

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA DE ALIMENTOS



**“OBTENCIÓN DE UNA MEZCLA ALIMENTICIA A PARTIR DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amaranthus caudatus*)
EXTRUIDAS, Y TARWI (*Lupinus mutabilis*)”**

Presentada por:

JAIME EDUARDO BASILIO ATENCIO

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR

***DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN CIENCIA DE ALIMENTOS**

Lima – Perú

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA DE ALIMENTOS

**“OBTENCIÓN DE UNA MEZCLA ALIMENTICIA A PARTIR DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amaranthus caudatus*)
EXTRUIDAS, Y TARWI (*Lupinus mutabilis*)”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR

Doctoris Philosophiae

Presentada por:

JAIME EDUARDO BASILIO ATENCIO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Carmen Velezmoro Sánchez
PRESIDENTE

Dra. Ritva Repo de Carrasco
ASESORA

Dr. Luis Condezo Hoyos
CO-ASESOR

Dr. Milber Ureña Peralta
MIEMBRO

Ph.D. Fernando Vargas Delgado
MIEMBRO

Ph.D. Fulgencio Vilcanqui Pérez
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A Dios por cuidar de mí y mis seres queridos.

A mis padres Ignacio y Gilberta, a mis hijos Gianina y Gianfranco.

AGRADECIMIENTO

- Al programa Doctoral de Ciencia de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Al Ministerio de Educación del Perú (MINEDU), Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FONDECYT), por la beca para mis estudios doctorales (CONV-000179-2015-FONDECYT-DE).
- Al proyecto PROTEIN2FOOD (Horizonte 2020 de la Unión Europea, N°635727) por el apoyo a la investigación.
- A mi asesora Dra. Ritva Repo de Carrasco, y mi co-asesor Dr. Luis Condezo Hoyos, por compartir sus conocimientos y aportes para el presente trabajo.
- A la plana docente del doctorado por compartir con nosotros sus experiencias durante nuestra formación académica.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. GENERALIDADES DE QUINUA PASANKALLA, KIWICHA CENTENARIO Y TARWI YUNGUYO	3
2.1.1. Quinoa.....	3
2.1.2. Kiwicha.....	4
2.1.3. Tarwi.....	4
2.2. PROPIEDADES NUTRICIONALES DE QUINUA PASANKALLA, KIWICHA CENTENARIO Y TARWI YUNGUYO.....	4
2.3. EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS	6
2.3.1. Extrusión en frío	7
2.3.2. Extrusión en caliente.....	8
2.3.3. Extrusoras de un solo tornillo	8
2.3.4. Extrusoras de doble tornillo	10
2.3.5. Efecto de la composición del alimento durante la extrusión	11
2.3.6. Efecto de los parámetros de extrusión en las propiedades de los extruidos	14
2.4. ALGUNAS APLICACIONES DE LA EXTRUSIÓN	19
2.4.1. Snacks	19
2.4.2. Cereales para el desayuno	19
2.4.3. Proteína vegetal texturizada (PVT).....	19
2.4.4. Alimentos para infantes	20
2.5. MEZCLAS PARA MEJORAR LA CALIDAD PROTEICA.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	22
3.2. MATERIA PRIMA.....	22
3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	22
3.3.1. Materiales.....	22

3.3.2. Equipos	22
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	23
3.4.1. Análisis químico proximal.....	23
3.4.2. Humedad y actividad de agua.....	23
3.4.3. Índice de expansión seccional.....	23
3.4.4. Densidad aparente.....	23
3.4.5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad al agua	23
3.4.6. Color	24
3.4.7. Textura de extruidos	24
3.4.8. Grado de gelatinización	24
3.4.9. Propiedades térmicas	25
3.4.10. Propiedades de formación de pasta.....	25
3.4.11. Capacidad antioxidante.....	25
3.4.12. Fenólicos totales	25
3.4.13. Digestibilidad de proteína.....	26
3.4.14 Score de aminoácidos y score de aminoácidos corregido.....	26
3.4.15. Evaluación sensorial de las mezclas	26
3.4.16. Determinación de las propiedades texturales de las mezclas.....	27
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	27
3.5.1. Caracterización de la quinua, kiwicha y tarwi.....	27
3.5.2. Determinación de propiedades térmicas y de formación de pasta de las harinas de kiwicha.....	28
3.5.3. Evaluación y optimización de la extrusión de quinua y kiwicha.....	28
3.5.4 Obtención de harina de tarwi	29
3.5.5. Mezclado de harina de tarwi con harina de extruidos de quinua y kiwicha maximizando la calidad proteica	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE QUINUA, KIWICHA Y TARWI.....	31
4.2. EFECTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRUSIÓN DE KIWICHA	32
4.2.1. Actividad de agua y humedad de los extruidos de kiwicha.....	32
4.2.2. Índice de expansión seccional y densidad aparente de extruidos de kiwicha.....	35
4.2.3. Índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua de extruidos de kiwicha.....	37
4.2.4. Color de los extruidos de kiwicha.....	38

4.2.5. Propiedades de formación de pasta.....	41
4.2.6. Termogramas de extruidos de kiwicha	45
4.2.7. Textura de extruidos de kiwicha	47
4.2.8. Grado de gelatinización de extruidos de kiwicha	47
4.2.9. Capacidad antioxidante y fenólicos totales de extruidos de kiwicha.....	48
4.2.10. Optimización de la extrusión de kiwicha.....	51
4.3. EFECTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRUSIÓN DE QUINUA PASANKALLA	53
4.3.1. Actividad de agua y humedad de los extruidos de quinua.....	53
4.3.2. Índice expansión seccional y densidad aparente de extruidos de quinua	56
4.3.3. Índice de solubilidad y absorción de agua de los extruidos de quinua	57
4.3.4. Color de los extruidos de quinua	58
4.3.5. Textura de extruidos de quinua.....	61
4.3.6. Grado de gelatinización de los extruidos de quinua	61
4.3.7. Capacidad antioxidante y fenólicos totales de los extruidos de quinua.....	62
4.3.8. Optimización de la extrusión de quinua pasankalla.....	66
4.4. MEZCLAS DE HARINA DE TARWI CON HARINA DE EXTRUIDOS DE QUINUA Y KIWICHA	67
4.4.1. Determinación de las propiedades texturales de las mezclas.....	67
4.4.2. Maximización de la calidad proteica de las mezclas	73
a. Composición de los componentes de la mezcla.....	73
b. Maximización de las mezclas	74
V. CONCLUSIONES	78
VI. RECOMENDACIONES	80
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
VIII. ANEXOS	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición de semillas andinas y cereales.	5
Tabla 2.	Composición de aminoácidos esenciales en quinua, kañiwa, kiwicha y tarwi.....	6
Tabla 3.	Necesidades de aminoácidos esenciales para los diferentes grupos.	21
Tabla 4.	Composición físico química y digestibilidad de proteína de la harina de kiwicha centenario, quinua pasankalla y tarwi yunguyo.	31
Tabla 5.	Propiedades físicas de la harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son la media±DS	34
Tabla 6.	Color, parámetros de textura y grado de gelatinización de harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son media ±DS	40
Tabla 7.	Propiedades de pasta de harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son media±DS	42
Tabla 8.	Propiedades químicas de la harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son la media±DS (n=3)	49
Tabla 9.	Propiedades físicas de la harina de quinua pasankalla sin extruir y extruido. Los valores son la media±DS	55
Tabla 10.	Color, parámetros de textura y grado de gelatinización de harina de quinua sin extruir y extruido. Los valores son media ±DS	60
Tabla 11.	Propiedades químicas de harina de quinua extruida y sin extruir. Los valores son media ±DS	63
Tabla 12.	Propiedades texturales de las mazamoras elaboradas con las mezclas de harinas de tarwi y harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario.	69
Tabla 13.	Modelos matemáticos predictivos que indican el efecto de cada componente de la mezcla, sobre los parámetros texturales de las mazamoras formadas.	72

Tabla 14. Contenido de proteína, digestibilidad y aminoácidos esenciales de la harina de tarwi yunyuyo, y harinas extruidas de quinua pasankalla y kiwicha centenario. 74

Tabla 15. Contenido de proteína, score aminoácidos corregido y puntaje sensorial de las mezclas de harinas de tarwi y harina de extruidos de quinua pasankalla y kiwicha centenario. 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secciones dentro del cilindro de un extrusor de un solo tornillo	9
Figura 2. Configuración de tornillos en extrusor de doble tornillo (A), rotación de tornillos en un extrusor de doble tornillo (B).	10
Figura 3. Expansión del extruido a la salida de un extrusor, muestra el crecimiento de la burbuja y estabilización de la espuma.	13
Figura 4. Influencia de las propiedades de la materia prima y las condiciones de la cocción por extrusión en la calidad del extruido.	16
Figura 5. Flujo de operaciones para la extrusión de quinua y kiwicha	28
Figura 6. Extruidos de kiwicha, fotos extruidos enteros (A), fotos corte transversal (B)	33
Figura 7. Curvas de viscosidad de formación de pasta de la harina no extruida y extruida a 160°C (A), extruida a 175°C (B), extruida a 190°C (C) con niveles de humedad de 14%, 16% y 18%. Los valores son medias de dos réplicas, en todos los casos se tiene CV<5%.	43
Figura 8. Termogramas por DSC de harina de kiwicha no extruido y extruido a 160°C (A), extruido a 175°C (B), extruido a (190°C) a niveles de humedad 14%, 16% y 18%. Los valores son medias de dos replicas, en todos los casos el CV<5%.	46
Figura 9. Superficie de respuesta y contornos del efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en los extruidos de kiwicha centenario, índice solubilidad al agua (A), índice de absorción de agua (B), capacidad antioxidante medido por DPPH (C), Fenólicos totales (T). Región de contornos para optimizar la humedad inicial y la temperatura de extrusión (F).	52
Figura 10. Extruidos de quinua pasankalla, fotos extruidos enteros (A), fotos corte transversal (B)	54
Figura 11. Superficie de respuesta y contornos del efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en los extruidos de quinua pasankalla, índice solubilidad al agua (A), índice de absorción de agua (B), capacidad antioxidante medido por DPPH (C), Fenólicos totales (T). Región de contornos para optimizar la humedad inicial y la temperatura de extrusión (F).	65

- Figura 12.** Curva tiempo-fuerza de la prueba *Back extrusion*, de la mazamorra obtenida de la mezcla de harinas extruidas, 80% de quinua y 20% de kiwicha. 68
- Figura 13.** Superficie de respuesta de los efectos de las proporciones de las mezclas de harina de tarwi y harinas extruidas de quinua y kiwicha, sobre la firmeza (gf) (A), consistencia (gf.s) (B), cohesividad (gf) (C) e índice de viscosidad (gf.s) (D) de las mazamoras formadas. 72
- Figura 14.** Superficie de respuesta del contenido de proteína (A), score de aminoácidos (B), puntaje sensorial de apreciación general (C) y optimización maximizando el score de aminoácidos y puntaje sensorial con un contenido de proteína en el rango de 16 a 20% (D) 76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusion en las características físicas de los extruidos de kiwicha centenario.....	89
ANEXO 2. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusion en las características químicas de los extruidos de kiwicha centenario.....	92
ANEXO 3. Parámetros de color de extruidos de kiwicha después de moler y harina de kiwicha sin extruir.....	93
ANEXO 4. Parámetros de color de extruidos de quinua después de moler y harina de quinua sin extruir.....	94
ANEXO 5. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusion en las características físicas de los extruidos de quinua pasankalla.....	94
ANEXO 6. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusion en las características químicas de los extruidos de quinua pasankalla.....	98
ANEXO 7. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta con diseño de mezclas D-Optimal, para el efecto de las mezclas de harina de tarwi con harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario en los parametros de textura medido por <i>Back extrusion</i>	99
ANEXO 8. Analisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta con diseño de mezclas D-Optimal, para el efecto de las mezclas de harina de tarwi con harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario en la maximizacion del puntaje sensorial, score aminocidico y contenido de proteina.....	100

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar la extrusión de harina de quinua pasankalla y kiwicha centenario, y mezclar con harina de tarwi yunguyo para obtener una mezcla proteica instantánea para preparar mazamorra para niños. El estudio de la extrusión se realizó por la metodología de superficie de respuesta (MSR), maximizando el índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), grado de gelatinización (GG), capacidad antioxidante por DPPH (CA-DPPH) y contenido de fenólicos totales (FT). Los parámetros estudiados fueron la humedad inicial (14-18%) y temperatura de extrusión (160-190°C) y se realizó la evaluación física y química de los extruidos. El estudio del mezclado se realizó por MSR con diseño de mezclas, maximizando el score de aminoácidos, contenido de proteína y puntaje sensorial. Los mejores parámetros para la extrusión de kiwicha fueron 14% de humedad inicial y 190°C de temperatura de extrusión, con una deseabilidad de 0.85 obteniendo 61.5% de ISA, 5 g/g de IAA, 101 µmol trolox/g de CA-DPPH y 34.5 mg AGE/100 g de FT y 100% de GG. Los mejores parámetros para la extrusión de quinua fueron 14% de humedad inicial y 190°C de temperatura de extrusión, con una deseabilidad de 0.86 obteniendo 26.4% ISA, 8.1 g/g de IAA, 421.7 µmol trolox/g de CA-DPPH y 140.2 mg AGE/100 g de FT y 92% de GG. La mejor mezcla fue de 37.5% de harina extruida de quinua, 59.20% de harina extruida de kiwicha centenario y 3.3% de harina de tarwi yunguyo, con una deseabilidad de 0.96 obteniendo 0.89 de score de aminoácidos, 16% de proteína y 7 de puntaje sensorial. El proceso de extrusión mejoró las características de las harinas para obtener un producto instantáneo, y el mezclado de estas harinas incrementó el contenido de proteína y el score de aminoácidos, obteniéndose de esta manera una mezcla proteica para preparar mazamorra para niños.

Palabras clave: Metodología de superficie de respuesta, score de aminoácidos, digestibilidad de proteína, mazamorra, capacidad antioxidante, fenólicos, gelatinización.

ABSTRACT

The aim of the research was to perform the extrusion of pasankalla quinoa and centenario kiwicha flour, and mix with yunguyo tarwi flour, to obtain an instant protein mixture to prepare children porridge. The extrusion study was carried out by the response surface methodology (RSM) maximizing the water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), gelatinization degree (GD), antioxidant capacity by DPPH (AC-DPPH) and total phenolic (TP). The parameters studied were the initial moisture (14-18%) and extrusion temperature (160-190°C) and the physical and chemical evaluation of the extrudates was performed. The mixing study was performed by MSR with mixture design, maximizing the amino acid score, protein content and sensory evaluation. The best parameters for the extrusion of kiwicha were 14% of initial moisture and 190°C of extrusion temperature, with a desirability of 0.85 obtaining 61.5% of WSI, 5 g/g of WAI, 101 µmol trolox/g of CA-DPPH and 34.5 mg GAE/100 g of PT and 100% GD. The best parameters for quinoa extrusion were 14% initial moisture and 190 °C of extrusion temperature, with a desirability of 0.86 obtaining 26.41% WSI, 8.1 g/g WAI, 421.7 mol trolox/g CA-DPPH and 140.2 mg GAE/100 g of PT and 92% GD. The best mix was 37.48% of extruded quinoa pasankalla flour, 59.20% of extruded centenary kiwicha flour and 3.33% of yunguyo tarwi flour, the desirability was 0.96 obtaining in the optimal mixture 0.89 amino acid score, 16% protein and 7 score sensory. The extrusion process improved the characteristics of the flours to obtain an instant product, and the mixing of these flours increased the protein content and the amino acid score, thus obtaining a protein mixture to prepare children porridge.

Keywords: Response surface methodology, amino acid score, protein digestibility, porridge, antioxidant capacity, phenolic, gelatinization.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua pasankalla roja y la kiwicha centenario, son granos andinos importantes por su contenido proteico y el balance de aminoácidos similar a la caseína que estas proteínas contienen, poseen un alto contenido de lisina, siendo un aminoácido limitante entre los cereales, adicionalmente tienen compuestos bioactivos, fibra dietaria y son libres de gluten. El tarwi tiene alto contenido de proteína mayor que la quinua y kiwicha y el balance de sus aminoácidos es superior al de muchas leguminosas, pero inferior al balance de aminoácidos de la quinua y kiwicha. De esta manera la combinación de estos granos se complementan en aminoácidos y nos permite obtener alimentos que pueden reemplazar a la proteína animal para la alimentación de niños, así como también obtener alimentos saludables libres de gluten.

El proceso de extrusión es una tecnología que tiene muchas ventajas con respecto a otros procesos, causa importantes cambios como la gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína, cambios en la fibra dietaria y eliminación de antinutrientes; de esta manera, permite mejorar las características del producto obtenido como la solubilidad en agua, la absorción de agua y la digestibilidad del almidón y proteínas. Adicionalmente, al ser un proceso a alta temperatura por corto tiempo, se evita el deterioro de los nutrientes y se obtiene un producto libre de microorganismos.

En la literatura existen trabajos de investigación sobre extrusión de quinua y kiwicha; sin embargo, estas investigaciones fueron realizadas después de separar la grasa o en mezclas con otros cereales. Considerando que la composición de la materia prima influye en la extrusión, y la composición varía con la variedad de estos granos (Kowalski *et al.* 2016), sigue faltando información sobre el efecto de la extrusión en las características de los extruidos de harina entera de quinua y kiwicha para las variedades utilizadas.

Los objetivos específicos de la investigación fueron:

- Evaluar el efecto de la humedad inicial y la temperatura de extrusión en las características físicas y químicas de los extruidos de quinua pasankalla y kiwicha centenario.
- Optimizar el proceso de extrusión de quinua pasankalla y kiwicha centenario en función del índice de solubilidad al agua, índice de absorción de agua, capacidad antioxidante, fenólicos totales y grado de gelatinización.
- Evaluar la textura, la cantidad y calidad de proteína de las mezclas de la harina de tarwi con harinas extruidas de quinua y kiwicha.
- Maximizar el contenido de proteína y el score de aminoácidos de las mezclas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DE QUINUA PASANKALLA, KIWICHA CENTENARIO Y TARWI YUNGUYO

El término "cultivos andinos" se conoce en general a los cereales, las leguminosas y pseudocereales cultivados en los Andes y son considerados como alimento básico. Debido a su alta calidad nutricional, el cultivo de granos andinos ha aumentado no sólo en las regiones andinas de Ecuador y Bolivia, sino también en otras partes del mundo como Australia, Nueva Zelanda y Finlandia (Jacobsen 2011).

Las semillas de quinua, kiwicha (conocido también como amaranto) y kañiwa se pueden moler para obtener harina, y se pueden utilizar directamente en forma similar a los cereales, ya sea como una adición directa para aperitivos extruidos o como un ingrediente en mezclas de alimentos para niños. La quinua, kañiwa y la kiwicha no están agrupados bajo la misma familia que los cereales (gramíneas); sin embargo debido a que estas semillas se utilizan para aplicaciones similares a los cereales se les denominan pseudocereales (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010a).

2.1.1. Quinua

La quinua en Sudamérica posee una gran variedad genética el cual le permite adaptarse y crecer bajo condiciones ambientales adversas, como sequías y heladas. La quinua ha sido reconocida en todo el mundo como un grano altamente nutritivo, debido a su mayor cantidad de proteínas comparado con otros cereales y alta calidad de proteínas de acuerdo al contenido de aminoácidos esenciales, su contenido de ácidos grasos esenciales y sus minerales. Adicionalmente, la quinua tiene una alta capacidad antioxidante, que está relacionado al alto contenido de fenólicos lo cual depende de la genética y las condiciones ambientales de cultivo (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010b)

2.1.2. Kiwicha

Amaranthus caudatus Linnaeus, llamado kiwicha en el lenguaje Quechua, es una de las tres importantes especies de amaranto domesticado en América pre-colombina (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009). La kiwicha es uno de los granos andinos más consumidos en América Latina, como gluten-free es un sustituto de los cereales convencionales (Ramos Diaz *et al.* 2015). La Kiwicha es una buena fuente de proteína con alto contenido de lisina (Akande *et al.* 2017), fibra dietaria y grasa de buena calidad (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009).

2.1.3. Tarwi

Lupinus mutabilis Sweet, llamado tarwi es una leguminosa con un alto contenido de proteína, se emplea en la alimentación de personas y animales, adicionalmente contienen sustancias anti mutagénicas, anticancerígenas, hipocolesterolémicas y compuestos fenólicos antioxidantes.

El tarwi llamado también chocho es originario de la zona andina de Sudamérica, tiene alto valor nutricional que se distingue por su alto nivel de proteína (>40%), su proteína es rica en lisina, un aminoácido esencial presente en cantidades limitadas en muchas otras fuentes vegetales (Suca 2016).

2.2. PROPIEDADES NUTRICIONALES DE QUINUA PASANKALLA, KIWICHA CENTENARIO Y TARWI YUNGUYO

Las quinua, kañiwa y kiwicha tienen una composición química distinta en comparación con la de los cereales como el trigo, el centeno y el maíz. Sin embargo, los cultivos andinos se pueden utilizar como sustitutos adecuados de los cereales obteniendo productos de alto valor nutritivo (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010a).

La quinua y la kiwicha han reportado tener un alto contenido de proteínas, fibra dietética y compuestos bioactivos específicos tales como tocoferoles y compuestos fenólicos. La distribución de los componentes químicos de la semilla varía según las especies y los cultivares. La composición nutricional de la quinua, kiwicha y tarwi se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de semillas andinas y cereales.

Contenidos (g/100 g materia seca)							
Material (referencia)	Variedad	Proteína	Grasa	Ceniza	Fibra diet.	Cho.	
Trigo (Kent, 1983)	Manitoba	16.0	2.9	1.8	2.6	74.1	
	English wheat	10.5	2.6	1.8	2.5	78.6	
Arroz (Kent, 1983)		9.1	2.2	7.2	10.2	71.2	
Maiz (Kent, 1983)		11.1	4.9	1.7	2.1	80.2	
Kiwicha ^a (Repo <i>et al.</i> , 2009b)	Centenario	14.6	10.1	2.4	7.4	65.6	
	Oscar Blanco	14.7	10.2	2.6	7.3	65.3	
Kiwicha ^a (Alvarez <i>et al.</i> , 2010)		16.5	5.7	2.8	20.6	61.4	
Quinua ^b (Wright <i>et al.</i> , 2002)		15.7	5.7	3.1	10.3	66.5	
Quinua ^b (Repo <i>et al.</i> , 2010b)	Witulla	12.3	5.3	2.5	2.6	69.5	
	Ccoito	14.7	5.3	2.8	1.8	68.1	
Quinua ^b (Alvarez <i>et al.</i> , 2010)		14.5	5.2	2.7	14.2	64.2	
Kañiwa ^c (Repo <i>et al.</i> , 2009a)	Cupi	14.4	5.7	5.0	11.2	63.6	
	Ramis	14.9	6.9	4.3	8.2	65.6	
Kañiwa ^c (Rosell <i>et al.</i> , 2009)		13.1	5.7	2.9	n.d.	n.d.	
Tarwi (Mohamed <i>et al.</i> , 1995)	<i>L. angustifolius</i>	34.8	n.d.	4.4	n.d.	46.0	
	(Lqari <i>et al.</i> 2002)	<i>L. angustifolius</i>	30-40	13.6	2.1	33-45	n.d.
	(Sujak <i>et al.</i> 2006)	<i>L. angustifolius</i>	32.9	n.d.	3.4	11.6	n.d.

n.d. - No detectado ; a: *Amaranthus caudatus* ; b: *Chenopodium quinoa* ; c: *Chenopodium pallidicaule* ; d: Proteína total x 6.25

FUENTE: Lakshminarasimhan (2014).

Los pseudocereales kiwicha, quinua y kañiwa, tienen un contenido de proteína (15 a 17 g/100 g m.s.) similar al de la avena, el arroz y el trigo (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010b; Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009).

La composición de aminoácidos esenciales en quinua, kiwicha y tarwi comparados con otros cereales se presenta en la Tabla 2. El aminoácido limitante más común en los cereales es la lisina y el contenido de lisina en la kiwicha, quinua y kañiwa es casi 2-3 veces mayor en comparación con el trigo y el arroz. Los pseudocereales tienen una composición equilibrada y un mayor contenido de aminoácidos esenciales en comparación con los cereales como el maíz y el trigo (Gorinstein *et al.* 2002).

Tabla 2. Composición de aminoácidos esenciales en quinua, kañiwa, kiwicha y tarwi.

Contenido (g/100 g base seca)						
Amino ácidos	Tigo (Repo-Carrasco, 1992)	Arroz (Repo-Carrasco, 1992)	Kiwicha ^c (Repo-Carrasco, 1992)	Quinoa ^d (Stikic <i>et al.</i> , 2012)	Kañiwa ^e (Repo-Carrasco, 1992)	Tarwi ^f (Lqari <i>et al.</i> , 2002)
Histidina ^a	2.0	2.2	2.4	2.6	2.7	2.7
Metionina ^a	1.3	3.6	3.8	2.2	3.0	1.3
Valina ^a	4.6	5.1	3.8	5.4	4.2	3.9
Isoleucina ^a	4.3	3.5	3.2	5.0	3.4	5.5
Leucina ^a	6.7	7.5	5.4	8.3	6.1	8.7
Lisina ^{a*}	2.8	3.2	6.0	3.9	5.3	5.4
Fenilalanina ^a	4.9	4.8	3.7	4.7	3.7	5.2
Triptófano ^a	1.2	1.1	1.1	n.d.	0.9	0.6
Tirosina ^a	3.7	2.6	2.7	3.6	2.3	5.9
Treonina ^a	2.9	3.2	1.1	3.0	3.3	4.9
Arginina ^b	4.8	6.3	8.2	13.6	8.3	11.5
Cisteína ^b	2.2	2.5	2.3	n.d.	1.6	3.5

a: Amino ácido esencial ; b: Amino ácido esencial condicional ; c: *Amaranthus caudatus* ; d: *Chenopodium quinoa* ; e: *Chenopodium pallidicaule*; f: *L. angustifolius* ; *: Amino ácido limitante en cereales ; n.d: No detectado

FUENTE: Lakshminarasimhan (2014).

2.3. EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS

El proceso de extrusión permite darle forma al producto, haciendo pasar al alimento a presión a través de un agujero. La extrusión combina varias operaciones unitarias que incluyen mezclar, cocinar, amasar, cizallar, moldear y formar. Se utiliza para producir una amplia gama de productos, como cereales para el desayuno, snacks, harinas instantáneas, alimentos listos para comer, galletas, pastas, productos de confitería y análogos de carne a base de soya, así como alimentos para mascotas y alimentos para peces (Singh *et al.* 2014).

El uso de la extrusión en el procesamiento de alimentos ha aumentado su popularidad debido a su versatilidad, rentabilidad, respeto al medio ambiente y una mejor aceptación del producto (Guy 2001a).

Los sistemas de extrusión pueden ser divididos en cuatro diferentes categorías. Esas cuatro categorías incluyen dos diferentes métodos de operación extrusión en frío o caliente, y dos

diferentes configuraciones de un solo tornillo o de dos tornillos. Ambas configuraciones pueden ser usados por cualquier método de operación (Singh *et al.* 2014).

Los principios de operación son similares en los diferentes tipos: El alimento se carga en la tolva de alimentación, se transmite el alimento hacia el tornillo, el tornillo(s) transporta el alimento a lo largo del cilindro, cuando el alimento pasa por el cilindro el volumen se reduce y el alimento se comprime. Luego, los tornillos amasan el alimento bajo presión convirtiéndolo en una masa plastificada semisólida y lo expulsan a través de una pequeña abertura en el extremo de descarga del cilindro (Fellows 2017).

La selección de extrusor adecuado depende de la naturaleza de las materias primas utilizadas, el tipo de producto a ser producido. La extrusión implica una combinación de procesos de transporte, que incluye el flujo de materiales dentro del sistema y la transferencia de energía térmica hacia el material. Los requisitos de potencia del extrusor dependen directamente de las características del flujo a través del canal, en general estas propiedades son parte de la reología del extruido (Singh *et al.* 2014).

La configuración general de los extrusores, de tornillo simple o doble, son interdependientes con los parámetros de funcionamiento, tales como la temperatura, presión y velocidad del tornillo (Fellows 2017).

2.3.1. Extrusión en frío

En la extrusión en frío, la temperatura del alimento permanece por debajo de 100°C. Se utiliza para mezclar y dar forma a los alimentos sin una cocción significativa. El extrusor opera a baja velocidad de tornillo en un cilindro liso, para amasar y extruir el material con poca fricción (Fellows 2017).

Los sistemas tan simples como el amasado en la preparación de la masa antes de hornear, podrían denominarse extrusión en frío. En general, la extrusión en frío se usa para mezclar, amasar, dispersar, texturizar, disolver y formar un producto alimenticio o ingrediente del producto (Singh *et al.* 2014).

2.3.2. Extrusión en caliente

Cuando la energía térmica se convierte en parte del proceso de extrusión, el proceso se denomina cocción por extrusión. La energía térmica se puede agregar al alimento durante el proceso desde una fuente externa o se puede generar por fricción en las superficies internas del extrusor en contacto con el producto extruido (Singh *et al.* 2014).

En la cocción por extrusión, el alimento se calienta por encima de 100°C. El calor por fricción y cualquier calentamiento adicional del cilindro, hacen que la temperatura aumente rápidamente. Luego, el alimento se somete a una mayor presión y cizallamiento, y a medida que emerge bajo la presión de la matriz, se expande hasta la forma final y se enfría rápidamente a medida que se evapora la humedad. Los productos típicos incluyen una amplia variedad de bocadillos expandidos de baja densidad que tienen una variedad de formas, incluyendo varillas, esferas, rosquillas, tubos, tiras, espirales o conchas (Fellows 2017).

La extrusión ha ganado popularidad por las siguientes razones (Guy 2001a):

- Es un proceso versátil que puede producir una gran variedad de productos cambiando los ingredientes, las condiciones de funcionamiento de la extrusora y la forma de los troqueles.
- Muchos alimentos extruidos no se pueden producir fácilmente por otros métodos.
- La extrusión tiene menores costos de procesamiento y una mayor productividad que otros procesos de cocción o formación. Algunos procesos originales (por ejemplo, fabricación de copos de maíz, y salchichas) son más eficientes y más baratos cuando se reemplazan por extrusión.

2.3.3. Extrusoras de un solo tornillo

La extrusora de un solo tornillo es el diseño más utilizado para aplicaciones sencillas de cocción y formación, cuando no se necesita la flexibilidad de una máquina de doble tornillo. El tornillo es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable que es lo suficientemente potente como para bombear los alimentos contra la presión generada en el cilindro. La velocidad del tornillo es uno de los principales factores que influye en el rendimiento del extrusor; controla el tiempo de residencia del producto, la cantidad de calor por fricción generado, las tasas de transferencia de calor y las fuerzas de corte en el producto. Las extrusoras de un solo tornillo tienen diferentes grados de acción de corte en

los alimentos. Las extrusoras de alto cizallamiento tienen altas velocidades de tornillo y vuelos poco profundos para crear altas presiones y temperaturas que son necesarias para preparar cereales para el desayuno listos para comer y bocadillos expandidos. Las extrusoras de cizallamiento medio, se utilizan para hacer empastes, texturizados de proteínas y alimentos para mascotas. Las extrusoras de bajo cizallamiento tienen vuelos profundos y velocidades más bajas para crear bajas presiones para formar pasta, productos cárnicos o gomas de confitería (Fellows 2017).

Singh *et al.* (2014) manifiestan que en un sistema de extrusión de un solo tornillo, como se muestra en la Figura 1, el alimento se transporta a través del cilindro en el espacio entre el núcleo del tornillo y el cilindro. La velocidad de flujo del extruido a través del sistema será proporcional a la velocidad de rotación (RPM) del tornillo.

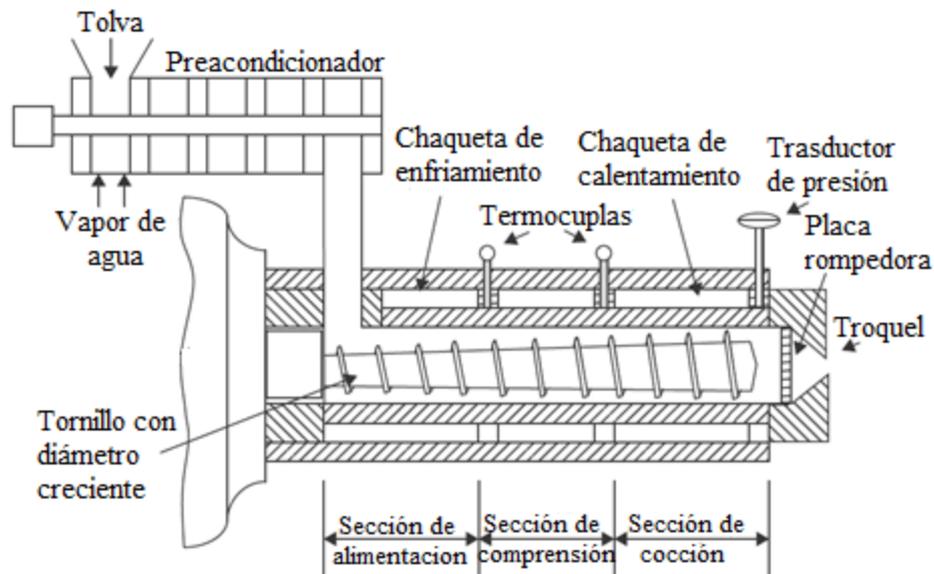


Figura 1. Secciones dentro del cilindro de un extrusor de un solo tornillo

FUENTE: Singh *et al.* (2014).

Un sistema de extrusión de un solo tornillo tiene tres componentes o secciones.

- Sección de alimentación, donde se introducen los diversos ingredientes y se produce la mezcla inicial. La acción giratoria del tornillo mueve los ingredientes a la sección de compresión.
- Sección de compresión o transición, a medida que disminuyen las dimensiones del canal de flujo, la presión y la temperatura comienzan a aumentar, el material se comprime y la

energía mecánica se disipa a medida que aumenta la temperatura. Esta sección puede denominarse una sección de amasado, con cambios significativos en las características físicas y químicas de los ingredientes.

- Sección de cocción, donde se produce una compresión adicional del extruido como resultado de reducciones adicionales en las dimensiones del canal de flujo y el aumento de la acción de corte. En algunos diseños, las dimensiones totales del cilindro también se reducen.

2.3.4. Extrusoras de doble tornillo

Las extrusoras de doble tornillo (Figura 2A), se agrupan de acuerdo con la dirección de rotación de los tornillos corrotante y contrarrotante (Figura 2B) y el grado en que se entrelazan. Los tornillos no entrelazados actúan como dos extrusoras de un solo tornillo, mientras que los tornillos entrelazados producen una acción de bombeo de desplazamiento positivo para mover el producto a lo largo del cilindro (Fellows 2017).

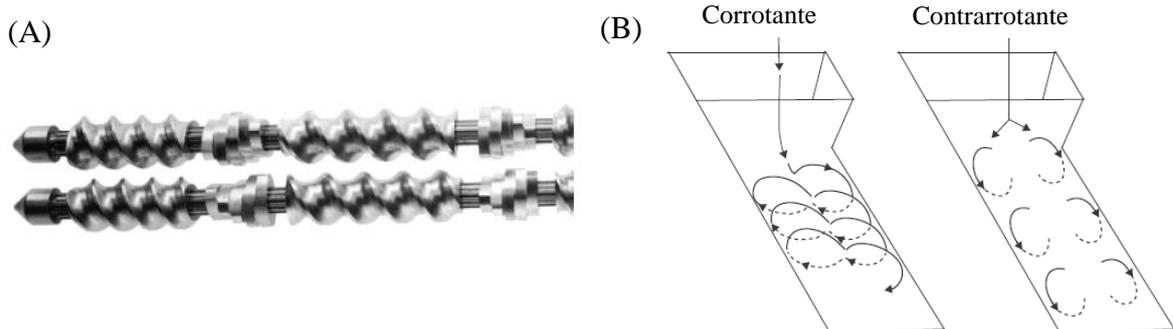


Figura 2. Configuración de tornillos en extrusor de doble tornillo (A), rotación de tornillos en un extrusor de doble tornillo (B).

Se han desarrollado varias configuraciones del tornillo o sinfín, incluido el sistema de doble tornillo corrotante, totalmente entrelazado autolimpiante (**Figura 2A**). Este sistema en particular se ha utilizado en muchas aplicaciones alimentarias debido a la autolimpieza, mejor mezcla, fuerza de corte moderada y características de mayor capacidad (Singh *et al.* 2014).

Los sistemas de extrusión de doble tornillo tienen numerosas ventajas. El rendimiento de estos sistemas puede ser independiente de la velocidad de avance y la velocidad del tornillo. Las variables del proceso incluyen velocidad de alimentación, el historial de cizalladura de la temperatura y la transferencia de calor, todo lo cual puede influir en las

propiedades del producto extruido. Los sistemas de doble tornillo proporcionan una mayor flexibilidad en términos de extruidos con mayor contenido de humedad, así como concentraciones más altas de ingredientes (lípidos, carbohidratos, etc.). Estos sistemas generalmente tienen menos desgaste debido a que las secciones más cortas del cilindro están expuestas a las altas presiones requeridas para la extrusión del producto. Finalmente, las extrusoras de doble tornillo operan en una gama más amplia de tamaños de partículas de los ingredientes.

Otras configuraciones de sistemas de extrusión de doble tornillo incluyen contrarrotante con sistemas que no se entremezclan, contrarrotante con sistemas de entremezclado y corrotante con sistemas que no se entremezclan. Cada una de estas configuraciones se puede usar en aplicaciones específicas y requiere un análisis único y complejo para el diseño y la aplicación (Singh *et al.* 2014).

Una de las principales ventajas de las extrusoras de doble tornillo es la mayor flexibilidad de operación para manejar una gama más amplia de ingredientes y producir diferentes productos. Algunos productos, incluidos los caramelos pegajosos y otros productos de confitería no se pueden hacer con las extrusoras de un solo tornillo, incluidos los alimentos para mascotas que contienen hasta un 30% de carne fresca, o alimentos acuáticos ultrafinos y con alto contenido de grasa, tienen una calidad sustancialmente más alta utilizando el extrusor de doble tornillo (Fellows 2017).

Las principales limitaciones de las extrusoras de doble tornillo, son los costos relativamente altos de capital y mantenimiento. La compleja caja de cambios que se necesita para accionar los tornillos gemelos, también limita el par, la presión y el empuje máximo que se puede lograr.

2.3.5. Efecto de la composición del alimento durante la extrusión

Las propiedades de los materiales de alimentación tienen una influencia importante en las condiciones dentro del cilindro del extrusor y, por lo tanto, en la calidad del producto extruido.

Las características de los productos extruidos son impactados significativamente por la composición de la materia prima. El almidón es el principal componente responsable de la

expansión, mientras otros componentes como la fibra, grasa y proteína pueden disminuir la expansión (Aluwi *et al.* 2016).

La mayoría de los ingredientes utilizados en la cocción por extrusión tienen bajos contenidos de humedad (10-40%), y se transforman en un fluido fundido por la acción de cizalla y la alta temperatura y presión en la extrusora. Las diferencias en el tipo y las cantidades de almidón, proteínas, humedad y otros ingredientes añadidos (por ejemplo, aceite, sal o emulsionante) dan como resultado diferentes viscosidades y por lo tanto, diferentes características de flujo. Las propiedades fisicoquímicas de los ingredientes (por ejemplo, la dureza, las características de fricción y el tamaño de partícula de los polvos, o la lubricidad y la acción plastificante de los fluidos) son más importantes que en otros procesos alimentarios. Del mismo modo, la adición de ácidos para ajustar el pH del material de alimentación provoca cambios en la gelatinización del almidón y despliegue de moléculas de proteínas. Estos a su vez cambian la viscosidad y, por lo tanto, la estructura y resistencia del producto extruido (Fellows 2017).

Los componentes estructurales de almidón o proteína crean la textura de los alimentos extruidos al formar una matriz tridimensional que contiene los otros ingredientes. Los almidones en los cereales extruidos para desayuno, bocadillos y galletas provienen de harinas de cereales o leguminosas (por ejemplo, maíz, trigo, arroz, cebada, arvejas, frijoles), o de harinas de tubérculos (por ejemplo, papa, yuca, tapioca) (Guy 2001b). Las harinas de cereales no tradicionales, como el amaranto, el trigo sarraceno y el mijo, pueden usarse para reducir el índice glicémico de los cereales para el desayuno.

Las proteínas derivadas de la torta de semillas oleaginosas prensadas, se utilizan para fabricar productos similares a la carne, como la proteína vegetal texturizada (TVP), alimentos para mascotas o alimentos para peces.

Durante la extrusión de alimentos con almidón, el agua presente se absorbe y hace que los gránulos de almidón se hinchen y se hidraten. Las partículas más pequeñas, como las harinas o sémola, se hidratan y se cocinan más rápidamente que las partículas más grandes y esto a su vez altera la calidad del producto. Los almidones que tienen una alta proporción de amilosa, que es una molécula más pequeña que la amilopectina, producen derretimientos de fluidos de menor viscosidad y, por lo tanto, una mayor expansión de los

alimentos. La temperatura elevada hace que el almidón se gelatinice y forme una masa fundida viscosa plastificada. Esto forma las paredes de burbujas de espuma que contienen vapor de agua sobrecalentado. Cuando el material sale del troquel del extrusor, la caída repentina de la presión hace que estas burbujas se expandan rápidamente, pierdan humedad por evaporación y al mismo tiempo se enfríen. Estos cambios provocan un rápido aumento de la viscosidad del material, seguido de la formación de un material vítreo que se enfría y establece la estructura celular (Figura 3).

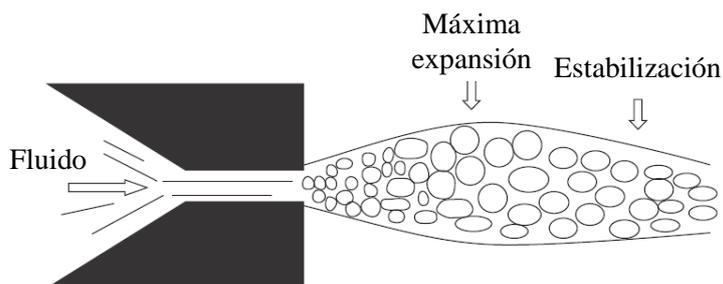


Figura 3. Expansión del extruido a la salida de un extrusor, muestra el crecimiento de la burbuja y estabilización de la espuma.

FUENTE: Guy (2001c).

La combinación correcta del tipo de almidón, el contenido de humedad, y las condiciones de extrusión (longitud del tornillo y velocidad de rotación, temperatura del cilindro, forma del troquel, grado de cizallamiento) controlan la cantidad de expansión del producto y, por lo tanto, su textura (Guy 2001b). La baja expansión resulta si la viscosidad es demasiado alta, o las burbujas colapsan después de que emergen de la matriz, si la viscosidad es demasiado baja. El grado de expansión se evalúa usando una relación de expansión y los cambios en la solubilidad del almidón bajo diferentes condiciones de temperatura y velocidad de cizallamiento, se pueden monitorear midiendo el índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA). El IAA de los productos de cereales, generalmente aumenta con la severidad del procesamiento, alcanzando un máximo a 180-200°C (Fellows 2017).

A altas concentraciones de humedad (>35-40%, p/p) y en condiciones más húmedas que las utilizadas para productos a base de almidón, las proteínas se despliegan y se aglomeran como resultado de la acción de cizallamiento y altas temperaturas para formar una viscosidad alta, viscoelástica, amorfa complejos. Para formar una estructura texturizada,

las proteínas se pasan a través de la matriz del extrusor en condiciones de flujo laminar a 120-130°C.

A medida que las capas de moléculas fluyen juntas, se polimerizan, reticulan y reorientan para formar estructuras fibrosas características. La reducción de la presión hace que la humedad se evapore, creando burbujas que dejan huecos en la estructura, enfriando el producto y configurando la estructura para crear la textura final. El índice de solubilidad del nitrógeno es una medida del grado de desnaturalización de la proteína, que disminuye durante la cocción por extrusión (Maskan *et al.* 2016).

Los materiales de relleno se dispersan en la matriz de almidón o proteína. Los plastificantes y lubricantes incluyen agua y aceites. Cuando se extruyen los ingredientes secos, el calor de fricción es suficiente para elevar la temperatura del material a $\approx 150^\circ\text{C}$. Pero cuando los ingredientes tienen un contenido de humedad superior al 25%, la humedad plastifica el material y reduce la cantidad de calor generado por la fricción, por lo que se requiere calentar el cilindro (Maskan *et al.* 2016).

Los aceites lubrican el material y los niveles tan bajos como 1-2% reducen la acción de corte en las moléculas de almidón y reducen la expansión del producto. Los ingredientes solubles, como la sal y el azúcar, se disuelven en el agua disponible durante la mezcla inicial. Dependiendo de su concentración, pueden reaccionar con almidón y/o proteínas para reducir la viscosidad del fluido y, por lo tanto, afectar el grado de expansión. Los ingredientes insolubles, como el salvado, el carbonato de calcio en polvo, el fosfato de calcio o el silicato de magnesio actúan como materiales nucleantes que proporcionan superficies en las que se pueden formar burbujas. Aumentan el número de burbujas en la espuma extruida y producen un producto más expandido (Guy 2001b). Los sabores y colorantes pueden agregarse durante el proceso de extrusión o rociarse sobre productos extruidos. Alternativamente, los compuestos precursores que están presentes en los ingredientes incorporados o agregados se convierten en sabores o colores mediante reacciones a altas temperaturas en el extrusor (por ejemplo, reacciones de Maillard entre aminoácidos agregados y azúcares reductores).

2.3.6. Efecto de los parámetros de extrusión en las propiedades de los extruidos

Los parámetros de procesamiento juegan un papel importante en la determinación de la calidad de los extruidos. El control del proceso de extrusión depende de parámetros

primarios y secundarios. Los parámetros de proceso primarios incluyen la velocidad de alimentación, la velocidad del tornillo, la temperatura del cañón, contenido de agua, la formulación, y configuración final del tornillo. Los parámetros de proceso secundarios incluyen presión, torque y temperatura al final de la extrusión (Fellows 2017).

Uno de los avances de la cocción por extrusión es la destrucción de antinutrientes, especialmente la inhibición de tripsina, hemaglutinina, taninos y fitatos.

Los factores que influyen en la calidad de los productos extruidos se muestran en la (Figura 4) y se pueden agrupar en los relacionados con las propiedades de los ingredientes (incluidos los pretratamientos) y los relacionados con el diseño y las condiciones de funcionamiento del extrusor.

a. Efecto de la extrusión en la textura del extruido

La textura es una de las características principales de la cocción por extrusión, los cambios en el almidón y la proteína durante la extrusión produce una amplia gama de texturas de productos que se pueden lograr. El grado de expansión del producto, afecta la densidad aparente y la textura, por lo tanto, la densidad aparente es un control de calidad de rutina para evaluar si la textura del producto será aceptable (Fellows 2017).

b. Efecto de la extrusión en el sabor del extruido

Las condiciones HTST en la cocción por extrusión producen tiempos de residencia cortos y, dependiendo de la temperatura, es posible que no se produzcan sabores cocidos. En otros productos, los sabores pueden ser producidos por las reacciones de Maillard, pero los sabores agregados se volatilizan cuando el alimento sale del extrusor. Por lo tanto, los sabores se aplican con mayor frecuencia en forma de emulsiones rociadas a la superficie de los snacks después de la extrusión. Los cereales para el desayuno se tuestan después de la extrusión, para caramelizar los azúcares superficiales e introducir sabores y un color más oscuro (Fellows 2017).

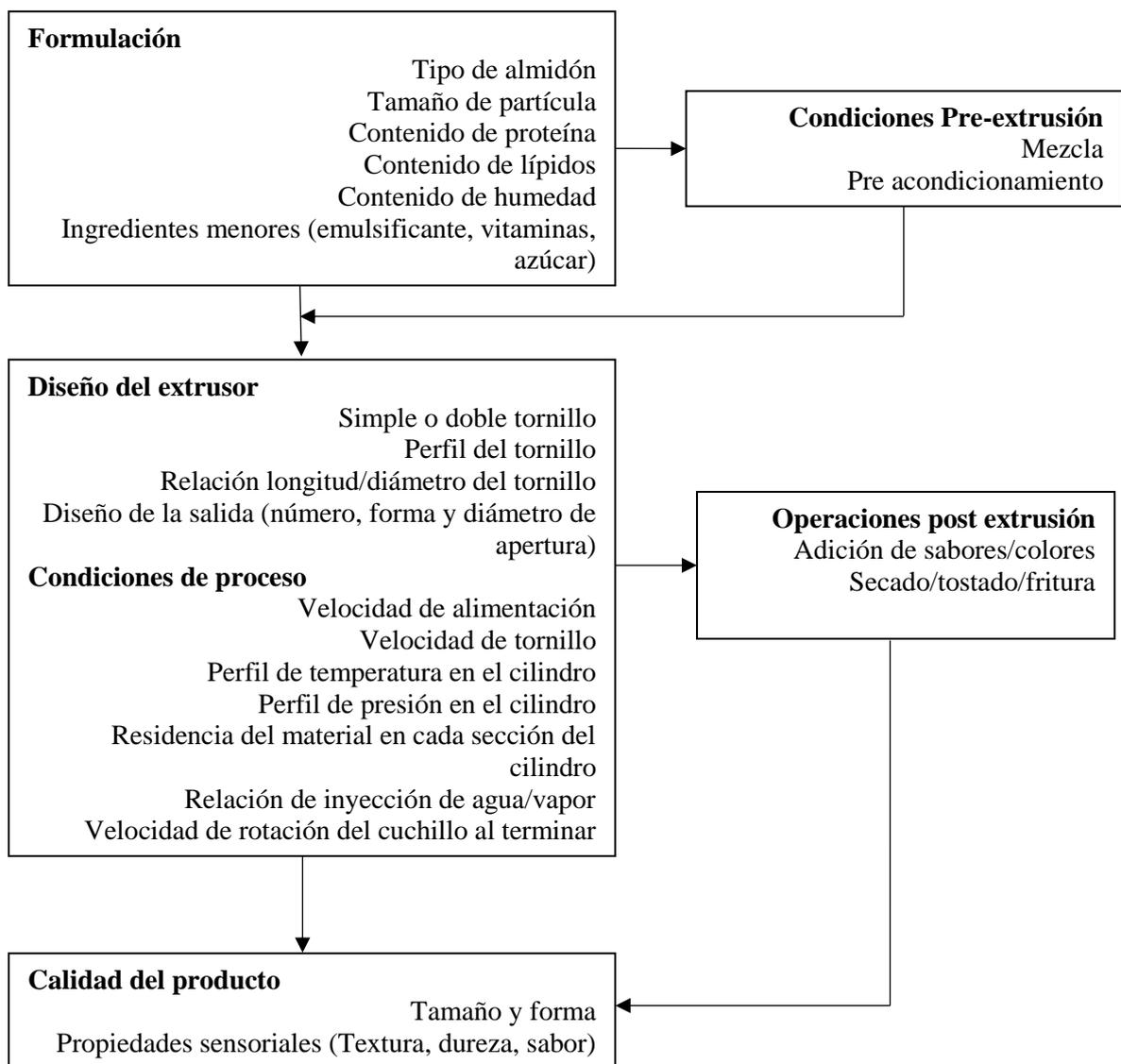


Figura 4. Influencia de las propiedades de la materia prima y las condiciones de la cocción por extrusión en la calidad del extruido (Fellows 2017).

c. Efecto de la extrusión en el color del extruido

Las altas temperaturas y el bajo contenido de humedad utilizados en la cocción por extrusión, favorecen las reacciones de maillard y la caramelización, que producen compuestos amarillos/marrones. En general, estas condiciones de funcionamiento modifican o destruyen los pigmentos naturales, pero una gama de pigmentos naturales estables, que incluyen verde, amarillo, naranja, rojo y marrón pueden soportar

temperaturas de extrusión de 80°C a 135°C. La decoloración del color debido a la expansión del producto, el calor excesivo o las reacciones con proteínas, la reducción de azúcares o iones metálicos, también pueden ser un problema en algunos alimentos extruidos. En muchos alimentos el color se cambia utilizando pigmentos sintéticos que se agregan al alimento (Fellows 2017).

d. Efecto de la extrusión en el almidón y oligosacáridos del extruido

Las condiciones de cizallamiento y calentamiento en la cocción por extrusión gelatinizan el almidón y reducen el peso molecular de la amilosa y la amilopectina. Estas moléculas se hacen más digeribles, lo cual es deseable en alimentos nutricionales especializados, como alimentos para infantes y lactantes. Sin embargo, esto eleva el índice glicémico de los productos extruidos. Camire (2011) describe métodos para manipular las condiciones de extrusión para producir resistencia a la digestión del almidón, la adición de ácido cítrico a la harina de maíz antes de la extrusión, crea mayores cantidades de polidextrosa y oligosacáridos, o agregar fibra dietética. La creación de almidón resistente por extrusión también puede tener valor en productos de calorías reducidas. Los cereales de desayuno extruidos que se producen usando harinas no tradicionales, o reemplazando 5-15% de harina de trigo con fibra dietética soluble e insoluble, dieron una reducción significativa en carbohidratos fácilmente digeribles y aumentaron el nivel de carbohidratos de digestión lenta para modular su impacto glucémico potencial (Brennan *et al.* 2012). Estos cereales para el desayuno tenían una mayor densidad aparente y densidad de producto, con una relación de expansión similar.

La extrusión tiene una variedad de efectos sobre la fibra en los alimentos: Las grandes moléculas insolubles pueden descomponerse parcialmente, lo que puede aumentar su solubilidad; los niveles de polisacáridos no almidonados insolubles y solubles pueden aumentarse o disminuirse por extrusión dependiendo del tipo de materia prima, Camire (2011) revisó las implicaciones nutricionales de estos cambios. Los productos de soya extruidos contienen niveles más bajos que las harinas de soya sin procesar de oligosacáridos inductores de flatulencia, incluidas la estaquiosa y la rafinosa, y la cocción por extrusión provoca la destrucción parcial o total de los componentes antinutricionales, incluidos los inhibidores de la proteasa, las hemaglutininas, los taninos y los fitatos, lo que mejora el valor nutricional de las proteínas vegetales texturizadas (Fellows 2017).

e. Efecto de la extrusión en las proteínas

El valor nutricional de las proteínas se ve reforzado por las condiciones de cocción por extrusión, debido al aumento de la digestibilidad. Esto resulta de la desnaturalización de proteínas, la inactivación de inhibidores enzimáticos en materias primas y/o exponiendo nuevos sitios activos para enzimas digestivas. El incremento de la digestibilidad de la proteína como resultado del calentamiento estaría relacionado con la formación de complejos entre las proteínas y otros componentes del grano y al nivel de desintegración de la matriz, el cual tiene un impacto en el acceso de las enzimas proteolíticas (Akande *et al.* 2017).

A temperaturas más altas y bajo contenido de humedad, las reacciones de Maillard reducen la calidad de la proteína, particularmente afectando a la lisina, que es el aminoácido limitante en los cereales.

La extrusión es un método ideal para la manufactura de un gran número de productos alimenticios como los cereales, snacks. Tiene efectos nutricionales por que incrementa la digestibilidad de las proteínas y almidón.

f. Efecto de la extrusión en la grasa del extruido

Los lípidos pueden formar complejos almidón-lípido durante la extrusión, pero estos no afectan el valor nutritivo de los alimentos. La oxidación de los lípidos no tiene lugar en gran medida durante la extrusión, pero puede ocurrir durante el almacenamiento. Se han revisado los factores que promueven la oxidación, incluidos los iones metálicos por el desgaste de los tornillos de la extrusora y el aumento de la superficie de los productos expandidos. Las enzimas lipolíticas pueden inactivarse por extrusión y los complejos de lípido-almidón pueden ser más resistentes a la oxidación (Fellows 2017).

g. Efecto de la extrusión en los microorganismos

Los productos cocinados por extrusión son microbiológicamente seguros debido a su baja actividad de agua y al tratamiento térmico HTST, que destruye las células vegetativas y las enzimas. La baja actividad del agua de los productos (0.1-0.4) es el método principal de conservación de alimentos extruidos.

2.4. ALGUNAS APLICACIONES DE LA EXTRUSIÓN

2.4.1. Snacks

Hay una gran variedad de snacks extruidos hechos de masa de cereal o almidón de papa. El proceso implica hidratar el almidón y formar una masa fundida fluida a alta temperatura (140-180°C) que contiene vapor de agua sobrecalentado. Cuando esto se extruye, el material se expande para formar una espuma a medida que se vaporiza el agua, y luego se enfría a través de la temperatura de transición vítrea, para formar un producto duro y quebradizo. Se rocían aromatizantes y/o colorantes sobre el producto después de su extrusión.

2.4.2. Cereales para el desayuno

Las harinas de arroz, trigo, avena, y harina de maíz, harinas integrales se utilizan para producir cereales extruidos para el desayuno listos para comer (Fast 2000). También pueden contener otros ingredientes, incluidos almidones, azúcar, sal, extracto de malta o edulcorantes líquidos, vitaminas y minerales termoestables, aromatizantes y colorantes, para producir una amplia variedad de texturas, sabores, aromas y formas o tamaños. Se utilizan dos procesos:

1. Cereales directamente expandidos (o hinchados), en los que la masa caliente pasa a través de un troquel diseñado para causar expansión.
2. Producción de pellets o tiras para copos de maíz o cereales triturados. La mezcla de masa de cereal se cocina en la extrusora y luego el producto se enfría para evitar la expansión y obtener los pellets.

En comparación con los bocadillos expandidos, los cereales de desayuno extruidos expandidos requieren una estructura diferente y tienen una mayor densidad, menor porosidad y paredes celulares más gruesas. Esto se debe a que los productos se sumergirán en la leche antes del consumo, y deben conservar su textura crujiente y absorber la menor cantidad de humedad (Fellows 2017).

2.4.3. Proteína vegetal texturizada (PVT)

Los extensores y análogos de carne se producen por extrusión de proteínas vegetales, lo que da como resultado productos que tienen una apariencia y textura similar a la estructura fibrilar de la carne. Los extensores de carne están hechos de harina de soya desgrasada y concentrado de proteína de soya, extruidos con bajos contenidos de humedad (20-35%),

mientras que los análogos de carne se obtienen por extrusión a altos contenidos de humedad (50-70%) de concentrado de proteína de soya, aislado de proteína de soya, proteínas de leguminosas, como frejoles y arvejas comunes, o proteínas de trigo (Fellows 2017).

2.4.4. Alimentos para infantes

Los alimentos extruidos para lactantes están hechos de una combinación de cereales y leguminosas para producir el contenido correcto de proteínas y energía para los niños en crecimiento. El producto extruido también puede estar fortificado con minerales y vitaminas. El proceso produce escamas o gránulos altamente solubles y totalmente gelatinizados que pueden triturarse en polvo y rehidratarse con agua caliente para formar una papilla que alimenta a los niños. Las altas temperaturas utilizadas en la extrusora aseguran la destrucción de los patógenos y la seguridad microbiológica de los productos. La baja actividad del agua garantiza una vida útil de más de 12 meses, cuando se envasa en envases herméticos. Otros alimentos para lactantes incluyen productos listos para consumir que se asemejan a galletas aireadas y están diseñados para disolverse lentamente en saliva cuando los niños lo consumen (Kazemzadeh 2001). El proceso es particularmente adecuado para la producción de alimentos comerciales para lactantes y aquellos diseñados como emergencia o ayuda alimentaria en países en desarrollo.

2.5. MEZCLAS PARA MEJORAR LA CALIDAD PROTEICA

La proteína vegetal es deficiente en algunos aminoácidos esenciales, por esta razón es de inferior calidad que la proteína animal. Sin embargo, los aminoácidos que le faltan a algunos vegetales pueden ser complementados por otros.

Generalmente la mezcla que se complementan perfectamente son las leguminosas con los cereales, debido a que los aminoácidos esenciales que les faltan a las leguminosas lo tienen los cereales.

Uno de los criterios para realizar las mezclas es obtener la composición de aminoácidos semejante a los requerimientos propuesto por la (FAO/WHO/UNU 1985) (Tabla 3), esta semejanza se mide como cómputo químico (Score de aminoácidos).

Tabla 3. Necesidades de aminoácidos esenciales para los diferentes grupos.

Aminoácidos (mg/g proteína)	Lactantes Media	Pre escolares (2-5 años)	Escolares (10-12 años)	Adultos
Histidina	26	19	19	16
Isoleucina	46	28	28	13
Leucina	93	66	44	19
Lisina	66	58	44	16
Metionina+Cistina	42	25	22	17
Fenilalanina+Tirosina	72	63	22	19
Treonina	43	34	28	9
Triptofano	17	11	9	5
Valina	55	35	25	13

FUENTE: FAO/WHO/UNU (1985).

El valor nutricional de las proteínas depende de la cantidad, disponibilidad y digestibilidad de los aminoácidos esenciales. La digestibilidad es considerado la más importante determinación de la calidad de la proteína (FAO/WHO/UNU 1985). La digestibilidad de la proteína *in vitro* ha sido reportado como cercano a la verdadera digestibilidad de proteína, y es normalmente usado como una alternativa rápida y conveniente a la digestibilidad de proteína *in vivo* (Adam *et al.* 2013).

La FAO/WHO/UNU (1985) recomienda contenido mínimo de 15g/100g en base seca de proteína como nivel seguro de proteína para el consumo de niños en la edad pre escolar (4 a 6 años de edad) en países en desarrollo, siendo 151 mg de nitrógeno o 0.94 g de proteína/kg/día para leche, y 162 mg de nitrógeno o 1.01 g de proteína/kg/día para aislado de proteína.

PFA (2004) manifiesta que en alimentos para infantes en base de mezcla de cereales con leche, esta mezcla debe contener variedad de cereales, aceite vegetal, sólidos de leche, carbohidratos como sacarosa, dextrosa y lactosa. La composición estándar debe ser: Humedad no más de 5%, proteína total no menos de 12%, grasa no menos de 7.5%, carbohidratos totales no menos de 55% y ceniza total no más 5%.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de Investigación e Instrumentación y Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Se usó quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Pasankalla (INIA-415) adquirido del INIA-Puno, kiwicha (*Amaranthus caudatus*) variedad Centenario adquirida del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM, y harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) variedad Yunguyo adquirido de Agroinversiones Ogoríz S.R.L.-Cajamarca.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. Materiales

Materiales para el análisis químico proximal.

3.3.2. Equipos

- Extrusor de doble tornillo (Jinan Dingrum Machinery co. Ltd, China).
- Molino de martillo (S/modelo, Vulcano, Perú).
- Texturómetro Instron (3365, Instron, EE. UU.).
- Calorimétrico diferencial de barrido (DSC) (MCDSC, TA Instruments, EE. UU.).
- Colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Japan).
- Determinador de humedad (MJ33, Mettler Toledo, USA).
- Determinador de actividad de agua (Decagon, AquaLab 4TE DUO, USA).
- Espectrofotómetro UV visible Genesys 20.
- Balanza analítica.
- Selladora de bolsas.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. Análisis químico proximal

Los análisis de humedad, grasa, ceniza, fibra y proteína se realizaron de acuerdo a los Métodos Oficiales de Análisis (AOAC 2005).

3.4.2. Humedad y actividad de agua

La humedad de los extruidos fueron medidos a 105°C usando un analizador de humedad (MJ33, Mettler Toledo, USA), y la actividad de agua usando un medidor de actividad de agua (Decagon, AquaLab 4TE DUO, USA).

3.4.3. Índice de expansión seccional

El Índice de expansión seccional (IES) fue determinado usando la metodología descrita por Alvarez-Martinez *et al.* (1988). El diámetro de los extruidos (D) y de la salida del extrusor (Do) fue medido con un vernier, y el (IES) fue calculado usando la ecuación (1).

$$IES = \left(\frac{D}{D_o} \right)^2 \quad (1)$$

3.4.4. Densidad aparente

La densidad aparente (DA) de los extruidos fue medida usando el procedimiento descrito por Fan *et al.* (1996). Extruidos de aproximadamente 3cm de longitud fueron pesados (m) y medidos su longitud (L) y diámetro (D), la densidad fue calculada por la ecuación (2).

$$DA = \frac{4m}{\pi \times D^2 \times L} \quad (2)$$

3.4.5. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad al agua

El índice de absorción al agua (IAA) y el índice de solubilidad al agua (ISA), fueron determinados de acuerdo a lo descrito por Anderson *et al.* (1969), con algunas modificaciones. El extruido fue molido a menos de 300 µm, un gramo de harina fue mezclado con 15mL de agua destilada y agitado en un vórtex por 30 min a temperatura ambiente, luego fue centrifugado a 3000g por 15 minutos. El sobrenadante fue vertido cuidadosamente en una placa petri y secado a 105°C hasta peso constante. El gel sedimentado que queda del centrifugado fue pesado. El ISA es el peso de los sólidos seco presente en el sobrenadante entre el peso de muestra inicial, expresado en porcentaje. El IAA es el peso del gel sedimentado entre la cantidad de muestra presente en el gel. Los cálculos fueron realizados utilizando las ecuaciones 3 y 4.

$$ISA (\%) = \frac{\text{Peso del sobrenadante seco}}{\text{peso inicial de la muestra}} \times 100 \quad (3)$$

$$IAA (g/g) = \frac{\text{Peso del gel sedimentado}}{\text{peso inicial muestra} \times (1 - ISA)} \quad (4)$$

3.4.6. Color

El color fue medido usando un colorímetro (CR-400, Konica Minolta, Japan) en el espacio CIE-Lab. L^* (whiteness/darkness), a^* (redness/greenness) and b^* (yellowness/blueness) fueron usados para calcular el cambio total de color (ΔE) de acuerdo a la ecuación (5) (Doğan *et al.* 2003).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (5)$$

Donde el subíndice “o” indica el valor inicial de la harina de kiwicha no extruida

3.4.7. Textura de extruidos

La textura de los extruidos se midió de acuerdo a lo indicado por Paula *et al.* (2014), con el texturómetro Instron (3365, Instron, EE. UU.). Se utilizó la cuchilla de corte Warner-Bratzler con una sonda en forma de V, con una velocidad de prueba de 4 mm/s. La muestra se colocó en la base del accesorio Warner-Bratzler que tiene una ranura a través de la cual pasa la cuchilla de corte. El corte se realizó perpendicularmente al eje principal de los extruidos hasta romperlo por completo. El tiempo, la distancia y la fuerza se registraron utilizando el software Bluehill 3. La dureza se determinó como la fuerza máxima requerida para cortar completamente el extruido, y la resistencia al corte se calculó dividiendo la dureza por el área transversal promedio del material extruido (Coulter *et al.* 1991; Ilo *et al.* 1999).

3.4.8. Grado de gelatinización

El grado de gelatinización se determinó por espectrofotometría según el método de Wootton *et al.* (1971), y por calorimetría diferencial de barrido (DSC) según Ruales *et al.* (1993), utilizando la ecuación (6).

$$\text{Grado de gelatinización (\%)} = \left[1 - \frac{\Delta H_{\text{extruido}}}{\Delta H_{\text{no-extruido}}} \right] \times 100 \quad (6)$$

Donde $\Delta H_{\text{no-extruido}}$ y $\Delta H_{\text{extruido}}$ son las entalpías de gelatinización del almidón de las muestras extruidas y no extruidas.

3.4.9. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas se midieron por el método utilizado por Zhang *et al.* (2016) con algunas modificaciones, utilizando un calorímetro diferencial de barrido (MCDSC, TA Instruments, EE. UU.). Cada muestra de harina (aproximadamente 20 mg de peso seco) con agua (1: 3) se calentó de 25 a 115°C a una velocidad de 2°C/min. Los datos se analizaron utilizando el software NanoAnalyze (TA Instruments).

3.4.10. Propiedades de formación de pasta

Las propiedades de formación de pasta se midieron de acuerdo con Zhang *et al.* (2016), con algunas modificaciones, utilizando un reómetro híbrido (Discovery HR-3, TA instruments, EE. UU.), con un accesorio para análisis de formación de pasta del almidón. Se preparó la mezcla al 12% (3.6 g en base seca, 26.4 ml de agua desionizada) se mantuvo primero a 40°C durante 2 minutos, luego se calentó hasta 90°C a 6°C/min, se mantuvo durante 5 minutos a 90°C, se enfrió a 50°C a 6°C/min, y finalmente se mantuvo a 50°C durante 2 min. La paleta rotó a 100.53 rad/s durante los primeros 120 s, luego a 16.75 rad/s durante el resto del análisis. Se registraron la temperatura de formación de pasta (TP), la viscosidad inicial (IV), la viscosidad máxima (PV), la resistencia de retención (HS) y la viscosidad final (FV), y se calculó el retroceso ($SB = FV - HS$).

3.4.11. Capacidad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó de acuerdo al método de Brand-Williams *et al.* (1995) utilizando DPPH, y de acuerdo a Re *et al.* (1999) usando ABTS. La capacidad antioxidante se expresó como equivalentes de Trolox estimados a partir de una curva estándar.

3.4.12. Fenólicos totales

El contenido de fenólicos totales (FT), se midió de acuerdo con el método modificado por Chávez *et al.* (2017), utilizando 100 μL de muestra con 500 μL de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 1:10 y 400 μL de 7.5% (w/v) solución de carbonato de sodio, mezclada y mantenida en la oscuridad durante 120 min. La absorbancia se midió a 760 nm utilizando

un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, EE. UU.). Los equivalentes de ácido gálico (EAG) se determinaron a partir de una curva estándar.

3.4.13. Digestibilidad de proteína

La digestibilidad in vitro de proteína se realizó de acuerdo al método reportado por Hsu *et al.* (1977), con algunas modificaciones. Se preparó 25 ml de solución de sistema de enzimas conteniendo 50mg de tripsina de páncreas porcina (13000-20000 BAEE unidades/mg) y 50 mg de Pancreatina de páncreas porcina (8 x USP), luego de la preparación el sistema de enzimas fue mantenido en refrigeración. Cinco mililitros del sistema de enzimas fueron adicionados a 50 ml de suspensión de harina (1 mg N/mL), se ajustó el pH a 8.0 con NaOH (0.1N) o HCL (0.1N), se incubó a 37°C. La mezcla fue agitada y el cambio de pH fue medido después de diez minutos ($\text{pH}_{10\text{min}}$), el porcentaje de la digestibilidad de proteína in vitro fue calculada usando la ecuación (7).

$$\text{Digestibilidad de proteína in vitro (\%)} = 210.46 - 18.10 \text{ pH}_{10\text{min}} \quad (7)$$

3.4.14 Score de aminoácidos y score de aminoácidos corregido

El score químico o score de aminoácidos de una proteína refleja su contenido de aminoácidos en comparación con la proteína ideal. El score de aminoácidos se determinó de acuerdo con Steffolani *et al.* (2016), se calculó la proporción de cada aminoácido esencial contenido en la proteína de la muestra con respecto a la proteína de referencia o patrón de aminoácidos (mg de aminoácido por g de proteína de la muestra / mg de aminoácido por g de proteína en el patrón de referencia). El aminoácido que muestra la menor proporción se denomina aminoácido limitante y la relación obtenida es el score de aminoácidos de la muestra. Para determinar el score de aminoácidos se utilizó como referencia los requerimientos de aminoácidos para niños de 2 a 5 años recomendado por FAO/WHO/UNU (1985). El score de aminoácidos obtenido se corrigió con digestibilidad de proteínas in vitro (Score de aminoácidos x digestibilidad/100).

3.4.15. Evaluación sensorial de las mezclas

Cada una de las 11 mezclas fueron evaluadas sensorialmente de acuerdo a lo sugerido por Akande *et al.* (2017), con algunas modificaciones. Se realizó una prueba de aceptabilidad a través del grado de satisfacción, usando una escala lineal de 10 centímetros teniendo como extremos “me disgusta extremadamente” y “me gusta extremadamente”, y el punto central “no me gusta ni disgusta”. Debido a que se tenía varios tratamientos, se usó un diseño de

bloques incompletos balanceados, con 33 panelistas semientrenados, cada panelista evaluó 6 de las 11 muestras.

Las muestras fueron preparadas a la concentración de 20% de harina con agua a 80°C, aproximadamente 10ml de cada muestra fue presentado a cada panelista en vasos idénticos codificados con números aleatorios de tres dígitos. Los panelistas evaluaron el color, sabor, textura y aceptabilidad general, y las marcas fueron expresadas como puntaje en una escala de 0 a 10.

3.4.16. Determinación de las propiedades texturales de las mezclas

Para determinar las propiedades texturales de las mezclas, se simuló la preparación de mazamoras de acuerdo a lo realizado con las marcas comerciales. Las mazamoras se prepararon dispersando la mezcla de harinas en agua a 80°C a la concentración de 30%. Las mezclas se agitaron y se dejaron enfriar por 2 horas hasta alcanzar la temperatura de 25°C.

Las propiedades texturales de las mazamoras fueron determinadas usando el accesorio *Back Extrusion* del texturómetro universal INSTRON (Modelo 3365, Instron, EE.UU), de acuerdo al procedimiento descrito por Angioloni *et al.* (2009). Porciones de 100 g de mazamorra se depositó en el cilindro de *Back Extrusion* (diámetro 50mm, altura 70 mm) y se penetró hasta 30% con un émbolo (diámetro 42 mm) a la velocidad de 1mm/s y una precarga de 10 g-f, luego el émbolo regresó a su posición inicial a la misma velocidad. Con los datos obtenidos se determinaron los parámetros texturales de las mazamoras, los cuales fueron firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. Caracterización de la quinua, kiwicha y tarwi

Se realizaron los análisis químicos proximales, humedad, actividad de agua, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua y digestibilidad in vitro de proteínas de la quinua, kiwicha y tarwi.

3.5.2. Determinación de propiedades térmicas y de formación de pasta de las harinas de kiwicha

Se realizaron los análisis de las propiedades térmicas con el calorímetro diferencial de barrido (DSC) y propiedades de formación de pasta de las harinas de kiwicha nativa y extruida.

3.5.3. Evaluación y optimización de la extrusión de quinua y kiwicha

Para la obtención de los extruidos de quinua y kiwicha se utilizó el flujo de operaciones mostrado en la Figura 5.

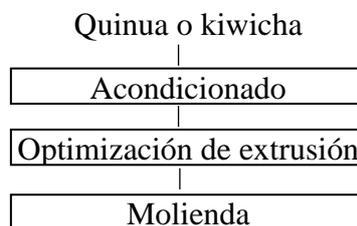


Figura 5. Flujo de operaciones para la extrusión de quinua y kiwicha

a. Acondicionamiento de la quinua y kiwicha para la extrusión.

Los granos fueron lavados en agua potable, en el caso de la quinua fue lavada sucesivamente 4 veces para eliminar la saponina, después fueron secados a 40°C por 12 horas en un secador de bandejas con circulación de aire forzado.

Los granos secos fueron molidos en un molino de martillos con malla de 1mm y empacados en envases de polipropileno de 60µm de espesor, hasta ser usados para la extrusión.

Previo a la extrusión, las harinas fueron acondicionadas a la humedad que corresponden a las pruebas de extrusión (Tabla 5). Para el acondicionamiento se midió la humedad inicial y por balance de materia, se determinó la cantidad de agua a adicionar, la adición de agua se realizó con un spray manual y se realizó el mezclado. Luego de la adición de agua, las muestras fueron almacenadas por 4 horas a 10°C, para uniformizar la humedad en toda la harina.

b. Extrusión y optimización de extrusión

Las pruebas de extrusión fueron realizadas en un extrusor de laboratorio de doble tornillo (Jinan Dingrum Machinery co. Ltd, China) provisto de elementos eléctricos de calentamiento en 4 zonas. Por pruebas preliminares se estableció los siguientes parámetros fijos: 2.95mm de diámetro del agujero de salida, 125 rpm de velocidad de tornillo y 280 g/min de velocidad de alimentación.

La optimización se realizó por Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) usando un diseño central compuesto con cara centrada ($\alpha=1$) con 5 puntos centrales, teniéndose en total 13 tratamientos (Tabla 5). Los niveles de humedad inicial de las harinas 14, 16 y 18% y la temperatura de extrusión (temperatura en la cuarta zona del extrusor) 160°C, 175°C y 190°C fueron usados como variables independientes y fueron determinados con pruebas preliminares. Índice de solubilidad al agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), capacidad antioxidante medido por DPPH (CA-DPPH), fenólicos totales (FT) y grado de gelatinización (GG), fueron usados como variables dependientes para la optimización. Los resultados experimentales fueron ajustados a un polinomio de segundo orden usando el software Desing Expert ver 7.0 (Stat-Ease, Inc., MN, USA).

c. Caracterización de los extruidos

Se realizó los análisis de humedad (M), actividad de agua (a_w), índice de expansión seccional (IES), densidad aparente (DA), índice de solubilidad al agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), capacidad antioxidante (CA), fenólicos totales (FT), grado de gelatinización (GG), parámetro de color L^* , a^* b^* , y para los extruidos de kiwicha, adicionalmente se realizó análisis de formación de pasta y propiedades térmicas con DSC.

d. Molienda

Las muestras obtenidas con los parámetros optimizados fueron molidas hasta una finura de 500 μm , y envasadas en envases de polipropileno de 60 μm de espesor.

3.5.4 Obtención de harina de tarwi

Para la obtención de harina, los granos de tarwi fueron seleccionados en forma manual con la finalidad de eliminar granos picados, dañados e impurezas. Luego los granos fueron desamargados de acuerdo al método reportado por (Jacobsen *et al.* 2006) con algunas modificaciones. Los granos fueron remojados durante 12 horas a temperatura ambiente con

la finalidad de ablandar el grano para su posterior cocción. La cocción se realizó a temperatura de ebullición durante una hora con la finalidad de facilitar el desamargado del grano. El desamargado consistió en poner los granos en pozas con corrientes de agua por un tiempo de 6 días para eliminar los alcaloides. El secado se realizó en un secador de bandejas a 60°C por 18h llegando a aproximadamente 9% de humedad. Finalmente los granos fueron molidos en un molino de martillos obteniendo harina con tamaño de partícula menor a 500 µm.

3.5.5. Mezclado de harina de tarwi con harina de extruidos de quinua y kiwicha maximizando la calidad proteica

a. Determinación de las proporciones de la mezcla.

Las proporciones de mezclado se determinaron con un diseño de superficie de respuesta D-optimal, el rango para harina de quinua extruida fue de 20-80%, de harina de kiwicha extruida de 20-80%, y de tarwi de 0-60% obteniéndose 11 mezclas (Tabla 14).

b. Determinación del contenido de proteína y score de aminoácidos de las mezclas

Con los valores de proteína, digestibilidad de proteína, aminoácidos de cada uno de los componentes de la mezcla y requerimientos de aminoácidos para niños de 2 a 5 años reportado por FAO/WHO/UNU (1985), se determinó el contenido de proteína y el score de aminoácidos de cada una de las mezclas.

c. Maximización del contenido y calidad proteica de las mezclas

La maximización se realizó por MSR usando el diseño de mezclas D-optimal (Tabla 12). Se maximizó el score de aminoácidos, la apreciación general de la evaluación sensorial y el contenido de proteína en el rango de 16-20%. El rango del contenido de proteína fue definido de acuerdo a lo reportado por FAO/WHO/UNU (1985), Qualiwarma que recomiendan de mínimo 15% de proteína y el Codex Alimentarius que recomienda el rango de 16-19%. Los datos fueron ajustados a un polinomio de segundo orden usando el software Design Expert 10 (Stat-Ease, Inc., MN, USA).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE QUINUA, KIWICHA Y TARWI

La composición de la quinua pasankalla, kiwicha centenario y tarwi yunguyo, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición físico química y digestibilidad de proteína de la harina de kiwicha centenario, quinua pasankalla y tarwi yunguyo.

Componente (%)	Kiwicha centenario	Quinua pasankalla	Tarwi yunyuyo
Humedad	10.25 ± 0.09	8.03 ± 0.11	9.00 ± 0.06
Proteína	14.33 ± 0.05	14.37 ± 0.06	52.42 ± 0.21
Grasa	7.15 ± 0.04	5.77 ± 0.28	21.41 ± 0.02
Ceniza	2.58 ± 0.03	2.34 ± 0.06	2.70 ± 0.02
Carbohidratos	65.69 ± 0.10	69.49 ± 0.18	14.48 ± 0.13
Fibra cruda	2.52 ± 0.05	7.24 ± 0.04	7.47 ± 0.13
Digestibilidad *(%)	87.47 ± 0.41	86.88 ± 2.06	90.38 ± 0.89

* Digestibilidad de proteína in vitro.

El tarwi tuvo mayor contenido de proteína que la quinua y kiwicha (Tabla 4), lo que permitió incrementar el contenido de proteína en la mezcla, además la combinación mejoró el score de aminoácidos.

El contenido de carbohidratos de la quinua y la kiwicha fueron altos (Tabla 4), lo cual fue favorable para la expansión durante el proceso de extrusión, pero también el contenido de grasa fue alto lo que influyó negativamente de la expansión durante la extrusión.

El contenido de proteínas y grasas de la kiwicha fue ligeramente superior a lo reportado por (Menegassi *et al.* 2011) en *Amaranthus cruentus* L. - BRS Alegría, la diferencia podría ser por la variedad de kiwicha.

Repo-Carrasco-Valencia *et al.* (2010b) reportaron para quinua pasankalla (12.69% de proteína, 6.85% de grasa, 2.20 % de fibra cruda, 2.49% de ceniza y 67% de carbohidratos), y para kiwicha (14.23% de proteína, 6.79% de grasa, 4.99% de fibra cruda, 2.42% de ceniza y 60.06% de carbohidratos). De los valores obtenidos en este estudio (Tabla 4) se puede observar que el contenido de proteína y carbohidratos son similares, pero existe diferencia en el contenido de fibra bruta. Estas diferencias se deberían a las diferentes condiciones de cultivo.

En la bibliografía varias investigaciones sobre extrusión de quinua y kiwicha de otras variedades y otros que no especifican la variedad estudiada; sin embargo, la composición química puede diferir mucho para las diferentes variedades, por lo que el resultado de la extrusión será diferente (Kowalski *et al.* 2016). Se ha reportado la composición en base seca de quinua variedad Cherry vainilla (12.39% de proteína, 51.4% de almidón, 6.96% de grasa, 18.98% fibra cruda y 1.88% ceniza) (Kowalski *et al.* 2016); como se puede observar esta variedad de quinua tiene alto contenido de fibra, lo cual influye negativamente en la expansión de los extruidos.

4.2. EFECTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRUSIÓN DE KIWICHA

El efecto de la humedad inicial y la temperatura de extrusión sobre el color y la expansión de la kiwicha extruida se puede ver en la Figura 6.

4.2.1. Actividad de agua y humedad de los extruidos de kiwicha.

El contenido de humedad de la kiwicha extruida (M) varió entre 7.26 y 10.46%, y la actividad del agua (a_w) entre 0.48 y 0.80; ambos fueron influenciados por la humedad inicial y la temperatura de extrusión ($p < 0.01$) (Tabla 5, Anexos 1A y 1B).

Como se esperaba, la humedad del extruido fue proporcional a la humedad inicial; por el contrario, el aumento de la temperatura de extrusión redujo el valor de M (Tabla 5), debido a que el incremento de la temperatura promueve la evaporación del agua cuando el extruido sale de la cámara de extrusión (Ye *et al.* 2018). Similar relación entre M, la humedad inicial y la temperatura de extrusión fue reportado para la extrusión de mezclas de maíz y amaranto (Ramos Diaz *et al.* 2013).

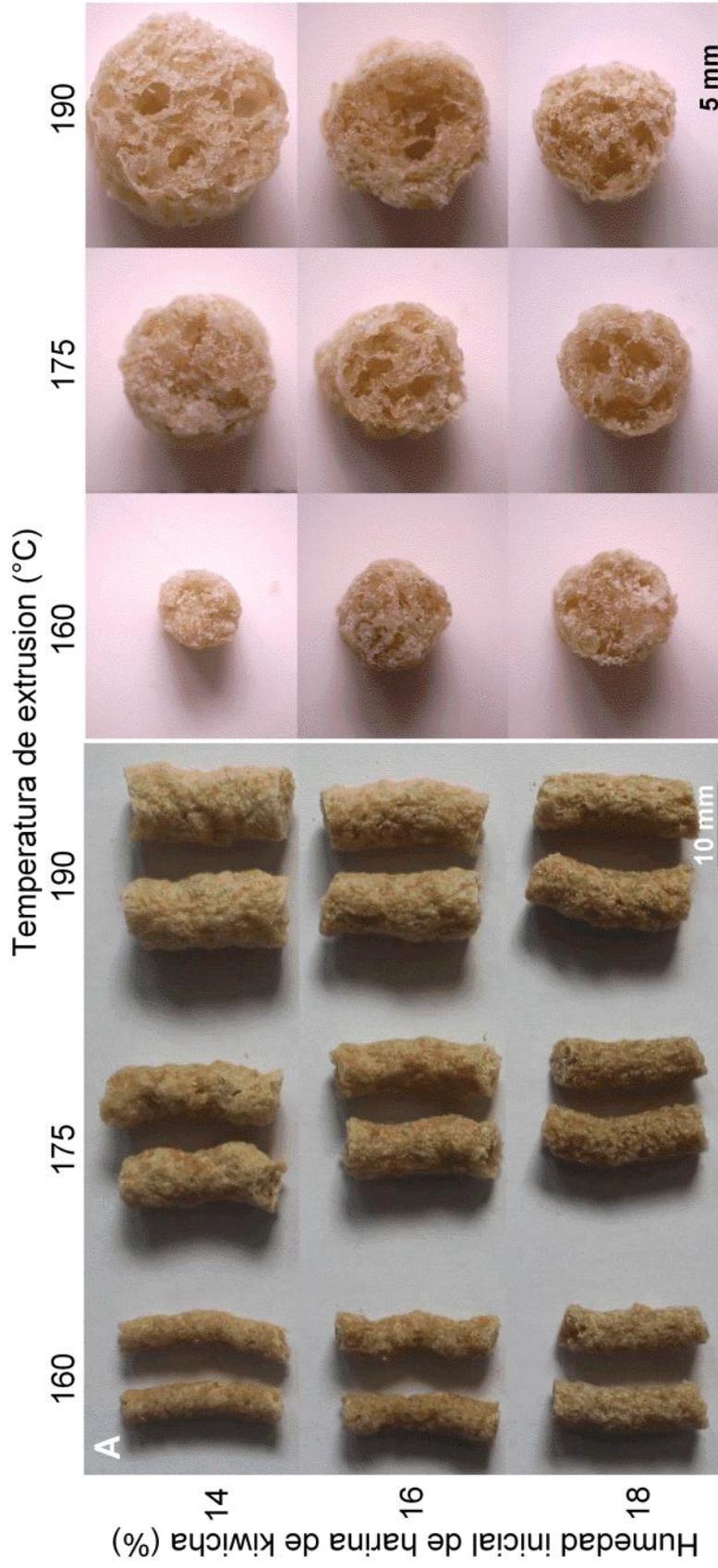


Figura 6. Extruidos de kiwicha, fotos extruidos enteros (A), fotos corte transversal (B)

Tabla 5. Propiedades físicas de la harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son la media \pm DS

Run	Parámetros de extrusión		Propiedades físicas							
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión (°C)	a_w	M (%)	IES	DA (g/cm ³)	ISA (%)	IAA (g/g)		
1	16	160	0.71 \pm 0.00 ^b	9.37 \pm 0.41 ^{abc}	2.60 \pm 0.20 ^f	0.78 \pm 0.06 ^b	42.4 \pm 1.6 ^e	4.2 \pm 0.0 ^f		
2	18	190	0.66 \pm 0.00 ^c	9.32 \pm 0.04 ^{abc}	4.72 \pm 0.38 ^b	0.34 \pm 0.03 ^f	53.3 \pm 1.3 ^{bc}	6.0 \pm 0.1 ^a		
3	16	190	0.55 \pm 0.03 ^f	8.27 \pm 0.20 ^{cde}	5.10 \pm 0.48 ^b	0.32 \pm 0.03 ^f	56.7 \pm 1.9 ^{ab}	5.8 \pm 0.1 ^{abc}		
4	16	175	0.64 \pm 0.01 ^c	8.56 \pm 0.03 ^{bcd}	3.99 \pm 0.37 ^{cd}	0.48 \pm 0.06 ^e	52.8 \pm 1.6 ^{bc}	5.7 \pm 0.1 ^{bcd}		
5	16	175	0.64 \pm 0.01 ^c	8.58 \pm 0.08 ^{bcd}	3.88 \pm 0.36 ^{cd}	0.50 \pm 0.04 ^e	52.5 \pm 0.7 ^c	5.6 \pm 0.1 ^{cd}		
6	14	160	0.60 \pm 0.00 ^{de}	7.78 \pm 0.13 ^{de}	1.79 \pm 0.25 ^g	1.01 \pm 0.06 ^a	24.4 \pm 3.5 ^f	3.7 \pm 0.1 ^g		
7	16	175	0.63 \pm 0.00 ^{cd}	8.53 \pm 0.06 ^{cd}	3.98 \pm 0.43 ^{cd}	0.48 \pm 0.06 ^e	53.3 \pm 0.5 ^{bc}	5.7 \pm 0.0 ^{bc}		
8	16	175	0.63 \pm 0.00 ^{cd}	8.52 \pm 0.06 ^{cd}	4.18 \pm 0.39 ^c	0.46 \pm 0.05 ^e	52.4 \pm 0.4 ^c	5.6 \pm 0.0 ^{cd}		
9	14	190	0.48 \pm 0.00 ^g	7.26 \pm 0.74 ^e	7.31 \pm 0.64 ^a	0.26 \pm 0.03 ^g	60.6 \pm 1.5 ^a	4.8 \pm 0.1 ^e		
10	14	175	0.55 \pm 0.00 ^f	7.74 \pm 0.27 ^{de}	4.75 \pm 0.27 ^b	0.44 \pm 0.03 ^e	53.2 \pm 2.6 ^{bc}	5.4 \pm 0.2 ^d		
11	16	175	0.64 \pm 0.00 ^c	8.57 \pm 0.08 ^{bcd}	3.97 \pm 0.24 ^{cd}	0.49 \pm 0.04 ^e	52.8 \pm 0.8 ^{bc}	5.6 \pm 0.0 ^{cd}		
12	18	175	0.78 \pm 0.01 ^a	9.77 \pm 0.07 ^{ab}	3.61 \pm 0.25 ^d	0.62 \pm 0.06 ^d	49.3 \pm 0.9 ^{cd}	6.0 \pm 0.2 ^{ab}		
13	18	160	0.80 \pm 0.00 ^a	10.46 \pm 0.64 ^a	3.05 \pm 0.18 ^e	0.71 \pm 0.06 ^c	45.7 \pm 1.3 ^{de}	4.8 \pm 0.1 ^e		
	Sin extruir		0.59 \pm 0.01 ^e	8.47 \pm 0.28 ^{cde}	NE	NE	10.5 \pm 0.9 ^g	3.4 \pm 0.3 ^g		

a_w es actividad de agua, M es contenido de humedad, IES es índice de expansión seccional, DA es densidad aparente, ISA es índice de solubilidad al agua y IAA es índice de absorción de agua. NE es no evaluable. Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

Además, se encontró una correlación positiva ($r = 0.91$, $p < 0.01$) entre M y a_w para la kiwicha extruida (Tabla 5), similar a lo reportado para la isoterma de adsorción de kiwicha no extruida (Balderrama *et al.* 2014). La a_w en los alimentos se reduce por efectos físicos como la interacción coligativa, capilar y superficial (Labuza *et al.* 2007). La gelatinización y degradación del almidón tuvo efectos opuestos en a_w , y el efecto de la capilaridad en a_w depende del tamaño de los poros formados. Por lo tanto, los cambios en la harina de kiwicha debido a la extrusión, no causaron un cambio significativo en a_w . Jamroz *et al.* (1999) reportaron que la isoterma de sorción sigmoideal de la papa extruida es similar a la de la papa no extruida en el rango intermedio correspondiente a una a_w entre 0.22 y 0.73.

La actividad de agua de los extruidos en la producción de snacks, alimentos para bebés o productos secos, es un importante factor que afecta la calidad final de los productos. La baja actividad de agua de los productos es el principal método para asegurar su vida útil. En la presente investigación los extruidos a alta humedad inicial y baja temperatura de extrusión (18% y 160°C) tienen alta actividad de agua (Tabla 5), por lo que sería necesario secarlos después de la extrusión para asegurar una satisfactoria conservación (Guy 2001c; Nguyen *et al.* 2010).

La actividad de agua afecta la crocancia de los extruidos, a medida que aumenta la actividad de agua la crocancia disminuye (Gondek *et al.* 2006; Heidenreich *et al.* 2004), generalmente el producto es crocante en el intervalo de $0.35 < a_w < 0.50$. Con una actividad de agua de 0,50, la muestra extruida tiene aproximadamente un contenido de humedad del 9% al 10%. Tal condición correspondería a una transición frágil / dúctil en las paredes celulares. Estudios de análisis sensorial en cereales para el desayuno establecieron la actividad de agua 0,50 como límite superior para aceptar tales productos como crujientes (Hecke *et al.* 1998) y 0,55 para hojuelas de maíz (Gondek *et al.* 2006).

4.2.2. Índice de expansión seccional y densidad aparente de extruidos de kiwicha

El índice de expansión seccional (IES) del extruido de kiwicha varió en el rango de 1.79 a 7.31 (Tabla 5). Se han reportado valores de IES similares para extruidos de kiwicha desgrasada (Chávez-Jáuregui *et al.* 2000) y de la mezcla de maíz y amaranto (7.6) (Ramos Díaz *et al.* 2013). Los valores encontrados son más altos que los reportados para trigo integral extruido (1.06–6.20) (Oliveira *et al.* 2017). Sin embargo, se ha reportado valores

altos de IES (6.2–22.8) para las mezclas de harina extruida de arroz y amaranto (Ilo *et al.* 1999).

El IES estuvo influenciado por la temperatura de extrusión y la humedad inicial ($p < 0.05$) (Tabla 5, Anexo 1C), similar a lo reportado para los extruidos de amaranto desgrasado (Chávez-Jáuregui *et al.* 2000). La temperatura de extrusión tuvo un efecto positivo en el IES, similar a lo reportado por Gomez *et al.* (1984). El efecto del contenido de humedad inicial en el IES depende de la temperatura de extrusión. De esta manera, el IES aumentó con el contenido de humedad inicial a 160°C, mientras que disminuyó a 190°C (Tabla 5), similar a lo reportado para la extrusión de la mezcla de maíz y amaranto (Ramos Diaz *et al.* 2013) y granos integrales de trigo (Oliveira *et al.* 2017). Un aumento del contenido de agua en la masa fundida suaviza la red de amilopectina, reduciendo la elasticidad y, en consecuencia, el IES (Ilo *et al.* 1999; Ramos Diaz *et al.* 2017). Por la razón anterior, el máximo IES para la extrusión de kiwicha se alcanzó con un contenido de humedad inicial bajo y una temperatura de extrusión alta (Tabla 5).

El IES encontrado para la kiwicha extruida (Tabla 5) fue menor que el de los cereales extruidos como el maíz y el arroz, lo que está relacionado con el alto contenido de proteína (14.3%) y grasa (7.2%) de kiwicha que afecta las propiedades de la masa fundida durante la extrusión disminuyendo el IES. La proteína endurece la masa, mientras que la grasa proporciona un efecto lubricante que disminuye la viscosidad y la energía mecánica, y en consecuencia la cantidad de almidón gelatinizado y el IES (Coulter *et al.* 1991; Ilo *et al.* 1999). Sin embargo, el valor de IES logrado en la kiwicha extruida sin desgrasar, extruida a un bajo contenido de humedad inicial y alta temperatura (Tabla 5), fueron similares al reportado para extruidos de kiwicha desengrasada y más alto que del extruido de quinua, y similares a los extruidos de amaranto desgrasado.

Finalmente, a pesar de que las altas temperaturas de extrusión pueden deteriorar los compuestos antioxidantes, encontramos que la capacidad antioxidante extraíble aumentó ligeramente (ver Tabla 8).

La densidad aparente (DA), que considera la expansión en todas las direcciones, varió de 0.26 a 1.1 g/cm³ para kiwicha extruida (Tabla 5); estos valores son similares a lo reportado

para maíz extruido (0.22 g/cm^3) (Basto *et al.* 2016), y más alto para lo reportado en extruidos de una mezcla de amaranto y arroz ($0.099\text{--}0.226 \text{ g/cm}^3$) (Ilo *et al.* 1999).

La DA fue influenciada negativamente por la temperatura de extrusión ($p < 0.01$) (Tabla 5, Anexo 1D), probablemente porque un aumento de la temperatura de extrusión aumentó el IES, reduciendo la densidad. Influencia negativa de la temperatura de extrusión en la DA también fue reportado por Coulter *et al.* (1991) y Oliveira *et al.* (2017). El valor más bajo de DA se encontró a la más baja humedad inicial (14%) (Tabla 5) similar a lo reportado para extrusión de mezcla de maíz con garbanzo (Ali *et al.* 2017). Efecto contrario de la humedad inicial en la DA con respecto al presente estudio, fue reportado por Chávez-Jáuregui *et al.* (2000) y Oliveira *et al.* (2017).

4.2.3. Índice de solubilidad en agua e índice de absorción de agua de extruidos de kiwicha

El índice de solubilidad al agua (ISA) de la kiwicha extruida varió de 24.4 a 60.6% y fue más alta que 10.5% de la kiwicha no extruida (Tabla 5); esto se debe a que el almidón gelatinizado es más soluble, y el alto cizallamiento mecánico de la extrusión provoca la dextrinización del almidón, lo que reduce su peso molecular y lo hace más soluble (Ramos Diaz *et al.* 2015). Se ha reportado un aumento similar de ISA para la extrusión de amaranto de 14.8 a 54.1% (Menegassi *et al.* 2011), y de 11 a 61% (Robin *et al.* 2015). También valores altos de ISA fueron reportados para extruidos de maíz con 20% de amaranto (35.2–32.1%) (Ramos Diaz *et al.* 2015).

El alto ISA encontrado para la kiwicha extruida (Tabla 5), podría explicarse por la menor resistencia de su endospermo, que aumenta la dextrinización del almidón durante la extrusión (Gonzalez *et al.* 2007). La temperatura tuvo una influencia positiva en ISA ($p < 0.01$) (Figura 9A, Anexo 1E). El efecto de la humedad inicial en el ISA está influenciado por la temperatura de extrusión. Por lo tanto, ISA aumentó con el contenido de humedad inicial a 160°C , mientras que disminuyó a 190°C (Figura 9A). Esto podría ser, porque en condiciones suaves de extrusión (baja temperatura y alta humedad), el aumento de ISA se atribuye principalmente a la dispersión de amilosa y amilopectina causada por la gelatinización, que aumentó con la humedad inicial. En condiciones severas (alta temperatura y baja humedad), el aumento de ISA está relacionado con compuestos de bajo peso molecular (Menegassi *et al.* 2011). El agua actúa como lubricante, reduciendo el

cizallamiento mecánico, por lo que el nivel de humedad inicial afectó negativamente en ISA (Ruales *et al.* 1993).

El índice de absorción de agua (IAA) de la kiwicha extruida varió de 3.7 a 6.0 g/g y fue más alto que el de la kiwicha no extruida (3.4 g/g) (Tabla 5). Esto podría explicarse porque la extrusión provoca la gelatinización del almidón y cambia la estructura del almidón lo que aumenta la exposición de los grupos hidrofílicos (Gomez *et al.* 1983; Ruales *et al.* 1993).

Los valores IAA de la kiwicha extruida (Tabla 5), fueron más altos que los extruidos de *A. cruentus* (3.8 g/g) (Menegassi *et al.* 2011) y para extruidos de la fracción rica en almidón de amaranto (3.49 g/g) (Gonzalez *et al.* 2007). Las diferencias en el nivel de hidratación están relacionadas con el almidón, la proteína, la fibra dietética (Brennan *et al.* 2012) y el contenido de grasa, así como las condiciones de extrusión. El contenido de humedad inicial tuvo un efecto positivo sobre IAA ($p < 0.01$) (Tabla 5, Anexo 1F). Esto podría explicarse por el efecto del agua durante la extrusión: a bajas temperaturas aumenta la gelatinización, y a altas temperaturas actúa como lubricante, disminuyendo la ruptura de las moléculas (Ye *et al.* 2018). Así, a una temperatura de extrusión de 190°C, cuando el contenido de humedad inicial aumentó, el IAA también aumentó mientras que el ISA disminuyó (Tabla 5). Se encontró un aumento del IAA con el aumento de la temperatura de extrusión de 160 a 175°C, pero no hubo ningún efecto con el aumento de la temperatura de extrusión de 175 a 190°C, excepto a un 14% de humedad inicial donde el IAA disminuyó.

4.2.4. Color de los extruidos de kiwicha

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* de la kiwicha extruida fueron diferentes a los de la harina de kiwicha no extruida (Tabla 6).

El valor L^* disminuyó de 80.4 a 44.5–52.1 por efecto de la extrusión (Tabla 6); la disminución de L^* indica oscurecimiento debido a la extrusión. Se han reportado disminuciones similares de L^* debido a la extrusión para *A. cruentus* (de 79.9 a 58.7) (Menegassi *et al.* 2011), y mezclas de arroz y amaranto (Ilo *et al.* 1999). El efecto de oscurecimiento de la extrusión podría deberse a la caramelización o la reacción de Maillard; la lisina y otros aminoácidos probablemente reaccionan con azúcares reductores

(Akande *et al.* 2017). El oscurecimiento aumentó cuando aumentó el contenido de humedad, mientras que la temperatura tuvo el efecto contrario (Tabla 6).

El efecto negativo de la temperatura en el oscurecimiento se debe a la degradación de los pigmentos y a un IES más alto que da como resultado una estructura celular más abierta, y por lo tanto, un color más claro (Coulter *et al.* 1991; Oliveira *et al.* 2017). Por otro lado, los valores L^* de la kiwicha extruida (44.5-52.1) (Tabla 6), fueron menores que los medidos después de moler las muestras extruidas (71.1-75.0) (Anexo 3), lo que indica que el cambio de color se produce principalmente en la superficie del extruido.

La medida del cambio de color (ΔE) de los extruidos de kiwicha varió de 28.5 a 36.3 (Tabla 6); Valor similar de ΔE (24) calculado a partir de L^* , a^* y b^* para extruido de A. cruentus fue reportado por Menegassi *et al.* (2011). El contenido inicial de humedad tuvo un efecto positivo en ΔE , pero la temperatura de extrusión tuvo el efecto contrario; por lo tanto, el mayor ΔE se produjo a una humedad inicial alta y una temperatura de extrusión baja (Tabla 6), posiblemente debido a que la reacción de pardeamiento fue mayor en estas condiciones. Por otro lado, se obtuvieron valores de ΔE más bajos (5.4-9.3) después de moler el material extruido (Anexo 3), esto se debería porque el cambio de color debido al proceso de extrusión, ocurre principalmente en la superficie de los extruidos.

Tabla 6. Color, parámetros de textura y grado de gelatinización de harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son media \pm DS

Run	Parámetros extrusión		Parámetros de color				Parámetros de textura			Grado gelatinización	
	Humedad inicial (%)	Temperatura extrusión (°C)	L*	a*	b*	ΔE	Dureza (N)	Resistencia al corte (N/m ²)x10 ⁻⁵	GGd(%)	GGe(%)	
1	16	160	46.1 \pm 0.6 ^{cde}	2.4 \pm 0.2 ^{abc}	7.8 \pm 0.4 ^{cde}	34.7 \pm 0.7 ^{abc}	28.65 \pm 6.6 ^{cd}	16.14 \pm 3.7 ^{ab}	97.27 \pm 1.36 ^b	72.8 \pm 1.2 ^f	
2	18	190	50.8 \pm 2.0 ^b	2.4 \pm 0.1 ^{bc}	8.9 \pm 0.7 ^b	29.8 \pm 2.0 ^d	20.19 \pm 1.6 ^e	6.27 \pm 0.5 ^d	99.98 \pm 0.00 ^a	89.6 \pm 0.5 ^b	
3	16	190	52.1 \pm 0.6 ^b	2.3 \pm 0.1 ^{bcd}	9.2 \pm 0.4 ^b	28.5 \pm 0.7 ^d	20.76 \pm 1.4 ^e	5.97 \pm 0.4 ^d	99.97 \pm 0.00 ^a	98.2 \pm 0.3 ^a	
4	16	175	46.6 \pm 2.6 ^{cde}	2.1 \pm 0.1 ^{de}	7.4 \pm 0.4 ^{de}	34.2 \pm 2.5 ^{abc}	35.38 \pm 4.3 ^a	13.00 \pm 1.5 ^c	99.76 \pm 0.02 ^a	85.1 \pm 0.4 ^{cd}	
5	16	175	45.5 \pm 1.5 ^{de}	2.1 \pm 0.1 ^{de}	7.4 \pm 0.3 ^{de}	35.2 \pm 1.4 ^{ab}	36.83 \pm 2.3 ^a	13.93 \pm 0.8 ^{abc}	99.77 \pm 0.00 ^a	86.1 \pm 0.1 ^c	
6	14	160	49.7 \pm 1.2 ^{bc}	2.6 \pm 0.2 ^a	8.9 \pm 0.6 ^b	30.9 \pm 1.2 ^{cd}	19.99 \pm 5.3 ^e	16.45 \pm 4.3 ^a	49.11 \pm 1.63 ^c	51.0 \pm 0.3 ^{ef}	
7	16	175	45.8 \pm 1.8 ^{de}	2.1 \pm 0.1 ^{de}	7.3 \pm 0.3 ^e	35.0 \pm 1.8 ^{ab}	36.08 \pm 1.9 ^a	13.30 \pm 0.7 ^{bc}	99.79 \pm 0.02 ^a	85.1 \pm 0.2 ^{cd}	
8	16	175	46.7 \pm 2.0 ^{cde}	2.1 \pm 0.1 ^e	7.3 \pm 0.3 ^e	34.1 \pm 2.0 ^{abc}	35.75 \pm 3.8 ^a	12.54 \pm 1.3 ^c	99.78 \pm 0.03 ^a	85.7 \pm 0.3 ^{cd}	
9	14	190	51.8 \pm 2.0 ^b	2.5 \pm 0.2 ^{ab}	8.4 \pm 0.7 ^{bcd}	28.9 \pm 2.1 ^d	23.32 \pm 1.5 ^{de}	4.67 \pm 0.3 ^d	99.98 \pm 0.00 ^a	99.5 \pm 0.7 ^a	
10	14	175	49.0 \pm 1.9 ^{bcd}	2.4 \pm 0.2 ^{abc}	8.8 \pm 0.4 ^{bc}	31.6 \pm 1.9 ^{bcd}	36.89 \pm 4.7 ^a	11.38 \pm 1.4 ^c	99.94 \pm 0.01 ^a	82.0 \pm 0.6 ^a	
11	16	175	46.0 \pm 1.6 ^{cde}	2.1 \pm 0.1 ^{de}	7.3 \pm 0.2 ^e	34.7 \pm 1.6 ^{abc}	37.72 \pm 3.5 ^a	13.93 \pm 1.3 ^{abc}	99.79 \pm 0.02 ^a	84.5 \pm 0.5 ^d	
12	18	175	45.4 \pm 1.7 ^{de}	2.2 \pm 0.1 ^{cde}	6.9 \pm 0.7 ^e	35.5 \pm 1.8 ^a	35.10 \pm 2.8 ^{ab}	14.25 \pm 1.1 ^{abc}	99.95 \pm 0.00 ^a	88.8 \pm 0.7 ^b	
13	18	160	44.5 \pm 2.3 ^e	2.4 \pm 0.1 ^{abc}	6.9 \pm 0.6 ^e	36.3 \pm 2.3 ^a	29.52 \pm 3.3 ^{bc}	14.17 \pm 1.6 ^{abc}	99.70 \pm 0.06 ^a	88.7 \pm 0.6 ^b	
Sin extruir			80.4 \pm 0.2 ^a	1.7 \pm 0.0 ^f	12.6 \pm 0.1 ^a	NE	NE	NE	0.00 \pm 0.00 ^d	1.0 \pm 0.1 ^b	

GGd es gelatinización medido por DSC y GGe medido por espectrofotometría. NE es no evaluable. Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

4.2.5. Propiedades de formación de pasta

Las propiedades de formación de pasta es un método útil para medir el grado de conversión de almidón durante la extrusión (Chávez *et al.* 2017).

La viscosidad inicial (VI) de kiwicha extruida varió de 0.058 a 0.330 Pa.s, fue más alta que la VI de la kiwicha no extruida (0.047 Pa.s) (Tabla 7 y Figura 7); la alta VI de la kiwicha extruida es atribuible a su alta solubilidad, lo que hace que su dispersión sea más viscosa. Se ha reportado un hallazgo similar para la mezcla extruida de amaranto y arroz (Ilo *et al.* 1999).

Como se esperaba, el valor de viscosidad pico (VP) fue alto (1.68 Pa.s) para la harina de kiwicha no extruida (Figura 7A); se han reportado valores similares para harina de trigo (2.0 Pa.s), sorgo (1.8 Pa.s) y mijo (1.5 Pa.s) (Robin *et al.* 2015). Esto se debe a la gelatinización del almidón durante el análisis de formación de pasta, lo que aumenta su viscosidad. La kiwicha extruida a 160°C con diferentes niveles iniciales de humedad mostró un pequeño valor de VP de 0.231-0.653 Pa.s, más bajo que el de la kiwicha no extruida. El VP disminuyó cuando la humedad inicial aumentó (Tabla 7 y Figura 7A). Esto se debe a que la extrusión a 160°C no es severa, por lo que la gelatinización fue incompleta y algunos gránulos de almidón conservaron su estructura cristalina (Basto *et al.* 2016). También se ha reportado una VP pequeño para extruidos de amaranto para papillas para bebe (0.0125 Pa.s) (Akande *et al.* 2017) y maíz (0.06455 Pa.s) (Zhang *et al.* 2016).

Tabla 7. Propiedades de pasta de harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son media±DS

Run	Parámetros de extrusión		Propiedades de pasta				
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión(°C)	IV (Pa.s)	VP (Pa.s)	VF (Pa.s)	TP (°C)	
1	16	160	0.166±0.006 ^d	0.265±0.013 ^c	0.374±0.008 ^c	63.5±0.7 ^b	
2	18	190	0.330±0.024 ^a	ND	0.256±0.003 ^e	ND	
3	16	190	0.261±0.003 ^{bc}	ND	0.211±0.003 ^f	ND	
4	16	175	0.261±0.010 ^{bc}	ND	0.245±0.004 ^e	ND	
6	14	160	0.058±0.002 ^e	0.653±0.001 ^b	0.738±0.008 ^b	61.0±0.0 ^c	
9	14	190	0.157±0.000 ^d	ND	0.136±0.001 ^g	ND	
10	14	175	0.206±0.003 ^{cd}	ND	0.202±0.001 ^f	ND	
12	18	175	0.313±0.007 ^{ab}	ND	0.300±0.000 ^d	ND	
13	18	160	0.239±0.003 ^c	0.231±0.002 ^c	0.331±0.004 ^d	67.5±0.7 ^a	
Sin extruir			0.047±0.040 ^e	1.680±0.049 ^a	1.437±0.022 ^a	63.1±0.0 ^b	

VI es viscosidad inicial, VP es viscosidad pico, VF es viscosidad final y TP es temperatura de pasta. Run 5, 7 and 8 no se muestran porque son repeticiones de run 4 (punto central del diseño de superficie de respuesta). ND es no detectado y diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística ($p < 0.05$).

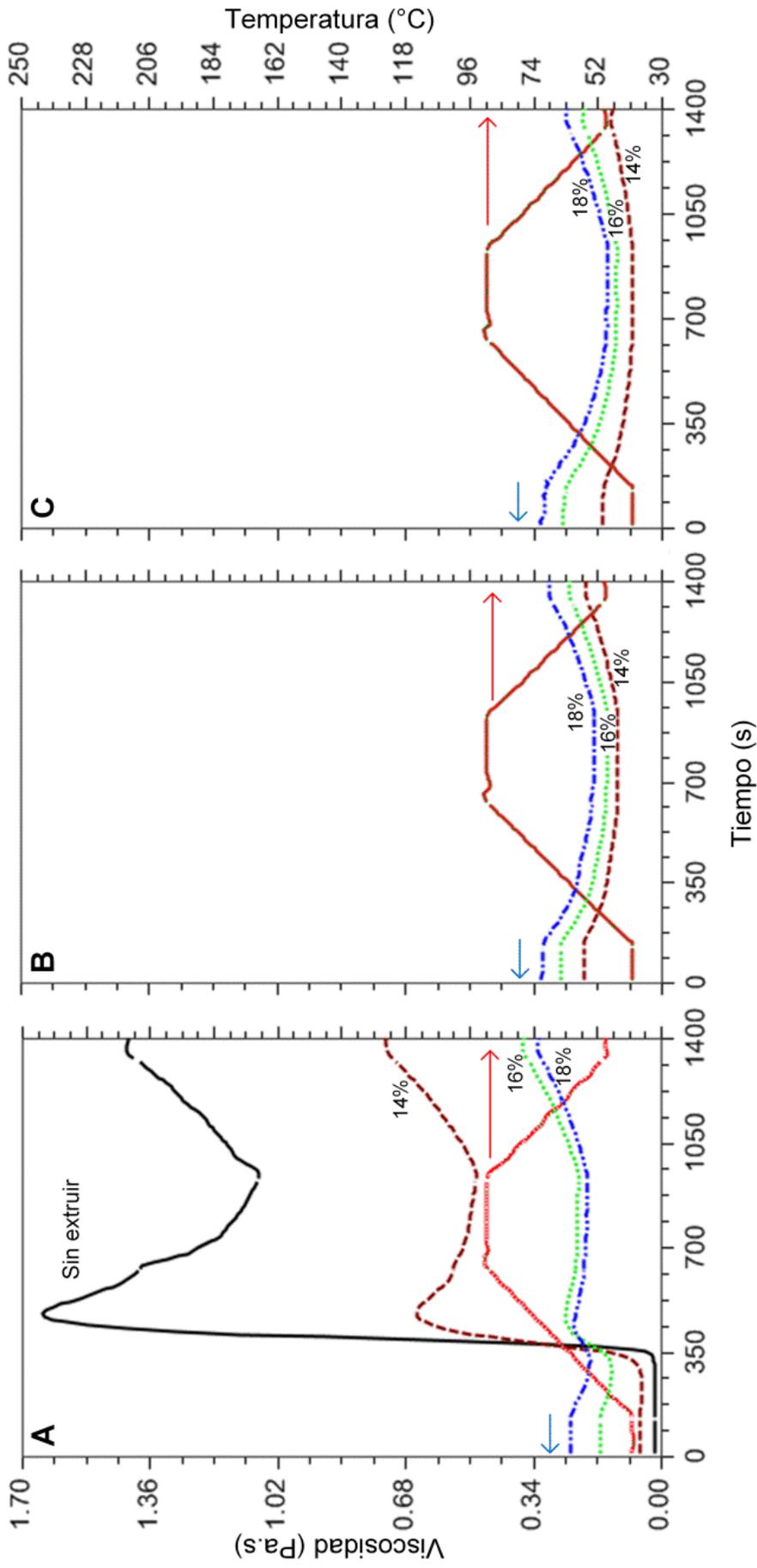


Figura 7. Curvas de viscosidad de formación de pasta de la harina no extruida y extruida a 160°C (A), extruida a 175°C (B), extruida a 190°C (C) con niveles de humedad de 14%, 16% y 18%. Los valores son medias de dos réplicas, en todos los casos se tiene $CV < 5\%$.

La kiwicha extruida a 175 y 190°C no mostró ningún valor de VP, y la viscosidad disminuyó durante el análisis de formación de pasta en el período de calentamiento (Figura 7B y C). Esto indica que la gelatinización y la degradación estructural del almidón fueron completas a estas temperaturas (Basto *et al.* 2016). La ausencia de VP está de acuerdo con el valores altos de ISA (Tabla 5) y ausencia de pico endotérmico determinado por DSC (ver Fig. 8). Otros investigadores también han mostrado un VP pequeño o ausente para los extruidos (Gonzalez *et al.* 2007; Ilo *et al.* 1999; Menegassi *et al.* 2011; Robin *et al.* 2015).

La viscosidad final (VF) disminuyó con el proceso de extrusión de 1.437 Pa.s (no extruido) a valores entre 0.136 y 0.738 Pa.s (extruido) (Tabla 7 y Figura 7). Se ha reportado reducción de VF de 3.553 Pa.s de no extruido a 0.315 Pa.s para extruido para maíz (Zhang *et al.* 2016). De la misma manera, se ha reportado un VF bajo (0.02 Pa.s) en la harina para mazamorra a base de amaranto extruido (Akande *et al.* 2017).

En el presente estudio, se encontró una correlación negativa entre VF y el grado de gelatinización (GG) ($r = -0.92$, $p < 0.01$) (Tablas 6 y 7). La correlación anterior indica que un alto grado de gelatinización (GG) obtenido para condiciones de extrusión severas resulta bajos valores de VF (Tabla 7). Un valor bajo de VF indica la rotura de la estructura granular de almidón por el proceso de extrusión (Kong *et al.* 2009; Menegassi *et al.* 2011; Robin *et al.* 2015).

La temperatura de formación de pasta es la temperatura a la cual la viscosidad comienza a aumentar durante la etapa de calentamiento del análisis de formación de pasta. La TP de la harina de kiwicha extruida y no extruida estuvo entre 61.03 y 67.51°C (Figura 7), que es inferior a los 76°C reportados para *A. cruentus* (Menegassi *et al.* 2011).

4.2.6. Termogramas de extruidos de kiwicha

El pico endotérmico (PE) medido por DSC (Figura 8) está inversamente relacionado con el grado de gelatinización (GG) causada por la extrusión (Gonzalez *et al.* 2007; Menegassi *et al.* 2011). La harina de kiwicha no extruida tuvo un PE más alto que el de la harina extruida a 160°C, que se redujo al aumentar el contenido de humedad inicial (Figura 8A). Este PE está de acuerdo con la VP encontrado en el análisis de formación de pasta (Figura 7A). Una disminución de PE también fue informado por efecto de la extrusión de *A. cruentus* (Menegassi *et al.* 2011) y maíz (Zhang *et al.* 2016). Los extruidos a 175 y 190°C casi no mostraron PE (Figura 8B y C) debido a la gelatinización casi total y la degradación del almidón por el proceso de extrusión (Gonzalez *et al.* 2007); estos resultados también están de acuerdo con el análisis de formación de pasta (Figura 7B y C).

La temperatura de gelatinización (Tg) que corresponde a los picos del termograma estuvo entre 69 y 71°C para kiwicha extruida y no extruida (Fig. 8A). Estos valores son similares a los ~70°C reportados para el almidón de amaranto (Baker *et al.* 1998), y el rango de 68 a 78°C para 15 cultivares de amaranto (Kong *et al.* 2009). Sin embargo, la Tg para kiwicha (Fig. 8A) fue inferior a los 76°C reportados para *A. cruentus* por (Menegassi *et al.* 2011). La Tg obtenida en el presente estudio fue mayor que para otros cereales como el trigo y el arroz; esto podría ser porque hay regiones más organizadas en el almidón de amaranto ya que se necesitaban temperaturas más altas para registrar una transición de fusión (Baker *et al.* 1998).

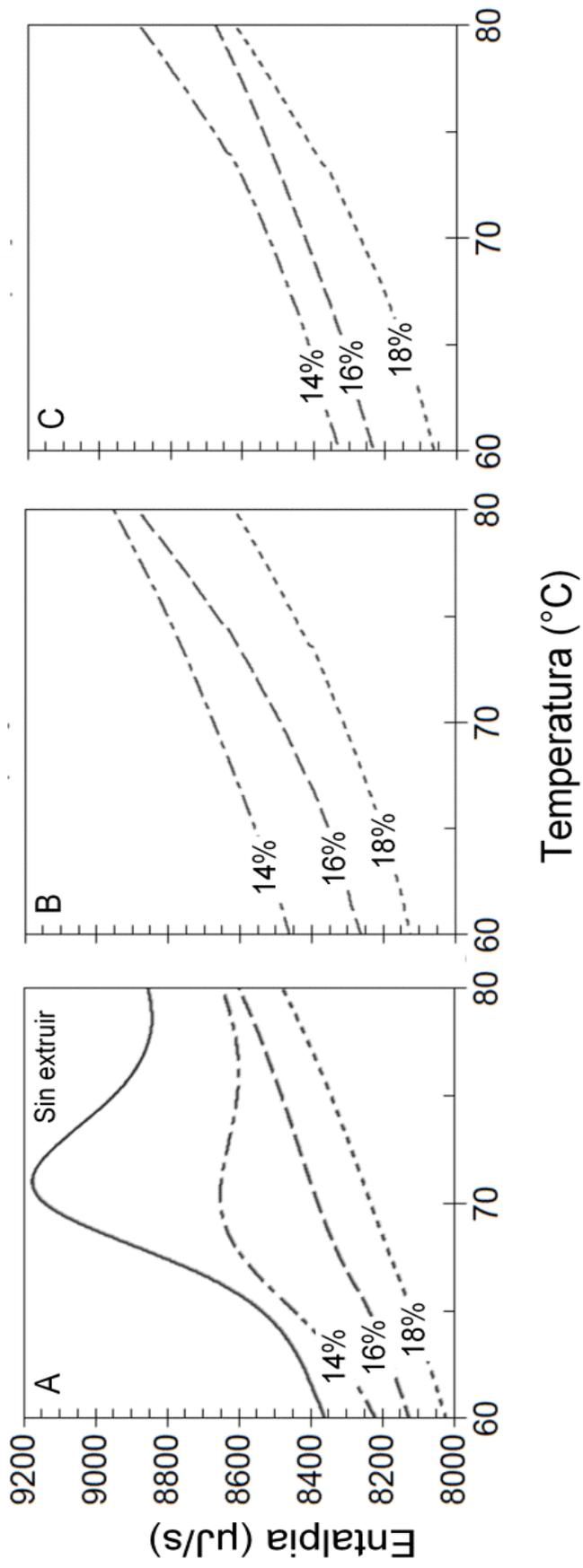


Figura 8: Termogramas por DSC de harina de kiwicha no extruido y extruido a 160°C (A), extruido a 175°C (B), extruido a 190°C (C) a niveles de humedad 14%, 16% y 18%. Los valores son medias de dos replicas, en todos los casos el CV<5%.

4.2.7. Textura de extruidos de kiwicha

La dureza de la kiwicha extruida varió entre 20.0 y 37.72 N y fue influenciada por la temperatura de extrusión ($p < 0.05$) (Tabla 6, Anexo 1G). La dureza aumentó cuando la temperatura de extrusión aumentó de 160 a 175°C, y disminuyó cuando la temperatura aumentó de 175 a 190°C (Tabla 6). Se ha reportado una influencia similar para el extruido de amaranto desgrasado extruido (Chávez-Jáuregui *et al.* 2000). La dureza no fue influenciada por la humedad inicial (Tabla 6, Anexo 1G), contrariamente a lo reportado para el extruido de la mezcla de maíz y amaranto (Ramos Diaz *et al.* 2013).

La resistencia al corte (RC), obtenida dividiendo la dureza entre el área seccional del extruido, varió entre 4.7×10^5 y 16.5×10^5 N/m² (Tabla 6), que es más alta que $1.3 - 5.9 \times 10^5$ N/m² reportada para extruidos de la mezcla de arroz y amaranto (Ilo *et al.* 1999). La resistencia al corte no fue influenciada por la humedad inicial, pero si fue influenciada negativamente por la temperatura de extrusión ($p < 0.05$) (Tabla 6, Anexo 1H) debido a que el IES aumentó con la temperatura de extrusión.

La resistencia al corte disminuyó con el incremento de la humedad inicial a la temperatura de extrusión de 160°C, pero se incrementó con la humedad inicial a 175 y 190°C (Tabla 6). Este comportamiento se debe a la influencia del contenido de humedad inicial sobre el IES, que a su vez influye en la resistencia al corte. En el presente estudio, se encontró una correlación negativa entre la resistencia al corte y IES ($r = -0.88$, $p < 0.01$) y una correlación positiva entre la resistencia al corte y DA ($r = 0.82$, $p < 0.01$). Por lo tanto, se espera que la kiwicha extruida con una baja resistencia al corte (alto IES y bajo DA) tenga una alta aceptación sensorial. Hallazgos similares fueron reportado para extruidos de amaranto desgrasado (Chávez-Jáuregui *et al.* 2000), mezcla de amaranto y arroz (Ilo *et al.* 1999) y trigo (Oliveira *et al.* 2017).

4.2.8. Grado de gelatinización de extruidos de kiwicha

El grado de gelatinización (GG) se midió por espectrofotometría (GGe) y DSC (GGd). El GGe de kiwicha extruido varió entre 51.0% y 99.5% (Tabla 6). El GG aumentó con la temperatura de extrusión ($p < 0.01$) y fueron influenciados por el contenido de humedad inicial ($p < 0.01$) (Tabla 6, Anexo 1I). De esta manera, el GG aumentó con el contenido de humedad inicial a una temperatura de extrusión de 160°C, pero disminuyeron ligeramente a 190°C (Figura 9E). La influencia del contenido de humedad inicial en el GG también ha

sido reportada por (Doğan *et al.* 2003; Gomez *et al.* 1984). En el presente estudio, se encontró una correlación positiva ($r = 0.80$, $p < 0.05$) entre el IES y GG (Tabla 5 y 6), similar a lo reportado para extruidos de maíz (Zhang *et al.* 2016).

El GGd de kiwicha extruido fue entre 51% y 100%. GGd fue mayor que GGe para extruido de kiwicha, y se observó lo contrario para kiwicha no extruida (Tabla 6), pero hubo un alto grado de correlación ($r = 0.97$, $p < 0.01$) entre GGd y GGe. Un comportamiento similar ha sido reportado comparando GG medido por DSC y métodos enzimáticos (Ruales *et al.* 1993).

4.2.9. Capacidad antioxidante y fenólicos totales de extruidos de kiwicha

La capacidad antioxidante de las muestras no extruidas y extruidas se evaluó mediante dos métodos, DPPH y ABTS, la capacidad antioxidante evaluada por ambos métodos fueron influenciados por la humedad inicial y la temperatura de extrusión (Anexo 2A y 2B). La capacidad antioxidante evaluada por DPPH aumentó con respecto a la de la harina de kiwicha no extruida para todas las condiciones de extrusión, de 57.6 a 67.6–99.0 μmol de Trolox/g (Tabla 8). El aumento en la capacidad antioxidante podría deberse a la liberación de antioxidantes de la matriz alimentaria resultante de la extrusión, lo que aumenta su accesibilidad a la extracción química (Ramos Diaz *et al.* 2017). La capacidad antioxidante evaluada por ABTS también aumentó, de 287.5 a 297.3–356.3 μmol de Trolox/g, excepto para dos condiciones de extrusión: temperatura de extrusión de 175 y 190°C con 18% de humedad inicial. En estas condiciones, la capacidad antioxidante disminuyó de 287.5 a 272.9 y 228.9 μmol Trolox/g respectivamente (Tabla 8). Esto podría deberse a que la degradación por temperatura es más alta que la liberación de compuestos antioxidantes. Se ha reportado un aumento de la capacidad antioxidante de 34.75 a 39.03 μmol Trolox/g determinado por el método ORAC para extruidos de *A. hypochondriacus* (Milán-Carrillo *et al.* 2012). Por lo contrario, se ha reportado una disminución de 410 a 180 μmol de Trolox/g por DPPH para kiwicha (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009).

Tabla 8. Propiedades químicas de la harina de kiwicha sin extruir y extruido. Los valores son la media±DS

Run	Parámetros de extrusión		Capacidad antioxidante (µmol Trolox/g)			Fenólicos totales (mg AG/100g)
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión (°C)	DPPH	ABTS		
1	16	160	67.6±3.5 ^{de}	323.0±8.6 ^{bcd}		32.5±1.9 ^{bc}
2	18	190	75.7±3.1 ^{cd}	228.9±8.1 ^e		23.7±1.0 ^e
3	16	190	84.2±3.7 ^b	330.6±10.7 ^{abc}		27.1±1.3 ^{ef}
4	16	175	68.3±2.1 ^{de}	299.5±4.7 ^{cdef}		26.5±1.2 ^f
5	16	175	68.3±1.7 ^{de}	296.8±2.8 ^{def}		26.8±0.8 ^{ef}
6	14	160	72.7±3.2 ^{cd}	308.4±12.1 ^{cde}		31.3±0.8 ^{cd}
7	16	175	69.0±1.7 ^{de}	301.7±3.8 ^{cdef}		26.5±1.0 ^f
8	16	175	67.9±2.0 ^{de}	299.9±3.5 ^{cdef}		26.6±1.0 ^f
9	14	190	99.0±4.9 ^a	356.3±16.9 ^a		34.4±2.1 ^b
10	14	175	78.3±6.3 ^{bc}	313.7±16.1 ^{bcd}		29.4±2.0 ^{de}
11	16	175	67.8±0.9 ^{de}	297.3±2.3 ^{def}		26.8±0.9 ^{ef}
12	18	175	62.0±4.7 ^{ef}	272.9±7.8 ^f		25.9±0.4 ^{fg}
13	18	160	84.9±6.2 ^b	343.0±18.9 ^{ab}		37.9±1.4 ^a
		Sin extruir	57.6±1.7 ^f	287.5±11.1 ^{ef}		31.5±1.6 ^{cd}

Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística (p<0.05)

El contenido de fenólicos totales (FT) fue de 31.5 mg AGE/100 g para no extruido y entre 23.7 y 37.9 mg AGE/100 g para extruido de kiwicha (Tabla 8). El contenido de FT fue influenciado por la humedad inicial y temperatura de extrusión ($p < 0.01$) (Anexo 2C). El contenido de FT tuvo un comportamiento similar a la capacidad antioxidante determinada por ABTS ($r = 0.74$, $p < 0.05$); Esto podría deberse a que los compuestos fenólicos son el principal contribuyente a la capacidad antioxidante de la kiwicha (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009).

La kiwicha extruida a 160°C tenía un mayor contenido de FT que la harina de kiwicha no extruida (Tabla 8); Esto podría deberse a la liberación de compuestos fenólicos por la extrusión. A temperatura de extrusión de 190°C, el contenido de FT fue menor que el de la harina de kiwicha no extruida, excepto con un 14% de humedad inicial (Tabla 8). La reducción de FT puede atribuirse a la degradación debido al efecto de que la temperatura es más alta que la liberación de FT. Se ha reportado un aumento de FT en la extrusión de *A. hypochondriacus*, de 56.6 a 69.50 AGE/100 g (Milán-Carrillo *et al.* 2012), y para la mezcla de amaranto con maíz (Ramos Diaz *et al.* 2017). Por el contrario se ha reportado disminución de FT por efecto de la extrusión para mezclas a base de amaranto de 268.67 a 193.0–261.25 mg AGE/100 g (Akande *et al.* 2017), y extrusión de kiwicha de 113 a 22 mg AGE/100 g (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009).

4.2.10. Optimización de la extrusión de kiwicha

La optimización de la extrusión se realizó por Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) usando un diseño compuesto central con cara centrada, con cinco puntos centrales. Se optimizó la humedad inicial y la temperatura de extrusión con el fin de maximizar las siguientes variables de respuesta: índice de solubilidad al agua, índice de absorción de agua, grado de gelatinización, capacidad antioxidante medida por DPPH y fenólicos totales (Figura 9, Anexos 1E, 1F, 1I, 2A, 2C).

El modelo cuadrático fue significativo al estimar las variables de respuesta ISA ($p < 0.01$, $R^2 = 0.93$), IAA ($p < 0.01$, $R^2 = 0.96$), CA-DPPH ($p < 0.01$, $R^2 = 0.93$), FT ($p < 0.01$, $R^2 = 0.99$) y GG ($p < 0.01$, $R^2 = 0.98$) (Figura 9A – E).

Las ecuaciones para la maximización fueron:

$$\text{ISA} = -1468.91 + 62.40 M + 10.97T - 0.238M.T - 0.623M^2 - 0.019T^2$$

$$\text{IAA} = -108.87 + 0.664M + 1.18T + 6.15E-004 M.T - 0.017M^2 - 3.28E-003T^2$$

$$\text{CA-DPPH} = 882.80 + 14.21M - 10.78T - 0.297MT + 1.11M^2 + 0.045T^2$$

$$\text{FT} = 263.87 + 12.42M - 3.61T - 0.144MT + 0.377M^2 + 0.016T^2$$

$$\text{GG} = -1506.99 + 84.64M + 9.37T - 0.397MT - 0.386M^2 - 6.26E-003T^2$$

Dónde:

ISA es índice de solubilidad al agua, IAA es índice de absorción de agua, CA-DPPH es capacidad antioxidante medido por DPPH, FT son fenólicos totales, GG es grado de gelatinización. M es humedad inicial de la harina de kiwicha y T es temperatura de extrusión.

Las condiciones óptimas de extrusión obtenidos fueron 14% de humedad inicial y 190°C de temperatura de extrusión con 0.85 deseabilidad (Figura 9F), las variables respuestas maximizadas fueron 61.51% ISA, 5.04 IAA, 101.2 $\mu\text{mol Trolox/g}$ CA-DPPH, 34.49 mg AGE/100 g y 100% GG.

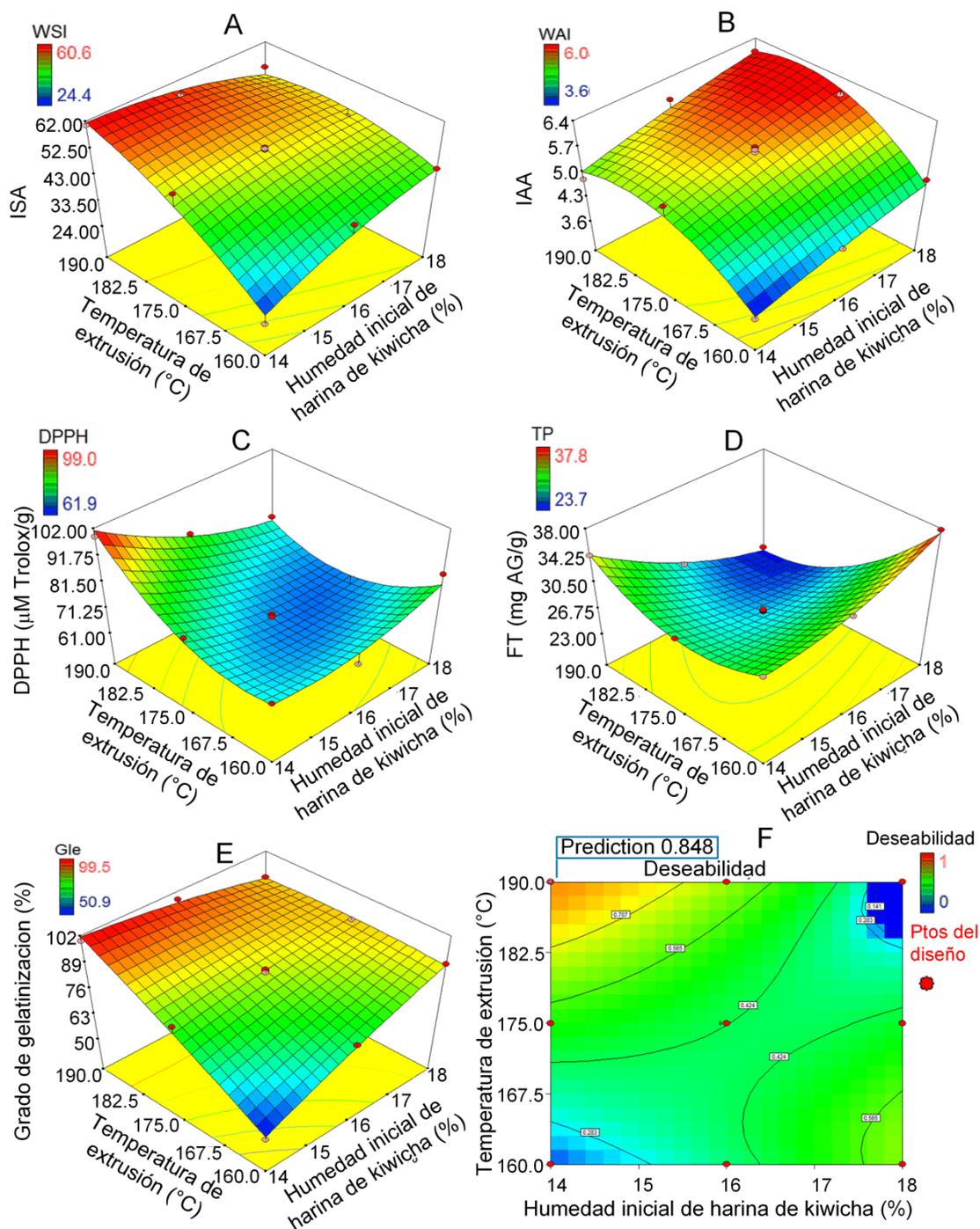


Figura 9. Superficie de respuesta y contornos del efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en los extruidos de kiwicha centenario sobre el índice solubilidad al agua (A), índice de absorción de agua (B), capacidad antioxidante medido por DPPH (C), Fenólicos totales (D), Grado de gelatinización (E). Región de contornos para optimizar la humedad inicial y la temperatura de extrusión (F).

4.3. EFECTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRUSIÓN DE QUINUA PASANKALLA

El efecto de la humedad inicial y la temperatura de extrusión en el color y la expansión de los extruidos de quinua pasankalla se puede observar en la Figura 10.

4.3.1. Actividad de agua y humedad de los extruidos de quinua

La humedad de los extruidos de quinua (M) están en el rango de 6.61% a 9.28% y la actividad de agua (a_w) en el rango de 0.48 a 0.73. Se encontró una influencia positiva de la humedad inicial e influencia negativa de la temperatura de extrusión sobre la humedad final y la actividad de agua de los extruidos ($p < 0.01$) (Tabla 9, Anexos 5A y 5B). Similar influencia de la humedad inicial y la temperatura de extrusión fue reportada para la extrusión de quinua (Ruales *et al.* 1993). La influencia negativa de la temperatura de extrusión sobre la humedad final de los extruidos, se debería porque la evaporación del agua cuando el extruido sale de la cámara de extrusión se incrementa con el incremento de la temperatura (Ye *et al.* 2018). Adicionalmente se encontró una correlación positiva entre la humedad de los extruidos y la actividad de agua ($r = 0.91$) (Tabla 9).

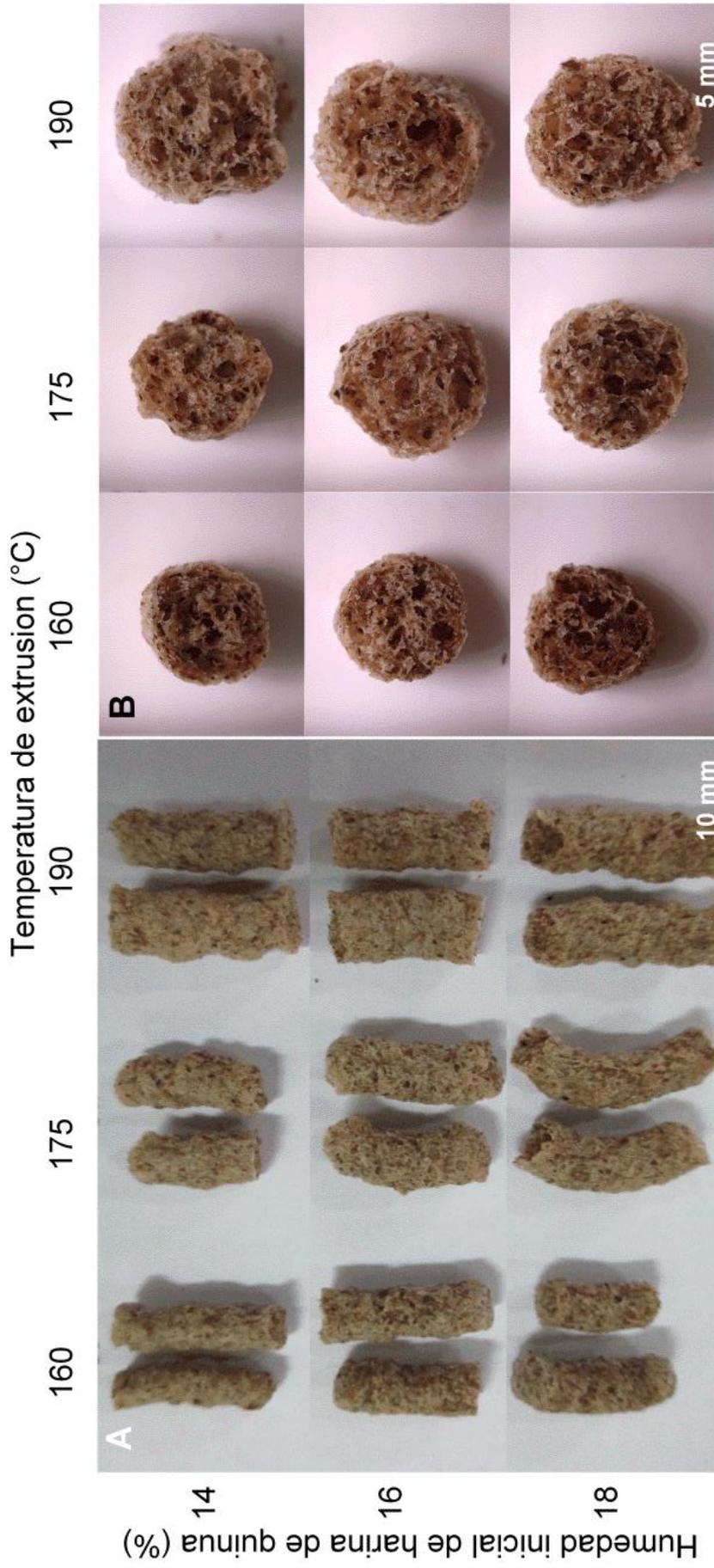


Figura 10: Extruidos de quinua pasankalla, fotos extruidos enteros (A), fotos corte transversal (B)

Tabla 9. Propiedades físicas de la harina de quinua pasankalla sin extruir y extruido. Los valores son la media±DS

Run	Parámetros de extrusión			Propiedades físicas						
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión (%)	a_w	M (%)	IES	DA (g/cm ³)	ISA (%)	IAA (g/g)		
1	18	190	0.57±0.00 ^c	6.93±0.08 ^f	5.19±0.43 ^b	0.33±0.04 ^{de}	29.86±1.46 ^a	7.75±0.17 ^{abc}		
2	14	190	0.48±0.00 ^d	6.82±0.02 ^{fg}	5.79±0.72 ^a	0.24±0.04 ^f	26.00±0.31 ^{bc}	8.05±0.12 ^a		
3	18	175	0.66±0.00 ^b	7.88±0.04 ^d	4.21±0.48 ^c	0.41±0.06 ^c	30.20±1.02 ^a	7.29±0.16 ^{cd}		
4	18	160	0.73±0.00 ^a	9.28±0.03 ^a	3.92±0.21 ^c	0.47±0.05 ^b	23.35±1.11 ^{cd}	7.20±0.19 ^{cd}		
5	16	160	0.66±0.00 ^b	8.30±0.06 ^c	4.10±0.28 ^c	0.49±0.03 ^b	21.30±0.20 ^{de}	7.26±0.09 ^{cd}		
6	14	175	0.48±0.00 ^d	6.61±0.05 ^g	4.01±0.57 ^c	0.37±0.06 ^{cd}	25.05±0.14 ^{bc}	7.74±0.13 ^{abc}		
7	16	175	0.58±0.00 ^c	7.39±0.05 ^e	4.86±0.37 ^b	0.31±0.03 ^e	24.68±0.20 ^c	7.50±0.02 ^{bc}		
8	16	190	0.56±0.00 ^c	7.75±0.11 ^{de}	5.78±0.52 ^a	0.23±0.03 ^f	28.22±0.66 ^{ab}	7.99±0.19 ^{ab}		
9	16	175	0.57±0.00 ^c	7.72±0.06 ^e	5.19±0.30 ^b	0.33±0.02 ^e	23.57±2.32 ^c	7.57±0.12 ^{bc}		
10	16	175	0.57±0.01 ^c	7.63±0.08 ^e	4.91±0.49 ^b	0.31±0.03 ^e	24.54±0.62 ^c	7.67±0.12 ^{bc}		
11	16	175	0.57±0.01 ^c	7.61±0.05 ^e	5.19±0.33 ^b	0.33±0.02 ^e	24.51±0.73 ^c	7.60±0.04 ^{bc}		
12	16	175	0.57±0.00 ^c	7.43±0.08 ^e	4.82±0.21 ^b	0.32±0.03 ^e	24.55±0.30 ^c	7.60±0.14 ^{bc}		
13	14	160	0.56±0.00 ^c	7.04±0.07 ^f	3.05±0.34 ^d	0.60±0.07 ^a	19.92±0.95 ^e	7.00±0.19 ^d		
Sin extruir			0.67±0.00 ^b	8.92±0.15 ^b	NE	NE	13.74±0.76 ^f	2.86±0.42 ^e		

a_w es actividad de agua, M es contenido de humedad, IES es índice de expansión seccional, DA es densidad aparente, ISA es índice de solubilidad al agua y IAA es índice de absorción de agua. NE es no evaluable. Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencia estadística ($p < 0.05$).

4.3.2. Índice expansión seccional y densidad aparente de extruidos de quinua

El índice expansión seccional (IES) de los extruidos de quinua pasankalla se encuentran en el rango de 3.05 a 5.79 (Tabla 9). Los valores de IES obtenido fue superior a 2.49 reportado para extruidos de mezcla de quinua con maíz (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2011a), al rango de 0.92-3.58 reportado para la extrusión de quinua (Doğan *et al.* 2003), y rango de 1.41-2.79 (calculado de relación de expansión) reportado para la extrusión de quinua variedad cherry vainilla (Kowalski *et al.* 2016). La diferencia en el IES se debería a las condiciones de extrusión y la variedad de quinua. Sin embargo, los valores obtenidos de IES fueron bajos comparados con extruidos de otros cereales. El bajo IES observado en la quinua puede ser atribuido a los altos contenido de proteína, fibra y grasa comparado con otros cereales (Kowalski *et al.* 2016). Comparando la extrusión de diferentes variedades de quinua se encontró que el que tenía mayor expansión tenía bajos niveles de grasa, fibra y proteína Aluwi *et al.* (2016). La fibra tiende a retener agua en la matriz reduciendo así el vapor creado que produce la expansión, además las fibras tienden a ser más rígidas en comparación con el almidón, de esta manera reduce la expansión (Kowalski *et al.* 2016).

Se encontró influencia positiva ($p < 0.01$) de la temperatura en el IES (Tabla 9, Anexo 5C). El efecto de la temperatura y humedad inicial sobre el IES también fue reportado para la extrusión de quínoa (Doğan *et al.* 2003). La influencia de la humedad inicial en el IES depende de la temperatura, a 160 y 175°C el IES se incrementa cuando la humedad se incrementa de 14 a 16% y disminuye cuando la humedad aumenta de 16 a 18%. A 190°C y 14% de humedad inicial, se tiene la máxima expansión que es estadísticamente igual al de 16% de humedad inicial. El efecto positivo de la humedad sobre el IES se puede explicar debido a que el agua al salir del extrusor se evapora por un cambio de presión ocasionado la expansión, y el efecto negativo de la humedad se debe a que a altas temperaturas, el agua actúa como lubricante durante la extrusión (Ilo *et al.* 1999; Ramos Diaz *et al.* 2017; Ye *et al.* 2018).

La máxima expansión para la kiwicha y quinua se logró a baja humedad y alta temperatura, como lo reportado por varios investigadores. El índice de expansión de la quinua pasankalla es inferior al de la kiwicha centenario (Tabla 9 y 5), esto se debería al contenido de fibra de la quinua es mayor que la kiwicha el cual disminuye la expansión (Coulter *et al.* 1991; Kowalski *et al.* 2016).

En la extrusión de la kiwicha y quinua, se encontró la influencia positiva ($p < 0.01$) de la temperatura de extrusión sobre el índice de expansión (Tablas 5 y 9), este efecto podría explicarse debido a que en la cocción por extrusión el alimento es sometido a temperatura por encima de 100°C , alta presión y cizallamiento transformando el alimento en una masa viscoelástica dentro del extrusor, y cuando este emerge del extrusor a la presión atmosférica, el cambio de presión hace que la humedad se evapore, creando burbujas que dejan huecos en la estructura provocando la expansión del alimento (Fellows 2017; Yacu 2012; Ye *et al.* 2018). El crecimiento de las burbujas cesa al enfriarse, cuando la matriz viscoelástica se vuelve vítrea y ya no permite que tenga lugar la expansión (Moraru *et al.* 2003). El incremento de la temperatura no solo disminuye la viscosidad de la masa, sino también incrementa la presión de vapor de agua dentro del extrusor, de esta manera la expansión es impulsada por la diferencia de presión de vapor con la atmósfera de salida. (Fan *et al.* 1994; Kristiawan *et al.* 2016; Yacu 2012). A mayor temperatura la presión aumenta, por lo que el efecto de la temperatura en la expansión es positivo (Ye *et al.* 2018).

La densidad aparente (DA) estuvo en el rango de 0.23 a 0.60 g/cm^3 (Tabla 9), estos valores fueron relativamente más bajos a lo reportado para quinua variedad Cherry vainilla (0.45 a 1.02 g/cm^3) (Kowalski *et al.* 2016), mayor al reportado para extrusión de mezcla de maíz con garbanzo (0.071 a 0.158 g/cm^3) (Ali *et al.* 2017) y similar que el reportado para quinua (0.117 - 0.507 g/cm^3) (Doğan *et al.* 2003). Se ha encontrado una relación inversa entre el índice de expansión seccional y la densidad aparente ($r = -0.94$, $p < 0.01$), esto se debería a que los extruidos con mayor expansión tienen más poros dentro y por lo tanto son menos densos comparados con los que tienen baja expansión con estructura más compacta. También fue reportado correlación inversa entre el IES y DA en la extrusión de diferentes variedades de quinua (Aluwi *et al.* 2016). Generalmente se espera que los snacks extruidos tengan una estructura hinchada y bien expandida para ser deseables por los consumidores, lo que también contribuye a reducir la densidad de los extruidos (Kowalski *et al.* 2016).

4.3.3. Índice de solubilidad y absorción de agua de los extruidos de quinua

El índice de solubilidad en agua (ISA) de los extruidos de quinua variaron de 19.92 a 30.20% y fueron más altos que 13.74% de ISA de la quinua no extruida (Tabla 9). Se ha reportado incremento del ISA por efecto de la extrusión de amaranto de 11% a 61% y extrusión de quinua de 11.1% a 23.5% (Robin *et al.* 2015). Del mismo modo, valores altos

de ISA fueron reportados en extruidos de quinua variedad Cherry vainilla (14.5 a 15.87%) (Kowalski *et al.* 2016) quinua (Doğan *et al.* 2003) y en mezcla de maíz con amaranto (Ramos Diaz *et al.* 2015). El incremento del ISA por efecto de la extrusión se debe a la conversión y degradación de las moléculas de almidón que incrementa los polisacáridos solubles (Ali *et al.* 2017).

Se encontró una influencia positiva de la temperatura de extrusión ($p < 0.01$) e influencia de la humedad inicial ($p < 0.05$) sobre el valor de ISA (Figura 11A, Anexo 5D). El incremento del ISA con el incremento de la temperatura es debido a que intensifica la gelatinización y la despolimerización del almidón, incrementado el ISA (Ali *et al.* 2017). Una relación directa positiva de la temperatura de extrusión y humedad inicial con ISA fue reportado para la extrusión de quinua variedad Cherry vainilla (Kowalski *et al.* 2016), contrariamente una relación inversa entre la humedad inicial y el ISA fue reportado para extrusión de quinua (Aluwi *et al.* 2016).

El índice de absorción de agua (IAA) de los extruidos de quinua varió de 7.00 a 8.05 g/g, y fue más altos que el valor 2.86 de IAA de la quinua sin extruir (Tabla 9). El valor obtenido de IAA fue mayor a los reportados para extruido de quinua (Doğan *et al.* 2003) quien obtuvo incremento de IAA de 1.69g/g al rango de 4.45-6.72g/g, al extruido de quinua variedad Chery vainilla (2.33 a 3.05 g/g) (Kowalski *et al.* 2016), y al extruido de la mezcla de maíz con garbanzo (4.23-4.84 g/g) (Ali *et al.* 2017). La temperatura tuvo una influencia positiva altamente significativa ($p < 0.01$) sobre el valor de IAA, y la humedad inicial no tuvo influencia significativa sobre IAA (Figura 11B, Anexo 5E). Contrariamente influencia positiva de la humedad inicial sobre el IAA, fue reportado para extruidos de quinua (Aluwi *et al.* 2016; Ruales *et al.* 1993) y mezcla de maíz con garbanzo (Ali *et al.* 2017).

El IAA se incrementa con la gelatinización del almidón debido a la extrusión, y el ISA está relacionado con la gelatinización y dextrinización del almidón que lo hace más soluble (Gomez *et al.* 1984), el grado de los mismos, depende de las condiciones de extrusión.

4.3.4. Color de los extruidos de quinua

El color rojo de la quinua pasankalla es solo en la superficie y es rojo cuando esta mojado, cuando está seco el color es gris, de la misma manera la harina es gris.

El color varió por efecto de la extrusión, los valores de L^* y b^* fueron influenciados por la humedad inicial y temperatura de extrusión ($p < 0.01$) pero a^* no fue influenciado (Anexos 5F, 5G y 5H). El valor de b^* y L^* disminuyeron con respecto a la harina sin extruir (Tabla 10). La disminución del valor de L^* de 70.7 al rango de 47.6 a 54.6 nos indica oscurecimiento por efecto de la extrusión (Tabla 10). El oscurecimiento probablemente se debería a la reacción de maillar considerando el alto contenido de lisina en la quinua (Akande *et al.* 2017). La disminución del valor de L^* también fue reportado para extrusión de quinua (Doğan *et al.* 2003) y extrusión de quinua variedad cherry vainilla (Kowalski *et al.* 2016). Sin embargo, cuándo se midió el valor L^* después de moler los extruidos, la disminución de L^* fue de 70.7 al rango de 61.5 a 64.3 por efecto de la extrusión, el valor de L^* fue más alto que antes de moler (Anexo 4), esto nos indicaría que el oscurecimiento ocurre principalmente en la superficie de los extruidos.

El ΔE representa el cambio total de color comparado con la harina sin extruir. El valor de ΔE de los extruidos de quinua varió en el rango de 16.51 a 23.96 (Tabla 10). La temperatura tuvo efecto negativo ($p < 0.01$) sobre ΔE y la humedad inicial tuvo un efecto positivo ($p < 0.01$) sobre ΔE (Tabla 10, Anexo 5I), esto se debería a que la humedad hace más disponible a los compuestos para las reacción de pardeamiento. Similar efecto positivo de la humedad sobre ΔE fue reportado en extrusión de quinua variedad Cherry vainilla obteniendo valores de ΔE en el rango de 8.4 a 16 (Kowalski *et al.* 2016). En contraste Doğan *et al.* (2003) reportaron un aumento de ΔE a baja humedad del alimento y alta temperatura.

Se encontró una fuerte correlación negativa ($r = -0.99$) entre el valor de L^* y ΔE (Tabla 10), lo cual nos estaría indicando que el cambio de color se debe principalmente al oscurecimiento durante la extrusión, similar a lo reportado por Kowalski *et al.* (2016). Así mismo el valor de ΔE medido después de moler los extruidos son inferiores a los valores de ΔE medido sin moler (Tabla 10 y Anexo 4), lo que corrobora que el cambio de color ocurre principalmente en la superficie de los extruidos.

Tabla 10. Color, parámetros de textura y grado de gelatinización de harina de quinua sin extruir y extruido. Los valores son media \pm DS

Run	Parámetros de extrusión		Parámetros de color				Parámetros de textura		
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión (%)	L*	a*	b*	DE	Dureza (N)	Resistencia al corte (N/m^2) $\times 10^{-5}$	GGe (%)
1	18	190	50.99 \pm 0.07 ^e	4.38 \pm 0.01 ^a	10.38 \pm 0.02 ^{bc}	20.08 \pm 0.06 ^c	28.20 \pm 4.0 ^{bc}	7.96 \pm 1.1 ^{bc}	94.34 \pm 0.8 ^a
2	14	190	54.11 \pm 0.02 ^b	4.34 \pm 0.01 ^a	10.88 \pm 0.01 ^b	16.92 \pm 0.02 ^f	20.13 \pm 3.1 ^d	5.11 \pm 0.8 ^d	90.53 \pm 0.4 ^{bc}
3	18	175	49.15 \pm 0.04 ^g	3.96 \pm 0.01 ^b	8.88 \pm 0.03 ^e	22.20 \pm 0.05 ^b	26.46 \pm 8.4 ^{bcd}	9.23 \pm 2.9 ^b	90.39 \pm 0.3 ^{bcd}
4	18	160	47.59 \pm 0.18 ^h	3.95 \pm 0.03 ^b	7.88 \pm 0.09 ^f	23.96 \pm 0.19 ^a	38.50 \pm 6.4 ^a	14.39 \pm 2.4 ^a	78.04 \pm 0.7 ^f
5	16	160	49.78 \pm 0.03 ^f	4.00 \pm 0.02 ^b	8.81 \pm 0.03 ^e	21.60 \pm 0.03 ^b	33.28 \pm 2.0 ^{ab}	11.90 \pm 0.7 ^a	87.21 \pm 0.7 ^{cd}
6	14	175	52.65 \pm 0.05 ^c	4.19 \pm 0.01 ^{ab}	9.92 \pm 0.01 ^{cd}	18.55 \pm 0.05 ^e	21.88 \pm 5.9 ^{cd}	8.03 \pm 2.2 ^{bc}	87.15 \pm 0.6 ^{cd}
7	16	175	52.56 \pm 0.03 ^d	4.32 \pm 0.01 ^b	10.32 \pm 0.03 ^d	18.55 \pm 0.04 ^d	25.11 \pm 4.9 ^{cd}	7.57 \pm 1.5 ^{cd}	85.75 \pm 0.4 ^d
8	16	190	54.59 \pm 0.04 ^b	4.17 \pm 0.01 ^{ab}	10.59 \pm 0.03 ^b	16.51 \pm 0.04 ^f	20.15 \pm 3.1 ^d	5.11 \pm 0.8 ^d	93.33 \pm 0.4 ^{ab}
9	16	175	52.62 \pm 0.02 ^d	4.33 \pm 0.02 ^b	10.41 \pm 0.01 ^d	18.47 \pm 0.02 ^d	21.50 \pm 4.8 ^{cd}	6.48 \pm 1.5 ^{cd}	89.49 \pm 0.6 ^d
10	16	175	52.07 \pm 0.69 ^d	4.01 \pm 0.48 ^b	9.89 \pm 0.74 ^d	19.13 \pm 0.84 ^d	23.14 \pm 5.1 ^{cd}	6.67 \pm 1.7 ^{cd}	87.96 \pm 0.6 ^d
11	16	175	51.58 \pm 0.03 ^d	3.69 \pm 0.01 ^b	9.35 \pm 0.02 ^d	19.73 \pm 0.03 ^d	23.92 \pm 4.0 ^{cd}	6.74 \pm 1.1 ^{cd}	87.29 \pm 0.6 ^d
12	16	175	51.53 \pm 0.07 ^d	3.69 \pm 0.01 ^b	9.32 \pm 0.03 ^d	19.79 \pm 0.08 ^d	24.03 \pm 5.5 ^{cd}	6.77 \pm 1.5 ^{cd}	87.62 \pm 0.2 ^d
13	14	160	51.87 \pm 0.13 ^d	4.19 \pm 0.02 ^{ab}	9.60 \pm 0.07 ^d	19.38 \pm 0.14 ^d	25.99 \pm 7.5 ^{cd}	12.50 \pm 3.6 ^a	82.03 \pm 0.4 ^e
Sin extruir			70.73 \pm 0.02 ^a	4.39 \pm 0.00 ^a	14.05 \pm 0.01 ^a				1.83 \pm 0.2 ^g

GGe es grado de gelatinización medido por espectrofotometría. NE es no evaluable. Diferentes superíndices en la misma columna indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

4.3.5. Textura de extruidos de quinua

La dureza de la quinua extruida varió entre 20.1 y 38.5 N y fue influenciada por la humedad inicial y temperatura de extrusión ($p < 0.05$) (Tabla 10, Anexo 5J). Otros investigadores también reportaron influencia de estos parámetros de extrusión en la dureza de los extruidos (Chávez-Jáuregui *et al.* 2000; Ramos Diaz *et al.* 2013).

La resistencia al corte (RC), obtenida dividiendo la dureza entre el área seccional del extruido, varió entre 5.11×10^5 y 14.39×10^5 N/m² (Tabla 10). El máximo valor de RC corresponde a la humedad inicial más alta (18%) y a la temperatura de extrusión más baja (160°C), contrariamente el mínimo valor de RC corresponde a la humedad inicial más baja (14%) y a la temperatura de extrusión más alta (190°C) (Tabla 10). Esta relación se explica por el efecto que tienen estos parámetros de extrusión en el índice de expansión, encontrándose una correlación negativa entre la RC y IES ($r = -0.88$, $p < 0.01$).

Un alto IES, proporciona una calidad deseable de los extruidos tipo snack, debido a su crocancia, característica que son deseables por los consumidores (M. A. Brennan *et al.* 2013).

La RC fue influenciada positivamente por la humedad inicial y negativamente por la temperatura de extrusión ($p < 0.01$) (Tabla 10, Anexo 5K). Se ha reportado una influencia positiva del contenido de humedad inicial y la temperatura de extrusión sobre la resistencia al corte de la quinua (Doğan *et al.* 2003).

4.3.6. Grado de gelatinización de los extruidos de quinua

La gelatinización es un proceso en el cual el almidón en presencia de agua y calor se hincha irreversiblemente y se pierde la estructura interna, con un excesivo tratamiento los gránulos de almidón se rompen y se solubilizan (Ali *et al.* 2017).

El grado de gelatinización medido espectrofotométricamente (GGe) de los extruidos de quinua variaron de 78 a 94.34%, teniéndose el máximo GGe a las condiciones de extrusión de 190°C con 18% de humedad inicial (Tabla 10), el grado de gelatinización obtenido es superior a 68.22% reportado para extrusión de mezcla de quinua con maíz (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2011a) y extrusión de mezcla de maíz con garbanzo (70.66 – 92.19%) (Ali *et al.* 2017). Similarmente valores altos de GG (84%) ha sido reportado para extruidos de quinua (Doğan *et al.* 2003). Extruidos con alto GG son adecuados para la producción de

alimentos instantáneos para infantes, debido a que la digestibilidad se incrementa con el incremento del GG (Ali *et al.* 2017).

La temperatura de extrusión tuvo un efecto positivo altamente significativo ($p < 0.01$) en el GGe de los extruidos de quinua, incrementándose el GGe con la temperatura (Figura 11E, Anexo 5L), similar a lo reportado en la extrusión de mezcla de maíz con garbanzo (Ali *et al.* 2017). El efecto de la humedad depende de la temperatura de extrusión, a las temperaturas de extrusión de 160 y 175°C no existe efecto definido, y a 190°C el GGe se incrementa ligeramente con el incremento de humedad (Figura 11E). El incremento del grado de gelatinización con la humedad también fue reportado por (Doğan *et al.* 2003; Gomez *et al.* 1984). En el presente estudio, se encontró una correlación positiva ($r = 0.71$, $p < 0.05$) entre el GG y IES (Tabla 9 y 10), similar a lo reportado para extruidos de quinua (Doğan *et al.* 2003).

4.3.7. Capacidad antioxidante y fenólicos totales de los extruidos de quinua

La capacidad antioxidante de los extruidos de quinua fue evaluada por el método de DPPH (CA-DPPH). El valor de CA-DPPH de los extruidos de quinua estuvo en el rango de 308.8 a 433.8 $\mu\text{mol Trolox/g}$, estos valores fueron superiores a la CA-DPPH de la harina de quinua sin extruir (279.3 $\mu\text{mol Trolox/g}$) (Tabla 11). El incremento de la capacidad antioxidante se debería a la liberación de compuestos antioxidantes de la matriz del alimento por efecto de la extrusión (Ramos Diaz *et al.* 2017).

La CA-DPPH 279.3 $\mu\text{mol Trolox/g}$ de la harina de quinua pasankalla sin extruir (Tabla 11) fue inferior a la capacidad antioxidante 335.9 $\mu\text{mol Trolox/g}$ de quinua pasankalla analizado por el método Quencher-cuprac reportado por Abderrahim *et al.* (2015), la diferencia se debería al método de análisis utilizado.

La temperatura de extrusión tuvo un efecto positivo en el valor de CA-DPPH de los extruidos de quinua ($p < 0.01$), pero no hubo influencia de la humedad inicial (Tabla 11, Anexo 6A). El incremento de la CA-DPPH con el incremento de la temperatura de extrusión estaría relacionado con la expansión, debido a que la expansión estaría rompiendo la estructura de la matriz del alimento liberando los compuestos antioxidantes.

Tabla 11. Propiedades químicas de harina de quinua extruida y sin extruir. Los valores son media \pm DS (n=3)

Run	Parámetros de extrusión		CA – DPPH (μ mol Trolox/g)	Fenólicos totales (mg AG/100g)
	Humedad inicial (%)	Temperatura de extrusión (%)		
1	18	190	396.16 \pm 25.3 ^{ab}	111.76 \pm 20.5 ^{bc}
2	14	190	433.85 \pm 20.3 ^a	141.50 \pm 1.6 ^a
3	18	175	367.42 \pm 26.3 ^{abc}	124.87 \pm 10.5 ^{bc}
4	18	160	353.85 \pm 34.7 ^{bc}	121.00 \pm 20.7 ^{bc}
5	16	160	308.83 \pm 20.6 ^{cd}	115.03 \pm 2.5 ^{bc}
6	14	175	341.58 \pm 39.5 ^{bcd}	130.39 \pm 2.5 ^{bc}
7	16	175	344.90 \pm 28.7 ^{bc}	132.20 \pm 2.8 ^a
8	16	190	370.23 \pm 25.3 ^{abc}	128.40 \pm 16.9 ^{bc}
9	16	175	336.46 \pm 38.8 ^{bc}	134.01 \pm 5.1 ^a
10	16	175	341.38 \pm 30.4 ^{bc}	132.34 \pm 11.2 ^a
11	16	175	340.46 \pm 31.8 ^{bc}	131.93 \pm 9.1 ^a
12	16	175	341.25 \pm 29.8 ^{bc}	131.90 \pm 6.9 ^a
13	14	160	338.49 \pm 10.8 ^{bcd}	116.34 \pm 14.1 ^{bc}
	Sin extruir		279.30 \pm 10.6 ^d	95.13 \pm 18.4 ^c

Diferentes superíndices en la misma columna indica diferencia estadística (p<0.05)

El contenido de fenólicos totales (FT) de la quinua pasankalla sin extruir fue 95.1 mg EAG/100g (Tabla 11), este valor fue superior a 76.79 mg AG/100g de fenólicos totales reportado por (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2011a), pero fue inferior a 277 mg AGE/100g de fenólicos libres reportado por (Abderrahim *et al.* 2015) para quinua pasankalla, quien adicionalmente reportó el contenido de fenólicos libres entre 123 y 341 mg AGE/100 g para quinuas andinas coloreadas.

El contenido de FT se incrementó por efecto de la extrusión de 95.1 al rango de 111.8 a 141.5 mg EAG/100g (Tabla 11). El incremento de FT se debería a la liberación de compuestos fenólicos por efecto de la extrusión. Incremento de FT también fue reportado para la extrusión de quinua (R. Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2011b), contrariamente una disminución de fenólicos fue reportado en la extrusión de quinua Cherry vainilla (Kowalski *et al.* 2016) y extrusión de mezcla de amaranto con otros granos (Akande *et al.* 2017).

El valor de fenólicos totales de los extruidos de quinua fueron afectados significativamente por la humedad inicial y temperatura de extrusión (p <0.01) (Tabla 11, Anexo 6B). El

efecto de la temperatura depende de la humedad inicial, a 14% de humedad inicial los FT se incrementan con el incremento de la temperatura. A 18% de humedad inicial lo FT se incrementan ligeramente cuando la temperatura se incrementa de 160°C a 175°C, pero disminuye cuando la temperatura de extrusión se incrementa a 190°C (Figura 11D), esto se debería a que a estas condiciones de extrusión, la liberación de compuestos fenólicos fue menor a la destrucción de compuestos fenólicos por efecto de la temperatura.

El comportamiento de los compuestos fenólicos fue diferente a la CA-DPPH, esto podría indicar que los compuestos fenólicos no son los principales compuestos antioxidantes en la quinua pasankalla, contrariamente a lo reportado para kiwicha (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009) y también en esta investigación.

Estudios previos han descrito que las semillas de quinua son excepcionalmente ricas fuentes de flavonoles como quercetin y kaempferol (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2010b). Una alta correlación positiva entre el total fenólicos y total flavonoides fue reportado para quinuas coloreadas (Abderrahim *et al.* 2015).

La capacidad antioxidante y fenólicos totales de la quinua pasankalla extruida fue mayor (Tabla 11), en comparación con otros cereales, debido a que las semillas de quinua coloreada crecen en extremas condiciones en el altiplano del Perú, y sería un interesante fuente natural de ingredientes de alimentos funcionales (Abderrahim *et al.* 2015).

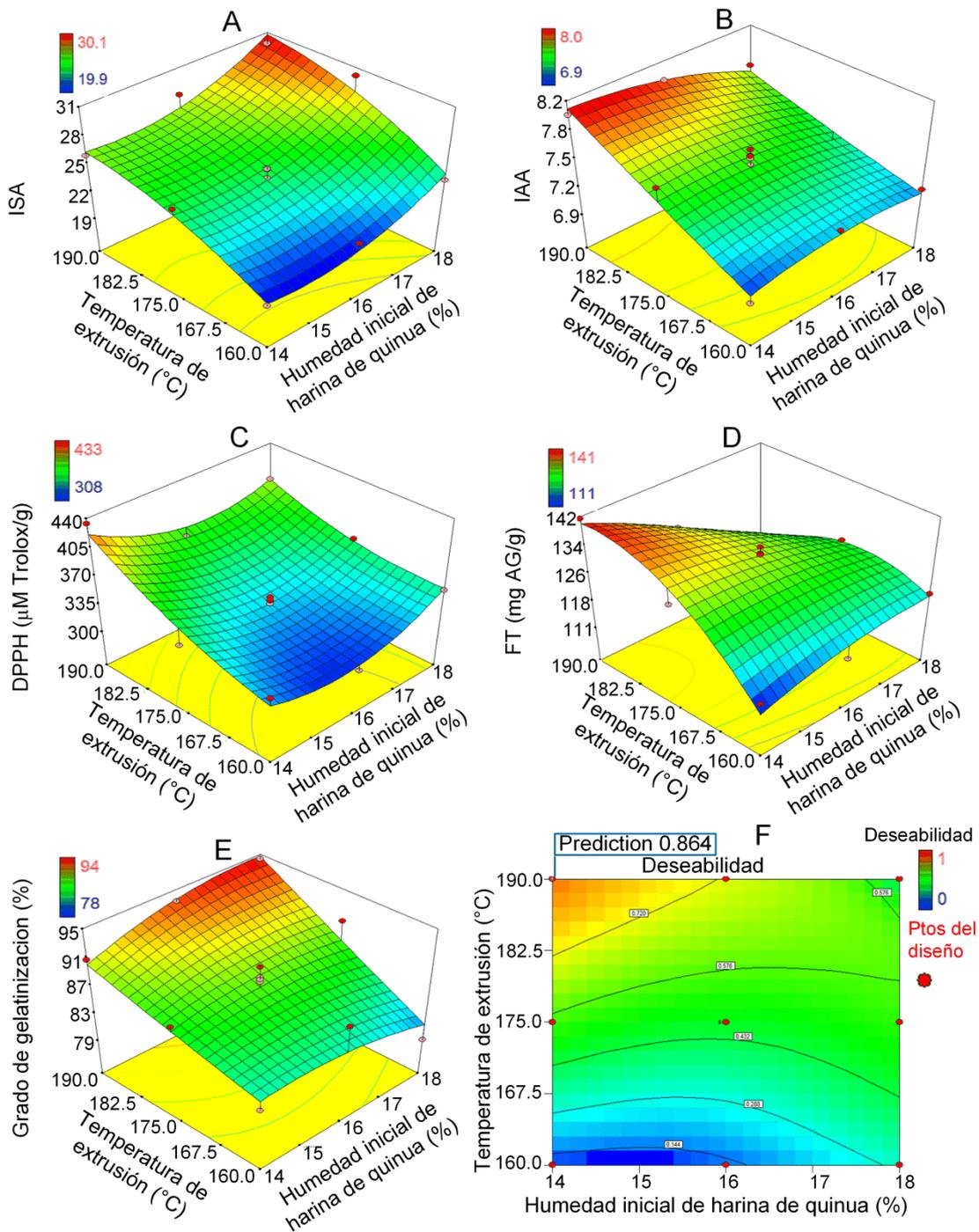


Figura 11. Superficie de respuesta y contornos del efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión de extruidos de quinua pasankalla sobre el índice solubilidad al agua (A), índice de absorción de agua (B), capacidad antioxidante medido por DPPH (C), Fenólicos totales (T). Región de contornos para optimizar la humedad inicial y la temperatura de extrusión (F).

4.3.8. Optimización de la extrusión de quinua pasankalla

Se utilizó un diseño compuesto central con cara centrada, con cinco puntos centrales para optimizar la humedad inicial y la temperatura de extrusión con el fin de maximizar las siguientes variables de respuesta: índice de solubilidad al agua, índice de absorción de agua, capacidad antioxidante medida por DPPH, fenólicos totales y grado de gelatinización (Figura 11, Anexos 5D, 5E, 5L, 6A, 6B).

El modelo cuadrático fue significativo al estimar las variables de respuesta ISA ($p < 0.01$, $R^2 = 0.92$), IAA ($p < 0.01$, $R^2 = 0.93$), CA-DPPH ($p < 0.01$, $R^2 = 0.91$), PT ($p < 0.01$, $R^2 = 0.94$) y GG ($p < 0.05$, $R^2 = 0.81$) (Figura 11A – E).

Las ecuaciones para la optimización fueron:

$$\text{ISA} = -70.38 - 13.15M + 1.98T + 3.62E-003M.T + 0.42M^2 - 5.20T^2$$

$$\text{IAA} = -12.47 + 1.48M + 0.073T - 4.23E-0.003M.T - 0.024M^2 + 5.92E-005T^2$$

$$\text{CA-DPPH} = 2045.06 - 137.24M - 9.21 T - 0.44 MT + 6.72 M^2 + 0.05 T^2$$

$$\text{PT} = -1903.3 + 64.0 M + 17.3T - 0.287 MT - 0.513 M^2 - 0.035 T^2$$

$$\text{GG} = 139.0 - 0.285 M - 0.920 T + 0.065 MT - 0.338M^2 + 6.413E-004T^2$$

Dónde:

ISA es índice de solubilidad al agua, IAA es índice de absorción de agua, CA-DPPH es capacidad antioxidante medido por DPPH, FT son fenólicos totales, GG es grado de gelatinización. M es humedad inicial de la harina de quinua y T es temperatura de extrusión.

Las condiciones óptimas de extrusión obtenidos fueron 14% de humedad inicial y 190°C de temperatura de extrusión con 0.86 deseabilidad (Figura 11F), las variables respuestas maximizadas fueron 26.41% ISA, 8.11 IAA, 421.72 $\mu\text{mol Trolox/g}$ CA-DPPH, 140.24 mg AGE/100 g y 92% GG (Figura 11A-E). La deseabilidad obtenida fue superior al rango (0.77-0.81) reportado para la optimización de extrusión de mezcla maíz con garbanzo para obtener alimentos para infantes, donde encontraron los parámetros óptimos de 14% de humedad inicial y 167°C de temperatura de extrusión para la optimización de ISA, IIA, GG Ali *et al.* (2017).

La extrusión puede producir una amplia variedad de productos por combinación de ingredientes y condiciones de extrusión, para la elección del tipo de extrusor se debería tomar en cuenta la naturaleza de los ingredientes y el tipo de producto deseado (Fellows 2017). A mediados de la década de 1970 comenzó el uso de extrusoras de doble tornillo en la cocción de alimentos, aumentando su uso a expensas de las extrusoras de un solo tornillo por su versatilidad para obtener diversos productos, debido a que tienen un desplazamiento positivo, pero las extrusoras de un solo tornillo requieren características de diseño que garanticen que el material no se deslice (Fellows 2017; Yacu 2012). Actualmente las extrusoras de un solo tornillo con velocidad variable dan una versatilidad próxima al extrusor de doble tornillo (Fellows 2017). Los parámetros óptimos para la extrusión de quinua y kiwicha obtenidos en esta investigación fueron baja humedad inicial (14%) y alta temperatura de extrusión (190°C) usando el extrusor de doble tornillo. Considerando estos parámetros sería posible usar un extrusor de un solo tornillo de alto cizallamiento el cual tienen altas velocidades de tornillo y vuelos poco profundos para crear altas presiones y temperaturas que se necesitan para este tipo de productos (Fellows 2017; Yacu 2012). Las condiciones que pueden trabajar el extrusor de un solo tonillo de alto cizallamiento son nivel máximo de grasa 17%, humedad de entrada de 12 a 20%, alta granulometría, temperatura de extrusión de 150 a 200°C y humedad del producto 5 a 8% (Fellows 2017). Estas condiciones están dentro del margen de las condiciones de extrusión usadas con el extrusor de doble tornillo usado en esta investigación, excepto la granulometría, por lo que se sugiere usar granos sin moler con el extrusor de un solo tornillo. La ventaja que se tiene al usar un extrusor de un solo tornillo es menos costos de inversión y mantenimiento que los extrusores de doble tornillo (Riaz 2001; Yacu 2012).

4.4. MEZCLAS DE HARINA DE TARWI CON HARINA DE EXTRUIDOS DE QUINUA Y KIWICHA

4.4.1. Determinación de las propiedades texturales de las mezclas

La curva tiempo-fuerza obtenido por la prueba *Back extrusion* de la mazamorra preparado al 30% con la mezcla de harinas extruidas con 80% de quinua y 20% de kiwicha se muestra en la Figura 12.

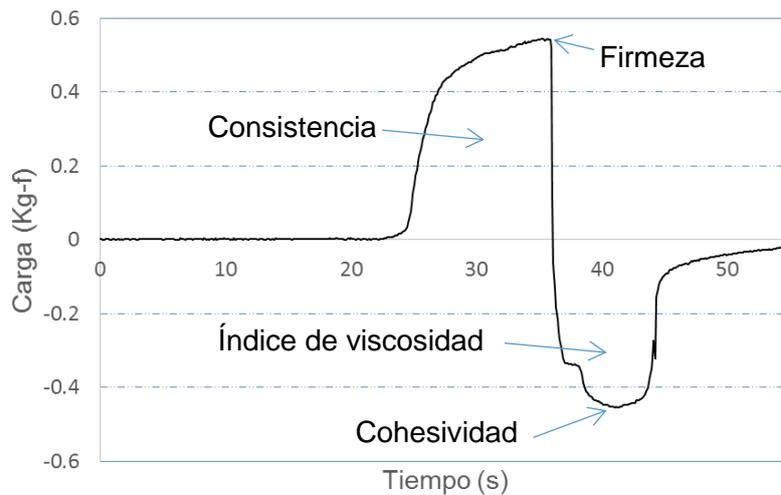


Figura 12. Curva tiempo-fuerza de la prueba *Back extrusion*, de la mazamorra obtenida de la mezcla de harinas extruidas, 80% de quinua y 20% de kiwicha.

El “pico” o fuerza máxima (Figura 12) se tomó como una medida de firmeza en términos de que cuanto mayor es el valor, más firme es la muestra. El área bajo la curva hasta este punto se tomó como medida de consistencia. La región negativa del gráfico, dibujada en el retorno de la sonda, fue el resultado del peso de la muestra que se levanta principalmente en la superficie superior del disco al regresar, es decir, debido a la extrusión hacia atrás y, por lo tanto, da una indicación de la viscosidad (resistencia a fluir fuera del disco). La fuerza negativa máxima se tomó como la cohesión, de modo que cuanto más negativo es el valor, más "cohesiva" es la muestra. El área de la región negativa debajo de la curva puede denominarse "trabajo de cohesión", de modo que cuanto mayor sea el valor, la muestra es más resistente a la extracción, lo que es una indicación tanto de la cohesión como de la viscosidad de la muestra (Angioloni *et al.* 2009; Ronda *et al.* 2017).

La prueba de *Back extrusion* es útil en el estudio de pastas y masas espesas como las mazamoras obtenidas en el presente estudio, porque se requiere altas fuerzas para crear un flujo, lo que es difícil de lograr con un viscosímetro rotacional por que se exhiben lecturas de par pulsante. Se ha reportado el uso de la prueba *back extrusion* en concentrados de tomate, concentrado de mostaza y mazamoras de trigo (Gujral *et al.* 2002). Las propiedades texturales obtenidos por *back extrusion* se correlaciona mejor que los datos reológicos fundamentales con la evaluación sensorial (Angioloni *et al.* 2009).

Las propiedades texturales por el análisis *back extrusion* de las mazamoras obtenidas de las mezclas de harina de tarwi con harinas extruidas de quinua y kiwicha se muestran en la Tabla 12.

Los gráficos de superficie de respuesta del efecto de las harinas presentes en la mezcla sobre las propiedades texturales, se muestra en la Figura 13.

Tabla 12. Propiedades texturales de las mazamoras elaboradas con las mezclas de harinas de tarwi y harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario.

Trat.	Componentes (%)			Firmeza (gf)	Consistencia (gf.s)	Cohesividad (gf)	Índice de Visco. (gf.s)
	HQE	HKE	HT				
1	39.82	40.69	19.48	227.7±7.7 ^{ef}	2478±130 ^{cdef}	-171.9±6.7 ^{cd}	-1440±57 ^{cde}
2	50.00	50.00	0.00	175.9±8.2 ^g	1941±71 ^{efg}	-127.6±4.1 ^{bc}	-1134±36 ^{abcd}
3	20.00	49.30	30.70	132.0±2.5 ^h	1473±32 ^{fg}	-91.1±1.0 ^{ab}	-837±24 ^{ab}
4	33.66	27.79	38.55	245.1±7.2 ^e	2626±44 ^{cde}	-194.6±3.7 ^d	-1662±68 ^{de}
5	54.91	20.00	25.09	488.5±13.2 ^b	3459±1,098 ^{bc}	-345.0±13.9 ^f	-2620±532 ^g
6	29.81	60.45	9.74	133.5±1.3 ^h	1476±16 ^{fg}	-95.7±0.4 ^{ab}	-897±21 ^{abc}
7	20.00	20.02	59.98	320.0±7.6 ^d	3080±180 ^{bcd}	-245.2±3.8 ^e	-1988±84 ^{ef}
8	20.00	80.00	0.00	96.8±2.1 ⁱ	1083±31 ^g	-64.1±1.2 ^a	-634±34 ^a
9	20.00	32.37	47.63	208.0±1.2 ^f	2177±83 ^{def}	-156.3±3.0 ^{cd}	-1317±62 ^{bcd}
10	80.00	20.00	0.00	540.2±12.9 ^a	4994±273 ^a	-410.5±53.4 ^g	-3357±290 ^h
11	61.37	31.81	6.81	380.0±2.5 ^c	3695±73 ^b	-297.1±7.8 ^f	-2327±44 ^{fg}

HQE es harina de quinua pasankalla extruida, HKE es harina de kiwicha centenario extruida y HT es harina de tarwi.

Las diferentes proporción de harinas usadas en las mezclas tiene influencia en todos los parámetros de textura de la mazamorra obtenida ($p < 0.05$) Tabla 12 y Figura 13 A, B, C y D. Este efecto se debería a las diferentes cantidades de almidón y la relación amilosa/amilopectina de estos almidones presentes en las harinas. Las cadenas ramificadas de la amilopectina permiten que el agua penetre en la estructura y gelatinice más fácilmente que la amilosa (Pelembé *et al.* 2002). Se ha reportado alto valor de cohesión a temperaturas bajas del dodol (dulce indonesio) que contiene alto contenido de arroz glutinoso, con aproximadamente 98% de amilopectina con respecto al almidón total (Nasaruddin *et al.* 2012).

Los valores negativos obtenidos del índice de viscosidad (Tabla 12) debido al método *Back extrusion*, que se obtiene cuando el disco regresa a su posición inicial, de modo que cuanto

más negativo es este valor, la muestra es más viscosa (Ronda *et al.* 2017). Se ha reportado alta correlación entre la viscosidad aparente (propiedad reológica) y el índice de viscosidad (propiedad textural) (Ramaswamy *et al.* 2015), también entre viscosidad compleja e índice de viscosidad, los cuales son propiedades reológico fundamental y textural respectivamente (Angioloni *et al.* 2009). En la determinación de consistencia de mazamorra y pasta de ajos el método *back extrusion* dio medidas más precisas que el consistometro Bostwick (Nasaruddin *et al.* 2012).

Se encontró que el índice de viscosidad tiene alta correlación con las otras propiedades texturales: $r = -0.9906$ con la firmeza, $r = -0.9886$ con la consistencia y $r = 0.9974$ con la cohesividad (Tabla 12). Este comportamiento se debe a que el índice de viscosidad es considerado como la energía de extrusión o el trabajo de adhesión, de esta manera la viscosidad está muy relacionada con la resistencia al flujo, la cohesión y la consistencia (Nasaruddin *et al.* 2012).

Como ya se mencionó anteriormente todas las propiedades texturales obtenidas en este estudio están altamente correlacionadas ($r > 0.98$) (Tabla 12). La consistencia es una propiedad muy utilizada para las mazamorra y papillas, lo cual está determinada por el volumen hinchado de los gránulos de almidón dispersas en agua a determinada temperatura, lo cual estaría correlacionado con la cantidad de harina necesaria para lograr la consistencia aceptable (De Carvalho *et al.* 2013).

A contenidos proporcionalmente iguales de harinas de extruidas quinua y kiwicha, la incorporación de harina de tarwi de 0% (Tratamiento 2) a 60% (Tratamiento 7) disminuyo significativamente todas las propiedades texturales (Tabla 12, Figura 13). Esto se debería a la ausencia o poca cantidad de almidón presente en el tarwi (Wrigley 2003). Similar comportamiento fue reportado en la mezcla de quinua, kiwicha y tarwi (Vidaurre-Ruiz *et al.* 2019). Se reportó que la adición de frejol caupi al sorgo para obtener extruidos para mazamorra mejoro el contenido de proteína pero redujo la firmeza. La disminución de la viscosidad podría ser mejor para alimentos para infantes que requieren menor viscosidad (Pelembé *et al.* 2002).

Las propiedades texturales más altas fueron obtenidos con el mayor contenido de quinua y menor de kiwicha, 80% y 20% respectivamente (Tratamiento 10) y los menores valores

con la proporción contraria 20% de quinua y 80% de kiwicha (Tratamiento 8) (Tabla 12 y Figura 13). Este efecto se debería a que las proteínas de quinua pueden tener mayor capacidad de absorber agua fría por lo que produce mayor firmeza (Encina-Zelada *et al.* 2018), del mismo modo fue reportado el incremento de la firmeza por el aumento de soya en la mezcla de arroz con maíz en la preparación de masa para pan (Sciarini *et al.* 2010).

Los parámetros de textura como son firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad se ajustaron significativamente ($p < 0.05$) a los modelos matemáticos de mezclas, los análisis de varianza correspondientes se muestran en los Anexos 7A, 7B, 7C y 7D.

Se encontró una correlación positiva entre el contenido de harina de quinua extruida y los valores de firmeza ($r = 0.78$) y consistencia ($r = 0.80$) de las mazamoras, por el contrario el contenido de harina extruida de kiwicha tiene una correlación negativa con la firmeza ($r = -0.81$) y consistencia ($r = -0.82$) (Figura 13 A-B). Este efecto sobre la firmeza y consistencia estaría relacionado al índice de absorción de agua, debido a que el IAA de la quinua (8.11 g/g) es mayor que el de la kiwicha (5.04 g/g).

Se encontró correlación negativa entre el contenido de harina de quinua extruida y los valores de cohesividad ($r = -0.79$) e índice de viscosidad ($r = -0.80$) de las mazamoras, por el contrario el contenido de harina extruida de kiwicha tiene una correlación positiva con la cohesividad ($r = 0.82$) y viscosidad ($r = 0.82$) (Figura 12 A-B). Este efecto sobre la cohesividad y la viscosidad estaría relacionado al índice de solubilidad al agua, debido a que el ISA de la quinua extruida (26.41%) es menor que el de la kiwicha extruida (61.5%).

El ajuste de los valores de los parámetros texturales de las mazamoras al modelo de segundo orden, se muestra en la Tabla 13. Donde se puede observar que estos parámetros se ajustan al modelo de segundo orden teniendo valores de $R^2 > 0.97$.

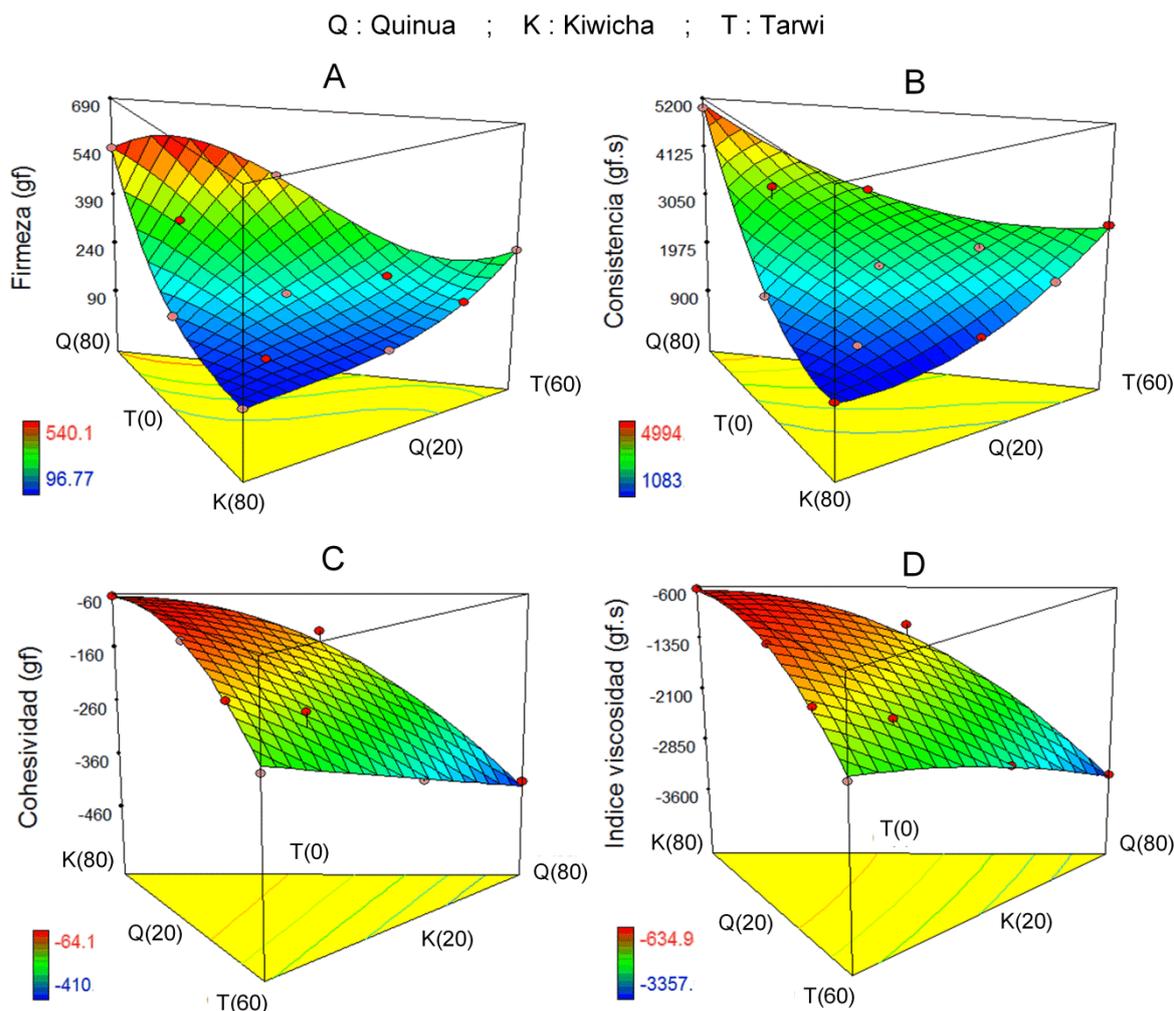


Figura 13. Superficie de respuesta de los efectos de las proporciones de las mezclas de harina de tarwi y harinas extruidas de quinua y kiwicha, sobre la firmeza (gf) (A), consistencia (gf.s) (B), cohesividad (gf) (C) e índice de viscosidad (gf.s) (D) de las mazamorra formadas.

Tabla 13. Modelos matemáticos predictivos que indican el efecto de cada componente de la mezcla, sobre los parámetros texturales de las mazamorra formadas.

Parámetros texturales	Modelo predictivo	R ²
F	$F = 946.9Q + 199.1K + 370.32T - 1530.8 Q.K + 190.5Q.T - 910.4KT$	0.98
C	$C = 7726.1Q + 1103.6K + 4748.4T - 8626.5Q.K - 5652.9Q.T - 5111.3KT$	0.97
Ch	$Ch = -706.4Q - 118.93K - 324.1T + 1061.9Q.K + 7.9 Q.T + 683.2 KT$	0.98
IV	$IV = -5611.23Q - 1070.5 K - 2782.8T + 8252.4Q.K + 1479.5Q.T + 4869.2KT$	0.99

Dónde: F es Firmeza (gf), C es Consistencia (gf.s), Ch es Cohesividad (gf) e IV es Índice de viscosidad (gf.s), Q es harina extruida de quinua, K es harina extruida de kiwicha y T es harina de tarwi

En la Tabla 13 se puede observar que el coeficiente de la harina extruida de quinua es mayor que el de la harina de tarwi y la harina extruida de kiwicha en todos los parámetros texturales lo que corrobora lo mencionado anteriormente de la correlación positiva en la firmeza y consistencia, y correlación negativa en la cohesividad e índice de viscosidad de la harina extruida de quinua.

4.4.2. Maximización de la calidad proteica de las mezclas

a. Composición de los componentes de la mezcla

El contenido de aminoácidos, el resultado de los análisis de proteína y digestibilidad de proteína de las harinas de Tarwi, harinas extruidas en condiciones óptimas (14% de humedad con 190°C de temperatura de extrusión) de quinua pasankalla y kiwicha centenario, se muestra en la Tabla 14.

El contenido de proteínas de las harinas extruidas de quinua y kiwicha no variaron significativamente con respecto a las harinas sin extruir (Tabla 4 y 14), similar a lo reportado en extrusión de mezcla en base de amaranto para obtención de mazamorra (Akande *et al.* 2017).

El contenido de proteínas del tarwi (49.65%) fue mayor que el contenido de proteína de las harinas extruidas de quinua (14.94%) y kiwicha (14.78%) (Tabla 14), sin embargo, el contenido de aminoácidos son diferentes. Considerando las necesidades de aminoácidos recomendado por la (FAO/WHO/UNU 1985) (Tabla 3) y la digestibilidad de proteína, se tiene los score de aminoácidos corregido.

El score de aminoácidos obtenido para del tarwi fue inferior al de la harina extruida de quinua y kiwicha (Tabla 14). El aminoácido limitante del tarwi fue el triptófano 8 mg/g proteína siendo el requerimiento de este aminoácido de 11 mg/g proteína.

La digestibilidad in vitro de proteína se incrementó por efecto de la extrusión de 86.88 a 95.72% para la quinua pasankalla y de 87.47 a 96.99% para la kiwicha centenario (Tabla 4 y 14), el incremento de la digestibilidad se debe a la desnaturalización de proteínas, la inactivación de inhibidores enzimáticos y/o exposición de nuevos sitios activos para enzimas digestivas (Fellows 2017).

Tabla 14. Contenido de proteína, digestibilidad y aminoácidos esenciales de la harina de tarwi yunguyo, y harinas extruidas de quinua pasankalla y kiwicha centenario.

	Harina de quinua extruida	Harina de kiwicha extruido	Harina de tarwi
Proteína (%)	14.94 ± 0.03	14.78 ± 0.04	49.65
Digestibilidad*(%)	95.72 ± 0.27	96.99 ± 0.68	90.38 ± 0.96
Score aminoácidos**	0.792	0.884	0.657
Aminoácidos esenciales (mg/g proteína)			
Lisina	48.0	65.0	58.0
Metionina + cisteína	33.0	64.6	20.0
Treonina	37.0	34.9	38.0
Triptófano	10.0	11.0	8.0
Isoleucina	31.0	42.1	47.0
Leucina	60.0	64.3	71.0
Fenilalanina + Tirosina	63.0	57.4	78.0
Valina	37.0	50.9	41.0
Histidina	27.0	32.9	32.0

*Digestibilidad de proteína in vitro

** Score de aminoácidos determinado con los requerimientos para niños de 2-5 años (FAO/WHO/UNU 1985), corregido con digestibilidad de proteína.

El incremento de la digestibilidad in vitro de proteína también fue reportado para extrusión de kiwicha de 78.78 a 83.40 % (Repo-Carrasco-Valencia *et al.* 2009), para extrusión de granos a base de amaranto de 77.69 a 81.02 (Akande *et al.* 2017). La digestibilidad de proteína es importante porque determina la calidad de la proteína (FAO/WHO/UNU 1985), y la digestibilidad in vitro ha sido reportado ser cercano a la verdadera digestibilidad (Adam *et al.* 2013).

b. Maximización de las mezclas

El contenido de proteína, score de aminoácidos y puntaje sensorial de cada una de las 11 mezclas formuladas con el Diseño de mezclas D-Optimal, se muestra en la Tabla 15, y las superficies de respuesta de las variables evaluadas se muestran en la Figura 14.

En las mezclas el contenido de proteína varía de 14.9 a 35.7%, el score de aminoácidos varía de 0.7 a 0.9 (Tabla 15).

Tabla 15. Contenido de proteína, score aminoácidos corregido y puntaje sensorial de las mezclas de harinas de tarwi y harina de extruidos de quinua pasankalla y kiwicha centenario.

Trat.	Componentes (%)			Proteína (%)	Score aminoácidos*	Puntaje sensorial**
	HQE	HKE	HT			
1	39.82	40.69	19.48	21.64 ± 0.01 ^f	0.803 ± 0.001 ^f	6.22 ± 0.9 ^{abc}
2	50.00	50.00	0.00	14.86 ± 0.01 ^{ij}	0.907 ± 0.005 ^b	6.89 ± 1.0 ^a
3	20.00	49.30	30.70	25.52 ± 0.02 ^d	0.772 ± 0.002 ^g	5.37 ± 1.2 ^{cde}
4	33.66	27.79	38.55	28.28 ± 0.00 ^c	0.741 ± 0.003 ⁱ	3.99 ± 1.1 ^f
5	54.91	20.00	25.09	23.62 ± 0.01 ^e	0.770 ± 0.002 ^h	5.17 ± 1.1 ^{cdef}
6	29.81	60.45	9.74	18.22 ± 0.02 ^g	0.863 ± 0.002 ^c	6.34 ± 1.1 ^{abc}
7	20.00	20.02	59.98	35.73 ± 0.00 ^a	0.701 ± 0.005 ^k	4.95 ± 0.9 ^{def}
8	20.00	80.00	0.00	14.81 ± 0.03 ^j	0.899 ± 0.006 ^a	6.97 ± 1.3 ^a
9	20.00	32.37	47.63	31.42 ± 0.01 ^b	0.725 ± 0.004 ^j	4.24 ± 0.9 ^{ef}
10	80.00	20.00	0.00	14.91 ± 0.01 ⁱ	0.851 ± 0.003 ^d	5.65 ± 1.2 ^{bcd}
11	61.37	31.81	6.81	17.25 ± 0.00 ^h	0.856 ± 0.002 ^e	6.73 ± 1.2 ^{ab}

HQE es harina de quinua pasankalla extruida, HKE es harina de kiwicha centenario extruida y HT es harina de tarwi.

* Score de aminoácidos determinado con los requerimientos para niños de 2-5 años (FAO/WHO/UNU 1985), corregido con digestibilidad de proteína.

** Puntaje sensorial respecto a la apreciación general.

El contenido de proteína de las mezclas fue superior a los requerimientos mínimo de 15% de proteínas recomendadas por (FAO/WHO/UNU 1985) con excepción de la mezclas de los tratamientos 8, 2 y 10 (Tabla 15), debido a que estas mezclas no tienen harina de tarwi.

Todas las mezclas superan el mínimo de 12% de proteína recomendado por (PFA 2004) para alimentos para infantes obtenido de la mezcla de cereales con leche. En el desarrollo de alimentos para infantes en base a sorgo suplementado con leguminosas y semilla de aceite reportaron contenido de proteína de 16.63 a 19.25% (Asma *et al.* 2006), el cual está de acuerdo a la recomendación del (Codex 1985).

Se encontró una influencia positiva del porcentaje de harina de tarwi ($p < 0.01$) sobre el contenido de proteína de la mezcla (Figura 14A), esto es debido a que el contenido de proteína del tarwi es superior al de la quinua y kiwicha, sin embargo, el porcentaje de harina de tarwi tiene una influencia negativa sobre el score de aminoácidos (Figura 14B). Este efecto se explica porque el tarwi tiene mayor cantidad de proteína pero menor score

de aminoácidos que la quinua y la kiwicha, por esta razón la mezcla con la harina de tarwi es necesaria para mejorar el score de aminoácidos.

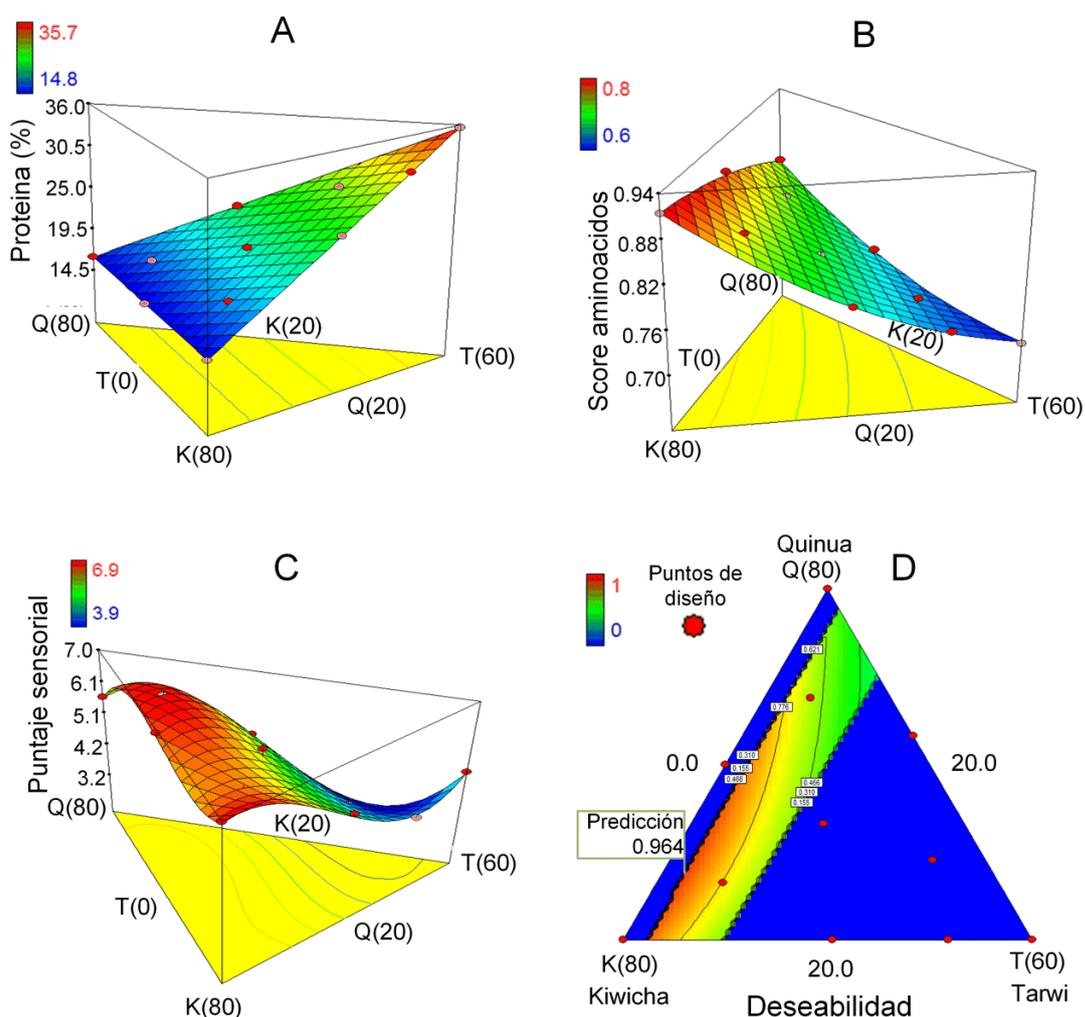


Figura 14. Superficie de respuesta del contenido de proteína (A), score de aminoácidos (B), puntaje sensorial de apreciación general (C) y maximización el score de aminoácidos, puntaje sensorial y el contenido de proteína en el rango de 16 a 20% (D)

El puntaje sensorial del atributo apreciación general de las mezclas evaluadas como mazamoras se encuentran en el rango de 3.99 a 6.97 (Tabla 15). El máximo puntaje sensorial obtenido es ligeramente inferior máximo al puntaje sensorial 7.76 reportado para extrusión de mezcla en base de amaranto para mazamoras (Akande *et al.* 2017).

El contenido de proteína y el score de aminoácidos fueron ajustados a un modelo cuadrático ($R^2 = 0.99$) y el puntaje sensorial a un modelo cubico especial ($R^2 = 0.84$)

(Figura 14A-C, Anexos 8A, 8B y 8C). La obtención de la mejor mezcla se realizó maximizando el score de aminoácidos, el puntaje sensorial en el rango de proteína de 16 a 20% (Figura 13D).

La composición de la mejor mezcla obtenida fue 37.48% de harina de quinua pasankalla extruida, 59.20% de harina de kiwicha centenario extruida y 3.33% de harina de tarwi yunguyo, con una deseabilidad de 0.96. La composición maximizada tuvo 0.89 de score de aminoácidos corregido, 16% de proteína y 7.0 de puntaje sensorial (Figura 14D).

El contenido de proteína máximo encontrado en este estudio (16%) es superior a lo recomendado por Codex (1985); (FAO/WHO/UNU 1985; PFA 2004), también superior a 14.04% reportado para la extrusión de mezcla de maíz con garbanzo para obtener alimentos para infantes (Ali *et al.* 2017). En la optimización de la extrusión de mezcla para papilla en base de amaranto, fue reportado 0.756 de deseabilidad, 18.32% de proteína con 82.82% de digestibilidad (Akande *et al.* 2017).

La digestibilidad calculada de acuerdo a la composición de la mejor mezcla obtenida en este estudio fue 96.30%, el cual es superior a 84.62% reportado para la extrusión de mezcla de maíz con garbanzo para obtener alimento para infantes (Ali *et al.* 2017) y 82.82% para extrusión de mezcla en base de amaranto para obtener papilla (Akande *et al.* 2017).

Las ecuaciones de predicción de las variables respuesta, fueron:

$$\text{Proteína (\%)} = 14.94 Q + 14.78 K + 49.65 T$$

$$\text{SAC} = 0.718 Q + 0.843 K + 0.684 T + 0.127 Q.K - 0.307 Q.T - 0.354 K.T$$

$$\text{PS} = 4.27Q + 6.07K + 7.56T + 7.86Q.K - 11.43Q.T - 14.92 K.T + 33.18 Q.T$$

Dónde:

SAC es Score de aminoácidos corregido, PS es puntaje sensorial de la apreciación general, Q es harina de quinua pasankalla extruida, K es harina de kiwicha centenario extruido y T es harina de tarwi.

La harina obtenida en este estudio en base a las mezcla de harina de tarwi y harinas extruidas de quinua y kiwicha permite fácilmente la preparación de mazamoras mezclando con agua hervida caliente a aproximadamente 80°C, sin necesidad de prolongar el calentamiento. Similar a lo reportado por Akande *et al.* (2017).

V. CONCLUSIONES

- Se encontró influencia ($p < 0.05$) de la humedad inicial y la temperatura de extrusión sobre el índice de expansión seccional, densidad aparente, índice de solubilidad de agua, índice de absorción de agua, grado de gelatinización, textura, fenólicos totales y capacidad antioxidante en la extrusión de quinua pasankalla y kiwicha centenario. Obteniéndose de esta manera extruidos con diferentes características que pueden ser usados para diferentes aplicaciones.
- La temperatura de extrusión tuvo influencia positiva en el índice de expansión en la extrusión de quinua y kiwicha. La humedad inicial tuvo un efecto positivo a 160°C y negativo a 190°C sobre el índice de expansión en la extrusión de kiwicha.
- La temperatura de extrusión tuvo una influencia positiva sobre el índice de solubilidad al agua, pero sobre el índice de absorción tuvo un efecto positivo cuando la temperatura se incrementa de 140 a 175°C y efecto negativo cuando la temperatura se incrementa de 175°C a 190°C .
- La extrusión incrementó significativamente ($p < 0.05$) el índice de solubilidad al agua, índice de absorción de agua, capacidad antioxidante, fenólicos totales y grado de gelatinización, los cuales en forma general se incrementaron con el incremento de la temperatura de extrusión y con la disminución de la humedad inicial, excepto el índice de absorción de agua que se incrementó con el aumento de la humedad inicial a 160°C de temperatura de extrusión. Obteniéndose de esta manera los parámetros óptimos de extrusión a 14% de humedad inicial y 190°C de temperatura de extrusión, con una deseabilidad de 0.85 para la kiwicha y 0.86 para la quinua.

- En el mezclado se tuvo una influencia positiva de la harina de tarwi sobre el contenido de proteína en la mezcla, pero un efecto negativo en el score de aminoácidos. La mejor mezcla fue de 37.48% de harina extruida de quinua pasankalla, 59.20% de harina extruida de kiwicha centenario y 3.33% de harina de tarwi yunguyo, con una deseabilidad de 0.96, obteniéndose las variables maximizadas 0.89 de score de aminoácidos, 16% de proteína y 7 de puntaje sensorial.

VI. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el presente trabajo de investigación, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Usar la información de extrusión de quinua y kiwicha generada en el presente trabajo para elaborar extruidos de acuerdo al tipo de producto que se quiera obtener, como snacks, suplemento alimenticio, bebidas, harina para otros procesos como pan, fideos, etc.
2. Realizar estudios de efecto de la extrusión en la fibra dietaria, considerando el alto contenido encontrado en la quinua y kiwicha.
3. Realizar estudios de vida útil de los extruidos obtenidos y la mezcla de harinas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzales, M., & Condezo Hoyos, L. 2015. Physical features, phenolic compounds, betalains and antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Antiplano. *Food Chemistry*, 183, 83-90. doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.029
- Adam, G., Hua, Y., Chamba, M., & Gasmalla, M. 2013. Fuctional properties and in vitro preotein digestibility of fermented sorghum and broad bean (*Visia faba* L. major) blenden flour. *Journal of Food Science*, 23(1), 10-16.
- Akande, O. A., Nakimbugwe, D., & Mukisa, I. M. 2017. Optimization of extrusion conditions for the production of instant grain amaranth-based porridge flour. *Food Science & Nutrition*, 5, 1205-1214. doi:10.1002/fsn3.513
- Ali, S., Singh, B., & Sharma, S. 2017. Development of high-quality weaning food based on maize and chickpea by twin-screw extrusion process for low-income populations. *Journal of Food Process Engineering*, 40. doi:10.1111/jfpe.12500
- Aluwi, N. A., Gu, B.-J., Dhumal, Gaurav S., Medina-Meza, I. G., Murphy, K. M., & Ganjyal, G. M. 2016. Impacts of scarification and degermination on the expansion characteristics of select quinoa varieties during extrusion processing. *Journal of Food Science*, 81, E2939-E2949. doi:10.1111/1750-3841.13512
- Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P., & Harper, J. M. 1988. A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615. doi:10.1111/j.1365-2621.1988.tb07768.x
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14(4), 11-12.
- Angioloni, A., & Collar, C. 2009. Small and large deformation viscoelastic behaviour of selected fibre blends with gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 742-748. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.04.005

- AOAC. 2005. *Official methods of analysis* (17 ed.): Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.
- Asma, M., El Fadil, E., Abdullahi, H., & Tinay, E. 2006. Development of weaning food from sorghum supplemented with legumes and oil seeds. *Food and Nutrition Bulletin*, 27.
- Baker, L. A., & Rayas-Duarte, P. 1998. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. *Cereal Chemistry*, 75(3), 308-314. doi:10.1094/CCHEM.1998.75.3.308
- Balderrama, J., & Cadima, S. 2014. Water adsorption isotherms of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 153-157. doi:10.4236/fns.2014.52020
- Basto, G. J., Carvalho, C. W. P., Soares, A. G., Costa, H. T. G. B., Chávez, D. W. H., Godoy, R. L. D. O., & Pacheco, S. 2016. Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). *LWT - Food Science and Technology*, 69, 312-318. doi:10.1016/j.lwt.2015.12.065
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Brennan, Menard, C., Roudaut, G., & Brennan, C. S. 2012. Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch/Stärke*, 64(5), 392-398. doi:10.1002/star.201100150
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B., & Brennan, C. 2013. Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *J Food Sci Technol*, 48(5), 893-902.
- Camire, M. E. 2011. Nutritional changes during extrusion cooking. In M. Maskan & A. Altan (Eds.), *Advances in Food Extrusion Technology*. (pp. 87-102). Boca Raton: CRC Press.
- Chávez-Jáuregui, R. N., Silva, M. E. M. P., & Arêas, J. A. G. 2000. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Food Science*, 65(6), 1009-1015. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb09408.x
- Chávez, D. W. H., Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P., Godoy, R. L. O., & Pacheco, S. 2017. Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive

- compounds and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 29, 93-103. doi:10.1016/j.jff.2016.12.012
- Codex. 1985. Committee on Foods for Special Dietary Uses. Guidelines for development of supplementary foods for older infants and young children. *Rome: codex Alimentarius commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization*.
- Coulter, L. A., & Lorenz, K. 1991. Extruded corn grits—quinoa blends: II. Physical characteristics of extruded products. *Journal of Food Processing and preservation*, 15(4), 243-259. doi:10.1111/j.1745-4549.1991.tb00170.x
- De Carvalho, I., Granfeldt, Y., Eliasson, A.-C., & Dejmeek, P. 2013. Predictability of the consistency of porridges using mixtures of different flours.
- Doğan, H., & Karwe, M. V. 2003. Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9, 101-114. doi:10.1177/1082013203009002006
- Encina-Zelada, C. R., Cadavez, V., Monteiro, F., Teixeira, J. A., & Gonzales-Barron, U. 2018. Physicochemical and textural quality attributes of gluten-free bread formulated with guar gum. *European Food Research and Technology*, 245(2), 443-458. doi:10.1007/s00217-018-3176-3
- Fan, J., Mitchell, J. R., & Blanshard, J. M. V. 1994. A computer simulation of the dynamics of bubble growth and shrinkage during extrudate expansion. *Journal of Food Engineering*, 23(3), 337-356. doi:https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90058-2
- Fan, J., Mitchell, J. R., & Blanshard, J. M. V. 1996. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: II. Starch conversion. *International journal of Food Science + Technology*, 31(1), 67-76. doi:10.1111/j.1365-2621.1996.21-318.x
- FAO/WHO/UNU. 1985. *Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation*. Geneva: World Health Organization. Tech. Rep. Series 724.
- Fast, R. B. 2000. Manufacturing technology of ready-to-eat cereals. In *Breakfast Cereals and How They are Made* (2da ed., pp. 15-86). Saint Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.
- Fellows, P. J. 2017. *Food Processing Technology - Principles And Practice* (W. publishing Ed. Fourth ed.).

- Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. 1983. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. *Journal of Food Science*, 48(2), 378-381. doi:10.1111/j.1365-2621.1983.tb10747.x
- Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *Journal of Food Science*, 49(1), 40-43. doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb13664.x
- Gondek, E., Lewicki, P., & Ranachowski, Z. 2006. Influence of water activity on the acoustic properties of breakfast cereals. *Journal of texture studies*, 37(5), 497-515.
- Gonzalez, R., Carrara, C., Tosi, E., Añon, M. C., & Pilosof, A. 2007. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 136-143. doi:10.1016/j.lwt.2005.09.003
- Gorinstein, S., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E., Haruenkit, R., Weisz, M., & Trakhtenberg, S. 2002. Characterisation of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses. *J Sci Food Agric* 82(8):886-91., 82(8), 886-891.
- Gujral, H., & Sodhi, N. 2002. Back extrusion properties of wheat porridge (Dalia). *Journal of Food Engineering*, 52(1), 53-56.
- Guy, R. 2001a. *Extrusion cooking technologies and applications* (C. Woodhead publishing Ltd, UK: 1-2 Ed.).
- Guy, R. 2001b. Raw materials for extrusion cooking. In *Extrusion cooking - Technologies and applications* (pp. 2-28). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Guy, R. 2001c. Snack foods. In *Extrusion Cooking - Technologies and* (pp. 161-181). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Hecke, V. E., Allaf, K., & Bouvier, J. 1998. Texture and structure of crispy-puffed food products part II: Mechanical properties in puncture. *Journal of texture studies*, 29(6), 617-632.
- Heidenreich, S., Jaros, D., Rohm, H., & Ziemis, A. 2004. Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. *Journal of Texture Studies*, 35(6), 621-633.
- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., & Miller, G. A. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42, 1269-1273.
- Ilo, S., Liu, Y., & Berghofer, E. 1999. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT - Food Science and Technology*, 32(2), 79-88. doi:10.1006/fstl.1998.0497

- Jacobsen. 2011. The Situation for Quinoa and Its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. *J Agron Crop Sci*, 197(5).
- Jacobsen, & Mujica, A. 2006. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *J Botánica Económica de los andes centrales*, 28(1), 458-482.
- Jamroz, J., Sokolowska, Z., & Hajnos, M. 1999. Moisture sorption hysteresis in potato starch extrudates. *International Agrophysics*, 13(4), 451-456.
- Kazemzadeh, M. 2001. Baby foods. In R. Guy (Ed.), *Extrusion Cooking - Technologies and Applications*. (pp. 182-199). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Kong, X., Bao, J., & Corke, H. 2009. Physical properties of *Amaranthus* starch. *Food Chemistry*, 113, 371-376. doi:10.1016/j.foodchem.2008.06.028
- Kowalski, R. J., Medina-Meza, I. G., Thapa, B. B., Murphy, K. M., & Ganjyal, G. M. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science*, 70, 91-98.
- Kristiawan, M., Chaunier, L., Della Valle, G., Ndiaye, A., & Vergnes, B. 2016. Modeling of starchy melts expansion by extrusion. *Trends in Food Science & Technology*, 48, 13-26. doi:https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.004
- Labuza, T. P., & Altunakar, B. 2007. Water activity prediction and moisture sorption isotherms. *Water activity in foods: Fundamentals*, 1, 109-154.
- Lakshminarasimhan, S. 2014. Effect of extrusion cooking on the nutritional properties of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine. Tesis para obtener el Grado de Magister Science. . *Department of Food and Environmental Sciences, University of Helsinki. Helsinki, Finlandia*.
- Maskan, M., & Altan, A. 2016. *Advances in food extrusion technology*: CRC press.
- Menegassi, B., Pilosof, A. M. R., & Arêas, J. A. G. 2011. Comparison of properties of native and extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L. – BRS Alegria) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 44(9), 1915-1921. doi:10.1016/j.lwt.2011.04.008
- Milán-Carrillo, J., Montoya-Rodríguez, A., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, X., & Reyes-Moreno, C. 2012. Optimization of extrusion process for producing high antioxidant instant Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) flour using response surface methodology. *Applied Mathematics*, 03, 1516-1525. doi:10.4236/am.2012.330211
- Moraru, C., & Kokini, J. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *J Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2(4), 147-165.

- Nasaruddin, F., Chin, N., & Yusof, Y. 2012. Effect of processing on instrumental textural properties of traditional dodol using back extrusion. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 495-506.
- Nguyen, V. H., Mouquet-Rivier, C., & Trèche, S. 2010. Effects of starch, lipid and moisture contents on extrusion behavior and extrudate characteristics of rice-based blends prepared with a very-low-cost extruder. *Journal of Food Process Engineering*, 33(3), 519-539.
- Oliveira, L. C., Schmiele, M., & Steel, C. J. 2017. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 261-270. doi:10.1016/j.lwt.2016.08.064
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. 2014. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121, 9-14. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007
- Pelembe, L., Erasmus, C., & Taylor, J. 2002. Development of a protein-rich composite sorghum–cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *LWT-Food Science Technology*, 35(2), 120-127.
- PFA. 2004. The Prevention of Food Adulteration Act & Rules. .
- Ramaswamy, H. S., Singh, A., & Sharma, M. 2015. Back Extrusion Rheology for Evaluating the Transitional Effects of High Pressure Processing of Egg Components. *Journal of texture studies*, 46(1), 34-45. doi:10.1111/jtxs.12108
- Ramos Diaz, J. M., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P. A., Serimaa, R., Lampi, A.-M., & Jouppila, K. 2013. Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 59-67. doi:10.1016/j.jcs.2013.04.003
- Ramos Diaz, J. M., Sundarajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S., & Jouppila, K. 2017. Effect of extrusion cooking on physical properties and chemical composition of corn-based snacks containing amaranth and quinoa: application of partial least squares regression. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12320. doi:10.1111/jfpe.12320
- Ramos Diaz, J. M., Suuronen, J.-P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. 2015. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1047-1056. doi:10.1016/j.lwt.2015.07.011

- 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 Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. doi:10.1016/S0891-5849(98)00315-3
- Repo-Carrasco-Valencia, Encina, C. R., Binaghi, M. J., Greco, C. B., & Ferrer, P. A. 2010a. Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and kañiwa on composition and availability of minerals in vitro. *J Sci Food Agric*, 90(12), 2068-2073. doi:10.1002/jsfa.4053
- Repo-Carrasco-Valencia, Hellström, J. K., Pihlava, J.-M., & Mattila, P. H. 2010b. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120, 128-133. doi:10.1016/j.foodchem.2009.09.087
- Repo-Carrasco-Valencia, Peña, J., Kallio, H., & Salminen, S. 2009. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2), 219-224. doi:10.1016/j.jcs.2008.10.003
- Repo-Carrasco-Valencia, Pilco, J. J., & Zelada, C. R. E. 2011a. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, 29, 207-224.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Serna, L. A. 2011b. Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology*. 31, 225-230.
- Riaz, M. 2001. Selecting the right extruder. In *Extrusion cooking* (pp. 29-50): Elsevier.
- Robin, F., Théoduloz, C., & Srichuwong, S. 2015. Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(10), 2152-2159. doi:10.1111/ijfs.12893
- Ronda, F., Pérez-Quirce, S., & Villanueva, M. 2017. Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. In J. Ahmed, P. Ptaszek, & S. Basu (Eds.), *Advances in Food Rheology and its Applications* (pp. 297-334): Woodhead Publishing.
- Ruales, J., Valencia, S., & Nair, B. 1993. Effect of processing on the physico-chemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa*, Willd). *Starch/Stärke*, 45(1), 13-19. doi:10.1002/star.19930450105

- Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. 2010. Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Technology*, 3(4), 577-585.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. 2014. *Introduction to food engineering* (F. S. a. Technology Ed. Fifth ed.).
- Steffolani, M. E., Villacorta, P., Morales-Soriano, E. R., Repo-Carrasco, R., León, A. E., & Pérez, G. T. 2016. Physicochemical and functional characterization of protein isolated from different quinoa varieties (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J Cereal Chemistry*, 93(3), 275-281. doi:doi:10.1094/CCHEM-04-15-0083-R
- Suca, G. 2016. Potencial del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como futura fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18(2), 55-71.
- Vidaurre-Ruiz, J. M., Salas-Valerio, W. F., & Repo-Carrasco-Valencia, R. 2019. Propiedades de pasta y texturales de las mezclas de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*) en un sistema acuoso. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(1), 5-14.
- Wootton, M., Weeden, D., & Munk, N. 1971. A rapid method for the estimation of starch gelatinization in processed foods. *Food Technology Australia*, 23, 612-615.
- Wrigley, C. 2003. The lupin-the grain with no starch. *Cereal Foods World*, 48(1), 30.
- Yacu, W. A. 2012. Extruder selection, design, and operation for different food applications. *J Advances in food extrusion technology*, 23-68.
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., & Liu, C. 2018. Properties of starch after extrusion: A Review. *Starch/Stärke*, 70(11-12), 1700110. doi:10.1002/star.201700110
- Zhang, X., Chen, Y., Zhang, R., Zhong, Y., Luo, Y., Xu, S., . . . Guo, D. 2016. Effects of extrusion treatment on physicochemical properties and in vitro digestion of pregelatinized high amylose maize flour. *Journal of Cereal Science*, 68, 108-115. doi:10.1016/j.jcs.2016.01.005

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en las características físicas de los extruidos de kiwicha centenario.

Anexo 1A. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la humedad (M) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	9.08	5	1.82	92.24	< 0.0001
A-Moist	7.65	1	7.65	388.67	< 0.0001
B-Temp	1.27	1	1.27	64.27	< 0.0001
AB	0.098	1	0.098	4.96	0.0612
A2	6.881E-003	1	6.881E-003	0.35	0.5729
B2	0.036	1	0.036	1.85	0.2156
Residual	0.14	7	0.020		
Lack of Fit	0.14	3	0.045	65.47	0.0007
Pure Error	2.750E-003	4	6.875E-004		
Cor Total	9.22	12			

Anexo 1B. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la actividad de agua (a_w) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	0.092	5	0.018	101.01	< 0.0001
A-Moist	0.061	1	0.061	334.28	< 0.0001
B-Temp	0.030	1	0.030	162.26	< 0.0001
AB	1.334E-004	1	1.334E-004	0.73	0.4212
A2	9.916E-004	1	9.916E-004	5.42	0.0527
B2	9.789E-004	1	9.789E-004	5.36	0.0539
Residual	1.280E-003	7	1.828E-004		
Lack of Fit	1.255E-003	3	4.185E-004	69.45	0.0007
Pure Error	2.410E-005	4	6.026E-006		
Cor Total	0.094	12			

Anexo 1C. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de expansión seccional (IES) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	20.60	5	4.12	51.95	< 0.0001
A-Moist	1.01	1	1.01	12.79	0.0090
B-Temp	15.66	1	15.66	197.51	< 0.0001
AB	3.71	1	3.71	46.81	0.0002
A2	0.20	1	0.20	2.56	0.1536
B2	9.372E-003	1	9.372E-003	0.12	0.7411
Residual	0.56	7	0.079		
Lack of Fit	0.51	3	0.17	13.88	0.0140
Pure Error	0.049	4	0.012		
Cor Total	21.15	12			

Anexo 1D. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la densidad aparente (DA) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	0.47	5	0.095	19.97	0.0005
A-Moist	2.065E-004	1	2.065E-004	0.044	0.8407
B-Temp	0.41	1	0.41	87.27	< 0.0001
AB	0.036	1	0.036	7.56	0.0285
A2	4.555E-003	1	4.555E-003	0.96	0.3599
B2	0.010	1	0.010	2.19	0.1825
Residual	0.033	7	4.746E-003		
Lack of Fit	0.032	3	0.011	57.12	0.0010
Pure Error	7.578E-004	4	1.895E-004		
Cor Total	0.51	12			

Anexo 1E. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de solubilidad al agua (ISA) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	885.63	5	177.13	19.94	0.0005
A-Moist	16.67	1	16.67	1.88	0.2130
B-Temp	562.83	1	562.83	63.37	< 0.0001
AB	203.69	1	203.69	22.93	0.0020
A2	17.16	1	17.16	1.93	0.2072
B2	48.45	1	48.45	5.45	0.0522
Residual	62.18	7	8.88		
Lack of Fit	61.73	3	20.58	184.62	< 0.0001
Pure Error	0.45	4	0.11		
Cor Total	947.81	12			

Anexo 1F. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de absorción de agua (IAA) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	6.00	5	1.20	35.78	< 0.0001
A-Moist	1.42	1	1.42	42.23	0.0003
B-Temp	2.69	1	2.69	80.26	< 0.0001
AB	1.364E-003	1	1.364E-003	0.041	0.8459
A2	0.012	1	0.012	0.36	0.5674
B2	1.50	1	1.50	44.76	0.0003
Residual	0.23	7	0.034		
Lack of Fit	0.22	3	0.074	26.08	0.0044
Pure Error	0.011	4	2.854E-003		
Cor Total	6.23	12			

Anexo 1G. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la dureza de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	583.98	5	116.80	39.68	< 0.0001
A-Moist	3.55	1	3.55	1.20	0.3087
B-Temp	32.16	1	32.16	10.92	0.0130
AB	40.05	1	40.05	13.61	0.0078
A2	2.17	1	2.17	0.74	0.4194
B2	409.60	1	409.60	139.16	< 0.0001
Residual	20.60	7	2.94		
Lack of Fit	17.11	3	5.70	6.53	0.0507
Pure Error	3.49	4	0.87		
Cor Total	604.58	12			

Anexo 1H. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la resistencia al corte (RC) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1.755E+012	5	3.510E+011	49.82	< 0.0001
A-Moist	8.019E+009	1	8.019E+009	1.14	0.3214
B-Temp	1.485E+012	1	1.485E+012	210.83	< 0.0001
AB	3.732E+010	1	3.732E+010	5.30	0.0549
A2	9.730E+009	1	9.730E+009	1.38	0.2783
B2	1.527E+011	1	1.527E+011	21.68	0.0023
Residual	4.931E+010	7	7.045E+009		
Lack of Fit	3.493E+010	3	1.164E+010	3.24	0.1430
Pure Error	1.438E+010	4	3.595E+009		
Cor Total	1.804E+012	12			

Anexo 1I. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el grado de gelatinización medido por espectrofotometría (GGe) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1720.08	5	344.02	89.35	< 0.0001
A-Moist	199.47	1	199.47	51.81	0.0002
B-Temp	934.82	1	934.82	242.79	< 0.0001
AB	566.34	1	566.34	147.09	< 0.0001
A2	6.58	1	6.58	1.71	0.2324
B2	5.47	1	5.47	1.42	0.2719
Residual	26.95	7	3.85		
Lack of Fit	25.38	3	8.46	21.49	0.0063
Pure Error	1.57	4	0.39		
Cor Total	1747.03	12			

ANEXO 2. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en las características químicas de los extruidos de kiwicha centenario.

Anexo 2A. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la capacidad antioxidante medido por DPPH (CA-DPPH) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1141.37	5	228.27	19.95	0.0005
A-Moist	125.06	1	125.06	10.93	0.0130
B-Temp	187.76	1	187.76	16.41	0.0049
AB	316.53	1	316.53	27.67	0.0012
A2	54.07	1	54.07	4.73	0.0662
B2	288.49	1	288.49	25.22	0.0015
Residual	80.08	7	11.44		
Lack of Fit	79.09	3	26.36	105.90	0.0003
Pure Error	1.00	4	0.25		
Cor Total	1221.45	12			

Anexo 2B. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la capacidad antioxidante medido por ABTS (CA-ABTS) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	11473.39	5	2294.68	23.86	0.0003
A-Moist	2973.70	1	2973.70	30.92	0.0009
B-Temp	571.89	1	571.89	5.95	0.0449
AB	6559.06	1	6559.06	68.20	< 0.0001
A2	365.25	1	365.25	3.80	0.0923
B2	1337.35	1	1337.35	13.91	0.0074
Residual	673.18	7	96.17		
Lack of Fit	657.03	3	219.01	54.25	0.0011
Pure Error	16.15	4	4.04		
Cor Total	12146.57	12			

Anexo 2C. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el contenido de fenólicos totales (FT) de los extruidos de kiwicha.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	194.23	5	38.85	185.21	< 0.0001
A-Moist	9.81	1	9.81	46.78	0.0002
B-Temp	45.65	1	45.65	217.63	< 0.0001
AB	74.14	1	74.14	353.50	< 0.0001
A2	6.27	1	6.27	29.88	0.0009
B2	37.33	1	37.33	177.99	< 0.0001
Residual	1.47	7	0.21		
Lack of Fit	1.39	3	0.46	24.89	0.0048
Pure Error	0.075	4	0.019		
Cor Total	195.70	12			

ANEXO 3. Parámetros de color de extruidos de kiwicha después de moler y harina de kiwicha sin extruir.

Run	Parámetros de extrusión		Parámetros de color			
	Humedad inicial (%)	Temperat. de extrusión (°C)	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	ΔE
1	16	160	73.97±0.15 ^c	1.74±0.05 ^{fg}	13.09±0.10 ^c	6.44±0.16 ^d
2	18	190	71.14±0.35 ^f	2.16±0.03 ^a	13.77±0.09 ^a	9.34±0.33 ^a
3	16	190	71.97±0.15 ^{de}	2.04±0.03 ^b	13.74±0.07 ^a	8.51±0.15 ^{bc}
4	16	175	73.55±0.15 ^c	1.79±0.03 ^e	13.37±0.05 ^b	6.89±0.16 ^d
5	16	175	73.64±0.12 ^c	1.80±0.04 ^e	13.36±0.02 ^b	6.80±0.12 ^d
6	14	160	73.93±0.99 ^c	1.88±0.05 ^d	13.50±0.09 ^b	6.53±0.98 ^d
7	16	175	73.65±0.14 ^c	1.78±0.03 ^{ef}	13.38±0.04 ^b	6.79±0.13 ^d
8	16	175	73.60±0.14 ^c	1.79±0.04 ^e	13.35±0.03 ^b	6.84±0.14 ^d
9	14	190	71.72±0.10 ^{ef}	2.02±0.02 ^b	13.51±0.07 ^b	8.73±0.10 ^{ab}
10	14	175	74.97±0.15 ^b	1.54±0.02 ^h	12.93±0.05 ^c	5.43±0.15 ^e
11	16	175	73.67±0.11 ^c	1.79±0.03 ^e	13.34±0.03 ^b	6.77±0.11 ^d
12	18	175	73.57±0.31 ^c	1.90±0.05 ^{cd}	13.46±0.26 ^b	6.89±0.28 ^d
13	18	160	72.47±0.18 ^d	1.93±0.03 ^c	13.13±0.08 ^c	7.94±0.18 ^c
	No extruido		80.4±0.2 ^a	1.7±0.0 ^f	12.56±0.09 ^d	NE

NE es no evaluable. Diferentes superíndice en la misma columna indican diferencia estadística (p<0.05)

ANEXO 4. Parámetros de color de extruidos de quinua después de moler y harina de quinua sin extruir.

Parámetros de extrusión		Parámetros de color			
Humedad inicial (%)	Temperat. de extrusión (%)	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>ΔE</i>
18	190	61.55±0.01 ^g	5.47±0.00 ^{cd}	15.16±0.01 ^b	9.31±0.01 ^a
14	190	62.64±0.02 ^e	5.64±0.01 ^a	15.44±0.01 ^a	8.30±0.02 ^c
18	175	61.50±0.03 ^g	5.53±0.01 ^{bc}	15.16±0.01 ^b	9.36±0.03 ^a
18	160	62.79±0.02 ^{de}	5.57±0.01 ^{ab}	15.40±0.02 ^a	8.14±0.02 ^{cd}
16	160	63.06±0.01 ^{cd}	5.39±0.01 ^{de}	15.15±0.02 ^b	7.81±0.01 ^{de}
14	175	63.28±0.01 ^c	5.34±0.00 ^e	14.80±0.01 ^d	7.55±0.02 ^e
16	175	62.25±0.01 ^f	5.50±0.01 ^{de}	15.07±0.01 ^c	8.61±0.01 ^b
16	190	61.79±0.01 ^{fg}	5.38±0.00 ^{de}	14.85±0.02 ^{cd}	9.03±0.02 ^{ab}
16	175	62.26±0.02 ^f	5.51±0.00 ^{de}	15.08±0.02 ^c	8.60±0.01 ^b
16	175	61.90±0.51 ^f	5.42±0.13 ^{de}	14.94±0.19 ^c	8.93±0.48 ^b
16	175	61.52±0.00 ^f	5.31±0.00 ^{de}	14.81±0.01 ^c	9.29±0.00 ^b
16	175	61.52±0.01 ^f	5.31±0.00 ^{de}	14.79±0.00 ^c	9.29±0.01 ^b
14	160	64.27±0.02 ^b	5.23±0.00 ^f	14.83±0.01 ^{cd}	6.56±0.02 ^f
Sin extruir		70.73±0.02 ^a	4.39±0.00 ^g	14.05±0.01 ^e	NE

NE es no evaluable. Diferentes superíndice en la misma columna indican diferencia estadística (p<0.05)

ANEXO 5. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en las características físicas de los extruidos de quinua pasankalla.

Anexo 5A. Análisis de varianza por modelo cuadrático para humedad (M) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	5.55	5	1.11	27.08	0.0002
A-M	2.18	1	2.18	53.28	0.0002
B-T	1.62	1	1.62	39.58	0.0004
AB	1.13	1	1.13	27.67	0.0012
A2	0.45	1	0.45	11.08	0.0126
B2	0.39	1	0.39	9.45	0.0180
Residual	0.29	7	0.041		
Lack of Fit	0.21	3	0.070	3.63	0.1224
Pure Error	0.077	4	0.019		
Cor Total	5.84	12			

Anexo 5B. Análisis de varianza por modelo cuadrático para actividad de agua (a_w) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	0.056	5	0.011	58.34	< 0.0001
A-M	0.032	1	0.032	166.49	< 0.0001
B-T	0.021	1	0.021	107.42	< 0.0001
AB	1.667E-003	1	1.667E-003	8.69	0.0215
A2	6.096E-004	1	6.096E-004	3.18	0.1178
B2	1.644E-003	1	1.644E-003	8.57	0.0221
Residual	1.342E-003	7	1.917E-004		
Lack of Fit	1.285E-003	3	4.283E-004	29.86	0.0034
Pure Error	5.738E-005	4	1.435E-005		
Cor Total	0.057	12			

Anexo 5C. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de expansión seccional (IES) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	7.27	5	1.45	33.80	< 0.0001
A-M	0.037	1	0.037	0.85	0.3863
B-T	5.40	1	5.40	125.47	< 0.0001
AB	0.54	1	0.54	12.49	0.0095
A2	1.26	1	1.26	29.38	0.0010
B2	0.065	1	0.065	1.52	0.2578
Residual	0.30	7	0.043		
Lack of Fit	0.17	3	0.056	1.67	0.3094
Pure Error	0.13	4	0.033		
Cor Total	7.57	12			

Anexo 5D. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de solubilidad al agua (ISA) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	98.14	5	19.63	15.46	0.0012
A-M	25.79	1	25.79	20.30	0.0028
B-T	63.49	1	63.49	49.99	0.0002
AB	0.047	1	0.047	0.037	0.8527
A2	7.93	1	7.93	6.24	0.0411
B2	3.78	1	3.78	2.98	0.1282
Residual	8.89	7	1.27		
Lack of Fit	8.07	3	2.69	13.07	0.0156
Pure Error	0.82	4	0.21		
Cor Total	107.03	12			

Anexo 5E. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el índice de absorción de agua (IAA) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1.05	5	0.21	19.46	0.0006
A-M	0.051	1	0.051	4.75	0.0657
B-T	0.90	1	0.90	83.93	< 0.0001
AB	0.064	1	0.064	5.99	0.0443
A2	0.026	1	0.026	2.45	0.1613
B2	4.908E-004	1	4.908E-004	0.046	0.8369
Residual	0.075	7	0.011		
Lack of Fit	0.060	3	0.020	5.07	0.0755
Pure Error	0.016	4	3.919E-003		
Cor Total	1.12	12			

Anexo 5F. Análisis de varianza por modelo lineal para el parámetro de color L* de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	42.00	5	8.40	24.40	0.0003
A-M	19.82	1	19.82	57.57	0.0001
B-T	18.24	1	18.24	52.99	0.0002
AB	0.33	1	0.33	0.97	0.3573
A2	3.41	1	3.41	9.90	0.0162
B2	0.083	1	0.083	0.24	0.6388
Residual	2.41	7	0.34		
Lack of Fit	1.34	3	0.45	1.67	0.3087
Pure Error	1.07	4	0.27		
Cor Total	44.41	12			

Anexo 5G. Análisis de varianza por modelo lineal para el parámetro de color a* de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	0.12	2	0.062	1.17	0.3495
A-M	0.030	1	0.030	0.56	0.4718
B-T	0.095	1	0.095	1.78	0.2117
Residual	0.53	10	0.053		
Lack of Fit	0.13	6	0.021	0.21	0.9541
Pure Error	0.40	4	0.10		
Cor Total	0.66	12			

Anexo 5H. Análisis de varianza por modelo lineal para el parámetro de color b^* de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	6.94	2	3.47	19.81	0.0003
A-M	1.77	1	1.77	10.11	0.0098
B-T	5.17	1	5.17	29.51	0.0003
Residual	1.75	10	0.18		
Lack of Fit	0.69	6	0.11	0.43	0.8309
Pure Error	1.07	4	0.27		
Cor Total	8.70	12			

Anexo 5I. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el parámetro de color ΔE de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	47.68	5	9.54	23.54	0.0003
A-M	21.60	1	21.60	53.33	0.0002
B-T	21.80	1	21.80	53.83	0.0002
AB	0.50	1	0.50	1.23	0.3040
A2	3.57	1	3.57	8.81	0.0209
B2	0.089	1	0.089	0.22	0.6532
Residual	2.84	7	0.41		
Lack of Fit	1.28	3	0.43	1.10	0.4473
Pure Error	1.56	4	0.39		
Cor Total	50.51	12			

Anexo 5J. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la dureza los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	307.97	5	61.59	15.89	0.0011
A-M	105.53	1	105.53	27.23	0.0012
B-T	143.11	1	143.11	36.92	0.0005
AB	4.95	1	4.95	1.28	0.2958
A2	3.01	1	3.01	0.78	0.4074
B2	35.59	1	35.59	9.18	0.0191
Residual	27.13	7	3.88		
Lack of Fit	19.94	3	6.65	3.70	0.1195
Pure Error	7.19	4	1.80		
Cor Total	335.10	12			

Anexo 5K. Análisis de varianza por modelo cuadrático para la resistencia al corte (RC) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	9.920E+011	5	1.984E+011	113.07	< 0.0001
A-M	5.894E+010	1	5.894E+010	33.59	0.0007
B-T	7.084E+011	1	7.084E+011	403.69	< 0.0001
AB	2.343E+009	1	2.343E+009	1.34	0.2858
A2	7.427E+010	1	7.427E+010	42.32	0.0003
B2	6.350E+010	1	6.350E+010	36.19	0.0005
Residual	1.228E+010	7	1.755E+009		
Lack of Fit	5.241E+009	3	1.747E+009	0.99	0.4816
Pure Error	7.042E+009	4	1.761E+009		
Cor Total	1.004E+012	12			

Anexo 5L. Análisis de varianza por modelo lineal para el grado de gelatinización medido por espectrofotometría (GGe) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	160.82	2	80.41	12.72	0.0018
A-M	1.56	1	1.56	0.25	0.6299
B-T	159.26	1	159.26	25.19	0.0005
Residual	63.23	10	6.32		
Lack of Fit	56.02	6	9.34	5.18	0.0667
Pure Error	7.21	4	1.80		
Cor Total	224.05	12			

ANEXO 6. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta para el efecto de la humedad inicial y temperatura de extrusión en las características químicas de los extruidos de quinua pasankalla.

Anexo 6A. Análisis de varianza por modelo cuadrático para capacidad antioxidante medido por DPPH (CA-DPPH) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	10885.48	5	2177.10	14.79	0.0013
A-M	2.05	1	2.05	0.014	0.9094
B-T	6605.29	1	6605.29	44.86	0.0003
AB	703.75	1	703.75	4.78	0.0650
A2	1992.95	1	1992.95	13.53	0.0079
B2	390.53	1	390.53	2.65	0.1474
Residual	1030.73	7	147.25		
Lack of Fit	994.45	3	331.48	36.54	0.0023
Pure Error	36.28	4	9.07		
Cor Total	11916.21	12			

Anexo 6B. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el contenido de fenólicos totales (FT) de los extruidos de quinua pasankalla.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	854.01	5	170.80	22.84	0.0003
A-M	156.05	1	156.05	20.86	0.0026
B-T	143.04	1	143.04	19.12	0.0033
AB	295.83	1	295.83	39.55	0.0004
A2	11.62	1	11.62	1.55	0.2526
B2	175.46	1	175.46	23.46	0.0019
Residual	52.36	7	7.48		
Lack of Fit	49.25	3	16.42	21.17	0.0065
Pure Error	3.10	4	0.78		
Cor Total	906.36	12			

ANEXO 7. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta con diseño de mezclas D-Optimal, para el efecto de las mezclas de harina de tarwi con harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario en los parámetros de textura medido por Back extrusion.

Anexo 7A. Análisis de varianza por modelo cúbico para el efecto de las mezclas en la firmeza de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	2.181E+005	9	24232.84	4912.38	0.0111
Linear Mixture	1.910E+005	2	95478.80	19355.07	0.0051
AB	13697.12	1	13697.12	2776.62	0.0121
AC	15.09	1	15.09	3.06	0.3306
BC	3932.16	1	3932.16	797.11	0.0225
ABC	47.89	1	47.89	9.71	0.1977
AB(A-B)	103.86	1	103.86	21.05	0.1366
AC(A-C)	3133.78	1	3133.78	635.27	0.0252
BC(B-C)	155.11	1	155.11	31.44	0.1124
Residual	4.93	1	4.93		
Cor Total	2.181E+005	10			

Anexo 7B. Análisis de varianza por modelo cúbico especial para el efecto de las mezclas en la consistencia de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1.326E+007	6	2.210E+006	82.87	0.0004
Linear Mixture	1.215E+007	2	6.076E+006	227.87	< 0.0001
AB	7.371E+005	1	7.371E+005	27.65	0.0063
AC	4.249E+005	1	4.249E+005	15.94	0.0162
BC	3.170E+005	1	3.170E+005	11.89	0.0261
ABC	2.461E+005	1	2.461E+005	9.23	0.0385
Residual	1.067E+005	4	26663.83		
Cor Total	1.336E+007	10			

Anexo 7C. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el efecto de las mezclas en la cohesividad de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	1.237E+005	5	24743.84	54.47	0.0002
Linear Mixture	1.130E+005	2	56481.03	124.32	< 0.0001
AB	7740.08	1	7740.08	17.04	0.0091
AC	0.45	1	0.45	9.888E-004	0.9761
BC	3148.09	1	3148.09	6.93	0.0464
Residual	2271.51	5	454.30		
Cor Total	1.260E+005	10			

Anexo 7D. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el efecto de las mezclas en el índice de viscosidad de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	7.026E+006	5	1.405E+006	87.19	< 0.0001
Linear Mixture	6.402E+006	2	3.201E+006	198.60	< 0.0001
AB	4.675E+005	1	4.675E+005	29.01	0.0030
AC	15382.52	1	15382.52	0.95	0.3735
BC	1.599E+005	1	1.599E+005	9.92	0.0254
Residual	80583.03	5	16116.61		
Cor Total	7.107E+006	10			

ANEXO 8. Análisis de varianza (ANOVA) por superficie de respuesta con diseño de mezclas D-Optimal, para el efecto de las mezclas de harina de tarwi con harina extruida de quinua pasankalla y kiwicha centenario en la maximización del puntaje sensorial, score aminocídico y contenido de proteína.

Anexo 8A. Analisis de varianza por modelo cuadratico para el efecto de las mezclas en el contenido de proteina de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	519.77	5	103.95	2.188E+009	< 0.0001
Linear Mixture	519.77	2	259.88	5.469E+009	< 0.0001
AB	1.852E-009	1	1.852E-009	0.039	0.8513
AC	9.048E-008	1	9.048E-008	1.90	0.2261
BC	1.244E-008	1	1.244E-008	0.26	0.6307
Residual	2.376E-007	5	4.752E-008		
Cor Total	519.77	10			

Anexo 8B. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el efecto de las mezclas en el score aminocídico de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	0.051	5	0.010	394.43	< 0.0001
Linear Mixture	0.049	2	0.024	948.72	< 0.0001
AB	8.003E-004	1	8.003E-004	31.17	0.0025
AC	4.529E-004	1	4.529E-004	17.64	0.0085
BC	6.661E-004	1	6.661E-004	25.94	0.0038
Residual	1.284E-004	5	2.567E-005		
Cor Total	0.051	10			

Anexo 8C. Análisis de varianza por modelo cuadrático para el efecto de las mezclas en el puntaje sensorial de la mazamorra.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value
Model	9.02	6	1.50	3.41	0.1274
Linear Mixture	7.94	2	3.97	9.02	0.0329
AB	0.35	1	0.35	0.79	0.4256
AC	0.13	1	0.13	0.29	0.6217
BC	0.41	1	0.41	0.93	0.3892
ABC	0.050	1	0.050	0.11	0.7533
Residual	1.76	4	0.44		
Cor Total	10.78	10			