillo, y patrones sugeridos de requerimientos para adultos (g / 100 g de proteína).

Cien gramos de quinua contienen casi el quíntuple de lisina, más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, y cantidades muy superiores de leucina (todos ellos aminoácidos esenciales junto con el triptófano) en comparación con 100 gramos de trigo. Además supera a éste, en algunos casos por el triple, en las cantidades de histidina, arginina, alanina y glicina además de contener aminoácidos no presentes en el trigo como la prolina, el ácido aspártico, el ácido glutámico, la cisteína, la serina y la tirosina (todos ellos aminoácidos no esenciales).

**Cuadro 2: Perfiles de aminoácidos esenciales de quinua cruda, arroz, maíz amarillo, y patrones sugeridos de requerimientos para adultos (g / 100 g de proteína)**

Aminoácidos	Quinua cruda <sup>a</sup> media min–max (n)	Quinua sin cocer <sup>b</sup>	Arroz crudo de grano pequeño <sup>b</sup>	Maíz amarillo <sup>b</sup>	Requerimientos para adultos <sup>c</sup>
His	2.71.4–5.4 (n=41)	2.9	2.4	3	1.5
Ile	3.10.8–7.4 (n=42)	3.6	4.3	3.6	3
Leu	62.3–9.4 (n=42)	5.9	8.3	12.3	5.9
Lys	4.82.4–7.8 (n=42)	5.4	3.6	2.8	4.5
Met	1.90.3–9.1 (n=41)	2.2	2.4	2.1	1.6
Cys	1.40.1–2.7 (n=11)	1.4	2	1.8	0.6
Phe+Tyr	6.32.7–10.3 (n=41)	6.1	8.7	9	3.8
Thr	3.72.1–8.9 (n=42)	3	3.6	3.8	2.3
Trp	0.90.6–1.9 (n=27)	1.2	1.2	0.7	0.6
Val	3.70.8–6.1 (n=42)	4.2	6.1	5.1	3.9

n: número de puntos de datos.

<sup>a</sup> Valores derivados de los siguientes artículos: Becker y Hanners (1990), Coulter y Lorenz (1991), Dini *et al.* (1992), Dini *et al.* (2005), Escuredo, González Martín, Wells Moncada, Fischer y Hernández Hierro (2014), González, Konishi, Bruno, Valoy y Prado (2012), Koziol (1992), Miranda *et al.* (2012), Stikic *et al.* (2012), White *et al.* (1955), Ruales y Nair (1992), Wright *et al.* (2002).

<sup>b</sup> Adaptado de la base de datos de nutrientes del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2013).

<sup>c</sup> Adaptado de la OMS / FAO / UNU (2007)

FUENTE: Nowak *et al.* (2016)

– **Lípidos**

La quinua contiene entre 4.46 a 9.50 por ciento, en 92 evaluaciones realizadas para diversas variedades de quinua con un promedio de 7.16 por ciento. Según la FAO (2013), la quinua contiene más grasa (6.3 g) por cada 100 g de peso seco en comparación con los frijoles (1.1 g), el maíz (4.7 g), el arroz (2.2 g) y el trigo (2.3 g).

La FAO (2011), afirma que el Omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar, siendo 26.04 por ciento para aceite de quinua. Los valores encontrados para el Omega 3 (ácido linolénico) son de 4.77 por ciento, seguido del ácido palmítico con 9.59 por ciento. Encontraron también ácidos grasos en pequeña proporción, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico.

Wood *et al.* (1993); citado por la FAO (2011), encontraron que el 11 por ciento de los ácidos grasos totales de la quinua eran saturados, siendo el ácido palmítico el predominante. Los ácidos linoleico, oleico y alfa-linolénico eran los ácidos insaturados predominantes con concentraciones de 52.3, 23.0 y 8.1 por ciento de ácidos grasos totales, respectivamente. Ellos encontraron también aproximadamente 2 por ciento de ácido erúxico. El Cuadro 3 muestra el contenido de ácidos grasos de quinua cruda, harina de quinua, arroz y soja (g / 100 g de porción comestible)

**Cuadro 3: Ácidos grasos de quinua cruda, harina de quinua, arroz y soja (g / 100 g de porción comestible)**

	Ácido mirístico (C14:0)	Ácido palmítico (C16: 0)	Ácido esteárico (C18:0)	Ácido oleico (C18:1)	Ácido linoleico (C18:2)	Ácido linolénico (C18:3)
Quinua cruda (n=1)	0.015	0.008	0.046	1.604	4.256	0.509
Harina de quinua (n=3)	0.011	0.486	0.039	1.402	3.156	0.401
Arroz blanco, crudo y de grano corto	0.003	0.125	0.01	0.159	0.114	0.024
Soya cruda y de semillas maduras	0.055	2.116	0.712	4.348	9.925	1.33

N: número de puntos de datos.

Un BioFoodComp2.1.

B Los datos provienen de la base de datos de nutrientes del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Agrícola, 2013).

FUENTE: Nowak *et al.* (2016)

Otros investigadores Przybylski *et al.* (1994); citado por la FAO (2011), encontraron que el ácido linoleico era el principal ácido graso (56 por ciento) en la quinua, seguido por el ácido oleico (21.1 por ciento), el ácido palmítico (9.6 por ciento) y el ácido linolénico (6.7 por ciento). Según estos autores, el 11.5 por ciento de los ácidos grasos totales de la quinua son saturados.

#### 2.3.4. Vitaminas

La quinua es también una buena fuente de las vitaminas B2 (riboflavina) y ácido fólico en comparación con otros granos, su contenido en tiamina es similar al de otros granos y el de niacina es en promedio inferior, como se muestra en el Cuadro 4. También contiene cantidades significativas de vitamina E, aunque esta cantidad parece disminuir después de procesarse y cocinarse (Koziol, 1992 citado por la FAO 2013). El contenido en vitaminas de la quinua no se ve afectado por la eliminación de sus saponinas, ya que las vitaminas no se encuentran en el pericarpio de la semilla (Koziol, 1992 citado por la FAO 2013).

**Cuadro 4: Contenido en vitaminas de la quinua frente a otros alimentos, mg/100 g peso seco**

	<b>Quinua</b>	<b>Maíz</b>	<b>Arroz</b>	<b>Trigo</b>
Tiamina	0.2-0.4	0.42	0.06	0.45-0.49
Riboflavina	0.2-0.3	0.1	0.06	0.17
Ácido fólico	0.0781	0.026	0.020	0.078
Niacina	0.5-0.7	1.8	1.9	5.5

FUENTE: FAO (2013)

Además, en el Cuadro 5 se muestra el contenido de vitaminas de los granos de quinua. La vitamina A, que es importante para la visión, diferenciación celular, el desarrollo embrionario, la respuesta inmune, el gusto, el oído, el apetito y el desarrollo, está presente en el grano de quinua en el intervalo de 0.12 a 0.53 mg/100 g de materia seca (Olso 1997 citado por Ayala *et al.* 2004). La vitamina E tiene propiedades antioxidantes y previene la peroxidación de los lípidos, contribuyendo así a mantener la estabilidad de las estructuras de la membrana celular y la protección del sistema nervioso, muscular y de la retina de la oxidación. Las necesidades diarias son del orden de 2,7 mg / día y para niños de 7 a 12 meses

de los 10 mg / día de ácido alfa-tocoferol o sus equivalentes (FAO/OMS 2000 citado por Ayala *et al.* 2004).

**Cuadro 5: Contenido de vitaminas en el grano de quinua (mg/100 g de materia seca)**

Vitaminas	Rango
Vitamina A (carotenos)	0.12-0.53
Vitamina E	4.60-5.90
Tiamina	0.05-0.60
Riboflavina	0.20-0.46
Niacina	0.16-1.60
Ácido ascórbico	0.00-8.5

FUENTE: Ruales *et al.* (1992) citado por Ayala *et al.* (2004)

### **2.3.5. Minerales**

En promedio, la quinua es una mejor fuente de minerales en relación con la mayoría de los granos presentados en el Cuadro 6. Según la FAO (2013), la quinua es una buena fuente de hierro, magnesio y zinc si se compara con las recomendaciones relativas al consumo diario de minerales. La falta de hierro suele ser una de las deficiencias nutricionales más comunes. Sin embargo, la quinua, del mismo modo que todos los alimentos vegetales, contiene algunos componentes no nutritivos que pueden reducir el contenido y la absorción de sustancias minerales.



**Cuadro 6: Contenido inorgánico de quinua, amaranto, maíz morado y arroz**

Parámetro	Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) (Jujuy-Argentina)	Amaranto ( <i>Amaranthus caudatus</i> ) (Jujuy-Argentina)	Maíz morado ( <i>Zea mays</i> L.) (Jujuy-Argentina)	Arroz ( <i>Oriza sativa</i> ) (Ribatejo-Portugal)
<i>próxima</i>	g/100 g			
Humedad	11.30 ± 0.05	10.50 ± 0.04	10.00 ± 0.03	13.10 ± 0.03
ceniza	2.01 ± 0.02	2.89 ± 0.01	1.71 ± 0.02	0.42 ± 0.05
proteína	12.10 ± 0.3	13.4 ± 0.2	9.10 ± 0.1	7.10 ± 0.3
grasa	6.31 ± 0.11	6.43 ± 0.09	1.80 ± 0.02	0.60 ± 0.02
fibra	10.40 ± 0.60	11.30 ± 0.5	11.20 ± 0.4	1.50 ± 0.1
almidón	57.20 ± 0.6	55.30 ± 0.7	57.70 ± 0.6	76.80 ± 0.8
Amilosa	19.70 ± 0.5	23.70 ± 0.5	27.10 ± 0.5	29.20 ± 0.6
<i>rastro elementos</i>	ug/100 g			
molibdeno	22.8 ± 0.68	<LoQ	n.d.	30.4 ± 0.34
estroncio	160 ± 11.3	<LoQ	119 ± 7.4	15.1 ± 0.57
cobalto	<LoQ	<LoQ	<LoQ	<LoQ
litio	7.95 ± 0.58	<LoQ	9.48 ± 0.21	<LoQ
vanadio	6.66 ± 0.62	7.19 ± 0.22	9.01 ± 0.42	n.d.
níquel	16.3 ± 0.72	16.4 ± 3.7	8.50 ± 0.39	<LoQ
selenio	<LoQ	<LoQ	2.91 ± 0.16	<LoQ
<i>Minerales</i>	mg/100g			
cobre	0.59 ± 0.03	0.51 ± 0.01	0.16 ± 0.004	0.12 ± 0.001
manganeso	1.95 ± 0.10	1.51 ± 0.05	0.57 ± 0.01	0.83 ± 0.02
hierro	5.46 ± 0.02	9.62 ± 0.12	2.78 ± 0.31	0.22 ± 0.01
zinc	2.93 ± 0.07	5.55 ± 0.36	2.54 ± 0.03	0.95 ± 0.03
magnesio	197 ± 8.1	231 ± 6.9	118 ± 0.83	27 ± 0.09
calcio	44 ± 1.7	165 ± 9.3	<LoQ	<LoQ
fósforo	468 ± 15	527 ± 13	291 ± 3.6	107 ± 2.4
sodio	<LoQ	<LoQ	<LoQ	<LoQ
Potasio	664 ± 16	530 ± 20	458 ± 3.5	91 ± 3.1

n.d.: no determinado

LoQ: Límite de cuantificación

FUENTE: Nascimento *et al.* (2014)

Los aportes de la ingesta de minerales expresados en por ciento de DRI (ingestas dietéticas de referencia), con base en 100 g de cereales se muestran en el Cuadro 7, teniendo en cuenta la edad a partir de 19 años hasta mayor a 50 años. La contribución de DRI varía entre el 2 por ciento (potasio en arroz) y 120 por ciento (de hierro en el amaranto) (Nascimento *et al.* 2014). Como se observa en el Cuadro 7, el consumo de la quinua y el amaranto podría cubrir las necesidades nutricionales más altos que los de arroz. Esto tiene una gran importancia para las personas que tienen la enfermedad celíaca ya que casi todos los cereales sin gluten tienen un contenido deficiente de calcio, magnesio y hierro (Álvarez *et al.* 2010)

Nascimento *et al.* (2014) indica que los granos andinos pueden ser una rica fuente de minerales y trazas elementos para la población total. Sin embargo son necesarios estudios para esclarecer la biodisponibilidad de hierro presente en estos productos. El calcio, el magnesio y el hierro son los minerales que son deficientes en productos sin gluten y en la dieta libre de gluten. El alto contenido de calcio en las semillas de amaranto puede ser de especial relevancia para celíacos sujetos debido a la bien conocida la prevalencia de osteopenia y osteoporosis entre los pacientes celíacos.

– **Calcio**

La FAO (2011) menciona que el calcio contiene más del cuádruple que el maíz, casi el triple que el arroz y mucho más que el trigo, por lo que su ingesta ayuda a evitar la descalcificación y la osteoporosis. El calcio es responsable de muchas funciones estructurales de los tejidos duros y blandos del organismo, así como de la regulación de la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, la secreción celular y la coagulación sanguínea. Por esta razón el calcio es un componente esencial de la alimentación. El aporte diario recomendado de calcio es de 400 mg/día para niños de 6 a 12 meses a 1300 mg/día para adultos y se cubre con un consumo medio en alimentos de 800 a 1000 mg/día. La quinua aporta de 114 a 228 mg/día, con un promedio ponderado de 104 mg/100 g de porción comestible. Así mismo, Ruales y Nair (1992), indican que el contenido de calcio en la quinua se encuentra entre 46 a 340 mg/100 g de materia seca.

**Cuadro 7: Contribución de cereales andinos para la ingesta diaria de minerales priorizados en los adultos, expresado en por ciento (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia**

Edad	Grupo de cereales	DRI Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	P	Zn	K
		1000 (mg/d)	900 (ug/d)	8 mg/d)	420 (mg/d)	2.3 (mg/d)	700 (mg/d)	11 (mg/d)	4.7 (g/d)
19-50	Arroz	n.d.	13	3	6	36	15	9	2
	El maíz Morado	n.d.	18	38	28	25	42	24	10
	Quinoa	4	66	69	47	85	67	26	14
	Amaranto	17	57	120	55	66	75	51	11
		1200 (mg/d)	900 (>tg/d)	8 (mg/d)	420/320 <sup>a</sup> (mg/d)	2.3/1.8 <sup>a</sup> (mg/d)	700 (mg/d)	11/8 <sup>a</sup> (mg/d)	4.7 (g/d)
>50	Arroz	n.d.	13	3	6/8 <sup>a</sup>	36/46 <sup>a</sup>	15	9/13 <sup>a</sup>	2
	El maíz Morado	n.d.	18	38	28/37 <sup>a</sup>	25/32 <sup>a</sup>	42	24/33 <sup>a</sup>	10
	Quinoa	4	66	69	47/62 <sup>a</sup>	85/108 <sup>a</sup>	67	26/36 <sup>a</sup>	14
	Amaranto	14	57	120	55/72 <sup>a</sup>	66/84 <sup>a</sup>	75	51/70 <sup>a</sup>	11

DRI: Ingestas dietéticas de referencia.

<sup>a</sup> Mujer.

FUENTE: Nascimento *et al.* (2014)

– **Fósforo**

El fósforo participa conjuntamente con el calcio en la constitución del tejido óseo y dental. En las células forma parte de los fosfolípidos, las fosfoproteínas y los ácidos nucleicos; es responsable del almacenamiento de la energía celular como enlaces de fosfato de alta energía (ATP, GTP, CTP, fosfocreatina), es regulador alostérico de muchas enzimas y participa en los sistemas tampón fisiológico. El cociente Ca/P de la quinua es 0.33, lo que significa que hay un exceso de fósforo en relación al calcio (el cociente debe ser no menor de 1.2, ni mayor de 2.0) (Reyes *et al.* 2006).

– **Hierro**

El hierro es el componente principal de la hemoglobina y la mioglobina. El hierro también es esencial en los alimentos, pues forma parte de los pigmentos y de una serie de enzimas: peroxidasas, catalasas, hidrolasas y enzimas flavínicas. Las necesidades dependen de la edad y el sexo y son del orden 1 a 2.8 mg/día. Las oscilaciones del aporte diario dependen de la biodisponibilidad del hierro que es función de la forma como se encuentra en los alimentos: forma hemínica (carnes) cuya tasa de absorción es de 20 a 30 por ciento; la forma no hemínica (cereales, leche y hortalizas) con una tasa de absorción de 1 a 1.5 por ciento, y de la composición total de la dieta (Reyes *et al.* 2006).

– **Magnesio**

El magnesio en la quinua se encuentra en cantidades bastante superiores también al trigo, arroz y maíz. Un hombre adulto de 70 kg de peso contiene aproximadamente 20 a 28 g de magnesio y el aporte recomendado es del orden 300 a 350 mg/día en el adulto. El magnesio es un componente y activador de muchas enzimas, especialmente aquellas que transforman fosfatos ricos en energía, además, es un estabilizador de los ácidos nucleicos y de las membranas (FAO 2011).

– **Zinc**

Casi dobla la cantidad contenida en el trigo y cuadruplica la del maíz, no conteniendo el arroz este mineral). El contenido de zinc en el hombre adulto de 70 kg de peso es de 2 a 4 g. El zinc actúa en la síntesis y degradación de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Si el aporte de zinc proveniente de los alimentos es

aprovechable en un 20 por ciento, se recomienda un consumo de 8.3 mg/día (niños menores de 1 año ), 8.4 y 11.3 mg/día (preescolares y escolares), 15.5 y 19.5 mg/día (adolescentes) y 14 mg/día (adultos) (FAO,2011). Por lo tanto, es suficiente un aporte en la alimentación de 6 a 20 mg/día y en este sentido, la quinua aporta 4.8 mg/100 g de materia seca. Sin embargo, estas cifras pueden variar entre 2.1 a 6.1 mg/ 100 g de materia seca (Ruales y Nair 1992).

– **Potasio**

La quinua posee el doble que el trigo, el cuádruple que el maíz y ocho veces más que el arroz (FAO, 2011).

– **Manganeso**

Sólo el trigo supera en este mineral a la quinua mientras el arroz posee la mitad y el maíz la cuarta parte (FAO 2011).

### **2.3.6. Compuestos fenólicos**

Los polifenoles son compuestos bioactivos metabolitos secundarios de las plantas que están ampliamente presentes en alimentos de consumo habitual de origen vegetal. Los tres tipos principales de polifenoles son los flavonoides, ácidos fenólicos y taninos, que actúan como potentes antioxidantes in vitro. Se considera que estos compuestos para llevar a muchos potenciales efectos beneficiosos para la salud, por ejemplo, en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cánceres, enfermedades neurodegenerativas, diabetes y osteoporosis (Repo-Carrasco *et al.* 2010).

Abderrahim *et al.* (2015) reportó valores de compuestos fenólicos libres comprendidos entre 1.23 y 3.41 mg GAE / g de muestra. En cuanto al contenido de fenoles unidos, las semillas de quinua coloreadas del altiplano peruano poseen valores que oscilaban entre 1.28 y 4.52 mg GAE / g (Cuadro 8) y una relación de fenoles libres a ligados entre 0.5 y 2.0.

Repo-Carrasco *et al.* (2010) han descrito que las semillas de quinua son una fuente excepcionalmente rica de flavonoles, como la quercetina y el kaempferol. Abderrahim *et al.* (2015) reportaron un contenido muy alto de flavonoles totales (0.47-2.55 mg QE/mg de

muestra) en semillas de quinua de altiplano peruano. Además encontraron contenidos variables de betalaina (0.15-6.10 mg/100 g, expresados como suma de betacianinas y betaxantinas) en semillas de quinua de color del altiplano peruano. Sin embargo, las proporciones de betaxantina a betacianina (0-1.4) son inferiores a las de la raíz de remolacha (0.23).

**Cuadro 8: Contenido de compuestos fenólicos libres y ligados, flavonoles y capacidad antioxidante total de semillas de quinoa coloreadas (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Altiplano**

Muestra	Fenólicos (mg GAE/g)			Flavonoides (mg QE/g)			Betalainas (mg/100 g)			TAC (mmol TE/kg)
	libre	ligado	total	libre	ligado	total	betacianina	betaxantina	total	
M1	2.87 ± 0.17	4.01 ± 0.11	6.89 ± 0.06	0.75 ± 0.02	1.32 ± 0.04	2.06 ± 0.02	4.18 ± 0.21	0.44 ± 0.01	4.63 ± 0.03	321.4 ± 3.2
M2	1.90 ± 0.16	3.81 ± 0.33	5.71 ± 0.17	0.90 ± 0.16	0.33 ± 0.11	1.23 ± 0.05	1.20 ± 0.08	0.18 ± 0.01	1.38 ± 0.05	219.5 ± 10.5
M3	3.24 ± 0.03	2.45 ± 0.05	5.69 ± 0.02	0.93 ± 0.06	0.75 ± 0.02	1.68 ± 0.04	3.59 ± 0.18	0.59 ± 0.02	4.17 ± 0.06	264.4 ± 11.0
M4	2.72 ± 0.03	1.45 ± 0.08	4.17 ± 0.10	0.92 ± 0.04	0.38 ± 0.03	1.30 ± 0.01	1.99 ± 0.07	0.52 ± 0.03	2.51 ± 0.05	201.4 ± 10.6
M5	1.23 ± 0.18	1.28 ± 0.04	2.50 ± 0.22	0.30 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.47 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.15 ± 0.01	119.8 ± 2.8
M6	2.77 ± 0.01	4.29 ± 0.17	7.07 ± 0.18	0.81 ± 0.16	1.34 ± 0.03	2.15 ± 0.13	2.94 ± 0.10	1.63 ± 0.01	4.57 ± 0.07	335.9 ± 12.2
M7	2.67 ± 0.13	1.79 ± 0.02	4.46 ± 0.15	1.13 ± 0.23	0.28 ± 0.03	1.40 ± 0.19	0.43 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.43 ± 0.02	182.3 ± 8.2
M8	2.59 ± 0.13	2.53 ± 0.03	5.12 ± 0.02	1.12 ± 0.00	0.75 ± 0.17	1.87 ± 0.17	1.78 ± 0.05	0.30 ± 0.01	2.08 ± 0.04	311.7 ± 2.3
M9	3.41 ± 0.06	4.52 ± 0.06	7.92 ± 0.12	1.08 ± 0.12	1.47 ± 0.10	2.55 ± 0.02	5.23 ± 0.23	0.87 ± 0.04	6.10 ± 0.12	259.2 ± 9.8
M10	1.38 ± 0.02	1.89 ± 0.03	3.27 ± 0.05	0.62 ± 0.06	0.52 ± 0.08	1.14 ± 0.02	0.38 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.43 ± 0.03	167.2 ± 9.9
M11	2.54 ± 0.02	3.04 ± 0.17	5.58 ± 0.19	0.84 ± 0.05	0.89 ± 0.01	1.72 ± 0.04	0.68 ± 0.03	0.46 ± 0.01	1.14 ± 0.04	262.2 ± 12.5
M12	2.98 ± 0.03	3.23 ± 0.06	6.20 ± 0.09	1.09 ± 0.10	1.10 ± 0.06	2.19 ± 0.04	1.87 ± 0.05	0.42 ± 0.02	2.29 ± 0.04	267.6 ± 3.7
M13	2.57 ± 0.15	4.09 ± 0.18	6.66 ± 0.33	0.52 ± 0.03	1.29 ± 0.03	1.81 ± 0.00	0.18 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.18 ± 0.00	162.6 ± 4.9

M1 = Cuchiwilla morado, M2 = Quinoa rosada, M3 = Quinoa chica, M4 = Pasankalla dorado, M5 = Quinoa rosado real, M6 = M9 = Ayrampo, M10 = Panela, M11 = Witulla roja, M12 = Cuchiwilla puaquina y M13 = Vilacuyo

TAC: capacidad antioxidante total medida por el método directo de QUENCHER-CUPRAC.

FUENTE: Abderrahim *et al.* (2015)

## **2.4. Maíz morado**

El maíz morado es una variedad de maíz que posee la coronta y los granos de color morado y es originario del altiplano andino (Bolivia y Perú). Contiene diferentes tipos de antocianinas, siendo la cianidina-3-  $\beta$ -glucósido, su pigmento mayoritario el cual es un importante antioxidante (Cuevas *et al.*, 2008).

Según Gorriti *et al.* (2009), el maíz morado es una variedad pigmentada del *Zea mays* L, cuyos granos y corontas presentan color morado. Presenta compuestos tales como un dímero de cianidina, derivados mono y di-glicosidados de cianidina, derivados mono y diglicosidados de cianidina, pelargonidina, peonidina y otros fenólicos. Las características estructurales de las antocianinas, su relativa estabilidad en medio acuoso según el pH, con la presencia de estructuras tales como el catión flavilium, una base quinoidal, una pseudo base carbinol y una chalcona, determinan una mayor estabilidad frente a cambios de pH, temperatura y exposición a la luz, debido a procesos de copigmentación y asociación intermolecular e intramolecular que se desarrollan en el medio, convirtiendo a estos medios en fuentes potenciales de colorantes naturales, sustancias activas de alimentos funcionales, nutracéuticos y medicamentos.

Las antocianinas del maíz morado son más estables que la antocianina de la uva, a la luz, al calor y principalmente a los cambios de pH. A un pH entre 3 y 3.5 permanecen de un color rojo amarillento, mientras que la antocianina se torna azulada en esa condición (Gorriti *et al.* 2009).

### **2.4.1. Composición química**

La composición química del maíz morado, según Collazos *et al.* (1996), se reporta en el Cuadro 9.



### **Cuadro 9: Composición química del maíz morado**

Componentes	Maíz morado
Humedad (%)	11.4
Proteína (%)	7.3
Grasa (%)	3.4
Carbohidratos (%)	76.2
Fibra (%)	1.8
Cenizas (%)	1.7
Calcio	12 mg
Fósforo	328 mg
Hierro	0.2 mg
Retinol	8 mg
Tiamina	0.38 mg
Riboflavina	0.22 mg
Niacina	2.8 mg
Ácido Ascórbico reducido	2.1 mg

FUENTE: Collazos *et al.* (1996).

#### **2.4.2. Propiedades funcionales**

Arroyo *et al.* (2007) demostraron que el consumo crónico de maíz morado en la forma de extracto hidroalcohólico atomizado produce una reducción de los niveles de colesterol total. Su actividad hipolipemiente del extracto se podría relacionar con su alto contenido en flavonoides, glicósidos y compuestos fenólicos; metabolitos secundarios encontrados en el extracto de *Zea mays* L.

#### **2.5. Extrusión de los alimentos**

La extrusión se puede definir como un proceso en el que el material alimenticio se expulsa a través de un orificio. El producto final toma forma dependiendo de la forma y la geometría del orificio de salida. El proceso de extrusión puede remontarse históricamente a la época de Arquímedes donde él usó un solo tornillo dentro de un canal abierto cilíndrico para transportar agua cuesta arriba. Más tarde en la fabricación de embutidos de 1870 se realizó con extrusoras. A principios de la década de 1930, la pasta era fabricada mezclando sémola y agua con un solo tornillo. Productos de alto cizallamiento como las bocanadas de maíz entraron en producción comercial en la década de 1940 (Karwe 2003 citado por Chandran 2015). Desde entonces el proceso de extrusión se ha utilizado ampliamente en la industria

de procesamiento de alimentos.

### **2.5.1. Fenómeno de extrusión**

El producto sufre una expansión y las cadenas proteicas así como las de almidón son modificadas, aumentando la superficie y haciéndose más atacable por los enzimas, con lo que el producto se hace más digestible (Valls 1993).

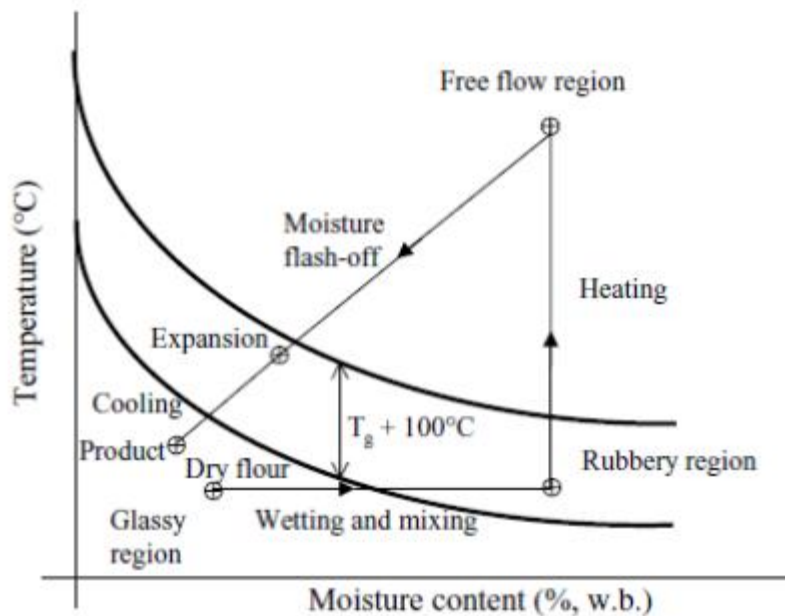
### **2.5.2. Principales cambios físicoquímicos durante la extrusión:**

La cantidad o el grado en que los carbohidratos como el almidón y las proteínas se modifican dependen de los parámetros del extrusor. En general, la cantidad y tipo de biopolímero junto con el contenido de humedad afectan las propiedades por la cocción por extrusión (Hashimoto y Grossmann 2003). La apertura de la estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas da como resultado la desnaturalización y la reorganización de los enlaces hidrógeno y disulfuro. Esto a su vez ayuda en la plastificación y la formación de la textura. El fenómeno de transformación afecta las propiedades del producto debido a las interacciones entre proteína, lípido y almidón, y la participación de otros compuestos pequeños como la sal y el azúcar.

La mayoría de estas transformaciones son irreversibles a diferencia de las que ocurren a bajas y presiones y temperaturas. Se sugiere que el factor limitante en tales transformaciones durante la extrusión a temperaturas inferiores a 110 °C es la velocidad de reacción y la velocidad de difusión del agua por encima de 110 °C (Linko *et al.* 1985 citado por Chandran 2015).

La ruta típica del proceso de extrusión se presenta en la Figura 4 que muestra el efecto de la transformación del biopolímero, como la degradación del almidón y la desnaturalización de proteínas. Cuando el almidón experimenta la desnaturalización, el peso molecular cambia al azar debido a las escisiones de la cadena. Un parámetro importante afectado por esto es la transición de temperatura vítrea (Tg). Es un hecho bien conocido que el peso molecular afecta a Tg. Es un gran determinante importante de la textura de los alimentos, así como de las operaciones de procesamiento. La hidratación de la harina hace que el estado vítreo de la harina pase al estado amorfo gomoso cerca del vidrio a temperatura de transición.

Dependiendo de la condición de extrusión, después de la extrusión, el enfriamiento fuera de la región podría caer en la región de gomosa o la región vítrea. El producto vidrioso es crujiente, mientras que el producto gomoso es masticable (Karwe 2003 citado por Chandran 2015).



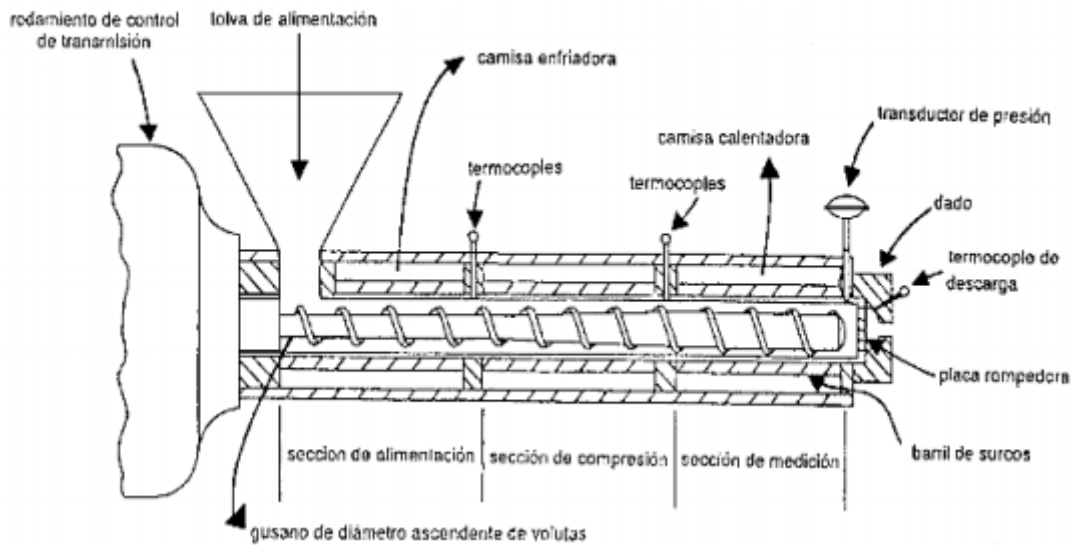
**Figura 4: Fases de transición durante la extrusión.**

FUENTE: Kokini *et al.* (1999); citado por Chandran (2015)

### 2.5.3. Etapas del proceso de extrusión

Chandran (2015) describe a continuación el proceso de extrusión:

Una extrusora típica en el uso comercial de hoy en día se puede clasificar en dos categorías principales, extrusoras de tornillo simple y de doble husillo. Como sugieren los nombres, un solo tornillo tiene un tornillo que gira dentro del cilindro, y un tornillo gemelo tiene dos tornillos que gira juntos de forma co-rotando o contrarrotante. En nuestro estudio usamos una extrusora de doble tornillo. La Figura 5 muestra algunos componentes principales en una extrusora con un solo tornillo.



**Figura 5: Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo.**

FUENTE: González (1988).

El extrusor consta de tres zonas, la sección de alimentación, la sección de transición y sección de medición. El material de alimentación se alimenta a través de una tolva en la sección de alimentación y la temperatura de esta sección varía de 30 °C a 70 °C. La sección de transición es donde el alimento se compacta y experimenta alta cizalladura debido al aumento de la raíz del tornillo diámetro. La alimentación transportada luego va a la sección de medición donde se cocina a altas temperaturas del barril que van desde 110 °C a 200 °C. La mayoría de las extrusoras de tornillo simple tienen arboledas, helicoidales o longitudinales, en la pared interna del cañón para promover la adhesión y fuerzas de fricción.

El perfil de flujo dentro de un canal de extrusión es principalmente debido a contrarrestar el flujo de arrastre y el flujo de presión. El flujo de arrastre transporta o avanza hacia el troquel y se ve reforzado por las fuerzas de fricción y adherencia entre el avance y el cañón. El flujo de presión empuja la retroalimentación del troquel debido a la presión del troquel y hace que la alimentación se mezcle bien. El flujo neto resultante empuja la alimentación hacia el exterior a través de la matriz.

Las extrusoras de tornillo simple se clasifican principalmente según su configuración de tornillo. Los perfiles de corte dentro del extrusor se crean por la configuración del tornillo y las dimensiones del barril.

La extrusión es, por lo tanto, un proceso de alta temperatura a corto plazo (HTST) donde las temperaturas van hasta 200 °C durante 1 a 10 segundos. Junto con la entrada de la energía mecánica, el calor y la cizalladura hacen que el material de alimentación se derrita dentro de la extrusora, dando como resultado un fluido altamente viscoso. Este proceso termomecánico ayuda a intensificar los fenómenos tales como la transferencia de masa, calor y momento dentro del conjunto de tornillo y barril de una extrusora.

Como resultado, un número de operaciones y funciones unitarias tales como mezclado laminar, molienda, cizallamiento, transporte, aglomeración, desgasificación, deshidratación, esterilización, la homogeneización, la texturización y la conformación junto con las reacciones químicas y la transformación física, como la gelatinización, la desnaturalización de proteínas, la degradación del sabor, la caramelización y la oxidación de lípidos se producen simultáneamente. Todos estos factores juntos hacen que los productos finales tengan características muy diferentes en términos de perfil físico y químico.

#### **2.5.4. Parámetros evaluados en el proceso de extrusión**

Uno de los parámetros evaluados es el grado de cocción (GC) que se incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión del tornillo y al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución de las partículas etc.) como del nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y de la humedad. Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y menores al tiempo de residencia medio. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente solo en el caso de la extrusión con control de temperatura desde el exterior, para el caso de extrusores autógenos la misma debe considerarse una respuesta (González *et al.* 2002). Las características de la masa que fluye dentro del extrusor y sus propiedades finales dependen de su composición: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula. Definidas las condiciones de extrusión (relación de compresión del tornillo, velocidad de rotación, diámetro de la boquilla, nivel de temperatura a controlar (tanto en la zona del cilindro como

de la boquilla), material a extrudir (tamaño de partículas, humedad, etc.), la operación es comenzada alimentando material con una humedad suficiente para evitar una excesiva presión inicial, luego se introduce el material en estudio manteniendo siempre llena a la zona de alimentación del tornillo. La toma de muestras se realiza una vez que se alcanza el estado estacionario, es decir cuando el caudal de salida ( $Q_s$ ), la presión y el torque (medido sobre el eje del motor), se mantienen constantes. Este caudal de salida, se refiere a la humedad de alimentación ( $Q_a$ ), habiendo sido previamente determinado el caudal másico de sólido seco ( $Q_{ss}$ ) (González *et al.* 2002).

### **2.5.5. Snack extruido y sus propiedades fisicoquímicas**

Los productos expandidos directamente como bocadillos RTE y cereales para el desayuno son productos que experimentan alta tensión de corte en el extrusor. A bajo contenido humedad (15 % - 22 % base húmeda) y a alta temperatura (120 °C - 200 °C), los biopolímeros de alimentos como el almidón y la proteína se convierten en una masa fundida dentro de la extrusora. El almidón se gelatiniza y dextriniza mientras que las proteínas se desnaturalizan. La gelatinización y absorción de agua por el almidón contribuye sustancialmente a la viscosidad, y los constituyentes de la proteína juegan un papel en la elasticidad y las propiedades de retención de gas de la masa fundida. Como temperatura y acumulación de presión dentro de la extrusora, el vapor sobrecalentado provoca acumulación de presión de vapor. Al salir del dado, la caída de presión a la presión atmosférica externa hace que la humedad se convierta rápidamente en vapor, inflando así la masa fundida (Chandran 2015).

Mecanismos como la distribución de velocidades dentro de la matriz, la disipación viscosa y la elasticidad afectar las características del producto (Frame 1994, citado por Chandran, 2015). Estos mecanismos a su vez son dictados por los factores tales como la composición de la alimentación, el contenido de humedad, la cizalla mecánica y el cañón temperatura. Cada material de alimentación es único a su manera, ya que altera y contribuye a las características del producto final formando macroestructuras y microestructuras distintas (Chandran 2015).

Por lo tanto, para obtener una condición de proceso óptima, es importante entender y estudiar estos diversos factores que afectan las propiedades fisicoquímicas de los extruidos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

- El trabajo de investigación se ejecutó en los laboratorios del INIA, Instituto de Desarrollo Agroindustrial INDDA y Planta Piloto de la Facultad de Industrias Alimentarias UNALM.
- Las pruebas de aceptabilidad del extruido quinua y maíz morado se realizó en las instituciones educativas: IE 1207 Sagrado Corazón de Jesús de La Molina, IE 1229 JAP Antúnez de Mayolo de Vitarte y IE N.º 1230 Viña Alta del distrito de La Molina.

#### **3.2. Materia prima e insumos**

- Se evaluó quinua de la variedad Chucuito proveniente de la estación experimental INIA.
- Se evaluó maíz morado proveniente de la localidad de Canta.

#### **3.3. Materiales, equipos y reactivos**

##### **3.3.1. Equipos**

- Extrusor (IMBRAMAQ, PQ DRX-50, Brasil)
- Secador de bandejas (REDSA, Perú)
- Escarificadora (s/m, Perú)
- Balanza analítica (Sartorius, BP2105, Alemania)
- Estufa (memmert, FGMM0027UFE500, Alemania)
- Manto de calentamiento (GLAS COL, RX3002A, USA)
- Mufla (NABER, España)
- Selladora (samwin, SF 200S, China)
- Licuadora (Oster, 4655-053, México)
- Agitador vórtex (Thermo SCIENTIFIC, USA)
- Espectrofotómetro UV-Vis (SPEKOL 1500, Alemania)
- Refrigeradora (Daewoo Electronics, FR-146R/RS, China)

### 3.3.2. Materiales

- Formatos de evaluación sensorial
- Vasos descartables de polietileno
- Envases laminados
- Ollas, bolsas de polietileno, pinzas, magnetos, crisoles.
- Papel filtro Whatman N° 1.
- Materiales de vidrio: baguetas, fiolas, matraces Erlenmeyer, pipetas, placas petri, probetas, tubos de ensayo, vasos de precipitado, bureta, entre otros.

### 3.3.3. Reactivos

- Ácido sulfúrico (p. a. J. T. Baker, México)
- Hidróxido de sodio ( p. a. Merk, Alemania)
- Éter de petróleo ( p. a. Merk, Alemania)
- Sulfato de cobre (p.a. J. T. Baker, USA)
- Sulfato de potasio (p. a. J. T. Baker, USA)
- Alcohol etílico rectificado 96 ° (Suministros Científicos, Perú)
- Reactivo 2,2 difenil-1-picrylhydrazyl (p. a. Sigma)
- Carbonato de sodio (p. a. Fisher scientific, USA)
- Reactivo de Folin-Ciocalteau (p. a. Merck, Alemania)

## 3.4. Métodos de análisis

A las harinas de quinua, maíz morado y a los extruidos de quinua con maíz morado se realizó los siguientes análisis:

### 3.4.1. Color

La determinación de color en el sistema CIE L\*, a\*, b\*, se realizó en un colorímetro Minolta (CR-400). El cambio total de color ( $\Delta E$ ) de los productos procesados se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Donde  $\Delta L=L-L_0$ ,  $\Delta a=a-a_0$ , y  $\Delta b=b-b_0$ .  $L_0$ ,  $a_0$  y  $b_0$  representa el color de la harina utilizada antes de la extrusión en los correspondientes niveles de humedad.



#### **3.4.2. Relación de expansión**

La relación de expansión de acuerdo a Kowalsky *et al.* (2016), se determinó midiendo el tamaño de los extruidos y obteniendo la media de 10 extruidos con un pie de rey electrónico (stainless hardened) y luego dividir por el diámetro final de la matriz de 8 mm.

#### **3.4.3. Índice de solubilidad en agua (WSI) e índice de absorción de agua (WAI)**

WAI y WSI de los extruidos se determinó de acuerdo con Anderson *et al.* (1969).

#### **3.4.4. Determinación de humedad**

Se empleó el método 205.002 (NTP 1979). Consiste en la determinación de la pérdida de masa experimentada por la muestra cuando es sometida a la acción de la temperatura. El producto previamente molido se secará a  $130 \pm 2$  °C bajo presión atmosférica normal durante una hora o hasta alcanzar peso constante.

#### **3.4.5. Determinación de fibra cruda**

Se utilizó el método 205.003 (NTP 1980). Consiste en someter al residuo proveniente de la extracción de grasa de la muestra, a una hidrólisis ácida y alcalina. El filtrado se seca en una estufa y se pesa. Se lleva a ignición en una mufla hasta destrucción de la materia orgánica y se vuelve a pesar. La diferencia de ambas pesadas, da el contenido de fibra cruda.

#### **3.4.6. Determinación de cenizas**

Se determinó mediante método 205.004 (NTP 1979). Al producto previamente molido se calcina en una mufla a 600°C hasta obtener cenizas de color blanco y masa constante.

#### **3.4.7. Determinación de proteínas**

Se llevó a cabo mediante el método 205.005 (NTP 1979). Se basa en la determinación indirecta del contenido de proteínas a través del dosaje del contenido de nitrógeno de la muestra. El nitrógeno contenido en la muestra es sometido a digestión con ácido sulfúrico concentrado en presencia de un catalizador y transformados en sulfato de amonio. El residuo se deja enfriar y se diluye con agua. Al agregar hidróxido de sodio se desprende el amoníaco presente por medio de un proceso de destilación y se recibe en una solución valorada de ácido sulfúrico. El contenido de nitrógeno se determina valorando el exceso de ácido, con

solución de hidróxido de sodio o potasio.

#### **3.4.8. Determinación de grasa**

Se llevó a cabo por el método 205.006 (NTP 1980). A la muestra molida y homogeneizada se extrae la grasa mediante la acción de un solvente, éste se evapora y se determina la masa del extracto seco resultante.

#### **3.4.9. Determinación de carbohidratos**

Se siguió la metodología propuesta por Collazos (1996). Se obtiene restando de 100, el peso en gramos de los macrocomponentes (grasa, proteína, agua, ceniza y alcohol).

#### **3.4.10. Determinación de la energía total**

Se realizó utilizando la metodología propuesta por Collazos *et al.* (1996). Se basa en el cálculo del aporte calórico de los macronutrientes (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) ya que básicamente éstos son los que van a proporcionar energía al cuerpo al ser absorbidos.

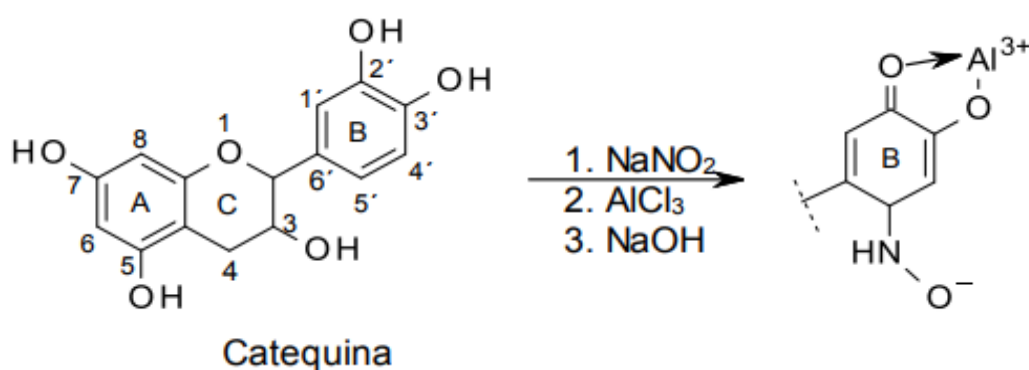
#### **3.4.11. Fenoles totales**

Se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu según Hirose *et al.* (2010) que se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico (Peterson 1979). La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolibdico fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno ( $W_8O_{23}$ ) y molibdeno ( $Mo_8O_{23}$ ), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula (Julkunen 1985).

La coloración azul producida es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes en la muestra, absorbido a una longitud de onda de 760 nm. El procedimiento emplea el ácido gálico como compuesto de referencia para elaborar la curva de calibración (Hirose *et al.*, 2010).

### 3.4.12. Flavonoides totales

Los flavonoides totales se midieron según Dini *et al.* (2010). El fundamento de esta metodología está basado en la reacción de los iones aluminio con los flavonoides en medio alcalino y en presencia de nitrito de sodio, formándose un complejo de color rojo (Figura 6) (Cruz, 2012).



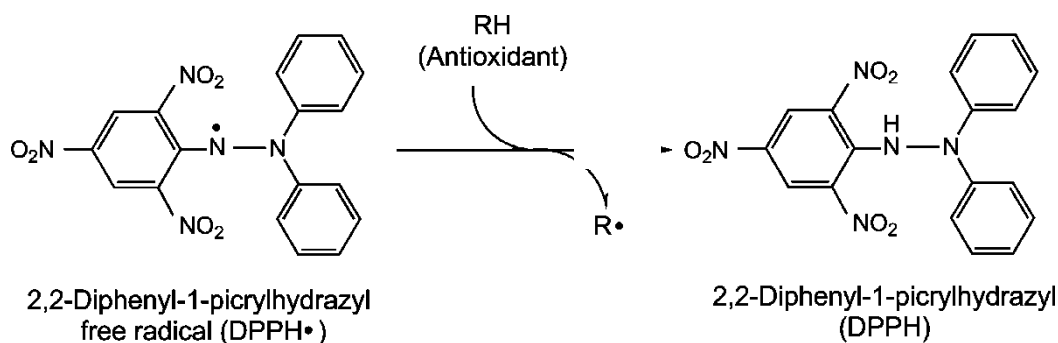
**Figura 6:** Estructura del complejo tricloruro de aluminio–flavonoide.

FUENTE: Oropeza (2012).

### 3.4.13. Determinación de capacidad antioxidante

#### a. Test DPPH

La capacidad antioxidante se determinó según Hirose *et al.* (2010) con algunas modificaciones. Este ensayo se basa en la teoría que el donador de hidrógeno es un antioxidante. La Figura 7 muestra el mecanismo mediante el cual DPPH • acepta hidrógeno de un antioxidante. El efecto antioxidante es proporcional a la desaparición de DPPH • en muestras de prueba. El DPPH • muestra un máximo de absorción fuerte en 517 nm (violeta). El color cambia de violeta a amarillo seguido por la formación de DPPH al absorber el hidrógeno de un antioxidante. Esta reacción es estequiométrica con respecto a la cantidad de átomos de hidrógeno absorbidos (Moon y Shibamoto 2009).

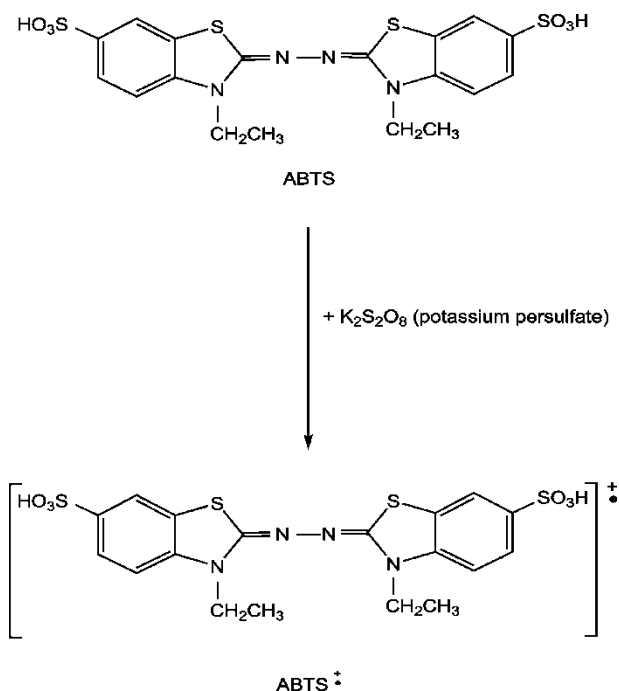


**Figura 7: Reacción entre DPPH • y el antioxidante para formar DPPH.**

FUENTE. Moon y Shibamoto (2009).

### b. Test ABTS

La capacidad antioxidante se determinó según Re *et al.* (1999). El catión radical ABTS estable, que tiene una absorción de cromóforo azul-verde, se produce por la oxidación de ABTS con persulfato de potasio antes de la adición de antioxidantes como se muestra en la Figura 8 (Re *et al.* 1999). La actividad antioxidante de los productos naturales, incluidos los carotenoides, compuestos fenólicos y algunos antioxidantes del plasma, está determinado por la decoloración del ABTS midiendo la reducción del catión radical como el porcentaje de inhibición de absorbancia a 734 nm (Biglari, *et al.*, 2008).



**Figura 8: Formación de radical ABTS a partir de ABTS estable con persulfato de potasio.**

FUENTE: Moon y Shibamoto (2009)

#### **3.4.14. Minerales**

Se empleó el método descrito por AOAC (2012). Se basa en la destrucción de la materia orgánica por vía seca hasta lograr la digestión del alimento para posteriormente solvatar los residuos con ácido nítrico diluido para la posterior determinación del analito por espectrofotometría de absorción atómica con llama.

La determinación de fósforo se basa en la reacción del fosfato inorgánico con el molibdato de amonio y también con el vanadato de amonio formando el compuesto amarillo vanadomolibdato de amonio fosfórico cuya intensidad es posible medir fotométricamente a 400 nm.

#### **3.4.15. Evaluación sensorial**

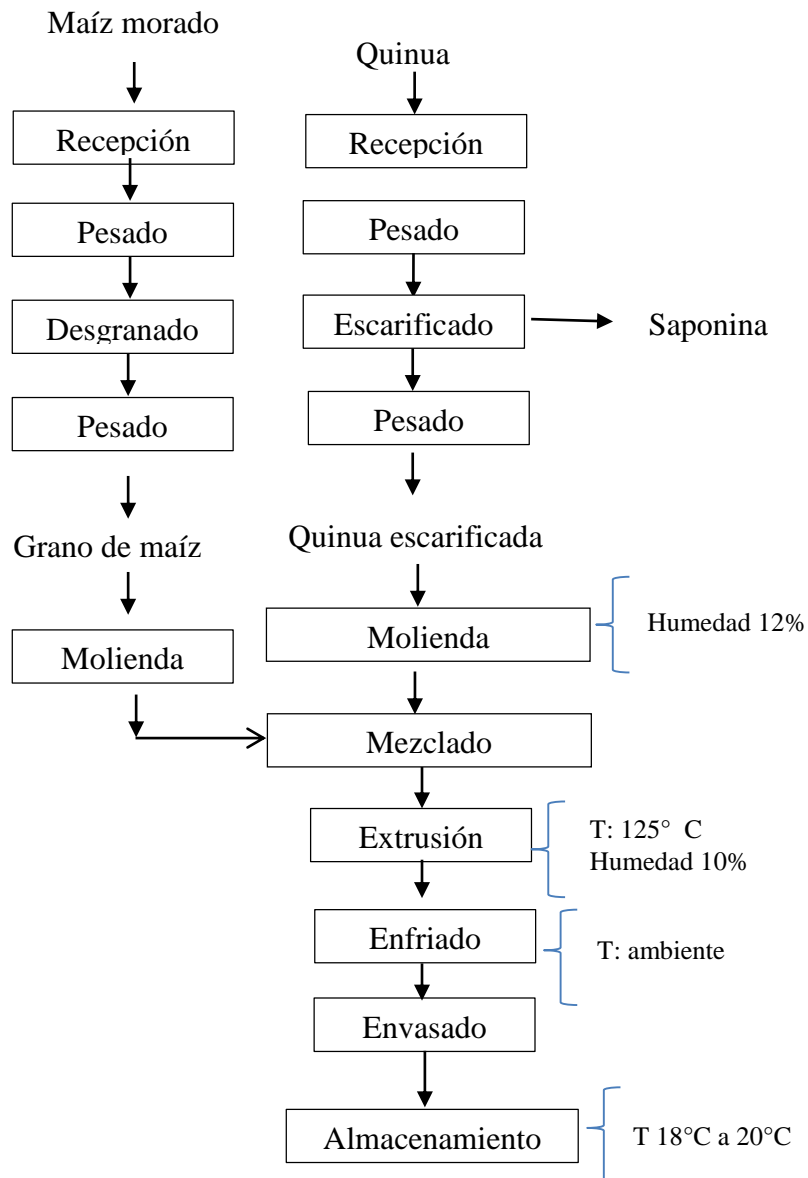
Para decidir sobre el mejor snack se realizó la prueba de Grado de Satisfacción (Anexo 1) según recomendaciones de Anzaldúa (1994), para tal efecto se trabajó con 200 niños en etapa escolar que consumieron los cuatro tratamientos, tal como se describe en el ítem 3.6. La caracterización sensorial fue realizada por 200 estudiantes en etapa colegial, Anexo 2.

### **3.5. Metodología experimental**

En la Figura 9 se presenta el proceso a seguir para la obtención del extruido de quinua y maíz morado. A continuación se describe cada una de las etapas a seguir.

- a. Recepción.** Las materias primas se recibieron y almacenaron adecuadamente hasta su uso.
- b. Pesado y limpieza de materia prima e insumos.** Los granos de quinua y maíz morado fueron pesados para controlar el flujo óptimo del proceso productivo. Luego se procedió a limpiar y seleccionar los granos eliminando el material extraño como piedras, pajillas y también se descartó los granos que estén en malas condiciones. Esta operación se llevó a cabo en una balanza electrónica de plataforma.
- c. Escarificado.** En este proceso los granos de quinua fueron transportados hacia la escarificadora para remover la capa externa (cáscara) y el polvillo de los granos de quinua.

- d. **Desgranado.** La operación de desgranado se realizó manualmente a las mazorcas de maíz morado con la finalidad de desprender los granos de la tuza.
- e. **Molienda.** La molienda de la quinua y maíz morado se realizó mediante un molino de discos, y se obtuvo una harina molidas sin presencia de partículas gruesas.
- f. **Mezclado.** Las harinas de maíz morado y quinua fueron mezcladas con la finalidad de obtener una mezcla homogénea.



**Figura 9: Flujo de operaciones para la obtención de extruidos de quinua y maíz morado.**

- g. **Extrusión.** El proceso de extrusión se realizó a través del uso de un extrusor doble tornillo a 750 rpm con 7 zonas de calentamiento (30, 40, 50, 70, 90, 100, 125 °C),

velocidad de alimentación 25 Hz, velocidad de corte 9.7 Hz, flujo de masa 14 kg/h, caudal de agua 10 mL/min, matriz de salida de 0.8 cm.

- h. Enfriado.** El material extruido se recepcionó en bandejas, en este proceso el producto se enfrió a temperatura ambiente además de eliminarse parte del agua.

### **3.6. Diseño experimental**

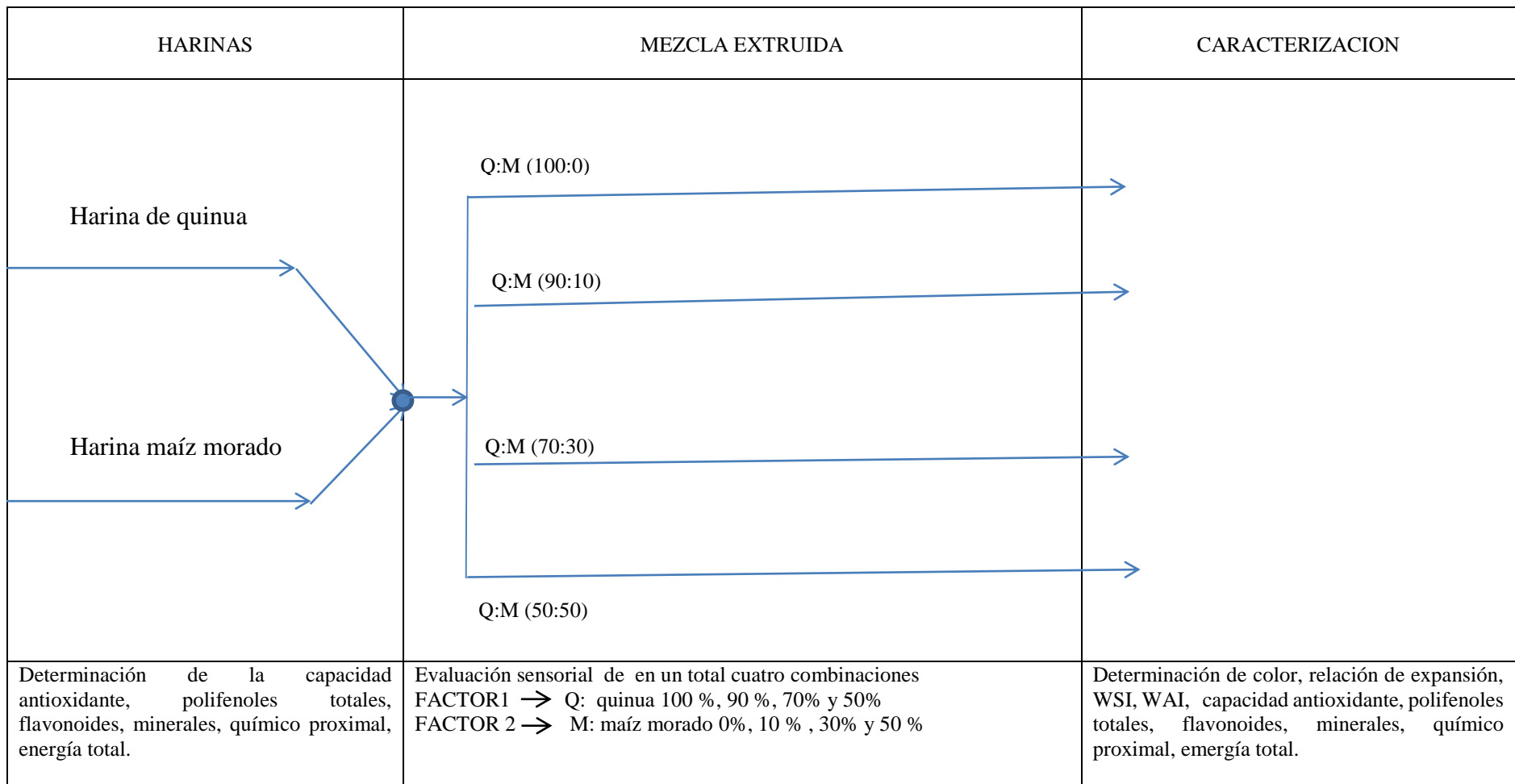
En la Figura 10 se presenta el esquema experimental del nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua y maíz morado como una alternativa de alimentación saludable. A las harinas de quinua y maíz morado se realizó la evaluación de color, determinación de la capacidad antioxidante, flavonoides, polifenoles totales, minerales, análisis químico proximal y energía total.

Se realizó cuatro formulaciones del extruido de quinua con maíz morado, donde se trabajó combinando porcentajes de harina de quinua y harina de maíz en las siguientes proporciones: quinua (100 %) y maíz morado (0 %), quinua (90 %) y maíz morado (10 %), quinua (70 %) y maíz morado (30 %), y quinua (50 %) y maíz morado (50 %). El producto obtenido fue evaluado sensorialmente (ítem 3.4.15) y los reportes estadísticamente (ítem 3.7). A la formulaciones extruidas se realizó los siguientes ensayos: color, índice de expansión, índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua, determinación de la capacidad antioxidante, flavonoides, polifenoles totales, minerales, análisis químico proximal y energía total; estos resultados fueron evaluados estadísticamente según lo indicado en el ítem 3.7.

### **3.7. Análisis estadístico**

Para la comparación nutricional se realizaron análisis de varianza (ANVA) a un nivel de significancia de 0.05. Se utilizó la prueba de Tukey para identificar los mejores tratamientos. Los datos que no cumplieron con las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, se procedió a su transformación y análisis correspondiente, o se realizó el análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis (Porras *et al.* 2013).

En el segundo experimento de la investigación el diseño estadístico empleado para los análisis de la evaluación sensorial de los tratamientos fue la prueba no paramétrica de Friedman a un nivel de significancia de 0.05 (Porras *et al.* 2013).



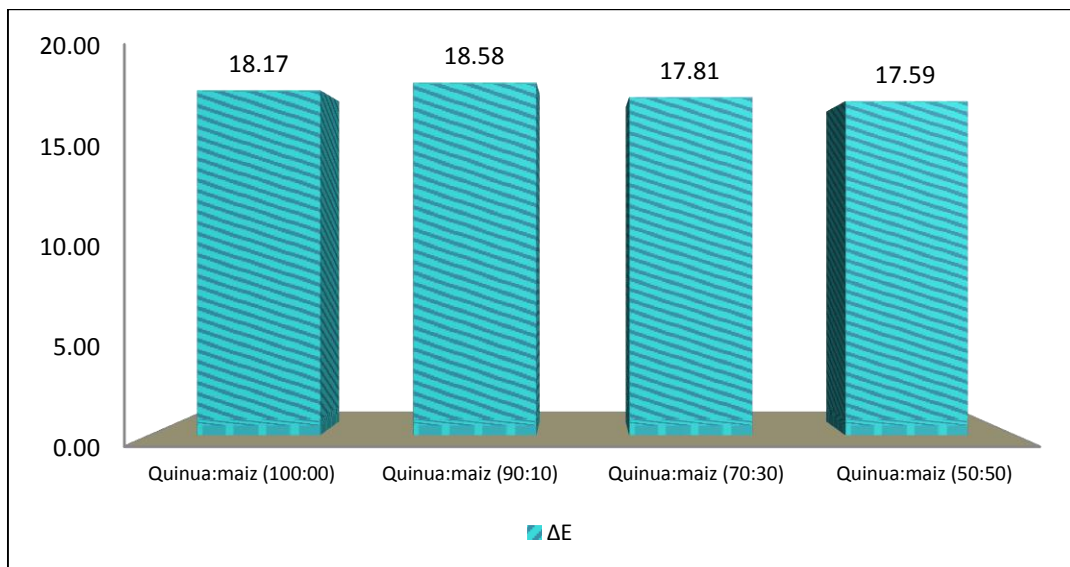
**Figura 10: Esquema experimental del nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua y maíz morado.**



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluación de color

En cuanto el color ( $\Delta E$ ) para las harinas extruidas de quinua y maíz morado su desarrollo es un factor muy importante ya que influye en a la aceptación del consumidor de alimentos y, por lo tanto, es importante entender cómo se puede cambiar a través del procesamiento tecnológico como el de extrusión. El cambio total de color (Figura 11) en los productos extruidos varió de 17.59 a 18.58. Resultados inferiores reportaron Kowalsky *et al.* (2016) para el cambio de color total en los extruidos de 8.4 a 16.0 en la variedad vainilla cereza.



**Figura 11: Diferencia total de color ( $\Delta E$ ) de las harinas extruidas de quinua con maíz morado en comparación con el color de la harina de quinua con maíz morado (sin procesar).**

El valor de  $\Delta E$  representa la diferencia total de color en comparación con el color de la harina de quinua con maíz morado (sin procesar). Los mayores cambios en el color a menudo se asocian con una disminución de L, es decir, un aumento en la oscuridad en las variedades. A menores contenidos de humedad se necesita más energía y mayor son las temperaturas

necesarias para gelatinizar completamente el almidón (Wang *et al.* 1992). Esto sugiere que a altos contenidos de humedad, los gránulos de almidón pueden ser gelatinizarse más, lo que puede ocasionar que los extremos reductores se vuelven más disponibles para reaccionar químicamente a través de varias reacciones de pardeamiento. Sin embargo, el pardeamiento también puede ocurrir a través de otros medios. Se necesita más información para explicar completamente por qué el color cambió a una región más oscura del espectro Kowalski *et al.* (2016).

#### 4.2. Índice de expansión (ER)

Se encontraron diferencias con respecto al índice de expansión (ER) en los cuatro tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). Según los resultados observados (Cuadro 10), el ER 1.42 fue mayor en los extruidos de quinua: maíz morado (100:00), el tratamiento quinua: maíz morado (50:50) presentó el menor IE 0.75. Estos resultados se encuentran dentro de lo obtenido por Kowalski *et al.* (2016) quienes reportaron un ER de 1.19 a 1.67 para los extruidos de quinua de la variedad Cherry Vainilla.

**Cuadro 10: Diámetro, índice de expansión, índice de solubilidad e índice de absorción de agua<sup>1,2</sup> (mg/100 g) de los extruidos de quinua con maíz morado**

Tratamientos	Diámetro (mm)	Índice de expansión (mm/mm)	Índice de solubilidad de agua (%)	Índice de absorción de agua (%)
Extruido quinua: maíz (100:00)	11.34 ± 1.11 <sup>c</sup>	1.42 ± 0.14 <sup>d</sup>	48.96 ± 2.70 <sup>c</sup>	4.00 ± 0.25 <sup>a</sup>
Extruido quinua: maíz (90:10)	10.07 ± 0.50 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.06 <sup>c</sup>	20.17 ± 0.07 <sup>b</sup>	4.37 ± 0.10 <sup>b</sup>
Extruido quinua: maíz (70:30)	9.67 ± 0.57 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.57 <sup>b</sup>	11.42 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.97 ± 0.03 <sup>a</sup>
Extruido quinua: maíz (50:50)	8.05 ± 0.69 <sup>a</sup>	0.75 ± 0.45 <sup>a</sup>	10.67 ± 0.92 <sup>a</sup>	3.72 ± 0.02 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Promedio de tres repeticiones ± DS.

<sup>2</sup>Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma columna muestran diferencias significativas cuando se someten a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ )

Además, los máximos valores de 1.26 y 1.42 lo reportaron los extruidos de quinua: maíz (90:10) y quinua: maíz (100:00), respectivamente; sin embargo, son menores en comparación con estudios previos de quinua que informaron un valor de 3.8 (Dogan y Karwe 2003). Estos valores son bajos en comparación a muchas otras harinas comúnmente usadas en el proceso de extrusión, tales como 4.0 para el almidón de maíz comercial (Chinnaswamy

y Hanna 1988). Los valores de ER más bajos observados para la quinua se pueden atribuir a el hecho de que la harina de quinua tenía mayores cantidades de proteína, fibra y grasa en comparación con los granos de los cereales. Se sabe que la alta cantidad de fibra conduce a una disminución de la expansión (Andersson *et al.* 1969) así como de alta proteína (Faubion y Hosney 1982). La reducción de la expansión por fibra puede deberse a que los materiales extrudidos enriquecidos con fibra insoluble tienden a retener agua en la matriz de fibra durante la cocción por extrusión, lo que reduce la generación de vapor. Además, las fibras inertes tienden a ser rígidas en comparación con polímeros basados en almidón, y esto puede inhibir la expansión (Ganjyal *et al.* 2002).

Las diferencias respecto a los autores posiblemente se pueda atribuir a la composición de la quinua utilizada en estos estudios, así como la tipo de extrusora. En general, debido a la baja expansión de quinua, valores menores a 1.5 Galarza (2011), puede ser más adecuado para aplicaciones de alimentos donde se desea esta baja expansión, como los fideos o como una función harina en artículos de confitería. La humedades 9.70 a 10.49 g/100g de las materias primas de quinua y maíz morado, respectivamente, que se utilizaron para el proceso de podrían haber influido en ER del producto. Frente a esto Pilco (2011), afirma que un incremento de humedad ocasiona el descenso de la temperatura de extrusión y la disminución de la expansión del extruido, originando un producto denso y duro, debido a la gelatinización del almidón, siendo esta una característica no deseada en el producto. Caso contrario sucede si el contenido de humedad es reducido, la temperatura de extrusión aumenta y la expansión del extruido es mayor.

#### **4.3. Índice de solubilidad en agua (WSI) e Índice de absorción de agua (WAI)**

Existen diferencias estadísticas en el índice de solubilidad para los cuatro tratamientos (Anexo 6). El WSI obtenido en el extruido de quinua: maíz morado (50:50) y extruidos de quinua: maíz (70:30) fueron similares e inferiores al resto de los tratamientos (Cuadro 10). Al respecto Rossen y Miller (1993), manifiestan que la solubilidad de un producto extruido es directamente proporcional al contenido de sólidos solubles como los carbohidratos e inversamente proporcional al contenido proteico que este contenga ya que la proteína se hace insoluble al ser sometida a un tratamiento térmico. Por otra parte, el WSI al estar relacionado con la dextrinización del almidón (Gómez y Aguilera, 1984) y se utiliza a menudo como un indicador de la degradación componentes moleculares.

El índice de absorción de agua mide el volumen ocupado por el almidón después de su hinchamiento al someterlo a un medio acuoso, lo que corresponde con el volumen del gel formado; por lo tanto, el WAI depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos y de la capacidad de formación de gel de la macromolécula (Da Silva *et al.*, 2009). Además, (Gómez y Aguilera 1984) afirman que el WAI se ha atribuido generalmente a la dispersión de almidón en exceso de agua, que puede incrementarse por el grado de almidón dañado debido a la gelatinización por extrusión. Teniendo en cuenta lo señalado, se puede apreciar diferencias en los cuatro tratamientos, presentando el máximo valor en el tratamiento quinua maíz morado (90:10).

Los valores WAI y WSI para todos los extruidos variaron de 3.72 a 4.37 g/g y 10.67 a 48.96 %, respectivamente; estos resultados fueron similares a los reportados por Dogan y Karwe (2003) 4.5 g / g y 28 % para WAI y WSI respectivamente; sin embargo, fueron superiores a 2.33-3.05 (g / g) y de 14.5-15.87 (%) reportados por Kowalski *et al.* (2016), estos autores además afirman que el WAI aumenta con el aumento de la temperatura y la velocidad del tornillo. Esto puede indicar una gelatinización completa y la posterior disminución debido a la mayor degradación macromolecular, que aumentó la solubilidad del almidón (Gómez y Aguilera, 1984). Del mismo modo, WSI aumenta con la temperatura y la velocidad del tornillo y disminuye cuando reduce la humedad de la alimentación. Esto puede deberse a numerosos factores que pueden incluir a las condiciones del proceso de extrusión, grado de gelatinización y composición de la harina siendo específicamente debido al bajo contenido de carbohidratos.

#### **4.4. Comparación nutricional de harinas extruidas de quinua y maíz morado**

En el Cuadro 11 se muestra el contenido químico proximal en base seca de los granos de quinua, maíz morados y los extruidos de quinua y maíz morado.

##### **4.4.1. Contenido de grasa**

El contenido de grasa expresado como porcentaje en base seca, disminuyó significativamente en los extruidos respecto a los granos de quinua y maíz morado. El valor obtenido en el grano de quinua se encontró dentro del rango reportado por la FAO (2013), quien encontró 4.46 a 9.50 por ciento, en 92 evaluaciones realizadas para diversas variedades de quinua. También se observa que entre la quinua extruidas con maíz morado no existe

diferencias estadísticas significativas (Anexo 7). Los cambios que sufre el contenido de grasa, pueden darse por diferentes mecanismos, como son la oxidación, la isomerización o hidrogenación (Bjiirckt and Asp, 1983), originados durante el procesamiento. Por otro lado, los monoglicéridos y ácidos grasos libres forman complejos con amilosa durante la extrusión y cocción, dificultando su extracción con disolventes orgánicos (Gui and Ryu, 2014).

#### 4.4.2. Contenido ceniza

En ceniza no se observó una mayor variación entre los granos de quinua y los extruidos, y es posible se deba a los minerales que, durante la extrusión, participan en diferentes interacciones con distintos elementos y algunos nutrientes como las proteínas y la fibra dietética (Cerón *et al.*, 2016). El grano de maíz morado presentó menores contenidos de ceniza, al respecto Nascimento *et al.* (2014) reportó valores de 1.71 g/100g para granos de maíz morado y 2.01 g/100 g para granos de quinua.

**Cuadro 11: Contenido químico proximal<sup>1,2</sup> (g/100 g, bs) de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado**

Tratamiento	Humedad	Ceniza	Grasa	Proteína	Fibra cruda	Carbohidratos	Energía (kcal/100 g)
Grano de quinua	9.70 ± 0.18 <sup>e</sup>	2.70 ± 0.05 <sup>c</sup>	4.72 ± 0.08 <sup>b</sup>	19.14 ± 0.03 <sup>e</sup>	2.28 ± 0.11 <sup>b</sup>	73.45 ± 0.10 <sup>a</sup>	372.76 ± 0.58 <sup>ab</sup>
Grano de maíz morado	10.49 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.92 ± 0.03 <sup>a</sup>	4.74 ± 0.05 <sup>b</sup>	9.80 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.08 <sup>a</sup>	83.54 ± 0.03 <sup>f</sup>	372.37 ± 0.45 <sup>a</sup>
Extruido quinua: maíz morado (100:00)	7.04 ± 0.10 <sup>c</sup>	2.52 ± 0.11 <sup>bc</sup>	2.75 ± 0.23 <sup>a</sup>	19.52 ± 0.07 <sup>f</sup>	2.19 ± 0.00 <sup>b</sup>	75.21 ± 0.07 <sup>b</sup>	375.25 ± 1.08 <sup>bc</sup>
Extruido quinua:maíz (90:10)	5.97 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.62 ± 0.01 <sup>bc</sup>	2.85 ± 0.07 <sup>a</sup>	18.55 ± 0.06 <sup>d</sup>	2.18 ± 0.03 <sup>b</sup>	75.98 ± 0.16 <sup>c</sup>	379.65 ± 0.07 <sup>e</sup>
Extruido quinua:maíz (70:30)	6.01 ± 0.11 <sup>ab</sup>	2.45 ± 0.02 <sup>bc</sup>	2.56 ± 0.04 <sup>a</sup>	16.32 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.29 ± 0.06 <sup>b</sup>	78.67 ± 0.00 <sup>d</sup>	378.77 ± 0.58 <sup>de</sup>
Extruido quinua:maíz (50:50)	6.40 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.42 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.44 ± 0.07 <sup>a</sup>	15.06 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.26 ± 0.04 <sup>b</sup>	80.08 ± 0.08 <sup>e</sup>	376.73 ± 0.74 <sup>cd</sup>

<sup>1</sup>Promedio de dos repeticiones ± DS.

<sup>2</sup>Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma columna muestran diferencias significativas cuando se someten a la prueba de Tukey (p<0.05)

#### **4.4.3. Contenido de proteína**

Con respecto a la proteína, se encontró diferencias significativas entre todos los tratamientos (Anexo 7). La evaluación estadística indicó que la quinua extruida (100:00) fue superior al grano de quinua, probablemente se atribuye a la contaminación del equipo hacia el alimento donde el barril, así como los husillos y los elementos modulares están hechos de acero nitrado (Acuña 2017), por lo que se recomendaría realizar más investigación y corroborar el valor que se está afectando. Al respecto Fennema *et al.* (2010) menciona que los alimentos sometidos a tratamientos térmicos y mecánicos intensos, conducen a la formación de enlaces cruzados covalentes isopeptídicos, reacción de Maillard, oxidación de aminoácidos y una desaminación, afectando así el valor nutricional y el contenido de nitrógeno total. Por otro lado, los extruidos que presentaron mayores contenidos de quinua superaron en proteína al resto de los tratamientos debido al aporte de este nutriente por parte del grano de quinua cuyos valores fueron similares a 10.4-17 g/ 100 g de porción comestible reportado por Reyes *et al.* (2006) y para maíz morado de 9.10 g/100g por Nascimento *et al.* (2014). Al respecto, Cho y Rizvi (2010) desarrollaron un novedoso bocadillo saludable con proteína de suero, utilizando la tecnología de extrusión y fluido supercrítico. Los productos obtuvieron 40–60 % de proteína siendo comparables a los snack comerciales.

#### **4.4.4. Fibra cruda**

El contenido de fibra cruda no hubo diferencias significativas en los extruidos y los granos de quinua (Anexo 7). El contenido más bajo lo presentó el grano de maíz morado. El contenido de fibra es importante porque afecta algunas propiedades físicas y sensoriales de los extruidos. Un aumento en el contenido de fibra produce extruidos más densos, orificios más grandes, un color más oscuro y puede también conferir sabor amargo (Kameko, 2005). En el caso de los extruidos, se evidenció que adquirieron un color más oscuro. Por otra parte, la alta presión, la temperatura elevada y la cizalla fragmenta moléculas más grandes de hidratos complejos de carbono en moléculas más pequeñas que son solubles en agua; así mismo los fragmentos de fibra se unen para formar complejos grandes con otros compuestos y participan en la reacción de Maillard (Cerón *et al.*, 2016).

#### **4.4.5. Contenido de humedad**

Respecto al contenido de humedad, se encontró cambios significativos ( $p < 0.05$ ) para todas las muestras (Anexo 7). El menor contenido de agua correspondió a la extruido:maíz morado

(90:10). La extrusión está caracterizada por trabajar a altas presiones y temperaturas, lo cual genera que el agua contenida en los alimentos que se encuentran dentro del barril se sobrecaliente e inmediatamente después de salir del extrusor, se evapore (Vílchez *et al.* 2012). Tal como se aprecia en el Cuadro 11 los extruidos sufrieron una reducción significativa en el contenido de humedad. El Cuadro 12 presenta la contribución de los extruidos de quinua con maíz morado para la ingesta diaria de macronutrientes priorizados en niños de 4 a 9 años y varones de 9 a 13 años. Estos snacks se caracterizan por ser ricos en proteínas y carbohidratos ya que aportan entre 74.17 a 95.49 % y 53.78 a 57.66 % de la ingesta dietética recomendada de proteína y carbohidratos, respectivamente. La quinua contribuye en el aporte de proteínas más que el maíz morado que destaca por su aporte de carbohidratos.

**Cuadro 12: Contribución de los extruidos de quinua con maíz morado para la ingesta diaria de macronutrientes priorizados en niños de 4 a 9 años y hombres de 9 a 13 años, expresado en porcentaje (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia**

Grupo de vida	Tratamientos	Agua <sup>a</sup>	Grasa	Proteína	Fibra cruda	Carbohidratos
		RDA <b>1.7 L/d</b>	ND	19 g/d	20 g/d	130 g/d
Niños de 4-8 años	Grano de quinua	0.57	ND	90.95	8.23*	51.02
	Maíz morado	0.62	ND	46.16	6.85*	57.52
	Extruido quinua (100:00)	0.41	ND	95.49	8.15*	53.78
	Extruido quinua: maíz (90:10)	0.35	ND	91.78	8.22*	54.96
	Extruido quinua: maíz (70:30)	0.35	ND	80.72	8.61*	56.88
	Extruido quinua: maíz (50:50)	0.38	ND	74.17	8.48*	57.66
		RDA <b>2.4 L/d</b>	ND	34 g/d	31 g/d	130 g/d
Hombres de 9 a 13 años	Grano de quinua	0.40	ND	50.82	6.63*	51.02
	Maíz morado	0.44	ND	25.80	5.53*	57.52
	Extruido quinua (100:00)	0.29	ND	53.36	6.58*	53.78
	Extruido quinua: maíz (90:10)	0.25	ND	51.29	6.63*	54.96
	Extruido quinua: maíz (70:30)	0.25	ND	45.11	6.94*	56.88
	Extruido quinua: maíz (50:50)	0.27	ND	41.45	6.84*	57.66

<sup>a</sup> El agua total incluye toda el agua contenida en alimentos, bebidas y agua potable.

RDA: Ingesta dietética recomendada. Representa la ingesta dietética diaria que se considera suficiente para cubrir las necesidades de un nutriente de casi todos (97-98%) los individuos sanos de un grupo de edad y sexo determinado.

\*: Ingestas adecuadas (AI). IA es la ingesta media.

ND = No se puede determinar debido a la falta de datos de efectos adversos en este grupo de edad y la falta de capacidad para manejar cantidades excesivas.

#### 4.5. Minerales

En el Cuadro 13 se presenta los contenidos de minerales realizado en los granos de quinua, maíz morado y los extruidos. El grano de quinua y los extruidos reportaron un alto contenido de fósforo, que podrían contribuir a cubrir las necesidades de fosfato cuyos requerimientos están en el orden de 500 a 1250 mg/día para niños de 4 a 8 años y de 9 A 13 años, respectivamente. Los valores encontrados se encuentran dentro de los reportados por Ruales *et al.*; citado por Reyes (2006) quienes encontraron de 145 a 540 mg/100 g en base seca. No se encontró diferencias entre los granos de quinua, extruidos (100:00), (90:10) y (70:30); pero si en los granos de maíz morado que fue inferior al resto de los tratamientos.

**Cuadro 13: Contenido de minerales<sup>1,2</sup> (mg/100 g, bs) de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado**

Minerales	Quinua	Maíz morado	Extruido quinua: maíz morado (100:00)	Extruido quinua: maíz (90:10)	Extruido quinua: maíz (70:30)	Extruido quinua: maíz (50:50)
P	454.17 ± 0.19	321.43 ± 3.79	453.53 ± 5.80	460.06 ± 3.30	432.76 ± 23.34	408.29 ± 4.72
K	621.32 ± 29.06 <sup>b</sup>	477.57 ± 75.04 <sup>a</sup>	610.46 ± 22.82 <sup>ab</sup>	564.96 ± 5.64 <sup>ab</sup>	550.59 ± 26.33 <sup>ab</sup>	504.83 ± 7.55 <sup>ab</sup>
Ca	83.72 ± 5.7 <sup>d</sup>	12.85 ± 0.39 <sup>a</sup>	87.00 ± 1.33 <sup>d</sup>	79.63 ± 0.19 <sup>d</sup>	61.97 ± 0.38 <sup>c</sup>	50.08 ± 2.83 <sup>b</sup>
Mg	177.70 ± 11.0 <sup>bc</sup>	124.28 ± 1.97 <sup>a</sup>	184.21 ± 1.90 <sup>c</sup>	175.47 ± 3.76 <sup>bc</sup>	163.58 ± 1.88 <sup>b</sup>	160.26 ± 3.78 <sup>b</sup>
Na	37.25 ± 1.78 <sup>a</sup>	26.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	31.87 ± 3.23 <sup>a</sup>	33.23 ± 1.8 <sup>a</sup>	34.84 ± 3.01 <sup>a</sup>	35.39 ± 4.72 <sup>a</sup>
Zn	6.99 ± 2.45 <sup>a</sup>	2.56 ± 0.30 <sup>a</sup>	6.84 ± 0.82 <sup>a</sup>	6.54 ± 0.49 <sup>a</sup>	6.73 ± 0.26 <sup>a</sup>	4.67 ± 0.94 <sup>a</sup>
Cu	0.94 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.89 ± 0.09 <sup>cd</sup>	0.74 ± 0.00 <sup>bc</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>b</sup>
Mn	1.54 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.00 <sup>d</sup>	1.53 ± 0.06 <sup>d</sup>	1.22 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.07 ± 0.00 <sup>b</sup>
Fe	4.04 ± 0.11 <sup>b</sup>	2.05 ± 0.14 <sup>a</sup>	6.16 ± 0.42 <sup>c</sup>	5.65 ± 0.13 <sup>c</sup>	4.51 ± 0.09 <sup>b</sup>	4.03 ± 0.04 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Promedio de dos repeticiones ± DS.

<sup>2</sup>Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas cuando se someten a la prueba de Tukey (p<0.05)

El Cuadro 14 presenta la contribución de los extruidos de quinua con maíz morado en la ingesta diaria que es esencial para una buena nutrición. Estos snacks se diferencian de las dietas monótonas que consisten en un número limitado de alimentos básicos. Los alimentos a menudo conducen a deficiencias en uno o más micronutrientes. La personas con mayor riesgo de enfermedades por deficiencia de micronutrientes consumen cereales refinados (arroz, trigo o maíz) o tubérculos (mandioca, papa). Estos alimentos tienen una baja densidad de micronutrientes y no cumplen con los requisitos para la mayoría de los micronutrientes (Miller y Welch, 2013). Las incorporación de quinua y maíz morado pueden mejorar dramáticamente la densidad de micronutrientes de estas dietas. Por lo tanto, los extruidos de quinua: morado (100:00), (90:10) y (70.30) son una buena fuente de hierro, magnesio y zinc



si se compara con las recomendaciones relativas al consumo diario de minerales. La falta de hierro suele ser una de las deficiencias nutricionales más comunes (FAO, 2013).

**Cuadro 14: Contribución de los extruidos de quinua con maíz morado para la ingesta diaria de minerales priorizados en niños de 4 a 9 años y hombres de 9 a 13 años, expresado en porcentaje (valor nutritivo obtenido por cada 100 g de alimento) / ingestas dietéticas de referencia**

Grupo de vida	Tratamientos	RDA								
		P (mg/día)	K (g/día)	Ca (mg/día)	Mg (g/día)	Na (mg/día)	Zn (mg/día)	Cu (µg/día)	Mn (mg/día)	Fe (mg/día)
		500	3.8*	1000	130	1.2	5	440	1.5	10
Niños de 4-8 años	Grano de quinua	82.0	14.8	7.6	123.4	2.8	126.3	193.5	92.4	36.5
	Maíz morado	57.0	11.3	1.2	85.6	2.0	45.8	85.2	38.3	18.4
	Extruido quinua (100:00)	83.1	14.9	8.1	131.7	2.5	127.3	196.0	96.7	57.3
	Extruido quinua: maíz (90:10)	84.9	14.0	7.5	126.9	2.6	123.0	190.3	95.8	53.1
	Extruido quinua: maíz (70:30)	79.9	13.6	5.8	118.3	2.7	126.5	159.1	76.7	42.4
	Extruido quinua: maíz (50:50)	75.3	12.4	4.7	115.4	2.8	87.5	139.2	66.7	37.8
			1250	4.5*	1300	240	1.5	8	700	1.9
Hombres de 9 a 13 años	Grano de quinua	32.8	12.5	5.8	66.9	2.2	78.9	121.6	73.0	45.7
	Maíz morado	22.8	9.5	0.9	46.4	1.6	28.6	53.6	30.3	23.0
	Extruido quinua (100:00)	33.2	12.6	6.2	71.4	2.0	79.5	123.2	76.3	71.6
	Extruido quinua: maíz (90:10)	34.0	11.8	5.8	68.8	2.1	76.9	119.6	75.7	66.4
	Extruido quinua: maíz (70:30)	31.9	11.5	4.5	64.1	2.2	79.1	100.0	60.5	53.0
	Extruido quinua: maíz (50:50)	30.1	10.5	3.6	62.5	2.2	54.7	87.5	52.6	47.2

RDA: Ingestas dietéticas recomendada

\*: Ingestas adecuadas (AI). IA es la ingesta media

Los tratamientos mostraron un importante aporte de potasio y en bajas proporciones sodio. Al respecto FAO (2011), menciona que la quinua contiene el doble de potasio que el trigo, el cuádruple que el maíz y ocho veces más que el arroz; sin embargo los valores encontrados en esta investigación fueron inferiores a los reportados 907 mg / 100 g ms por Koziół (1992); citado por Nowak *et al.* (2016). los mayores contenidos lo obtuvo el grano de quinua 621.32 mg/100 g que podría cubrir las necesidades de potasio en un 14.8 y 12.5 % a los

requerimientos de la ingesta dietética diaria para niños de 4 a 8 y niños mayores a 9 a 13 años, respectivamente (Cuadro 14).

Respecto al magnesio, se determinó que los valores oscilan entre 124.28 mg/100 g bs para el maíz morado, hasta 184.21 mg/100 g bs para el extruido de quinua: maíz morado (100:00). Al respecto FAO (2011) encontró 270 mg/100 g bs, Ruales y Nair (1992) 170 a 230 mg/100 g bs, y Koziol (1992); citado Nowak *et al.* (2016) 362 mg / 100 g bs para los granos de quinua. Como podemos ver en el Cuadro 14, el consumo de los extruidos de quinua con maíz morado podría cubrir los requerimientos nutricionales para niños de 4 a 8 años.

Los contenidos de zinc en los granos de quinua fueron mayores a los reportados 4.8 mg/100 g y 2.1 a 6.1 mg/100 g de materia seca por FAO (2011) y Ruales y Nair (1992), respectivamente. El grano de maíz morado presentó los contenidos más bajos de Zinc 2.56 mg/100 g bs, similares valores 2.54 mg/100 g reportó Nascimento *et al.* (2014). Los tratamientos que poseen mayores contenidos de quinua cubren las necesidades diarias para Niños de 4-8 años La evaluación estadística no encontró diferencias significativas en las muestras evaluadas (Anexo 8).

Respecto al cobre los valores encontrados fueron superiores a los reportados por Mota *et al.* (2016), quienes determinaron para el grano de quinua 0.502 mg/100 g en base seca. Los extruidos de quinua con maíz morado a excepción del extruido de quinua: maíz morado (50:50) podrían cubrir las necesidades diarias de este nutriente en los niños de 4 a 13 años La evaluación estadística encontró diferencias significativas en las muestras evaluadas, siendo superior en el grano de quinua 0.94 mg/100g bs, en el Anexo 23 se reporta dicha evaluación.

El contenido de manganeso para el grano de maíz morado y los extruidos de quinua y maíz morado (100:00) fueron 0.64 y 1.54 mg / 100 g en base seca, respectivamente, siendo valores inferiores a los determinados por Mota, *et al.* (2016), quienes reportaron para el grano de quinua 1.89 mg/100 g bs. La quinua tiene mayor contribución a la ingesta de minerales que el maíz morado.

Respecto al contenido de hierro, el extruido quinua: maíz morado (100:00) indicó 6.16 mg/100 g, las muestras extruidas incrementaron este contenido. Al respecto Barriga (2008), atribuye este incremento a la migración del hierro del equipo hacia el alimento donde influye la temperatura, tiempo y área de contacto. Los valores obtenidos en los granos de quinua fueron inferiores al contenido promedio 12 mg / 100 g en base seca y 9.47 mg / 100 g en base seca, presentado por Reyes (2006) y Koziol (1992); citado Nowak *et al.* (2016), respectivamente. Esto tiene una gran importancia para las personas que tienen la enfermedad celíaca ya que casi todos los cereales sin gluten tienen un contenido pobre de calcio, magnesio y hierro (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010).

Los contenidos de calcio en las muestras variaron desde 12.85 para el grano de maíz morado hasta 87 mg / 100 g para la quinua: maíz morado (100:00). El mayor porcentaje de este mineral encontrado en esta muestra extruida, es posible se deba al aporte del agua durante la extrusión. Los valores indicados se encuentran dentro del rango 46 a 340 mg/100 g en base seca reportado por Ruales y Nair (1992) para granos de quinua. Reyes (2006) al analizar 19 variedades de quinua encontró el mayor porcentaje de calcio en la variedad de quinua rosada de puno con 124 mg/100 g y la menor cantidad en la variedad Pasankalla (Bolivia) con 47 mg/100g.

#### **4.6. Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante**

En el Cuadro 15 se aprecia el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado. La evaluación estadística encontró diferencias significativas en compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante en los tratamientos (Anexo 9).

El contenido de polifenoles en los granos de maíz morado y quinua fueron de 149.12 y 245 mg GAE/100 g en base seca; resultados superiores obtuvo Pasko *et al.* (2009) quienes encontraron valores de granos de quinua de 375 mg GAE/ 100 g en base seca. Los extruidos experimentaron un incremento significativo del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y de la capacidad antioxidante; estos resultados se deben al aporte de compuestos fenólicos del maíz morado.

Los antioxidantes son compuestos que inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas mediante la inhibición de la propagación de la reacción de oxidación. Al respecto Pasko *et al.* (2009) afirma que existe una fuerte correlación entre el contenido de polifenoles totales de los granos andinos y la actividad antioxidante de los mismos, sugiriendo que el contenido de polifenoles totales es un buen indicador de la capacidad antioxidante. En general, los extruidos de quinua con maíz morado incrementaron la capacidad antioxidante probablemente debido a la formación de los productos de la reacción de Maillard (MRP) que poseen propiedades prooxidante formados como consecuencia del tratamiento de calor intenso o almacenamiento prolongado (Kaur and Kapoor 2001; citado por Tacora *et al.*, 2010).

Estudios previos han descrito que las semillas de quinua son excepcionalmente rica fuente de flavonoles, tales como quercetina y kaempferol. En el presente estudio, también hemos demostrado un contenido muy alto de flavonoles totales en los tratamientos, superiores  $58 \pm 13$  mg CE/100 g para granos de quinua reportado por Repo-Carrasco *et al.* (2010)

Nuestros resultados indican que los cultivos de nuestra región como la quinua y maíz morado, son muy buenas fuentes de flavonoides. Los niveles de flavonoides en quinua fueron superiores a aquellos en ricos en flavonoides como como arándano rojo (Repo-Carrasco *et al.* 2010).

**Cuadro 15: Fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante según DPPH y ABTS de los granos de quinua, maíz morado y los extruidos de quinua con maíz morado. Los resultados se expresan en base seca**

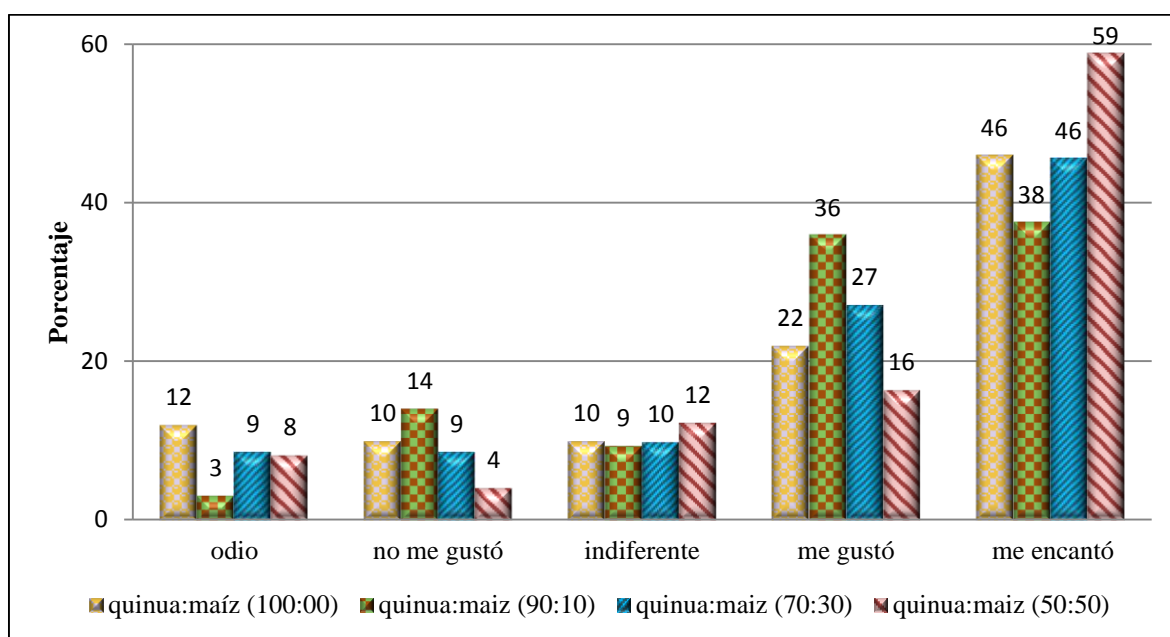
Variedad	Fenólicos totales (mg GAE/100g db)	Flavonoides (mg CE/100g db)	Actividad Antioxidante DPPH ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g db}$ )	Actividad Antioxidante ABTS ( $\mu\text{mol TE}/100\text{g db}$ )
Quinua	$149.12 \pm 4.74^{ab}$	$92.28 \pm 0.00^{ab}$	$548.36 \pm 11.20^a$	$865.00 \pm 1.69^a$
Maíz morado	$245.86 \pm 8.39^{cd}$	$310.70 \pm 15.96^c$	$1154.16 \pm 12.07^{bcd}$	$3356.90 \pm 46.96^d$
Extruido quinua: maíz (100:00)	$142.03 \pm 3.94^a$	$58.83 \pm 1.12^a$	$908.40 \pm 35.99^{ab}$	$1597.63 \pm 64.55^{ab}$
Extruido quinua: maíz (90:10)	$170.24 \pm 3.29^{abc}$	$93.61 \pm 2.12^{ab}$	$1119.53 \pm 32.39^{abc}$	$2013.27 \pm 47.90^{abc}$
Extruido quinua: maíz (70:30)	$200.33 \pm 7.85^{bcd}$	$173.45 \pm 4.57^{bc}$	$1527.55 \pm 59.23^{cd}$	$2444.80 \pm 78.06^{bcd}$
Extruido quinua: maíz (50:50)	$264.10 \pm 5.37^d$	$257.65 \pm 5.56^{bc}$	$2046.00 \pm 49.35^d$	$3321.27 \pm 20.73^{cd}$

<sup>1</sup>Promedio de cuatro repeticiones  $\pm$  DS.

<sup>2</sup>Los valores medios que presentan letras diferentes dentro de la misma fila muestran diferencias significativas cuando se someten a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ )

#### 4.7. Evaluación sensorial

En la Figura 12 se muestra los resultados de la prueba de grado de satisfacción para la aceptabilidad general de los extruidos de quinua con maíz morado. Los cuatro tratamientos mostraron un  $p$  valor  $> 0.05$ , no encontrando diferencias significativas en las formulaciones (Anexo 10). El análisis descriptivo asignó un mayor porcentaje de aceptación para el extruido:quinua maíz morado (50:50); concluyendo que esta formulación tiene la mayor preferencia por los niños. Carpenter *et al.* (2002) indican que el sabor juega un papel importante en la determinación de la aceptabilidad de los alimentos ya que proporciona una idea general de la aceptación o rechazo del producto en evaluación. Al respecto, Repo-Carrasco *et al.* (2011) evaluó la aceptación sensorial de extruidos de quinua y maíz (70:30) con cobertura dulce obteniendo un porcentaje de aceptación mayor del 50 %, la incorporación de maíz morado mejoró los atributos organolépticos, y el tratamiento tecnológico de extrusión permitió reducir la cantidad de antinutrientes, favoreciendo la biodisponibilidad de los aminoácidos.

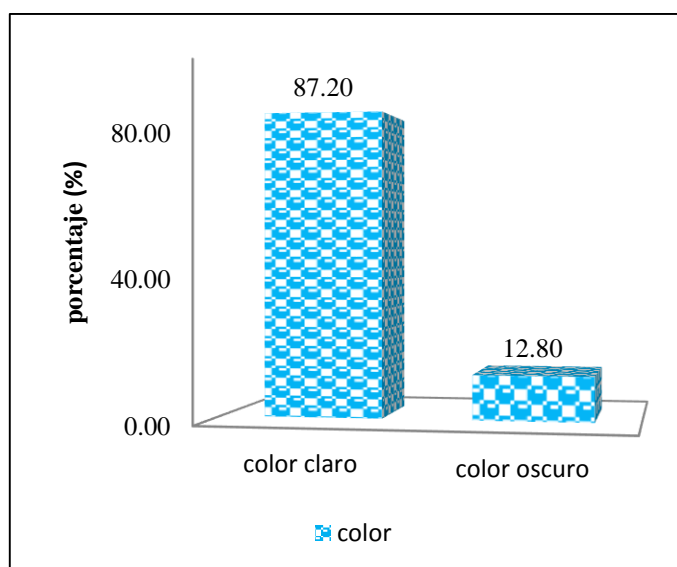


**Figura 12: Porcentaje de jueces que prefieren cada tratamiento para los atributos de aceptabilidad general.**

Salazar (2013) desarrolló un suplemento alimenticio infantil a base de harina de maíz, tarwi y quinua extruidas para infantes 2-5 años, la formulación (10:45:45) de maíz, tarwi, quinua extruidas respectivamente, fue la mejor reportando la calificación de me gusta ligeramente.

Un estudio realizado por Owino *et al.* (2012) evaluaron, en niños escolares, la aceptabilidad de un alimento terapéutico (RUTF) a base de extruidos de soja, maíz, sorgo y sin leche que se usa principalmente para tratar la desnutrición, utilizaron ingredientes de la localidad ya que tienen el potencial de respaldar la economía local y reducir el costo del RUTF. Los resultados de la evaluación de aceptabilidad mostraron un RUTF apetecible. Este estudio proporciona un punto de referencia para la elaboración de RUTF.

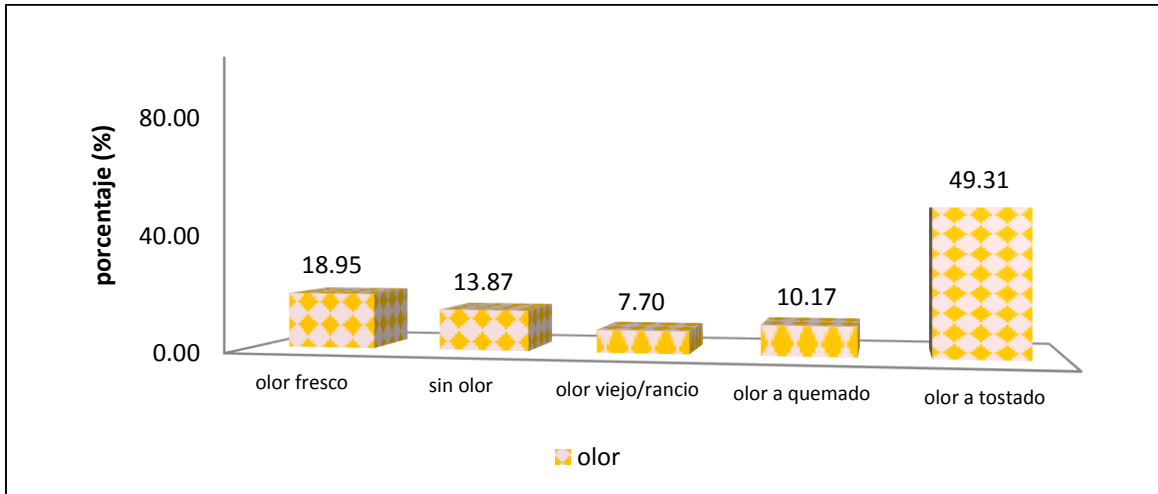
A continuación se presenta los resultados del estudio a consumidores utilizando el cuestionario del Anexo 2. El análisis descriptivo del color de los extruidos de quinua con maíz morado se presenta en la Figura 13. El 87.20 % de los consumidores calificaron a los extruidos con el color claro y el 12.80 % color oscuro. Si bien la temperatura favoreció las reacciones de pardeamiento y por ende el oscurecimiento de los extruidos, esto no fue significativo por más del 80 % por ciento de los jueces.



**Figura 13: Análisis descriptivo del color de los extruidos de quinua con maíz morado.**

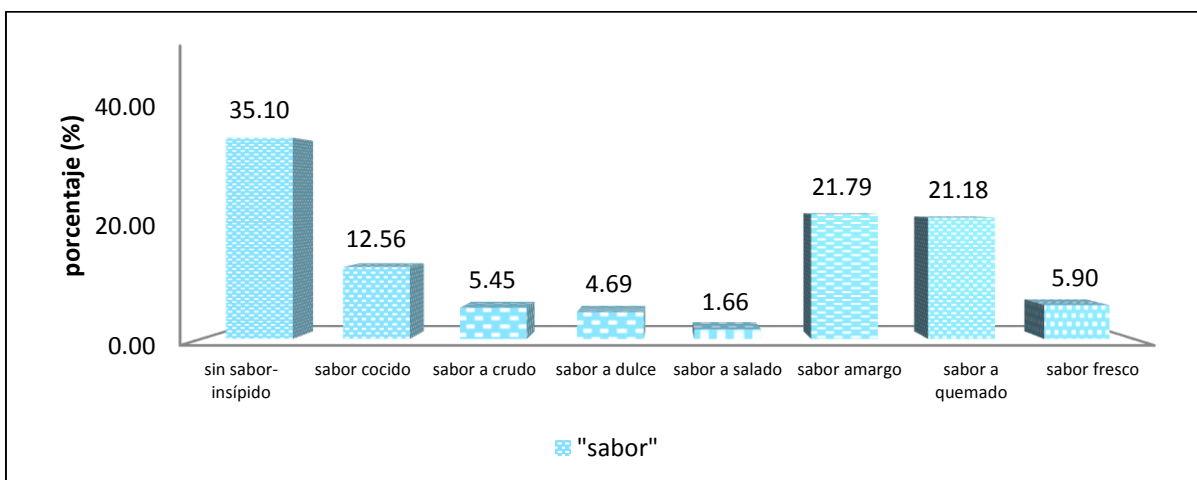
En la Figura 14 se presenta análisis descriptivo del olor de los extruidos de quinua con maíz morado. Como se puede observar, los extruidos se caracterizan por presentar un olor a tostado para el 49.31 % de los jueces, el 18.95 % lo calificaron con un olor a fresco, el 13.87 % no percibieron olor por lo que no lo asociaron a ningún olor característico. Además existe un elevado porcentaje 10.17 % que califica a los extruidos con olor a quemado y 7.70 % olor a viejo/rancio. Esta percepción de olores podrían influir en la aceptabilidad del producto por

lo que sería necesario enmascararlo con otro tipo de alimento.



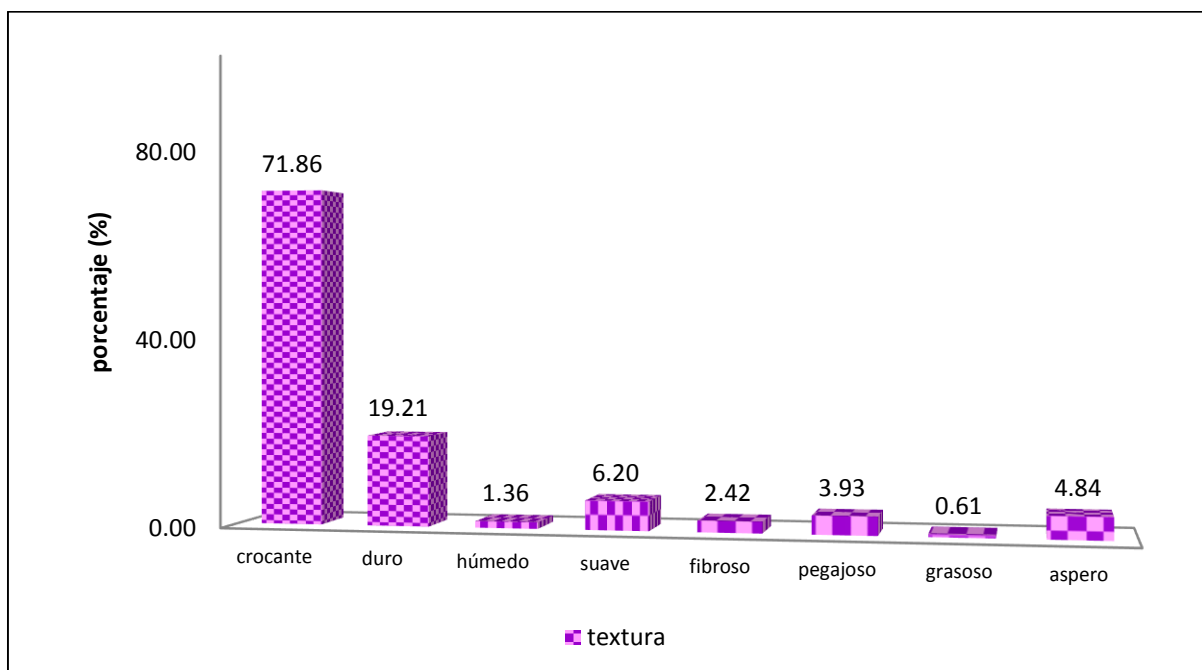
**Figura 14: Análisis descriptivo del olor de los extruidos de quinua con maíz morado.**

En la Figura 15 se presenta análisis descriptivo del sabor extruidos de quinua con maíz morado. Los extruidos se caracterizan por presentar un sabor a amargo y quemado para el 21.79 y 21.18 % de los jueces, respectivamente. El 35.10 % de los jueces lo calificaron con un sabor a insípido, el 12.56 % a cocido, el 5.9 % sabor fresco, 5.45 % sabor a crudo, 4.69 % sabor a dulce y el 1.66 % lo calificó con un sabor a salado. La calificación de “insípido” podría influir en la aceptabilidad del producto porque a los niños les atrae los alimentos dulces; sin embargo, al formular un producto, la percepción de la interacción de sabores disminuiría por tener una alta calificación de “sin sabor”



**Figura 15: Análisis descriptivo del sabor de los extruidos de quinua con maíz morado.**

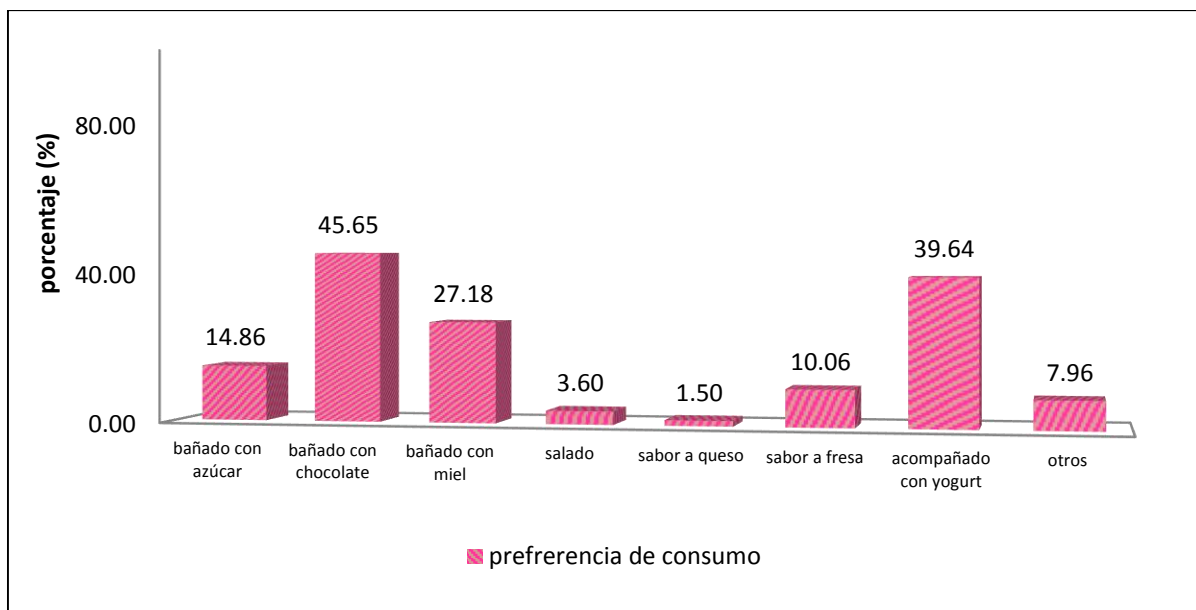
El análisis descriptivo de la textura extruidos de quinua con maíz morado se presenta en la Figura 16. El 71.89 % de los jueces calificaron a los extruidos con una textura crocante, seguido de duro 19.21 %, y 6.20 % como suave. Este tipo de productos se caracterizan por ser de naturaleza crocante y para ello influyeron las mezcla de maíz morado y quinua a parte de las condiciones de procesamiento.



**Figura 16: Análisis descriptivo de la textura de los extruidos de quinua con maíz morado.**

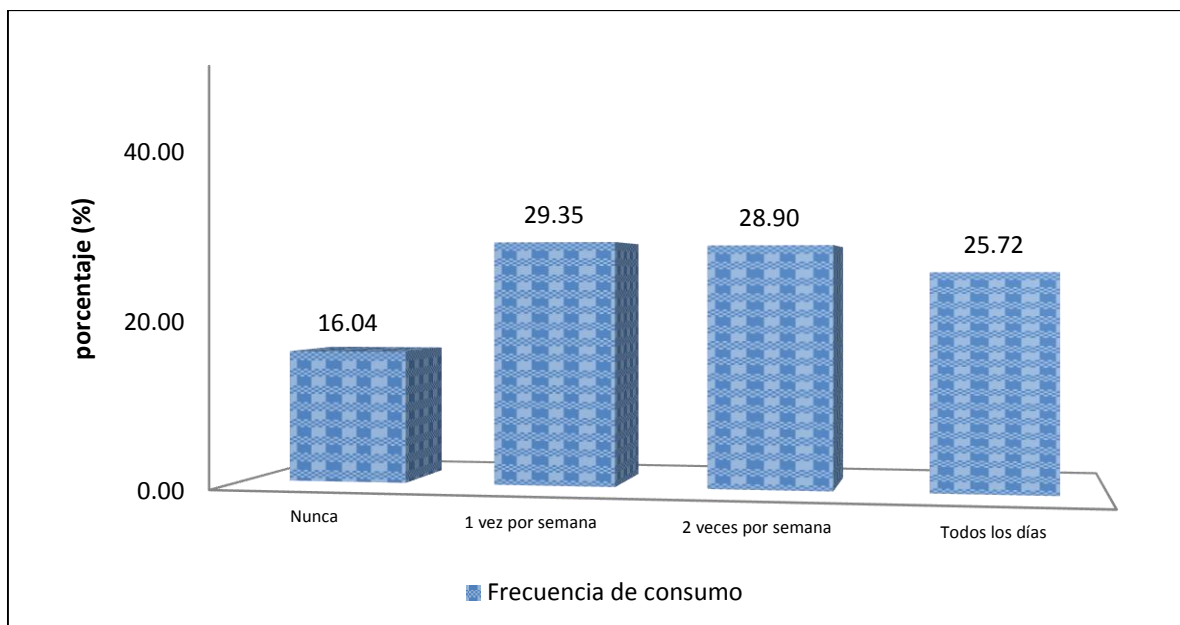
El análisis descriptivo acerca de la preferencia de consumo de los extruidos de quinua con maíz morado se presenta en la Figura 17. El mayor porcentaje de jueces 46.56 % prefieren consumir a los extruidos bañado en chocolate, el 39.64 % prefieren acompañarlo con yogurt, el 27.18 % bañado en miel, el 14.86 % bañado en azúcar, el 10.06 % sabor a fresa y por último el 3.60 % y 1.50 % prefieren obtener un sabor salado y queso, respectivamente.





**Figura 17: Análisis descriptivo de la preferencia de consumo de los extruidos de quinua con maíz morado.**

Esta investigación demuestra que la quinua y el maíz morado es una excelente opción como materia prima para ser usada en productos extruidos elevando su valor nutricional. Los extruidos fueron calificados por presentar un color claro (87.20 %), olor a tostado (49.31 %), sabor insípido (35.10 %) y de textura crocante (71.86 %). Los niños prefieren consumir los extruidos a una vez por semana (29.35 %) (Figura 18). De acuerdo al análisis llevado por CPI (2012), el 27.7 % de los peruanos consumen a diario/interdiario snacks/bocaditos, el 22.5 % lo consumen semanal y el 49.8 % eventualmente. El mayor volumen de compra fueron de las marcas Frito Lay (74.6 %), Chipy (11.2 %) y Karinto (9.8 %). Al analizar el consumo por lugar de compra, el 79.3 % compran en bodegas, mientras que en el 12.9 % lo compran en supermercados.



**Figura 18: Análisis descriptivo de la frecuencia de consumo de los extruidos de quinua con maíz morado.**

#### **4.8. Contribución de los snacks de quinua y maíz morado para disminuir los problemas de malnutrición en el Perú**

Un estudio en niños de  $5.2 \pm 1.4$  años de edad acerca de “Loncheras de los niños peruanos” realizado por Estrada y Alviso (2017), mostraron que el 58.8 % de los niños llevaban frutas en la lonchera; sin embargo, 35.3 % consumía bebidas azucaradas y un 35.3 % snacks no saludables, incluyendo galletas y cereales azucarados. Un bajo porcentaje de los niños tenían lácteos (29.4 %), agua (11.8 %) o jugos naturales (5.9 %). Solo 41.2 % de los niños llevaban una combinación apropiada de alimentos saludables para consumir. Los resultados mostraron que aproximadamente un tercio de los niños consume snacks no saludables que puede tener un impacto futuro en desarrollo de sobrepeso y obesidad. Frente a esto, los extruidos de quinua y maíz morado es una de las nuevas tendencias en la producción de snack. La aplicación de tecnologías orientadas a evitar procesos de fritura con el objetivo de disminuir el contenido en grasas y calorías, además de introducir de ingredientes funcionales como la antocianina de maíz morado y materias primas de origen distintas a las tradicionales, como la quinua. Con estas prácticas se obtendrán alimentos con menor contenido de grasas, calorías y sodio; mayor cantidad de proteína, fibra. Haciendo de este producto una excelente alternativa para la sustitución de los snacks tradicionales y combatir la malnutrición, además de ser útil para tratamiento de pacientes diabéticos e intolerantes al gluten.

Verna *et al.* (2012) desarrollaron alimento terapéutico listo para usar para el tratamiento de niños con malnutrición moderada entre 6 meses y 5 años. El alimento es una mezcla de maní, aceite de palma, leche en polvo y azúcar, con alta densidad de energía y un perfil de micronutrientes diseñado específicamente sobre la base de las recomendaciones de la OMS. Fue una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento y el peso para la talla Z. Owino *et al.* (2012) formularon un RUTF nutritivo, altamente aceptable a base de maíz, soja y sorgo con una estabilidad de almacenamiento de al menos 12 meses, proporcionando una alternativa asequible de RUTF para el tratamiento de niños con desnutrición aguda severa (SAM) en países en desarrollo ya que se demostró su eficacia en ensayos aleatorios. Otra investigación realizado por Sunguya *et al.* (2012) sugirieron que la suplementación con RUTF al menos durante cuatro meses tiene un potencial para mejorar la desnutrición entre los niños VIH-positivos.

Los ingredientes utilizados para la elaboración de estos alimentos podrían estimular la agricultura a pequeña escala, y por lo tanto, fomentar la autosuficiencia entre productores de cultivos alimentarios en entornos de escasos recursos. En esta investigación se utilizó la mezcla de dos alimentos que es esencial para una buena nutrición, y es factible replicar los aspectos tecnológicos en cualquier planta de alimentos que cumpla con un equipamiento.

#### **4.9. Impacto de los snacks de quinua y maíz morado en relación a la seguridad alimentaria y nutricional de nuestro país**

La disponibilidad de los snacks saludables se ve afectada por la demanda de los clientes. En los mercados minorista, Andreyeva *et al.* (2011) identificaron la demanda de los clientes como el factor principal en las decisiones de stock, siendo la demanda de alimentos saludables significativamente más baja en comparación con alimentos poco saludables, aunque mejoró para ciertos alimentos con los nuevos subsidios de Programa Especial de Nutrición Suplementaria para Mujeres, Bebés y Niños (WIC) que es uno de los programas de asistencia alimentaria que provee a las familias de bajos ingresos con vales para paquetes de alimentos destinados a contribuir en desarrollo infantil de los niños. Los minoristas de WIC pudieron adaptarse y suministrar rápidamente los alimentos saludables, siendo un canal prometedor para aumentar la disponibilidad de alimentos saludables en comunidades desatendidas. En el Perú las ofertas y el acceso de alimentos saludables podrían superarse cuando los cambios en las políticas generen demanda de alimentos saludables.

La superficie sembrada y la producción de quinua han incrementado rápidamente en los últimos años, principalmente como consecuencia del aumento de la demanda en los países de la Unión Europea y en Estados Unidos. De esta manera en el Perú, FAO (2016) estimó una producción de 79 269 toneladas superando a Bolivia (65 548 t) y Ecuador (3903 t), concentrando aproximadamente 53.3 % de la producción a nivel mundial. EL consumo per cápita de quinua oscila entre 800 gramos y un kilogramo. Existe muy poca demanda de productos procesados de quinua como por ejemplo la harina de quinua, debido a su elevado costo frente a la harina de trigo. En los datos reportados del año 2013, la demanda por exportaciones constituye el 35% de la producción total, 20% es para autoconsumo, 10% lo destinan para semillas, 20% lo almacenan a manera de ahorro, para cubrir sus eventuales requerimientos de “liquidez”, lo cual lo van destinando al mercado “libre”, de manera paulatina. Se estima que de la producción total de quinua, alrededor de un 15% va a cubrir el mercado de los demandantes nacionales (OIT, 2015). Por lo tanto, la quinua tiene un gran potencial para combatir la inseguridad alimentaria, donde la dieta se concentra mayormente en sólo unos cuantos grupos de alimentos y el aporte de alimentos proteínicos es escaso. La FAO (2013) promovió e incrementó el consumo de la quinua como instrumento en la lucha contra el hambre y la desnutrición; por ello es importante impulsar investigaciones que muestren la factibilidad de incluir harinas sucedáneas como es el caso de la harina de quinua y harina de maíz morado en la elaboración de productos.

Los estudios de Pillaca (2018) acerca de la estabilidad en el suministro de alimentos, concluyeron que los principales riesgos que enfrenta el país en relación con el suministro de alimentos y la estabilidad dependen fundamentalmente de la vulnerabilidad de la producción doméstica de alimentos debido a los cambios climáticos y, en segundo lugar, el efecto de los cambios en los precios internacionales de los productos alimenticios importados como el aceite, la soja, el maíz amarillo, el trigo y los derivados. Frente a ello, la quinua tiene un gran potencial porque aparte de ser altamente nutritivo es resistente a diversos factores abióticos adversos como la sequía, heladas y suelos salinos. Es por ello que en los últimos años la quinua, por la elevada presión de su demanda a nivel nacional e internacional, empezó a sembrarse en la costa peruana tales como Arequipa, Lambayeque, La Libertad, Tacna, Lima e Ica. Respecto al maíz morado, no es utilizado en forma integral porque sus granos son descartados constituyendo un uso irracional de este alimento de alto valor nutritivo. Motivada por esta situación, el presente estudio tuvo como objetivo utilizar los granos de

maíz morado para obtener un producto de uso industrial aprovechando un cultivo de nuestra región sin depender de la importación de alimentos. Al contribuir en su producción se mejora la calidad de vida de la población acrecentando el acceso económico a los alimentos.

El cultivo de maíz morado es abundante regiones alto andinas y costeñas del Perú; en los últimos años, se ha intensificado el consumo del maíz morado, en el país y del exterior, debido a que el pigmento morado que tiene este tipo de maíz (antocianinas), previene enfermedades como el cáncer al colon, disminuye la obesidad y la diabetes, entre otras enfermedades; así mismo es un colorante natural para la industria. Entre las antocianinas del maíz morado, la cianidina 3 glucósido, se encuentra en mayor cantidad, constituyéndose en un potente antioxidante natural (INIA, 2015). Si bien aún el cultivo no es intensivo en nuestro país, constituye una alternativa nutricional importante, debido a sus componentes bioactivos que ofrecen beneficios para la salud, si se aplica una buena tecnología para la transformación de los granos en harina, el presente estudio ha demostrado que las características sensoriales son apreciadas por los consumidores.

#### 4.10. Costo de producción

En el Cuadro 26 se detallan el costo de producción a los que se incurrió para la investigación considerando el rendimiento de producción 94 % , capacidad del equipo para granos de quinua 14k/h que se basan en porcentaje de la masa del material final obtenido, al atravesar el proceso tecnológico de extrusión, respecto a la materia prima inicial. En cuanto a los parámetros evaluados se utilizaron los parámetros ya establecidos por la empresa INDDA donde se realizó el servicio. El costo unitario de S/ 1.3 por 100 g de producto a nivel de planta piloto podría disminuir si se incrementa los niveles de producción.

**Cuadro 16: Costo de producción**

Descripción	Costo unitario	Costo total	Costo/100 g de producto
<b>Materia prima</b>	S/kg	S/74 kg	
Grano de quinua	6	222	
Grano de maíz morado	1	37	
<b>Servicio maquila</b>	S/h	S/5h producción	1.3
Molino de martillos	100	100	
Mezcladora	60	60	
Servicio de extrusión	100	500	
<b>Total</b>		919	

## V. CONCLUSIONES

- El tratamiento de extruido de quinua con maíz morado (100:00) presentó los mejores características como índice de expansión (1.42 mm/mm), índice de absorción de agua (4.00 %) e índice de solubilidad en agua (48.96 %)
- Los extruidos de quinua con maíz morado (50:50) presentó los menores aportes de proteína y minerales respecto al valor diario de referencia, pero superó al resto en cuanto a compuestos fenólicos (264.10 mg GAE/100g db), flavonoides (257.65 mg CE/100g db), actividad antioxidantes según DPPH (2046.00  $\mu$ mol TE/100g db) y ABTS (3321.27  $\mu$ mol TE/100g db).
- La evaluación sensorial calificó como la mejor muestra al extruido que contenía 50 % de quinua y 50 % de maíz morado. El mayor porcentaje de jueces prefieren consumirlos acompañado de chocolate (45.65 %) y con una frecuencia de consumo de una vez por semana (29.35 %). Además, fueron calificados por presentar un color claro (87.20 %), olor a tostado (49.31 %), sabor insípido (35.10 %) y de textura crocante (71.86 %).
- Los extruidos de quinua con maíz morado podrían contribuir a mejorar aspectos de seguridad alimentaria y nutricional en nuestro país; si este tipo de formulaciones se llegaran a masificar, los snacks podrían ser de utilidad para alimentar a la población de diferentes edades a bajo costo (costo de producción a nivel de planta piloto es 1.3 soles/100 g de producto).

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar pruebas biológicas donde se pueda conocer la biodisponibilidad de la proteína y minerales de los tratamientos.
- Realizar un estudio de vida en anaquel del producto para determinar el tiempo de vida útil.
- Implementar a nivel industrial el proceso productivo utilizando los parámetros establecidos en esta investigación, para incluir este producto en la alimentación del niño, adolescente, adulto y anciano, y así mantener un organismo sano debido a la calidad nutricional y funcional que posee; se sugiere que la promoción del consumo de snacks nutritivos parta de investigaciones que incluyan aspectos tecnológicos, nutricionales, aceptabilidad, conservación y económicos a fin de lograr sostenibilidad y un trabajo intersectorial que incluya alianzas público-privadas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abderrahim, F.; Huanatico, E.; Segura, R.; Arribas, S.; González, C.; Condezo, L. 2015. Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry* 183:83–90.
- Abugoch, J. 2009. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional and functional properties. *Adv. Food Nutr. Res.* 58 (1), 1-31.
- Acuña, A. 2017. Evaluación de mezclas de polietilenglicol, trietilcitrate e ibuprofeno y condiciones de proceso por extrusión doble husillo co-rotante para obtención de granulados. Tesis Ing. Tianguistenco, México. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Anzaldúa, M. 1994. Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza, España, Acribia
- Aguilera, M.; Ortíz, M.; Chew, G.; meza, J. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en <http://www.biocetnia.uson.mx/revistas/articulos/16-BIO-11-DPA-06.pdf>
- Alvarez-Jubete, L.; Arendt, K.; Gallagher, E. 2010. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Food Science & Technology*, 21, 106-113.



- Anderson, A.; Conway, F.; Pfeifer, F.; Griffin, L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today*, 14 (4-7): 11-12.
- Andreyeva, T.; Middleton, A.; Long, M.; Luedicke, J.; Schwartz, M. 2011. Food retailer practices, attitudes and beliefs about the supply of healthy foods. *Public Health Nutrition*: 14(6), 1024-1031.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official Methods and Analysis. 19th Edition. Washington D.C., USA.
- Apaza, V.; Cáceres, G.; Estrada, R.; Pinedo, R. 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Primera edición. Perú. b17-19 p.
- Arroyo, J.; Raez, E.; Rodríguez, M.; Chumpitaz, V.; Burga, J.; De la Cruz, W.; Valencia, J. 2007. Reducción del colesterol y aumento de la capacidad antioxidante por el consumo crónico de maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas hipercolesterolémicas (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342007000200010](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342007000200010)
- Ayala, G.; Ortega, L.; Morón, C. 2004. Valor nutritivo y usos de la quinua. In: A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y JP. Marathee (eds). Quinua: Ancestracultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. 215-253 p.
- Barriga, D. 2008. Determinación in vitro del uso de la barras de hierro de construcción como posible intervención en la deficiencia de hierro. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú. UNALM.
- Biglari, F.; Alkarkhi, M.; Easa, M. 2008. Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food Chem.* 107: 1636–1641.

- Bjiirckt, I.; Asp, N. 1983. The Effects of Extrusion Cooking on Nutritional Value - A Literature Review. *Journal of Food Engineering* 2: 28 1-308.
- Carpenter, R.; Lyon, D.; Hasdell, T. 2002. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Zaragoza, España. Acribia. 224 p.
- Cerón, C.; Guerra, L.; Legarda, J.; Enríquez, M.; Pismag, Y. 2016. Effect of extrusion on the physicochemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14 (2): 92-99.
- Chandran, S. 2015. Effect of extrusion on physico-chemical properties of quinoa-cassava extrudates fortified with cranberry concentrate. In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science School-New Brunswick Rutgers, The State University, New Jersey.
- Chinnaswamy, R.; Hanna, A. 1988. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J. Food Sci.* 53: 834-836.
- Cho, K.Y.; Rizvi, S.S.H. 2010. New generation of healthy snack food by supercritical fluid extrusión. *Journal of Food Processing and Preservation* 34: 192–218.
- Collazos, C.H.; White, P.; White, H.; Viñas, E.; Alvistur, E.; Urquieta, R.; Vásquez, J.; Días, C.; Quiroz, A.; Roca, A.; Hegsted, D.; Bradfield, B.; Herrera, N.; Faching, A.; Robles, N.; Hernández, E.; Arias, M. 1996. Tablas peruanas de composición de alimentos (en línea). Consultado 17 de mzo 2014. Disponible en: [http://www.bvs.ins.gob.pe/insprint/CENAN/tablas\\_composicion\\_alimentos.pdf](http://www.bvs.ins.gob.pe/insprint/CENAN/tablas_composicion_alimentos.pdf)
- CPI. 2012. Marca y productos de uso personal (en línea). Consultado 1 de oct. 2018. Disponible en: <https://www.cpi.pe/banco/market-report.html>

- Cruz, J. 2012. Relación flavonoides totales-actividad antidiabética (in vitro por difusión de glucosa) en extractos de Colubrina elliptica. Tesis Ing. Oxaca, México, Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Cuevas, E.; Antezana, A.; Winterhalter, P. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano (en línea). Lima, Perú. Consultada el 10 de abr. 2014. Disponible en [http://educon.javeriana.edu.co/lagrotech/images/elyana\\_cuevas.pdf](http://educon.javeriana.edu.co/lagrotech/images/elyana_cuevas.pdf)
- Da Silva, M.; Carvalho, C.; Andrade, C. 2009. The effects of wáter and sucrose contents on the physicochemical properties of non-directly expanded rice flour extrudates. *Cienc. Technol. Aliment.* 29 (3): 661-666.
- Dini, I.; Tenore, G.; Dini, A. 2010. Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Food Science and Technology.* 43: 447-451.
- Dogan, H.; Karwe, V. 2003. Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Sci. Technol. Int.* 9, 101-114.
- Estrada, D.; Alviso, C. 2017. Snacks in kid's lunch box in a Peruvian play group. *Arch Argent Pediatr.* 115 (3): e216.
- FAO. 2011. La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo\\_quinoa\\_es.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf)
- FAO. 2013. Valor nutricional de la quinoa antocianinas (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>

- FAO. 2013. Valor nutricional de la quinua v (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>
- FAO. 2016. FAOSTAT. Producción de Quinoa: los 10 productores principales (en línea). Consultado 1 de oct. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Faubion, J.; Hosney, R. 1982. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II. Effect of protein and lipid on extrudate properties. *Cereal Chem.* 59: 529-533.
- Fennema, O.; Damodran, S.; Parkin, K. 2010. Química de Alimentos, 3 ed. Zaragoza, España. Acribia.
- Galarza, R. 2011. Calidad nutricional de un producto extruido fortificado con dos niveles de hierro proveniente de harina de sangre bovina. Tesis Lic. Lima, Perú, UNMSM.
- Ganjyal, G.; Hanna, M. 2002. A review on residence time distribution (RTD) in food extruders and study on the potential of neural networks in RTD modeling. *J. Food Sci.* 67: 1996-2002.
- Gómez, H.; Aguilera, M. 1984. A physiochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.* 49: 40-43.
- González, J.; Torres, L.; De Greef, M. 2002. “Extrusión-Cocción de Cereales”. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 36(2): 104-115.
- Gorriti, A.; Quispe, F.; Arroyo, F.; Córdova, A.; Jurado, B.; Santiago, I.; Taype, E. 2009. Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea Mays* l. “maíz antocianinas” (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v12\\_n2/pdf/a03v12n2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v12_n2/pdf/a03v12n2.pdf)

- Gui, Y.; Ryu, G. 2014. Effects of extrusion cooking on physicochemical properties of white and red ginseng (powder). *J Ginseng Res* 38: 146-153
- Hashimoto, M.; Grossmann, E. 2003. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *International Journal of Food Science & Technology*. 38: 511–517.
- Hirose, Y.; Fujita, T.; Ishii, T.; Ueno, N. 2010. Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. *Food Chemistry*. 119: 1300–1306.
- INIA. 2015. Cultivo de maíz morado en la sierra peruana. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (en línea). Consultado 19 de jun. 2014. Disponible en <http://www.inia.gob.pe/capacitacion-a-distancia/cap-cursos-virtuales/171-capacitacion/cursos-2015/962-curso-2015-02>
- Julkunen, R. 1985. Phenolic constituents in the leaves of Northern willows: Methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 33 (2): 213-217.
- Kameko, J. 2005. Determinación de los parámetros de extrusión en un extrusor de bajo costo para la obtención de una mezcla base para desayuno a partir de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), olluco (*Ullucus tuberosum* Loz.) y quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
- Kowalski, R.; Medina-Meza, I.; Thapa, B.; Murph, K.; Ganjyal, G. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science*. 70: 91-98.
- Miller, B.; Welch, R. 2013. Food system strategies for preventing micronutrient malnutrition. *Food Policy*. 42: 115-128

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2017. Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinoa (En línea). Consultada el 5 de abr. 2018. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017>
- Moon, K.; Shibamoto, T. 2009. Antioxidant assays for plant and food components. *J. Agric. Food Chem.* 57, 1655-1666.
- Mota, C.; Nascimento, A.; Santosa, M.; Delgado, I.; Coelho, I.; Regoa, A.; Matos, A.; Torres, D.; Castanheira, I. 2016. The effect of cooking methods on the mineral content of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Journal of Food Composition and Analysis* 49:57–64.
- Mujica, J.; Izquierdo, J.; Marathe, J. 2001. Capítulo 1. Origen y descripción de la quinoa (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en <http://www.condesan.org/publicacion/Libro03/cap1.htm>
- Nascimento, A.; Mot, C.; Coelho, I.; Gueifão, S.; Santos, M.; Matos, A.; Gimenez, A.; Lobo, M.; Samman, N.; Castanheira, I. 2014. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. Consultada el 10 de abr. 2014 (en línea). Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24262578>
- Navruz-Varli, D.; Sanlier, N. 2016. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science* 69: 371-376
- Nowak, V.; Du, D.; Charrondière, R. 2016. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Food Chemistry* 193: 47–54

NTP 205.002. 1979. Norma Técnica Peruana. Determinación de humedad. Determinación de humedad. Lima, Perú.

NTP 205.003. 1980. Norma Técnica Peruana. Determinación de fibra cruda. Lima, Perú.

NTP 205.004. 1979. Norma Técnica Peruana. Determinación de cenizas. Revisada el 2011. Lima, Perú.

NTP 205.005. 1979. Norma Técnica Peruana. Determinación de proteínas. Revisada el 2011. Lima, Perú.

NTP 205.006. 1980. Norma Técnica Peruana. Determinación de grasa. Lima, Perú.

OIT (Oficina Internacional de Trabajo). 2015. Análisis de la cadena de valor en el sector de la quinua en Perú. Aprovechando las ganancias de un mercado creciente a favor de los pobres (en línea). Consultado 1 de oct. 2018. Disponible en: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/---ifp\\_seed/documents/project/wcms\\_423584.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/project/wcms_423584.pdf)

OMS. 2015. Alimentación sana. Consultado 17 de abril. 2017. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>

OMS. 2016. Organización Mundial de la Salud. Obesidad y sobrepeso. Consultado 17 de abril. 2017. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/es/>

Oropeza, M. 2012. Alcaloides totales y actividad antioxidante de extractos metanólicos de hojas de *Ipomoea murucoides* (casahuate). Tesis ing. Oxaca, México, Universidad Tecnológica de la Mixteca.

- Owino, V.; Irena, A.; Dibari, F.; Collins, S. 2012. Development and acceptability of a novel milk-free soybean–maize–sorghum ready-to-use therapeutic food (SMS-RUTF) based on industrial extrusion cooking process. *Maternal & Child Nutrition* 10 (1): 126-134.
- Pasko, P.; Barton, H.; Zagrodzki, P.; Gorinstein, S.; Fołta M.; Zachwieja, S. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 115: 994–998
- Peterson, L. 1979. Review of the Folin protein quantitation method of Lowry, Rosebrough, Farr and Randall. *Analytical biochemistry*. 100 (2): 201-220.
- Pilco, J. 2011. Elaboración de un producto extruido tipo snack con cobertura dulce a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.) Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
- Pillaca, M. 2018. Food and nutritional security in the villages Nuevo Tambo de Mora and Alto El Molino, Ica, Peru. *Food Energy Secur.* 7:e00128.
- Porras, J.; Angeles, H.; Chue, J.; Febres, G.; Vega, E.; López de Castilla, C. 2013. Libro de texto del curso de Métodos Estadísticos para la Investigación I. Departamento de Estadística e Informática de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 4 ed. Lima, Perú.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Repo-Carrasco, R.; Hellström, J.B.; Pihlava, J.; Mattila, P. 2010. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry* 120: 128–133.



- Repo-Carrasco, R.; Pilco, J.; Encina, C. 2011. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.) Ingeniería Industrial n° 29, ISSN 1025-9929. 207-224
- Reyes, E.; Ávila, D.; Guevara, J. 2006. Componente nutricional de diferentes variedades de quinua de la región andina (en línea). Consultado 17 de mzo. 2014. Disponible en: [http://www.unilivre.edu.co/revistaavances/avances-5/r5\\_art10.pdf](http://www.unilivre.edu.co/revistaavances/avances-5/r5_art10.pdf)
- Rossen, J.; Miller, R. 1993. Tecnología de extrusión. *Food technology*. 27 (8): 46-51
- Ruales, J.; Nair, B. 1992. Effect of processing on the digestibility of protein and availability of starch in quinua (*Chenopodium quinoa* willd) seeds. Quito, Ecuador, University of Lund. 23 p.
- Salazar, M. 2013. Formulación de un suplemento alimenticio infantil, a base de maíz (*Zea mays* L.), tarwi (*Lupinus mutabilis* S.) y quinua (*Chenopodium quinoa* W.) por el proceso de extrusión. Tesis Ing. Huancavelica, Perú, UNH.
- Sunguya, B.; Poudel, K.; Mlunde, L.; Otsuka, K.; Yasuoka, J.; Urassa, D.; Mkopi, N.; Jimba, M. 2012. Ready to Use Therapeutic Foods (RUTF) improves undernutrition among ART-treated, HIV-positive children in Dar es Salaam, Tanzania. *Nutrition Journal* 11: 60.
- Tacora, R.; Luna, Y.; Bravo, R.; Mayta, J.; Choque, M.; Ibañez, V. 2010. Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *CienciAgro* 2 (1): 188-198.

- Valls, A. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja - efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes (en línea). Consultada el 10 de abr. 2014. Disponible en [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/ExtrusiporcientoC3por cientoB3n\\_y\\_su\\_efecto.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/ExtrusiporcientoC3por cientoB3n_y_su_efecto.pdf)
- Verna, M.; Corradi, M.; Fantoni, S.; Proietti, Y.; Savina, S.; Del Rio, D.; Viridis, R.; Vanelli, M. 2012. Parma Pap Project: Un alimento terapéutico listo para usar para niños con desnutrición moderada en Sierra Leona. *Arch Dis Child*. 97 (Suppl 2): A1–A539.
- Vílchez, L.; Guevara, A.; Encina, C. 2012. Influence of particle size, moisture and temperature on gelatinization degree during the extrusion of maca (*Lepidium meyenii* Walp) *Rev. Soc. Quím*. 78 (2) 126-137.
- Wang, S.; Chiang, C.; Zheng, X.; Zhao, B.; Cho, M.H.; Yeh, A. 1992. Application of an energy equivalent concept to study the kinetics of starch conversion during extrusion. *Food Extrus. Sci. Technol*. 165-176.

## VIII. VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Formato de evaluación sensorial

NOMBRES Y APELLIDOS:.....	FECHA:...../...../.....
	HORA:.....

Señala con un aspa (X) la carita que más representa lo que te pareció del snack de quinua con maíz morado.



odio  
1



no me gustó  
2



indiferente  
3



me gustó  
4



me encanto  
5

**Que es lo que más te gustó del producto:**

---

**Que es lo que menos te gustó del producto**

---

**¡Muchas gracias por su participación!**

**Anexo 2: Cuestionario de evaluación sensorial**

Nombres y apellidos.....	Fecha: .....
	Edad:.....

**Por favor, marque con aspa (X) todo aquello que considere que aplica a la muestra que acaba de degustar:**

**color :**

color claro	
color oscuro	

**olor:**

olor fresco	
sin olor	
olor viejo/rancio	
olor a quemado	
olor a tostado	

**sabor:**

sin sabor-insípido	
sabor cocido	
sabor a crudo	
sabor a dulce	
sabor a salado	
sabor amargo	
sabor a quemado	
sabor fresco	

**textura:**

crocante	
duro	
húmedo	
suave	
fibroso	
pegajoso	
grasoso	
áspero	

**¿Cómo te gustaría consumirlo? Marque con un aspa (X)**

bañado con azúcar		sabor a queso	
bañado con chocolate		sabor a fresa	
bañado con miel		acompañado con yogurt	
salado		otros.....	

**¿Si este producto se distribuirá de manera gratuita en el colegio, con qué frecuencia los consumirías?**

nunca	casi nunca	de vez en cuando	casi siempre	siempre

**¡Muchas gracias por su participación!**

### Anexo 3: Análisis estadístico del diámetro de los extruidos de quinua y maíz morado

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro (mm)	69	0.71	0.69	7.81

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	94.36	3	31.45	52.45	<0.0001
Tratamientos	94.36	3	31.45	52.45	<0.0001
Error	38.98	65	0.60		
Total	133.34	68			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.70450

Error: 0.5997 gl: 65

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Extruido quinua:maiz (50:50)	8.05	15	0.20	A
Extruido quinua:maiz (70:30)	9.67	14	0.21	B
Extruido quinua:maiz (90:10)	10.07	20	0.17	B
Extruido quinua:maiz (100:00)	11.34	20	0.17	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Anexo 4: Análisis estadístico del índice de expansión de los extruidos de quinua y maíz morado

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
IE (mm/mm)	Ext. quinua maiz (100:00)	20	1.42	0.14	1.41	52.80	<0.0001
IE (mm/mm)	Ext. quinua maiz (50:50)	20	0.75	0.45	0.96		
IE (mm/mm)	Ext. quinua maiz (70:30)	20	0.8	0.57	1.15		
IE (mm/mm)	Ext. quinua maiz (90:10)	20	1.26	0.06	1.26		

Trat.	Ranks	
Extruido quinua:maiz (50:50)	16.05	A
Extruido quinua:maiz (70:30)	30.53	B
Extruido quinua:maiz (90:10)	49.48	C
Extruido quinua:maiz (100:00)	65.95	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 5: Análisis estadístico del índice de absorción de agua de los extruidos de quinua y maíz morado

### Análisis de la varianza

#### WAI (%)

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
WAI (g/g)	12	0.87	0.82	2.76

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.65	3	0.22	17.60	0.0007
Tratamientos	0.65	3	0.22	17.60	0.0007
Error	0.10	8	0.01		
Total	0.75	11			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29022

Error: 0.0123 gl: 8

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Extruido quinua:maiz (50:50)	3.72	3	0.06 A
Extruido quinua:maiz (70:30)	3.97	3	0.06 A
Extruido quinua:maiz (100:00)	4.00	3	0.06 A
Extruido quinua:maiz (90:10)	4.37	3	0.06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 6: Análisis estadístico del índice solubilidad en agua de los extruidos de quinua y maíz morado

#### WSI (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
WSI (%) <sup>1</sup>	9	0.99	0.99	6.83

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2544.34	3	848.11	275.11	<0.0001
Tratamientos	2544.34	3	848.11	275.11	<0.0001
Error	15.41	5	3.08		
Total	2559.75	8			

### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.20292

Error: 3.0828 gl: 5

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Extruido quinua:maiz (50:50)	10.67	2	1.24 A
Extruido quinua:maiz (70:30)	11.42	2	1.24 A
Extruido quinua:maiz (90:10)	20.17	2	1.24 B
Extruido quinua:maiz (100:00)	48.96	3	1.01 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 7: Análisis estadístico del contenido químico proximal

### Humedad (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Humedad (%)	12	1.00	1.00	1.31

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	39.35	5	7.87	791.05	<0.0001
Tratamientos	39.35	5	7.87	791.05	<0.0001
Error	0.06	6	0.01		
Total	39.41	11			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.39699

Error: 0.0099 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
Extruido (90:10)	5.97	2	0.07	A			
Extruido (70:30)	6.01	2	0.07	A	B		
Extruido (50:50)	6.40	2	0.07		B		
Extruido (100:00)	7.04	2	0.07			C	
Quinoa	9.70	2	0.07				D
Maíz morado	10.49	2	0.07				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Ceniza (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ceniza (%)	12	0.97	0.94	2.63

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.75	5	0.15	36.50	0.0002
Tratamientos	0.75	5	0.15	36.50	0.0002
Error	0.02	6	4.1E-03		
Total	0.78	11			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25561

Error: 0.0041 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
Maíz morado	1.92	2	0.05	A			
Extruido (50:50)	2.43	2	0.05		B		
Extruido (70:30)	2.45	2	0.05		B	C	
Extruido (100:00)	2.52	2	0.05			B	C
Extruido (90:10)	2.63	2	0.05		B	C	
Quinoa	2.70	2	0.05			C	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Lípidos (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Lípidos (%)	12	0.99	0.99	3.29

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.71	5	2.34	193.49	<0.0001
Tratamientos	11.71	5	2.34	193.49	<0.0001
Error	0.07	6	0.01		
Total	11.79	11			

«continuación»

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43793**

Error: 0.0121 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Extruido (50:50)	2.44	2	0.08	A
Extruido (70:30)	2.56	2	0.08	A
Extruido (100:00)	2.75	2	0.08	A
Extruido (90:10)	2.85	2	0.08	A
Quinoa	4.72	2	0.08	B
Maíz morado	4.74	2	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Fibra cruda (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fibra cruda (%)	12	0.89	0.80	2.91

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.20	5	0.04	9.75	0.0076
Tratamientos	0.20	5	0.04	9.75	0.0076
Error	0.02	6	4.0E-03		
Total	0.22	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.25302**

Error: 0.0040 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Maíz morado	1.92	2	0.04	A
Extruido (90:10)	2.19	2	0.04	B
Extruido (100:00)	2.20	2	0.04	B
Extruido (50:50)	2.27	2	0.04	B
Quinoa	2.28	2	0.04	B
Extruido (70:30)	2.29	2	0.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Proteína (%)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Proteína (%)	12	1.00	1.00	0.21

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	146.06	5	29.21	24860.59	<0.0001
Tratamientos	146.06	5	29.21	24860.59	<0.0001
Error	0.01	6	1.2E-03		
Total	146.06	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.13642**

Error: 0.0012 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Maíz morado	9.66	2	0.02	A
Extruido (50:50)	15.17	2	0.02	B
Extruido (70:30)	16.61	2	0.02	C
Extruido (90:10)	18.99	2	0.02	D
Quinoa	19.14	2	0.02	E
Extruido (100:00)	19.86	2	0.02	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



«continuación»

**Carbohidratos (%)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Carbohidratos (%)	12	1.00	1.00	0.11

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	135.85	5	27.17	3520.84	<0.0001
Tratamientos	135.85	5	27.17	3520.84	<0.0001
Error	0.05	6	0.01		
Total	135.89	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.34961**

Error: 0.0077 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
Quinua	73.45	2	0.06	A			
Extruido (100:00)	75.21	2	0.06		B		
Extruido (90:10)	75.98	2	0.06			C	
Extruido (70:30)	78.67	2	0.06				D
Extruido (50:50)	80.09	2	0.06				E
Maíz morado	83.55	2	0.06				F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Energía (kcal/100 g)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Energía (kcal/100 g)	12	0.97	0.95	0.18

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	91.48	5	18.30	42.03	0.0001
Tratamientos	91.48	5	18.30	42.03	0.0001
Error	2.61	6	0.44		
Total	94.10	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.62597**

Error: 0.4354 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
Maíz morado	372.37	2	0.47	A			
Quinua	372.76	2	0.47	A	B		
Extruido (100:00)	375.26	2	0.47			B	C
Extruido (50:50)	376.73	2	0.47			C	D
Extruido (70:30)	378.78	2	0.47				D
Extruido (90:10)	379.65	2	0.47				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 8: Análisis estadístico del contenido de minerales

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P	12	0.98	0.96	2.42

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	27787.52	5	5557.50	53.26	0.0001
Tratamientos	27787.52	5	5557.50	53.26	0.0001
Error	626.14	6	104.36		
Total	28413.66	11			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=40.65604

Error: 104.3560 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Maiz morado	321.44	2	7.22	A	
Extruido (50:50)	408.30	2	7.22		B
Extruido (70:30)	432.77	2	7.22		B C
Extruido (100)	453.53	2	7.22		C
Quinoa	454.18	2	7.22		C
Extruido (90:10)	460.06	2	7.22		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Análisis de la varianza

#### K

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K	12	0.81	0.64	6.49

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	32210.54	5	6442.11	4.97	0.0382
Tratamientos	32210.54	5	6442.11	4.97	0.0382
Error	7778.97	6	1296.49		
Total	39989.50	11			

#### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=143.30181

Error: 1296.4944 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Maiz morado	477.58	2	25.46	A	
Extruido (50:50)	504.84	2	25.46	A	B
Extruido (70:30)	550.59	2	25.46	A	B
Extruido (90:10)	564.97	2	25.46	A	B
Extruido (100:00)	610.47	2	25.46	A	B
Quinoa	621.33	2	25.46		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Ca

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ca	12	0.99	0.99	4.27

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7926.22	5	1585.24	221.89	<0.0001
Tratamientos	7926.22	5	1585.24	221.89	<0.0001

«continuación»

Error	42.86	6	7.14
Total	7969.09	11	

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=10.63756**

Error: 7.1442 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Maiz morado	12.85	2	1.89	A		
Extruido (50:50)	50.09	2	1.89		B	
Extruido (70:30)	61.98	2	1.89			C
Extruido (90:10)	79.63	2	1.89			D
Quinoa	83.72	2	1.89			D
Extruido (100:00)	87.00	2	1.89			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Mg**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Mg	12	0.97	0.94	3.15

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4638.64	5	927.73	34.59	0.0002
Tratamientos	4638.64	5	927.73	34.59	0.0002
Error	160.91	6	26.82		
Total	4799.55	11			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=20.60998**

Error: 26.8178 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Maiz morado	124.28	2	3.66	A		
Extruido (50:50)	160.27	2	3.66		B	
Extruido (70:30)	163.58	2	3.66		B	
Extruido (90:10)	175.47	2	3.66		B	C
Quinoa	177.70	2	3.66		B	C
Extruido (100:00)	184.22	2	3.66			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Na**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Na	12	0.75	0.55	8.58

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	147.93	5	29.59	3.66	0.0727
Tratamientos	147.93	5	29.59	3.66	0.0727
Error	48.50	6	8.08		
Total	196.43	11			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.31494**

Error: 8.0830 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Maiz morado	26.25	2	2.01	A
Extruido (100:00)	31.87	2	2.01	A
Extruido (90:10)	33.23	2	2.01	A
Extruido (70:30)	34.85	2	2.01	A
Extruido (50:50)	35.39	2	2.01	A
Quinoa	37.25	2	2.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

«continuación»

**Zn**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zn	12	0.80	0.63	20.09

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	31.36	5	6.27	4.74	0.0422
Tratamientos	31.36	5	6.27	4.74	0.0422
Error	7.93	6	1.32		
Total	39.29	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.57617**

Error: 1.3221 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Maiz morado	2.56	2	0.81	A
Extruido (50:50)	4.68	2	0.81	A
Extruido (90:10)	6.54	2	0.81	A
Extruido (70:30)	6.73	2	0.81	A
Extruido (100:00)	6.85	2	0.81	A
Quinoa	6.99	2	0.81	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Cu**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cu	12	0.97	0.95	5.99

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.41	5	0.08	39.08	0.0002
Tratamientos	0.41	5	0.08	39.08	0.0002
Error	0.01	6	2.1E-03		
Total	0.42	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.18165**

Error: 0.0021 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
Maiz morado	0.42	2	0.03	A			
Extruido (50:50)	0.66	2	0.03		B		
Extruido (70:30)	0.74	2	0.03		B	C	
Extruido (90:10)	0.89	2	0.03			C	D
Extruido (100:00)	0.93	2	0.03				D
Quinoa	0.94	2	0.03				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Mn**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Mn	12	1.00	0.99	2.27

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.32	5	0.26	323.39	<0.0001
Tratamientos	1.32	5	0.26	323.39	<0.0001
Error	4.9E-03	6	8.2E-04		
Total	1.33	11			

«continuación»

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.11373**

Error: 0.0008 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Maíz morado	0.64	2	0.02	A		
Extruido (50:50)	1.07	2	0.02		B	
Extruido (70:30)	1.23	2	0.02			C
Extruido (90:10)	1.53	2	0.02			D
Quinoa	1.54	2	0.02			D
Extruido (100:00)	1.56	2	0.02			D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Fe**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Fe	12	0.99	0.98	4.49

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20.87	5	4.17	106.84	<0.0001
Tratamientos	20.87	5	4.17	106.84	<0.0001
Error	0.23	6	0.04		
Total	21.10	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.78663**

Error: 0.0391 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Maíz morado	2.05	2	0.14	A		
Extruido (50:50)	4.04	2	0.14		B	
Quinoa	4.05	2	0.14		B	
Extruido (70:30)	4.51	2	0.14		B	
Extruido (90:10)	5.65	2	0.14			C
Extruido (100:00)	6.16	2	0.14			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 9: Análisis estadístico del contenido de compuestos bioactivos

### Fenoles totales

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Fenólicos totales	Extruido (100:00)	4	142.03	3.94	141.36	20.070	0.0012
Fenólicos totales	Extruido (50 50)	4	247.12	30.19	260.10		
Fenólicos totales	Extruido (70 30)	3	199.72	9.50	203.82		
Fenólicos totales	Extruido (90 10)	4	170.24	3.29	171.49		
Fenólicos totales	Maíz morado	4	245.86	8.39	246.30		
Fenólicos totales	Quinua	4	149.12	4.74	148.98		

Trat.	Ranks
Extruido (100:00)	3.00 A
Quinua	6.00 A B
Extruido (90:10)	10.50 A B C
Extruido (70:30)	14.67 B C D
Maíz morado	18.50 C D
Extruido (50:50)	20.00 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Flavonoides

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Flavonoides	Extruido (100:00)	4	58.83	1.12	58.27	20.55	0.0009
Flavonoides	Extruido (50:50)	4	237.44	45.99	260.43		
Flavonoides	Extruido (70:30)	3	175.12	3.84	172.90		
Flavonoides	Extruido (90:10)	4	93.61	2.12	94.16		
Flavonoides	Maíz morado	4	310.70	15.96	315.36		
Flavonoides	Quinua	4	92.28	0.00	92.28		

Trat.	Ranks
Extruido (100:00)	2.50 A
Quinua	7.50 A B
Extruido (90:10)	9.50 A B
Extruido (70:30)	15.00 B C
Extruido (50:50)	16.75 B C
Maíz morado	21.50 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### DPPH

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
DPPH	Extruido (100:00)	4	908.40	35.99	914.2	21.11	0.0008
DPPH	Extruido (50 50)	4	1914.98	225.29	2005.03		
DPPH	Extruido (70 30)	3	1510.02	58.46	1489.98		
DPPH	Extruido (90 10)	4	1119.53	32.40	1115.02		
DPPH	Maíz morado	4	1154.16	12.07	1159.80		
DPPH	Quinua	4	548.36	11.21	543.66		

Trat.	Ranks
Quinua	2.50 A
Extruido (100:00)	6.50 A B
Extruido (90:10)	11.00 A B C
Maíz morado	14.00 B C D
Extruido (70:30)	18.00 C D
Extruido (50:50)	21.50 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

«continuación»

**ABTS**

Variable Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
ABTS Extruido (100:00)	4	1597.63	64.55	1586.58	20.95	0.0008
ABTS Extruido (50:50)	4	3109.21	412.50	3303.32		
ABTS Extruido (70:30)	3	2429.40	87.85	2461.18		
ABTS Extruido (90:10)	4	2013.27	47.90	2028.17		
ABTS Maíz morado	4	3356.90	46.96	3356.90		
ABTS Quinua	4	865.00	1.69	864.56		

Trat.	Ranks
Quinua	2.50 A
Extruido (100:00)	6.50 A B
Extruido (90:10)	10.50 A B C
Extruido (70:30)	14.33 B C D
Extruido (50:50)	17.75 C D
Maíz morado	21.00 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Anexo 10: Análisis estadístico de la prueba de grado de satisfacción**

**Prueba de Friedman**

quinua:maíz (100:00)	quinua:maíz (90:10)	quinua:maíz (50:50)	quinua:maíz (70:30)	T <sup>2</sup>	p
2.49	2.35	2.78	2.38	1.52	0.2122

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 22.244

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
quinua:maíz (90:10)	117.50	2.35	50 A
quinua:maíz (70:30)	119.00	2.38	50 A
quinua:maíz (100:00)	124.50	2.49	50 A
quinua:maíz (50:50)	139.00	2.78	50 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.050$ )

## Anexo 11: Galería fotográfica del proceso de extrusión





## Anexo 12: Galería fotográfica de la evaluación sensorial

