

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



“Extruido de grits de maíz (*Zea mays*) con harinas de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amarantus caudatus*) germinadas”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTOR:

Bach. Verona Ruiz, Angie Liseth

ASESORA:

Dra. Paucar Menacho, Luz María

Nuevo Chimbote – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

E.A.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE AVAL DE ASESOR

El presente trabajo de tesis titulado “EXTRUIDO DE GRITS DE MAÍZ (*Zea mays*) CON HARINAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amarantus caudatus*) GERMINADAS”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la Bachiller. Verona Ruiz Anggie Liseth, fue revisado y asesorado por la Dra. Luz Maria Paucar Menacho, designada mediante resolución decanal N° 205-2021-UNS-FI.

ASESORA

Dra. Luz Maria Paucar Menacho

Dni: 08099817

Orcid: 0000-0001-5349-6167



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

E.A.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DE AVAL DE JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “EXTRUIDO DE GRITS DE MAÍZ (*Zea mays*) CON HARINAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amarantus caudatus*) GERMINADAS”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la Bachiller Verona Ruis Anggie Liseth, ha sido revisada y aprobada teniendo como jurado evaluador al Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta (Presidente), Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Secretario) y Dra. Luz Maria Paucar Menacho (Integrante), designados mediante Resolución N° 242-2022-UNS-CFI quienes firman en conformidad:

Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta

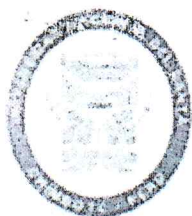
Presidente

Dra. Luz Maria Paucar Menacho

Integrante

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas

Secretaria



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día uno de setiembre del dos mil veintidós, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 242-2022-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Victor Augusto Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Secretaria)
- **Dra. Luz María Paucar Menacho** (Integrante)
- **Ms. Juan Carlos Vásquez Guzmán** (Accesitario)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“EXTRUIDO DE GRITS DE MAÍZ (*Zea mays*) CON HARINAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amarantus caudatus*) GERMINADAS”, elaborado por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial.

- **VERONA RUIZ ANGGIE LISETH**

Asimismo, tiene como Asesora a la docente: **Dra. Luz María Paucar Menacho**.

Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VERONA RUIZ ANGGIE LISETH	18	BUENO

Siendo las 11:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 01 de setiembre del 2022.

Dr. Victor Augusto Castro Zavaleta
 Presidente

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
 Secretaria

Dra. Luz María Paucar Menacho
 Integrante

DEDICATORIA

A Dios, mi padre celestial, por su protección y bendición, quien me acompaña siempre en todo camino en el transcurso de mi vida personal y profesional.

A mis padres, Maria Ruiz Avila y Yoni Verona Campoverde, quienes me brindaron su apoyo y afecto para continuar con todos mis proyectos y afrontar los obstáculos que se presentan día a día.

A mi hermana menor Marilyn Verona, quien es mi motivo de superación, por quien soy cada día mejor y cumplo cada una de mis metas, para establecer en ella cualidades de responsabilidad y perseverancia.

A mis tios y abuelos, quienes nunca dudaron de mí y celebraron conmigo cada logro.

A mis profesores de la E.A.P Ingeniería Agroindustrial, quienes en el transcurso de mis estudios me transmitieron sus conocimientos y experiencias, para desenvolverme en el campo profesional.

Anggie Liseth Verona Ruiz

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por su amor y protección, por brindarme salud y guiarme en la toma de decisiones a lo largo de mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por quienes día a día me esfuerzo para ser una mejor persona y profesional.

A mi asesora de tesis y madre científica, Dra. Luz Maria Paucar Menacho, quien me abrió las puertas de la investigación y por quien cada día crezco como profesional. Le agradezco por compartir sus conocimientos y guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A Alicia Lavado y Juan Urcia Cerna, personas importantes en mi vida, que se volvieron un gran soporte durante el desarrollo y con quienes compartimos gratos momentos en el transcurso de nuestra vida universitaria.

Asimismo, agradezco a los profesores y técnicos de la escuela académica profesional de Ingeniería Agroindustrial por sus enseñanzas y consejos a lo largo de mis estudios universitarios, al equipo técnico de alimentos funcionales, que me brindaron respaldo y compartieron sus experiencias durante el desarrollo de la tesis.

Anggie Liseth Verona Ruiz

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Quinua.....	5
2.1.1. Generalidades de la Quinua	5
2.1.2. Variedades de Quinua	5
2.1.3. Característica Físicoquímicas y nutricionales de la Quinua	6
2.2. Kiwicha.....	8
2.2.1. Generalidades de la kiwicha	8
2.2.2. Composición de la Kiwicha.....	9
2.3. Maíz amarillo (<i>Zea mays</i>)	11
2.3.1. Generalidades del maíz amarillo.....	11
2.3.2. Morfología del maíz amarillo	11
2.3.3. Consumo nacional y mundial del maíz amarillo	12
2.3.4. Composición físicoquímica del maíz (<i>Zea mays</i>).....	13
2.4. Germinación de granos.....	15
2.4.1. Antecedentes del germinados en Pseudocereales.....	15
2.5. Extrusión.....	18
2.5.1. Proceso de Extrusión	19
2.5.2. Factores de la extrusión	20
2.5.3. Equipos de extrusión	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1. Lugar de ejecución	23
3.2. Materiales y equipos.....	24
3.2.1. Materia Prima.....	24

3.2.2.	Reactivos.....	24
3.2.3.	Materiales de laboratorio y otros.....	25
3.2.4.	Recursos personales y servicios.....	26
3.2.5.	Equipos e instrumentos.....	26
3.3.	Metodología.....	27
3.3.1.	Obtención y procesamiento de las materias primas.....	29
3.3.2.	Acondicionamiento y extrusión.....	33
3.4.	Métodos de análisis.....	34
3.4.1.	Caracterización de materias primas.....	34
3.4.2.	Análisis de las formulaciones.....	43
3.4.3.	Caracterización tecnológica del extruido.....	44
3.4.4.	Evaluación de Intención de compra del extruido final.....	46
3.5.	Diseño experimental.....	46
3.6.	Análisis estadístico.....	47
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
5.1.	Caracterización de las materias primas.....	48
5.1.1.	Tasa de germinación (%).....	48
5.1.2.	Composición química de las materias primas.....	50
5.1.2.1.	Composición proximal de las materias.....	50
5.1.2.2.	Contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, ácido aminobutirico y contenido de ácido fítico de las materias primas.....	56
5.1.3.	Granulometría de las materias Primas.....	59
5.2.	Caracterización del snack extruido.....	62
5.2.1.	Características Tecnológicas.....	62
5.2.1.1.	Índice de expansión (IE).....	62
5.2.1.2.	Densidad Aparente (DA).....	65
5.2.1.3.	Textura Instrumental.....	67

5.2.1.4.	Índice de absorción de agua (IAA).....	69
5.2.1.5.	Índice de Solubilidad de agua (ISA).....	71
5.2.2.	Color Instrumental.....	74
5.2.3.	Contenido de PA, TSPC y ORAC en los Extruidos.....	78
5.2.3.1.	Determinación de la capacidad antioxidante de radicales de oxígeno (ORAC)	78
5.2.3.2.	Extracción y Cuantificación de Compuestos Fenólicos Solubles Totales (TSPC).....	80
5.2.3.3.	ÁCIDO FÍTICO (PA).....	84
5.3.	Análisis numérico y validación de modelos matemático del extruido ...	86
5.4.	Caracterización química del extruido resultante	88
5.5.	Evaluación de intención de compra del extruido final.....	90
VI.	CONCLUSIONES	93
VII.	RECOMENDACIONES	93
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	94
IX.	ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Contenido fisico-químico (g/100g de muestra) de Quinoa	6
Tabla 2 Contenido de aminoácidos en los granos de Quinoa (g/100g proteína)	8
Tabla 3 Composición fisico-química de variedades de Kiwicha	9
Tabla 4 Composición fisico-química del maíz amarillo (zea mays)	14
Tabla 5. Diseño de mezclas Simplex Centroide con 3 variables independientes en los niveles codificados y niveles reales.....	47
Tabla 6 Variables para la determinación de tasa de germinación (%) de los pseudocereales Quinoa y Kiwicha.....	50
Tabla 7 Análisis Proximal (base seca - dw) de grits de maíz y semillas de Quinoa y Kiwicha germinados y sin germinar	51
Tabla 8 Análisis de ácido fítico, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácido aminobutirico de grits de maíz y de las harinas de kiwicha y quinua germinadas y sin germinar.....	57
Tabla 9. Análisis granulométrico de Grits de maiz amarillo	60
Tabla 10. Análisis granulométrico de Harina de Quinoa germinada.....	61
Tabla 11. Análisis granulométrico de Grits de Harina de Kiwicha germinada.....	62
Tabla 12. Características tecnológicas de las formulaciones de snack extruidos.....	73
Tabla 13. Dimensiones “L”, “a” y “b” del color de los extruidos	74
Tabla 14. Modelo matemático para color instrumental de los extruidos.....	76
Tabla 15 Efecto del reemplazo de grits de Maíz por harinas de pseudocereales germinadas en PA, TSPC y ORAC en Snacks	83
Tabla 16. Variables dependientes e independientes para la optimización del snack final	87
Tabla 17 Mejor formulación del extruido final	87
Tabla 19 Composición química del extruido de grits de maiz y harinas de quinua y kiwicha germinadas resultante.....	89
Tabla 18. Resultado de la encuesta para conocer la intención de compra.....	91
Tabla 20. Datos de curva de calibrado para compuestos fenólicos solubles totales...	120
Tabla 21 Valores para la curva de calibrado Patron - GABA	124
Tabla 22 Valores para la preparación de la curva de calibrado para ácido fítico.	132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura del grano de maíz (<i>Zea mays</i>).....	12
Figura 2. Partes de un equipo extrusor	21
Figura 3 Extrusor doble tornillo – MARCA: INBRAMAQ.....	23
Figura 4 Esquema experimental de la investigación de elaboración de extruido de grits de maíz con harinas de quinua y kiwicha germinada.	28
Figura 5 Diagrama de flujo para la obtención de harina de Quinua germinada.....	31
Figura 6 Diagrama de flujo para la obtención de harina de Kiwicha germinada.....	32
Figura 7 Cabezal y boquillas a la salida del extrusor doble tornillo	33
Figura 8. Diagrama de flujo de la obtención del Extruido	34
Figura 9 Determinación de humedad	35
Figura 10 Equipo digestor Khenjdal	37
Figura 11 Equipo determinador de Fibra alimentaria	38
Figura 12 Determinación de cenizas	39
Figura 13 Equipo granulométrico.....	40
Figura 14. Determinación de compuesto fenólicos	41
Figura 15 Ácido γ -Aminobutírico (GABA)	42
Figura 16 Determinación por método ORAC	43
Figura 17 Proceso de Tasa de germinación de la Quinua	48
Figura 18 Proceso de Tasa de germinación de la Kiwicha.....	49
Figura 19 Gráfico de contorno para índice de expansión de los extruidos	64
Figura 20. Gráfico de contorno para Densidad Aparente (DA) de los extruidos	66
Figura 21 Gráfico de contorno para Trabajo de corte (N.s)	69
Figura 22 Gráfico de contorno para índice de solubilidad de agua (ISA).....	71
Figura 23. Gráfico de contorno para el parámetro L^*	75
Figura 24. Gráfico de contorno para el parámetro a^* y b^* (Color instrumental).....	76
Figura 25. Gráfico de contorno para ORAC	78
Figura 26. Gráfico de contorno para TSPC	81
Figura 27. Gráfico de contorno para Ácido fítico (PA).....	85
Figura 28 Formulación del extruido final.....	88

Figura 29 Cabinas de Pruebas organolépticas	90
Figura 30. Resultados de las pruebas para intención de compra.....	92
Figura 31 Curva de calibrado de Compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)	120
Figura 32 Curva de calibrado para GABA	124
Figura 33. Curva de calibrado para la capacidad antioxidante (ORAC).....	127
Figura 34 Proceso de análisis de capacidad antioxidante por el método ORAC	128
Figura 35 Curva de calibrado para ácido fitico	132

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Germinación de Quinoa var. Pasankalla Roja	116
Anexo 2. Germinación de Kiwicha var. Centenario	117
Anexo 3. Proceso de extrusión	118
Anexo 4. Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)	119
Anexo 5. CONTENIDO DE GABA (Ácido γ -aminobutírico)	121
Anexo 6. Determinación de Capacidad Atrapadora de Radicales de Oxígeno (ORAC)	125
Anexo 7. Determinación del Contenido de Ácido Fítico	129
Anexo 8. Metodología de las variables tecnológicas	134
Anexo 9. Formato encuesta para determinar la intención de compra del extruido final	137
Anexo 10. Formulaciones experimentales de extruidos.....	138
Anexo 11. Cuadros estadísticos para el análisis de investigación de las características tecnológicas del extruido	139
Anexo 12. Cuadros estadísticos para el análisis de investigación de las características de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y ácido fítico.	146

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo formular un extruido de grits de maíz (*Zea mays*) con harinas de quinua var. *Pasankalla* germinada (42h/20°C) y kiwicha var. *Centenario* germinada (63h/26°C) para conseguir apropiadas características tecnológicas, capacidad antioxidante, contenido de compuestos bioactivos y ácido fítico. Los ensayos se realizaron mediante un diseño de mezclas simplex-centroide y las variables dependientes se analizaron mediante una metodología de superficie de respuesta ($P < 0.10$ y $R^2 > 0.75$). Los parámetros fijos en el uso del extrusor doble tornillo fueron el flujo de alimentación (6 kg/h), velocidad del tornillo (304 rpm), temperatura de siete zonas (30,45,55,75,95,105 y 115°C) y la matriz (5mm ϕ).

La evaluación, demostró que las características tecnológicas como índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), trabajo de corte (WC) e índice de solubilidad en agua (ISA), fueron influenciadas significativamente por la proporción de harinas germinadas en el extruido, a diferencia de la fuerza de corte (FC) e índice de absorción de agua (IAA) que no presentan variación significativa. Para el color instrumental, se evaluó los parámetros a^* , b^* y L^* , demostrando que el uso de niveles más altos de maíz y harina de kiwicha y niveles más bajos de harina de quinua resultó en bocadillos más claros y con mayor tonalidad amarillenta. Por su parte, las harinas germinadas influyen positivamente en la capacidad antioxidante (ORAC), los compuestos fenólicos (TSPC) y disminuyen el contenido de ácido fítico (PA). Obteniendo mejores valores en los de mayor porcentaje de harina de quinua germinada.

Luego de la ejecución del estudio, la formulación más apropiada se determinó apuntando a valores más altos de IE, Parámetro- a^* , ISA, ORAC y TSPC; valores más bajos de DA, WC, Parámetro- b^* y PA, con Parámetro- L^* en el rango. Obteniendo como formulación óptima 24% de maíz, 46% de quinua y 30% de kiwicha, con una deseabilidad del 79.39%.

Palabras Claves: pseudocereales; germinación; extrusión; calidad nutricional; compuestos bioactivos; propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

The objective of this research work was to formulate an extruded corn grits (*Zea mays*) with quinoa var. Germinated Pasankalla (42h/20°C) and kiwicha var. Germinated Centenario (63h/26°C) to obtain an extrudate with optimal technological characteristics, antioxidant capacity, content of bioactive compounds and phytic acid. The trials were made using a simplex-centroid mixture design and the dependent variables were analyzed using a response surface methodology ($P < 0.10$ and $R^2 > 0.75$). The fixed parameters in the use of the twin screw extruder were feed rate (6 kg/h), screw speed (304 rpm), the temperature of seven zones (30, 45, 55, 75, 95, 105 and 115°C) and die (5mm ϕ).

The evaluation showed that the technological characteristics such as expansion index (IE), bulk density (DA), shear work (WC) and water solubility index (ISA), were significantly influenced by the proportion of germinated flours in the extrudate. Unlike the shear force (FC) and water absorption index (IAA) that do not present significant variation. For the instrumental color, the parameters a^* , b^* and L^* were evaluated, showing that the use of higher levels of corn and kiwicha flour and lower levels of quinoa flour resulted in lighter sandwiches with a greater yellowish hue. For its part, germinated flours positively influence antioxidant capacity (ORAC), phenolic compounds (TSPC) and decrease the content of phytic acid (PA). Obtaining better values in those with the highest percentage of germinated quinoa flour.

After the execution of the study, the most appropriate formulation was determined aiming at higher values of EI, Parameter- a^* , ISA, ORAC and TSPC; lower values of DA, WC, Parameter- b^* and PA, with Parameter- L^* in range. Obtaining as optimal formulation 24% corn, 46% quinoa and 30% kiwicha, with a desirability of 79.39%.

Keywords: pseudocereal; germination; extrusion; nutritional quality; bioactive compounds; physicochemical properties.

I. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la población peruana carece de una dieta completa en su composición, ya que no provee los nutrientes necesarios. Esto se relaciona a los hábitos de consumos, acceso de los alimentos y el desconocimiento de los valores nutritivos. Razón por la cual existen diversas organizaciones, cuya finalidad es controlar el problema de seguridad alimentaria que afecta a muchas personas, la cual las hace más vulnerables a sufrir infecciones y enfermedades por deficiencias nutricionales (Carvalho-Barreto *et al.*, 2016).

Actualmente el mercado de alimentos nutritivos ha incrementado y se han desarrollado estudios con diferentes métodos de procesamiento y variedad de materia primas, con el fin de presentar alternativas nutricionales para controlar los problemas de seguridad alimentaria (Carvalho-Barreto *et al.*, 2016).

Siendo los pseudocereales las materias primas más utilizadas para el desarrollo de nuevo productos con elevado contenido nutricional. Una alternativa considerada es el uso de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*), pseudocereales nutritivos que se originan en las regiones altoandinas de América del Sur, desde Ecuador hasta el sur de Chile. Dichos cultivos muestran una gran biodiversidad en el Perú debido a las diversas zonas agroecológicas del país (Pilco-Quesada *et al.*, 2020). Y a su vez son ricos en proteínas y carbohidratos, con gran potencial saludable. Que, al ser sometidos al proceso de germinación, incrementan considerablemente sus nutrientes, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante (Paucar-Menacho *et al.*, 2017).

Por otra parte, con el fin de presentar un producto de fácil consumo, se plantea someter a los granos germinados a la cocción por extrusión, tecnología versátil que

permite la transformación de productos similares a cereales en bocadillos digestibles y nutritivos a través de un proceso que involucra alta temperatura y presión (Ramos *et al.*, 2016). Este tipo de productos son gran fuente de micronutrientes a través de la fortificación con vitaminas, proteínas y minerales al contener cereales con propiedades nutritivas (Oliveira *et al.*, 2017).

El presente trabajo de investigación propone formular un extruido de grits de maíz (*zea mays*) con harinas de quinua (*chenopodium quinoa*) y kiwicha (*amarantus caudatus*) germinadas, con apropiadas características tecnológicas, capacidad antioxidante, contenido de compuestos bioactivos y ácido fítico.

Considerando como objetivos específicos los siguientes:

- Germinar y caracterizar fisicoquímicamente las materias primas grits de maíz (*Zea mays*), harinas de Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) var. Pasankalla y Kiwicha (*Amarantus caudatus*) var. Centenario germinadas.
- Determinar las características tecnológicas (índice de expansión, densidad aparente, textura instrumental, índice de solubilidad (ISA) e índice de absorción de agua (IAA), compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico de las formulaciones de extruido, obtenidas a partir de un diseño de mezclas simplex con centroide.
- Caracterizar fisicoquímicamente la formulación apropiada de extruido resultante y evaluar la intención de compra.

Por ello se plantea el siguiente problema, ¿Cuál es la formulación de un extruido de grits de maíz (*zea mays*) con harinas de quinua (*chenopodium quinoa*) y kiwicha (*amarantus caudatus*) germinadas, con características tecnológicas, capacidad antioxidante, contenido de compuestos bioactivos y ácido fítico apropiadas?

Partiendo de la siguiente hipótesis: La formulación de un extruido de grits de maíz (20 – 70%) con harinas de quinua germinada (16 – 50 %) y kiwicha germinada (0 – 30%) permitirá obtener características tecnológicas, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico apropiados.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Quinua

2.1.1. Generalidades de la Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), planta de la familia *Chenopodiaceas*, género *Chenopodium*, sección *Chenopodia* y subsección *Cellulata*. Es un grano cultivado en el Perú desde épocas prehispánicas; este cultivo ha sido considerado por la FAO como uno de los alimentos del futuro a nivel mundial por su gran capacidad de adaptación agronómica. Las semillas de quinua son las principales partes comestibles de la planta, el color de las semillas varía de blanco al negro, aunque las más populares son de color amarillo claro (Geren *et al.*, 2014)

2.1.2. Variedades de Quinua

La quinua presenta más de 1200 cultivares, y sus semillas son muy versátiles, utilizadas para su consumo directos y en la producción de múltiples derivados; entre las variedades mejoradas de quinua obtenidas por el Instituto de Innovación Agraria (INIA), mediante el Programa Nacional de Innovación Agraria en Cultivos Andinos se encuentran: INIA 420-Negra Collana, INIA 431-Altiplano, Salcedo INIA, Illpa INIA, INIA 415-Pasankalla e INIA 427-Amarilla Sacaca. A estas variedades se adicionan Blanca de Juli, Blanca de Junín, Rosada de Junín, Rosada de Yanamango, Amarilla Maranganí, Kankolla, Hulhuas, Huacariz, Ayacuchana INIA, Mantaro, Cheweca y Rosada Taraco, variedades generadas por Universidades (UNSAAC, UNCP, UNALM, UNA), ampliamente utilizadas por

los agricultores y con alta demanda en el mercado local, nacional e internacional; de los cuales, las variedades más destacadas son Collana negra, Pasankalla y blanca Junín (FAO, 2013).

Por su parte la Quinoa Pasankalla (INIA 415), es originaria de la accesión Pasankalla, colectada en 1978 en la localidad Caritamaya (Ácora, Puno) (INIA,2012). Es la variedad más utilizada, debido a la presencia reducida de saponinas en su episperma, evitando así el sabor amargo característico.

2.1.3. Característica Físicoquímicas y nutricionales de la Quinoa

La semilla de Quinoa, considerada un pseudocereal, son pequeñas, tienen forma plana y ovalada de una coloración entre amarillo pálido, rosa o negro, según la variedad. Se caracteriza por su nivel superior de proteínas (11 al 18%) (Tabla 1), vitaminas y minerales (calcio, fósforo y hierro). Además de estas características nutricionales, la quinoa contiene vitaminas (E, grupo B y C) y compuestos bioactivos con propiedades promotoras de la salud (polifenoles, fitoesteroles y flavonoides) (Ceyhun y Sanlier, 2019).

Tabla 1
Contenido físico-químico (g/100g de muestra) de Quinoa

Valor Nutricional	Quinoa INIA 415 Pasankalla ^a	Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) ^b	Quinoa – Puno KVL37 (Var europea) ^c	Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) ^d
Humedad	9.62	-	10.87	9.82
Proteínas	17.83	14.12	17.41	9.81
Fibra	3.00	-	10.32*	3.12
Cenizas	2.83	2.7	7.06	2.40
Grasa	6.29	6.07	4.79	2.36
Carbohidratos	-	64.16	49.55	75.61
Energía (Kcal/100g)	364.68	368	-	362.92

Nota. *= Fibra cruda; - = valor no determinado; ^aINIA (2012). ^bNavruz-Varli y Sanlier (2016). ^cStikic *et al.*, (2012). ^dAro y Calsin. (2019).

Además, el consumo de quinua es beneficioso para los consumidores como deportistas de alto rendimiento, personas intolerables a la lactosa, mujeres con tendencia a osteoporosis, personas de la tercera edad, infantes y personas que sufren entre otras enfermedades, ello debido a su alto valor energético, nutricional y la ausencia de gluten.

Es así, como el uso de quinua incrementó su demanda como ingrediente principal y sustitución parcial en productos de consumo diario dentro de la gastronomía, debido a la preferencia del consumidor que comienza a buscar además de sabor un producto rico en nutrientes (Ceyhun y Sanlier, 2019).

2.1.3.1. Proteínas y antioxidantes de la Quinua

La quinua está considerada como el alimento más completo para la nutrición humana basada en proteínas de la mejor calidad en el reino vegetal por el balance ideal de sus aminoácidos esenciales, es abundante en aminoácidos como Lisina (entre 2.4 y 7.8 g/100 g de proteína), metionina (0.3 a 9.1 g/100 g de proteína) y treonina (2.1 a 8.9 g/100 g de proteína) que son los aminoácidos limitantes en cereales convencionales, como el trigo y el maíz (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017), además de valina, triptófano, entre otros, los cual se comprueba con literatura especializada indicada en la **Tabla 2**. Estudios preliminares han demostrado sobre el fraccionamiento de proteínas, que las principales proteínas son la albúmina, la globulina y la prolamina (en bajo porcentaje), proporciones que varían por especie.

Por su parte Covarrubias y sus colegas (2020) estudiaron la composición de 10 variedades de Quinua chilena, obteniendo en promedio 16.6 g de proteínas/100 g (14.4 -17.5) y a su vez demostrando que su contenido proteico varía según la zona

geográfica, siendo menores a 12 g/100 g en la zona Central y entre 14 y 16 g/100 g en la zona Sur, lo que puede atribuirse a suelos volcánico.

Tabla 2

Contenido de aminoácidos en los granos de Quinoa (g/100g proteína)

	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) ^a	Quinoa (Rosada de Puno) ^b
Histidina	2.7	-
Isoleucina	3.4	6.5
Leucina	6.1	6.1
Lisina	5.6	7.1
Metionina	3.1	4.7
Fenilalanina	3.7	4.6
Treonina	3.4	4.9
Triptófano	1.1	0.8
Valina	4.2	5.9

Nota. ^aRepo-Carrasco *et al.* (2003). ^bReyes *et al.*, (2006).

2.2.Kiwicha

2.2.1. Generalidades de la kiwicha

La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) también conocida como Amaranto, es un pseudocereal que pertenece a la familia *Amaranthaceae*, está compuesto por más de 80 especies, la mayoría de ellas nativas de América y solo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia. *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus hypocondriacus* y *Amaranthus cruentus* son las tres principales especies productoras de cereales. Se cultiva a pequeña escala en algunos lugares discretos del mundo como México, Guatemala, Perú, India y Nepal y es el cereal más consumido en América Latina (Martinez-Lopez *et al.*, 2019).

Además de la papa y el maíz como alimentos primordiales de los incas, la kiwicha tiene similar trascendencia (Repo-Carrasco, 2014). Este pseudocereal fue cultivado por la población preincaica, y los españoles fueron quienes trasladaron la planta a Europa, donde se usa como ornamento (Repo-Carrasco, 1998).

A inicios de la década 80, en Perú inicia la promoción e incremento de la demanda de kiwicha como producto de exportación no tradicional, es así que actualmente el departamento de Áncash (después de Cuzco) es una de las áreas de mayor producción de este grano (MINAGRI, 2017).

2.2.2. Composición de la Kiwicha

La semilla de kiwicha es circular y muy pequeña (1 – 1.5 mm de diámetro), presentan aproximadamente 19 variedades de color, incluyendo el negro, rojo, rosado, amarillo, dorado y blanco, dependiendo de la especie. Está estructurada en diferentes capas como la cubierta de la semilla; el perispermo, rico en almidón; el endospermo; y el embrión formado por los 2 cotiledones (con alto contenido de proteínas) el procambium; la radícula; y la raíz (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015).

Tabla 3

Composición fisico-química de variedades de Kiwicha

Componentes	Kiwicha (<i>Amaranthus var.</i> <i>Centenario</i>) ^a	Kiwicha (<i>Amaranthus</i> <i>caudatus</i>) ^b	Kiwicha (<i>Amaranthus</i> <i>quitensis</i>) ^b	Kiwicha (<i>Amaranthus</i> <i>hypochondriacus</i>) ^c
Humedad	9.39	11.28	11.48	-
Proteína (g/100 g dw)	10.30	16.04	18.95	11.35
Lípidos (g/100 g dw)	7.00	8.20	6.50	-
Cenizas (g/100 dw)	2.58	3.25	3.67	2.73
Carbohidratos (g/100 g dw)	80.13	61.23	59.40	67.06

Nota. Los componentes con valor (-), indican valor no determinado por el autor. ^aPaucar-Menacho *et al.* (2018). ^bCornejo *et al.* (2019). ^cValadez-Vega *et al.* (2022).

En los granos de Kiwicha, el almidón es el carbohidrato más abundante, constituyendo entre el 50 – 60 % del peso total del grano (Reyes, 2007). Su almidón es de uso prometedor por su alta solubilidad y digestibilidad, en comparación con el trigo, la avena y el arroz, las semillas de kiwicha no contienen gluten y contienen un 30% más de proteínas con un conjunto completo de aminoácidos, lo que ofrece nuevas posibilidades para el procesamiento de alimentos.

Los principales minerales en la semilla de kiwicha son Ca, Fe, Mg, Mn, K, P, S y Na, a su vez con un alto contenido en vitaminas del complejo B, vitamina A, vitamina E (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2015) y fibra dietética (16.37% en base seca) de alta calidad (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009). Además, por características nutricionales, la kiwicha es una fuente atractiva compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, escualeno, folato, fitatos y tocoferoles (Burgos y Armada, 2015).

2.2.2.1. Proteína y aminoácidos de la kiwicha

La kiwicha es considerada una buena fuente de proteína (13.85% base húmeda) (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009), diversos autores reportaron el contenido de proteínas entre 13 – 19 % (Paucar-Menacho *et al.*, 2017; Chamorro-Gómez, 2018), encontrando para las variedades Centenario y Oscar Blanco, 14.55 y 14.70 % respectivamente, con un adecuado balance de aminoácidos esenciales como la lisina (65 mg/g proteína), metionina, triptófano y cisteína (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009).

Las proteínas de kiwicha están constituidas principalmente por albuminas (49-65 %), seguidas en abundancia por las glutelinas (22.4 – 42.3 %), las globulinas (13.7 – 18.1 %) y finalmente las prolaminas (1 - 3,2 %) (Carrillo *et al.*, 2015).

Cabe destacar, que su proteína posee buen balance de aminoácidos esenciales, con resultados de 0,46; 0,69; 0,81; 0,27; 0,55; 0,45; 0,17; 0,53 y 0,36 g/100 g en base seca para isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina e histidina; respectivamente (Pérez y Luzuriaga, 2010). Al respecto Mostacero y sus colegas (2006), resaltan que el nivel de triptófano es excelente y el nivel de metionina adecuado.

2.3. Maíz amarillo (*Zea mays*)

2.3.1. Generalidades del maíz amarillo

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta monocotiledónea de la familia de las gramíneas, su origen podría encontrarse en Sudamérica, en algún lugar del altiplano del Perú, Bolivia y Ecuador; sin embargo, la evidencia de los hallazgos arqueológicos de polen, mazorcas y granos de maíz indican que se originó en el valle central de México y luego (hace 8.000 años) domesticado en dos áreas de América continente: Mesoamérica (México y Guatemala) y los Andes (Perú y Bolivia) (Rimache, 2012), produciendo dos colecciones genéticas diferentes de maíz: genes mesoamericanos y andinos.

2.3.2. Morfología del maíz amarillo

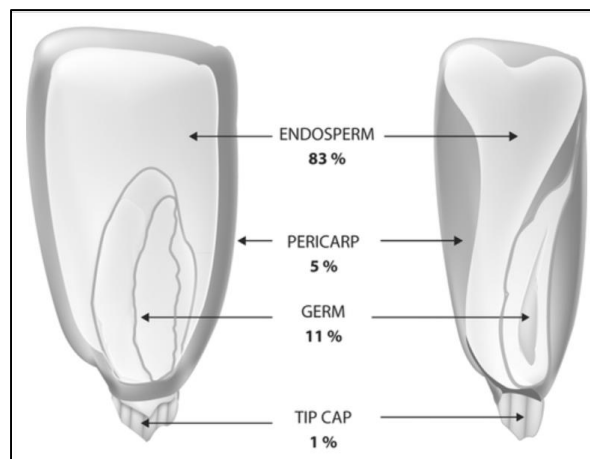
El grano de maíz se compone de cuatro estructuras principales (**Figura 1**). Las cuales son la punta del grano, pericarpio, germen y endospermo, que constituyen el 1%, 5%, 11% y 83% del grano de maíz, respectivamente (ISI, 2013).

- Punta del grano, estructura por donde se traslada la humedad y nutrientes durante el desarrollo y secado del maíz. La capa negra o hiliar en la punta actúa como un sello.

- Pericarpio, barrera semipermeable que rodea el endospermo y germen, y además presenta alto contenido de fibra (8.8% en bruto).
- Germen o embrión, presenta alto contenido de grasa (33.3%), enzimas y nutrientes para el crecimiento y desarrollo de nuevas plantas de maíz.
- Endospermo, almidón rodeado por una matriz proteica. Existen dos tipos principales de almidón, duro o vítreo (relacionado negativamente con la degradabilidad del almidón y la digestibilidad in vivo en rumiantes) y el opaco o blando.

Figura 1

Estructura del grano de maíz (Zea mays)



Nota. Gwirtz y García-Casal (2013)

2.3.3. Consumo nacional y mundial del maíz amarillo

El maíz es el cereal principal medido por la producción, pero ocupa el tercer lugar como alimento básico mundial, después del trigo y el arroz. Las razones de ello están relacionadas con preferencias culturales o sociales y también porque en algunos países el maíz se cultiva como alimento para el ganado. En todo el mundo, entre el 60% y el 70% de la producción de maíz se utiliza como pienso para el ganado, y el 30% - 40% restante se utiliza para la producción

de artículos para consumo humano (World Agricultural Production Foreign Agricultural Service, 2013).

En Perú, el maíz constituye el séptimo producto de mayor importancia a nivel nacional en el valor bruto e producción (VBP), representando el año 2018 el 3.8% del VBP agrícola. El maíz amarillo es utilizado como insumo en el proceso de actividades económicas del Perú, en el 2017 destacó en primer lugar la actividad de crianza de animales con 43.8 % de la oferta, seguido de la industria de alimentos preparados para animales con el 35,3 % y el porcentaje restante se deriva al procesamiento de otros productos de consumo humano y otras actividades (MINAGRI, 2020).

2.3.4. Composición fisicoquímica del maíz (*Zea mays*)

El maíz presenta alto contenido de carbohidratos, minerales, fibra y compuestos antioxidantes (carotenoides, antocianinas, flavonoides y polifenoles), de gran importancia para la nutrición y salud de gran parte de la población mundial y representa un aliado para la intervención por carencia de vitaminas y minerales (Durán-Hernández *et al.*, 2011). Razón por la cual existen numerosos procesos industriales que generan gran variedad de productos de maíz para satisfacer los hábitos y preferencias de los consumidores (Gwirtz y García-Casal, 2013).

Sin embargo, la cantidad de proteína es reducidas en comparación con otros cereales, y existe variación dentro razas o poblaciones nativas, lo cual también se ha observado en el contenido de almidón y aceite. La proteína varía de 8.25 – 9.4 g/100g (Tabla 4) para las variedades de maíz amarillo. Por su parte Cázares-Sánchez *et al.* (2015), evaluó la diversidad existente en 41 poblaciones nativas de México demostrando que el contenido de proteína

varió de 9.35 a 12.50 % y aceite de 3.37 a 4.52 % de los grupos locales de la región centro-norte de Yucatán. Esto confirmó la variabilidad fenotípica alta entre poblaciones y que los grupos seleccionados por los agricultores mantienen divergencias importantes debido a la fertilización y medio de cultivo (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014).

Tabla 4
Composición fisico-química del maíz amarillo (zea mays)

Componentes	Cantidad		
Humedad	10.4 ^a	11.2 ^b	10.89 ^c
Proteína (g/100 g)	9.4 ^a	9.3 ^b	8.25 ^c
Lípidos (g/100 g)	4.7 ^a	5.2 ^b	4.64 ^c
Cenizas (g/100 g)	1.2 ^a	1.5 ^b	1.47 ^c
Carbohidratos (g/100 g)	74.3 ^a	69.6 ^b	74.75 ^c
Fibra	-	2.3 ^b	1.91 ^c
Energía (Kcal)	365 ^a	-	373.76 ^c

Nota. ^aU.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2012).
^bSaavedra (2005). ^cAro y Calsin (2019).

Por otro lado, el maíz presenta deficiencias en aminoácidos, por este motivo al elaborar nuevos productos se le añaden suplementos para aumentar las propiedades alimentarias. Principalmente de triptófano, aminoácido necesario para el crecimiento humano, conteniendo el maíz de 0.08 a 0.1% (Cázares-Sánchez *et al.*, 2015), valor que puede ser complementado con cereales como la quinua que contiene 0.9% de triptófano (Reyes *et al.*, 2006).

2.4. Germinación de granos

El proceso de germinación involucra cambios en la actividad enzimática de los granos y ruptura de macro-moléculas, los cuales disminuyen los factores anti nutricionales e incrementan la asimilación de otros constituyentes (Torres *et al.*, 2018). Los parámetros involucrados en este proceso son: disponibilidad de oxígeno (que permita la respiración aerobia), temperatura, humedad y tiempo, los cuales al ser controlados resultan en el desarrollo del grano con características sensoriales mejoradas, mayor valor nutricional y nutracéutico (Abderrahim *et al.*, 2012).

La germinación inicia con la hidratación de la semilla seca y culmina con la elongación del eje embrionario (radícula), proceso que implica el desarrollo de estructuras esenciales provenientes del embrión y manifiesta la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables. (ISTA, 2016; Herrera *et al.*, 2006).

2.4.1. Antecedentes del germinados en Pseudocereales

El proceso de germinación tiene como objetivo mejorar las propiedades nutricionales y fitoquímicas de los granos al modificar el contenido de los diferentes metabolitos y, en particular, generando péptidos y aminoácidos con posible actividad biológica (Torres *et al.*, 2018).

Durante la germinación, suceden cambios importantes en la composición de una variedad de granos. Por esta razón, se pueden encontrar valores aumentados, disminuidos o sin cambios para los nutrientes y compuestos bioactivos dentro del mismo tipo de grano o en diferentes granos. Por lo tanto, la optimización de una germinación controlada de cada variedad de grano es

de vital importancia para maximizar la composición fitoquímica y, en consecuencia, el potencial de promoción de la salud de los granos germinados.

2.4.1.1. Germinados de la Quinua

El proceso de germinación de la quinua genera cambios en su composición, se evidencia mayor contenido nutricional y energético en comparación a la quinua normal. Tovar-Hernández *et al.*, (2017) reportó incremento en el contenido de proteínas de 1.09 %, contenido de grasa de 0.2 %, contenido de cenizas de 0.19%, el contenido de carbohidratos 2.82% y disminución de fibra cruda, para la harina de quinua variedad Piartal germinada. Por su parte, Aviles (2019) determinó que en la harina de Quinua Negra se incrementó su valor de proteína inicial del 14.45 ± 0.46 a 15.23 ± 0.14 %, mientras que se encontró disminución del contenido de humedad de 3.23%, contenido de grasa de 1.14%, el contenido de fibra en 0.58% y reducción de carbohidratos en comparación a la harina de quinua negra sin germinar.

El germinado de quinua también mejora la disponibilidad de nutrientes. El fitato se redujo en un 35-39 % por germinación, mientras que la solubilidad del hierro bajo condiciones fisiológicas (una estimación *in vitro* de la disponibilidad de hierro) aumentó de dos a cuatro veces (Valencia *et al.* 1999). Otros estudios han demostrado que los pseudocereales germinados como la quinua y kiwicha tienen niveles elevados de gama - ácido aminobutírico (GABA) (Morita *et al.*, 2013; Paucar-Mechado *et al.*, 2017), un aminoácido no proteico que puede ejercer beneficios al sistema nervioso central como la regulación de la presión arterial y la frecuencia cardíaca, el alivio del dolor, la ansiedad y el insomnio.

2.4.1.2. Germinado de la Kiwicha

Investigaciones previas describieron la tecnología de germinación en variedades de kiwicha, determinaron que la proteína cruda y verdadera aumentan, mientras que la grasa disminuye, así mismo el germinado de las variedades Cristalino y Taray tuvieron mayor actividad antioxidante que las semillas sin germinar ($p < 0,05$) y se relacionan directamente por su mayor contenido de fenoles totales y de flavonoides ($p < 0,05$) (Aguilar y Romero, 2018).

Es por ello, que los granos germinados son reconocidos actualmente como una fuente de alimentación saludable, al proporcionar vitaminas y otros nutrientes. Gómez y Huapaya (2013) aplicaron el proceso de germinado a los granos de kiwicha, los resultados obtenidos fueron: 13.09% proteína. 6. 10% grasa. 1.50% ceniza y fibra total 2.68% en base seca; y 16.45% proteína, 8.29% gras, 3.18% ceniza y fibra total 9.50% en base seca. En el mismo año Bravo *et al*, (2013) afirma el incremento sustancial en comparación con granos sin germinar, el contenido de proteína, fibra total y cenizas aumentaron en 2; 1.04 ; 0.5 %, respectivamente, mientras que los valores de Humedad y grasa redujeron.

De los estudios se puede concluir que la germinación ofrece nuevas oportunidades para mejorar de forma natural la calidad nutricional de los granos, y con su consumo mejorar la salud de la población. Ya que se ha demostrado que condiciones controladas de germinación aumentan el contenido de proteínas, la dieta total de compuestos fenólicos libres y unidos, así como la actividad captadora de radicales libres de variedades de kiwicha

como *Amaranthus hypochondriacus* y *A. cruentus* (Pilco-Quesada *et al.*, 2020).

2.5.Extrusión

La tecnología de extrusión se desarrolla desde hace varias décadas en diferentes países del mundo debido a su bajo costo y gran versatilidad. Sin embargo, la composición de estos alimentos rico en grasa y azúcares, llevó a las personas a ingerir más calorías, incrementando enfermedades (Daniel y Hassink, 2015). Es por ello que en los últimos años crece la demanda de “snacks saludables”, la palabra snack proviene del idioma inglés, significa alimento ligero, aperitivos que se consume entre comidas; el mercado de este tipo de snack saludable va en incremento, debido a que este alimento cumple lo que el actual consumidor necesita; alimentación sana que no requiera de mucho tiempo, ya que este tipo de alimentos está diseñado para ser consumidos con practicidad y en cualquier lugar. En cuanto a sus ingredientes, diversos autores demostraron que el uso de cereales y frutas, arrojan buenos resultados positivos en cuanto a características tecnológicas, nutricionales y organolépticas del extruido.

En otras palabras, la tecnología de extrusión juega un rol importante en la industria agroalimentaria, ya que representa una tecnología económica y eficiente, con la cual se pueden conseguir transformaciones sobre proteínas, almidones y polímeros de celulosa de manera directa o indirecta en un corto periodo de tiempo (Jing y Chi, 2013). Para ello, se aplican temperaturas elevadas, energía mecánica y presión sobre el material, que ha de fluir a través de un tornillo en el interior de una carcasa.

La extrusión es una técnica de procesamiento de alimentos a alta temperatura y de corta duración, que reúne en un solo equipo diversas operaciones unitarias y modificaciones físico-químicas, como el mezclado, cocción, amasado, moldeo, cortado, secado y esterilización, culminando con la salida del respectivo producto a través de un orificio con diseño especial, donde finalmente se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (Li *et al.*, 2014).

2.5.1. Proceso de Extrusión

La extrusión, en otras palabras, puede ser considerada como un complejo proceso físico-químico que tiene lugar bajo la influencia de fuerzas mecánicas, alta temperatura y humedad (Aristegui, 2020).

En la extrusión de cereales o piensos el producto se humedece hasta alcanzar entre el 22 - 30% de humedad, y la temperatura se va incrementando por la transformación de la energía mecánica en calor en el mismo cañón del extrusor, por su configuración que asegura las condiciones de fricción y cizallamiento adecuado. Este proceso se realiza a alta tensión de corte de cizallamiento con temperaturas superiores a 100 °C, presión de 120 a 410 kPa y altas tensiones tangenciales en lapsos cortos de tiempo (Lopes-da-Silva *et al.*, 2015).

El agua es sometida a temperaturas muy superiores de vaporización, pero permanece en estado líquido porque se encuentra sometida a elevadas presiones. En el momento en que el producto sale por el agujero de la matriz, el agua mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora instantáneamente. Es por ello que el producto sufre una expansión y

las cadenas proteicas, así como las de almidón son modificadas, aumentando la superficie y haciéndose más atacable por los enzimas, con lo que el producto se hace más digestible. La tecnología de extrusión de alimentos se usa ampliamente para producir proteínas texturizadas, alimentos expandidos, modificación de proteínas y modificación de almidón (Garcia-Valle *et al.*, 2021).

2.5.2. Factores de la extrusión

Los cambios que experimenta el alimento al pasar a través del extrusor involucran toda su estructura interna y externa (Martinez *et al.*, 2012), de modo que, si hablamos de los cambios que afectan internamente se encuentra la gelatinización de almidón, la reducción de la oxidación de lípidos, la mejora de las fibras dietéticas solubles, digestibilidad de las proteínas y si hablamos de los cambios que sufre de manera externa la expansión sería el principal cambio (Huang *et al.*, 2019).

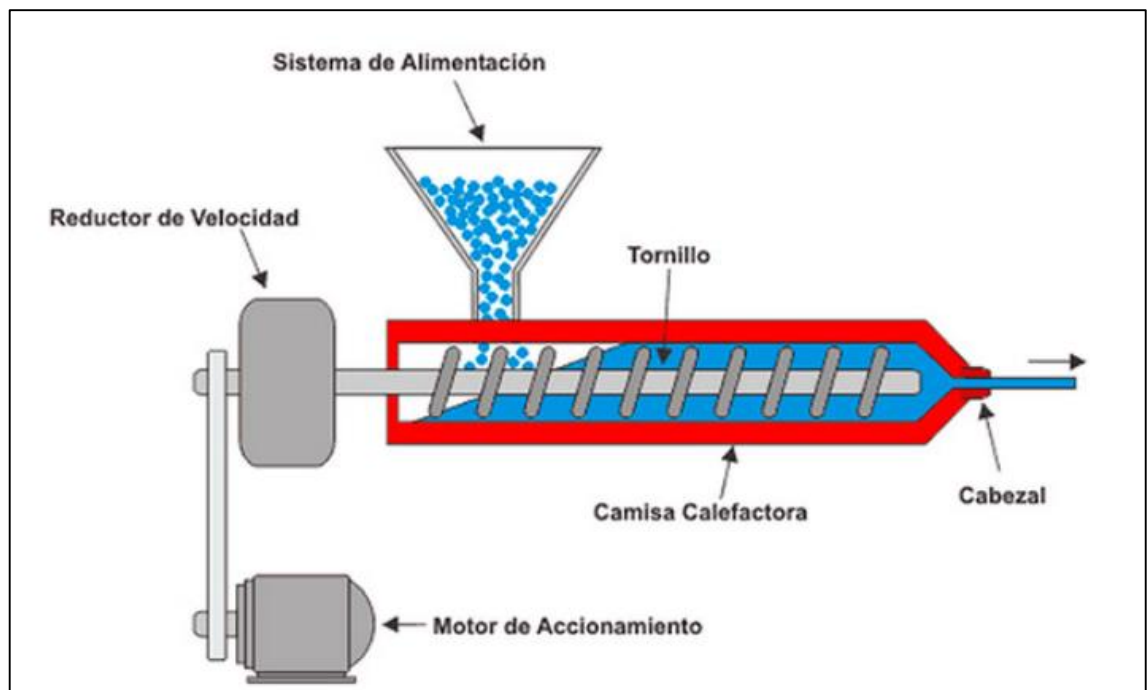
Son varios los factores que afectan a la calidad del producto final tales como (El-Samahy *et al.*, 2007).:

- El tipo de extrusor
- La configuración del tornillo
- La humedad del material
- El perfil de temperaturas del proceso
- La velocidad de giro del tornillo
- El caudal de dosificación de la materia prima
- El tipo de material de partida

2.5.3. Equipos de extrusión

Un equipo extrusor, generalmente está compuesto por el cañon, motor eléctrico y el tornillo giratorio. El cañon, está formado por aleaciones metálicas duras y resistentes, ya que será sometido a altas presiones y desgaste provocado por el rozamiento del material a procesar. El motor eléctrico produce el movimiento de rotación del tornillo, y permite reducir proporcionalmente la velocidad del husillo, de acuerdo al tipo de extrusor. Por su parte el tornillo, es el elemento que gira dentro del cañon, ajusta y da forma al material extrusado hasta llegar al dado (Lopes-da-Silva *et al.*, 2015).

Figura 2.
Partes de un equipo extrusor



Nota. Aristegui-Maquinaria (2020)

2.5.3.1. Tipos de extrusores

Existen muchos tipos de extrusores, y cada uno tiene una gama específica de aplicaciones. Los extrusores se clasifican en dos tipos, tornillo simple o tornillo doble. Los extrusores de doble tornillo ofrecen ventajas, como un mejor control de la operación y una mayor diversidad de productos. Por su parte los

monotornillo son buenas alternativas para la cocción de cereales, debido a los menores costos operativos, de inversión y de mantenimiento. La elección de la adecuada disposición del extrusor es crítica para el éxito de la extrusión. El fabricante del equipo de extrusión deberá tener la habilidad de atender las configuraciones del extrusor para el procesado de un producto específico (Cora y de la cruz, 2019).

a) Extrusor monotornillo (tornillo simple)

En la industria de hoy en día el término “extrusor” típicamente significa una máquina con unas características de tornillo de Arquímedes (es decir, un tornillo roscado girando que se ajusta suficientemente apretado en un cilindro para transportar el fluido) que procesa de modo continuo al producto. Los extrusores se pueden diseñar para incluir las operaciones de trituración, mezclado, homogeneización, cocción, enfriamiento, producción de vacío, moldeado, cortado y llenado. No todos los extrusores secos son del tipo cocción– texturización. Existen varios tipos de extrusores secos, extrusores de tornillo de rosca interrumpida, extrusores de tornillo simple y extrusores de doble tornillo (Reynaga, 2012).

b) Extrusor doble tornillo

En este tipo de extrusor, hay dos tornillos independientes que giran en co-rotación o en contra-rotación, además pueden estar enclavados, o no, entre sí. Comúnmente, las extrusoras de doble tornillo utilizadas en el procesamiento de alimentos tienen un cañón cuya sección transversal de unión de los dos tornillos entrelazados tiene la forma de ocho, haciéndolos girar en co-rotación. Este movimiento permite que el producto fluya a lo largo del cañón, alternando entre un lado y el otro. El grado de enclavamiento entre ambos

tornillos determina las características de mezcla. Los pasos de los tornillos, el grado de entrelazado, la distancia entre tornillos y su ángulo de inclinación son, por regla general, ajustables, determinando el volumen de las zonas de transporte: para permitir el transporte en una zona de cocción, un paso mayor que el tornillo, mientras se usa un paso más corto para presionar la masa antes de la extrusión a través de la matriz (Lopes-da-Silva *et al.*, 2015).

Figura 3

Extrusor doble tornillo – MARCA: INBRAMAQ



Nota. Extrusor doble tornillo utilizado para el estudio (comprende 7 resistencias).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

- Departamento: Ancash
- Provincia: Santa
- Distrito: Nuevo Chimbote

El trabajo de investigación se desarrolló en las siguientes instalaciones:

- Universidad Nacional del Santa – EAP Ingeniería Agroindustrial:
 - Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA)

- Laboratorio de composición de productos Agroindustriales
- Planta piloto Agroindustrial
- Institute of Food Science, Technology and Nutrition (ICTAN-CSIC), Madrid, ESPAÑA.
- Universidad Estatal de Campinas, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Departamento de Tecnología de Alimentos - BRASIL

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materia Prima

Para la elaboración del extruido, se utilizaron:

- Quinoa var. *Pasankalla* Certificada. - Adquirida del Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina de la ciudad de Lima.
- Kiwicha var. *Centenario* Certificada. - Será adquirida del Programa de Investigación y Proyección Social de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina de la ciudad de Lima.
- Maíz amarillo. - Adquirido de la producción en el distrito de Yungay, departamento de Ancash.

3.2.2. Reactivos

- Ácido sulfúrico 95%
- Sulfato de Cobre penta - hidratado (CuSO₄)
- Éter de petróleo (P.E. 40 – 60 °C)
- Hexano puro 98%
- Solución de hidróxido de sodio (0.1 N)
- Hidroxido de Sodio 0.5%
- Alcohol etílico 98%
- Fast Blue BB (FBBB)
- Metanol grado HPLC

- Benceno – D6 99.5%
- Solución de rojo de metilo.
- Ácido gálico 97%
- Carbonato de sodio 7.5%
- Acetona
- Fluoresceína
- GABA (> 99 % de pureza)

3.2.3. Materiales de laboratorio y otros

- Bureta.
- Crisoles de porcelana (40 mm de altura y 45 mm de diámetro).
- Matraces de Erlenmeyer (250 y 500 ml).
- Pipetas (1, 5 y 10 ml).
- Placas Petri (15x100 mm).
- Probetas (50 y 100 ml)
- Varillas de vidrio
- Vasos precipitados (50 y 100 ml)
- Pera succionadora.
- Pinzas de metal y de madera.
- Campana de Desecación
- Rejillas de Acero inoxidable
- Bandejas de acero inoxidable.
- Placas multiposillos (x96)
- Papel filtro
- Papel aluminio
- Papel toalla
- Agua destilada.
- Hipoclorito de sodio (lejía)
- Alcohol
- Baldes de plástico 5 L y 8 L
- Jarras de Plástico 250 ml y 500 ml
- Mesa de acero inoxidable.

- Cernidores.
- Tamices (\varnothing 0.05, mm).
- Cuchillos.
- Espátula
- Bolsas de polietileno (28 x 18 cm, planas, calibre 175, con cierre hermético)
- Bolsas gofradas - 120 micras (20 x 400 cm)
- Material para prueba sensorial: cabinas de degustación, formatos, lapicero, platos descartables y marcador.

3.2.4. Recursos personales y servicios

- Indumentaria (Guardapolvo, guantes, tapabocas, tocas)
- Lapiceros
- Resaltadores
- Post-it
- Memoria USB Kingston 16 GB
- Hojas Bond A4
- Laptop

3.2.5. Equipos e instrumentos

- Germinador de granos. Marca: MAQUILAK. Modelo: BJPX-HT400II. Perú.
- Extrusor de doble tornillo. Marca: INBRAMAQ. Modelo: PQ DRX-50. Brasil.
- Refrigeradora. Marca: LG. Corea del Sur.
- Cromatografo líquido de alta resolución (RP-HPLC) y detección UV. Marca: AGILENT . USA.
- Selladora a Vacío. Marca: Tefal (Vacupack Classic). Modelo: VT2540. China.
- Selladora a Vacío. Marca: Besser Vacuum. Modelo: AUSTER. Italia
- Secador de Bandejas. Marca: Torrh. Modelo: SBT-10X10. Serie: JP 001 01 13. Perú.

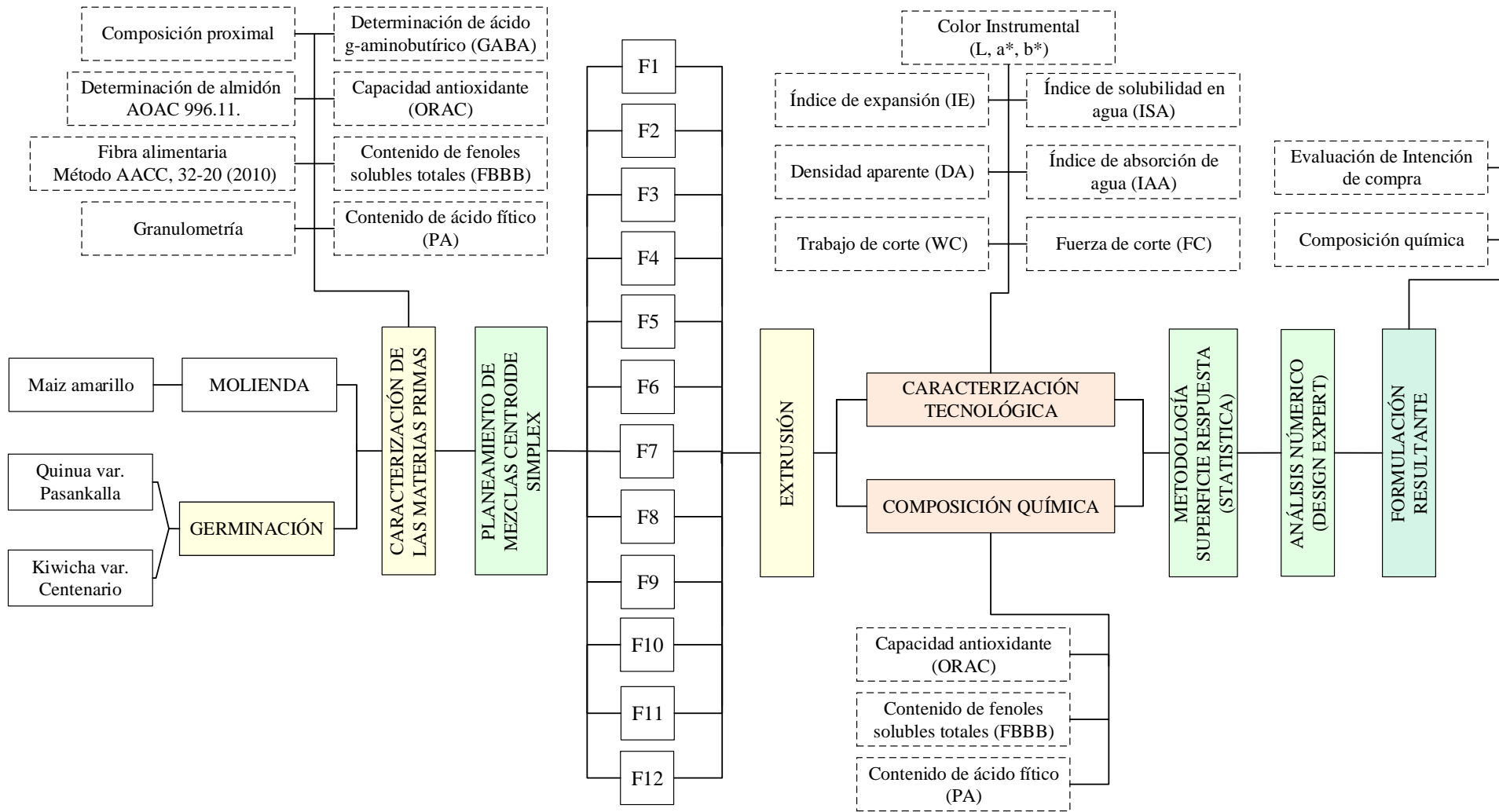
- Módulo de molienda y tamizado. Marca: Torrh. Modelo: MDMT-60XL. Serie: JP 001 01 13. Perú.
- Molino de discos. Marca: Brabender. Modelo: SM4. Alemania
- Balanza Analítica. Marca: Precisa. Modelo: XB4 200 C. Serie: 321 LX. Suiza.
- Balanza analítica. Marca: Precisa. Modelo: XB 320M SCS. Suiza.
- Colorímetro. Marca: Konica. Modelo: CR-400. EE.UU.
- Determinador de humedad. Marca: Precisa. Modelo: XM-50. Suiza.
- Equipo digestor Khenjda. Marca: VELP-SCIENTIFICA.
- Equipo de baño maria. Marca: Coler Parmer. Modelo: 88 92.
- Destilador de agua. Marca: Labtech. Modelo: LWD – 3004. Perú.
- Estufa. Marca: POL-EKO. Modelo: SW-17TC. Serie: SW-1990. EE.UU.
- Mufla. Marca: Thermolyne. Modelo: 347 034 984. Alemania.
- Texturómetro. Marca: BROOKFIELD. Modelo: CT3-4500. Serie: 85 5. USA.
- Equipo granulométrico. Marca: RETSCH. Modelo: AS-200. Alemania
- Centrífuga. Marca: EPPENDORF AG. Modelo: 5424 R. Alemania

3.3. Metodología

En la **figura 4** se detalla el esquema experimental desarrollado para la producción de la presente investigación.

Figura 4

Esquema experimental de la investigación de elaboración de extruido de grits de maíz con harinas de quinua y kiwicha germinada.



3.3.1. Obtención y procesamiento de las materias primas

Se realizó el proceso de germinación de los granos de quinua (Anexo 01) y kiwicha (Anexo 02, utilizando parámetros propuestos en publicaciones científicas (Paucar-Menacho *et al.*, 2017 y Paucar-Menacho *et al.*, 2018) los cuales van permitir obtener la mayor acumulación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. Se procedió a elaborar la harina de los granos germinados para lo cual se secó a 40°C en un secador por lote hasta obtener una humedad de 8-10%, luego se continuó con la molienda en el Molino de discos con corte de N°1 para partir las radículas y los granos, luego se envasó al vacío en envases de polietileno de alta densidad.

a) Recepción y Selección.

Recepción de la materia prima y eliminación de impurezas como tierra, pajillas, hojas, metal, piedras entre otros, así como materias extrañas en el grano. Se seleccionó los granos para separar los dañados de los de buena calidad, y de otros granos ajenos a la variedad.

b) Desinfección.

Se desinfectó durante 30 minutos con Hipoclorito de Sodio (Lejía comercial) al 0.01 % por la cantidad de agua destilada (T° ambiente, 25° C) utilizada, el contener se mantuvo correctamente cerrado.

c) Maceración o Remojo.

Para este proceso se utilizó agua destilada a temperatura ambiente (25° C). La relación de Grano: Agua y el tiempo de maceración varía según el grano a utilizar, teniendo en cuenta airear cada 2 horas el macerado para evitar la formación de CO₂ y alcohol dentro del agua, previniendo así la formación de microorganismos (hongo) dentro de la preparación.

d) **Germinación.**

Los germinados son brotes de semillas que se han desarrollado en un medio húmedo con parámetros controlados, con el fin de aumentar considerablemente su contenido nutricional. Para este proceso la temperatura, tiempo y humedad son factores importantes y que varían de acuerdo a la variedad de grano a utilizar.

e) **Secado.**

El secado es por medio de un secador de bandejas, con el fin de someter al grano a temperatura y tiempo controlado para alcanzar humedad de 3 – 4.5 %.

f) **Molienda.**

La molienda es una etapa que consiste en convertir los granos germinados a harina una vez finalizado el secado. En esta etapa se utilizó un molino de discos, con tamaño de corte N° 1.

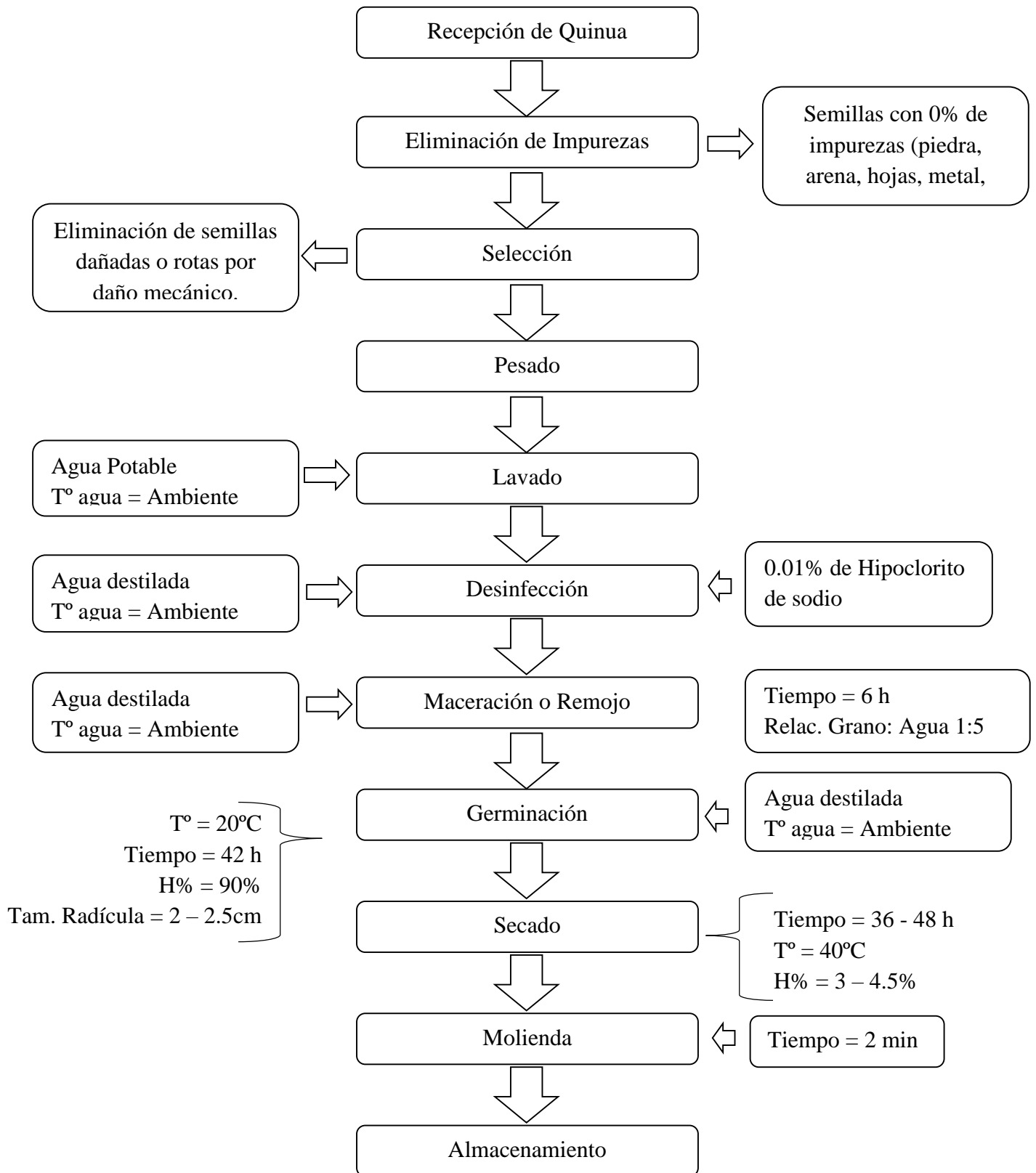
g) **Almacenamiento.**

Primero se envasó al vacío las harinas en bolsas de polietileno gofradas de alta densidad y fueron selladas para así conservar las harinas con sus características originales. Una vez selladas se almacenan en refrigeración para su conservación.

3.3.1.1. Obtención de harina de Quinua germinada

Figura 5

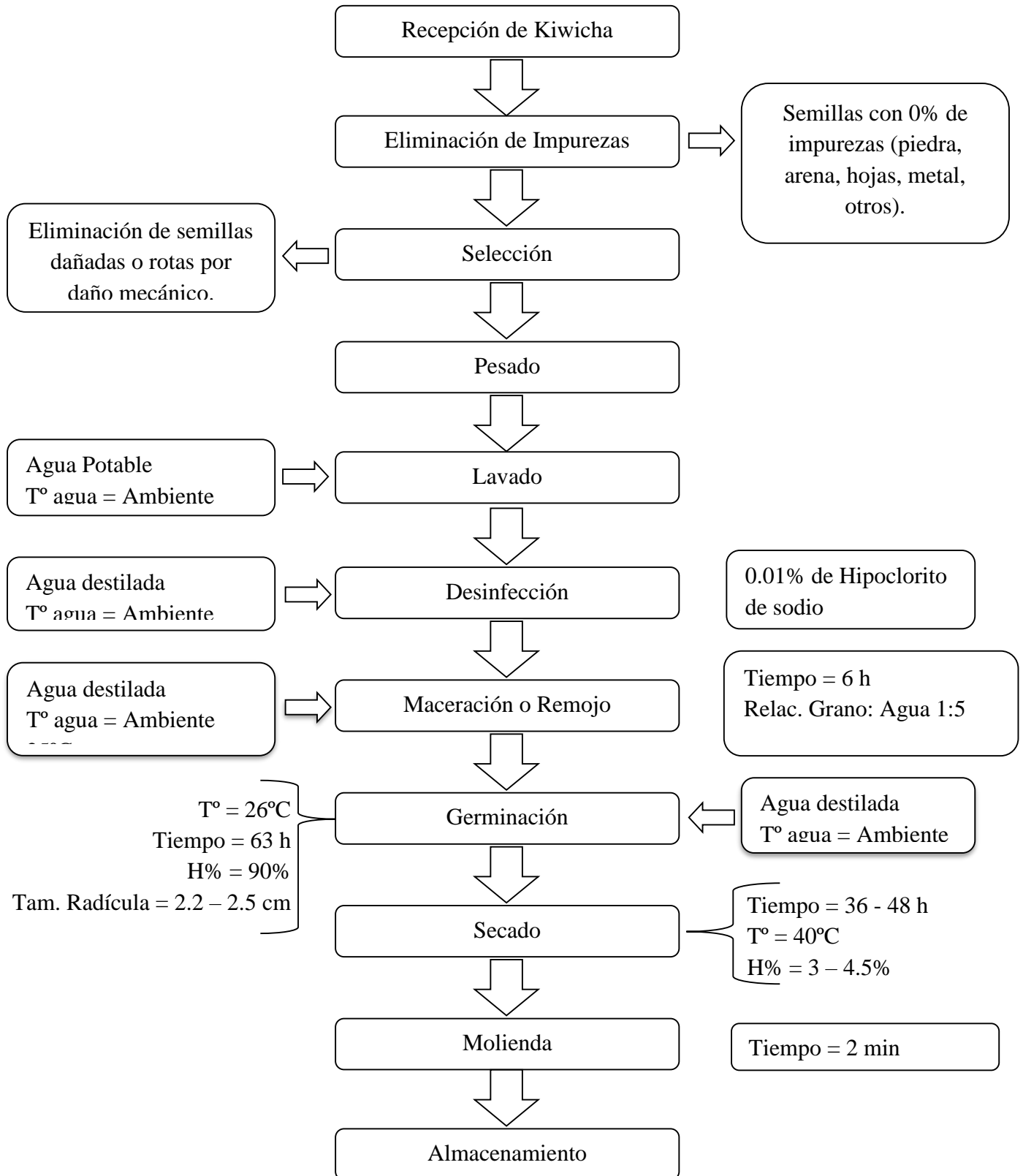
Diagrama de flujo para la obtención de harina de Quinua germinada



3.3.1.2. Obtención de harina de Kiwicha germinada

Figura 6

Diagrama de flujo para la obtención de harina de Kiwicha germinada



3.3.2. Acondicionamiento y extrusión

- **Acondicionamiento.** Se pesaron y mezclaron las muestras de acuerdo a la 12 formulación resultantes del diseño de mezclas Simplex centroide con 3 variables. Las fracciones acondicionadas fueron procesadas en el extrusor doble tornillo, con temperaturas de 30; 45; 55; 75; 95; 105 y 115 en la 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª, 7ª zonas de calentamiento, respectivamente, velocidad de rotación del tornillo de 304 RPM, tasa de alimentación de 6 Kg/h, matriz de 5 mm (ϕ) y velocidad del corte de 15 hz.

Figura 7

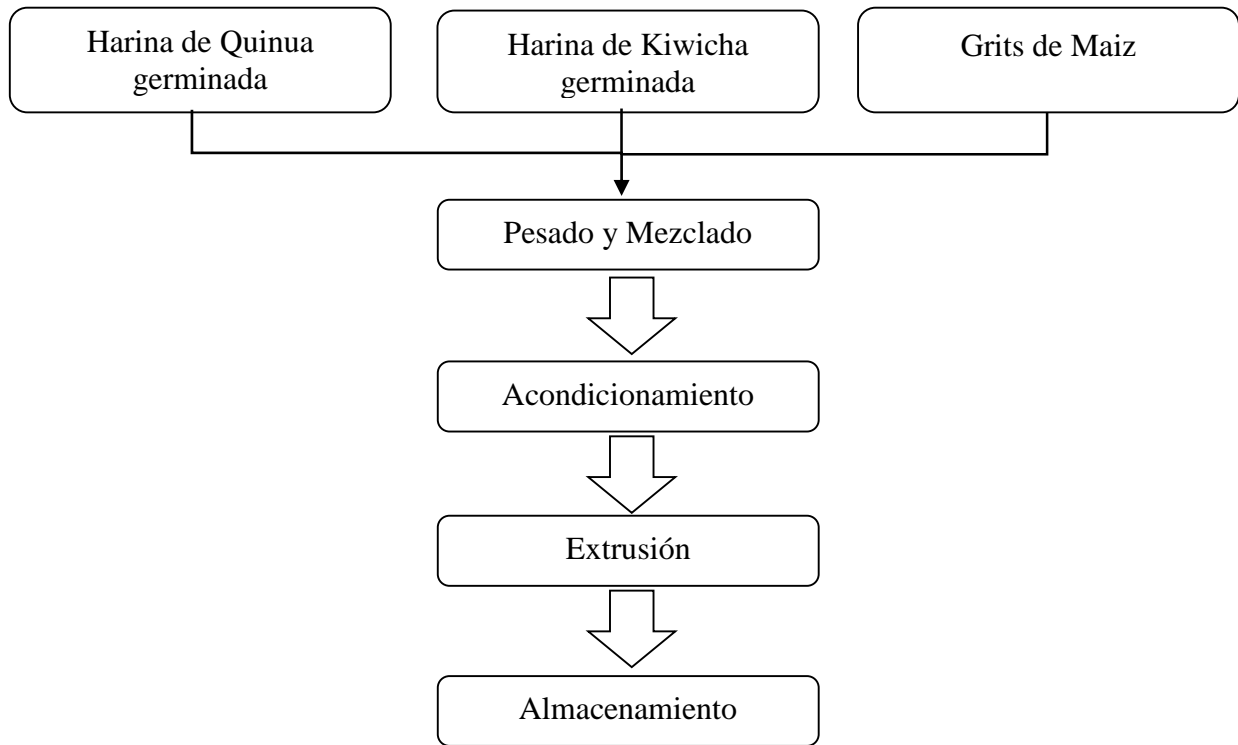
Cabezal y boquillas a la salida del extrusor doble tornillo



- **Extrusión.** – Se adicionó la mezcla del experimento a la tolva de alimentación y el acondicionamiento de agua fue lento y gradual hasta llegar a 0 % de humedad y comenzar con el proceso de extrusión (**Anexo 03**).
- **Secado y enfriamiento.** - Una vez producido el extruido, se dejó enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 10 min, ello para alcanzar sus características tecnológicas requeridas.
- **Envasado y almacenamiento.** – El extruido fue envasado al vacío y almacenado para conservar sus características organolépticas.

Figura 8.

Diagrama de flujo de la obtención del Extruido



3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Caracterización de materias primas

a) Tasa de Germinación (%)

La tasa de germinación de los pseudocereales, se determinó según Soltani *et al.*, (2015). En cada tratamiento se colocaron 100 semillas de pseudocereales sobre papel filtro humedecido con 10 mL de agua destilada y se cubrieron con papel filtro húmedo. Luego las placas Petri, contenidas de lo antes mencionado se colocaron en el equipo germinador a 25° C. La tasa de germinación se observó 2 veces durante 72 horas. Todos los tratamientos se replicaron tres veces y se calcularon como:

$$G = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

- G = Tasa de germinación (%)
- A = Número de semillas en germinación
- B = Número total de semillas de la prueba

b) Determinación de Humedad

Se pesó 5 g de la muestra en placa de petri, previamente tarado y anotado el peso, después de permanencia en la estufa y de enfriamiento en el desecador. Debe operarse rápidamente. Las muestras fueron secadas en la estufa durante hora a 130 °C. Transcurrido este tiempo, y operando rápidamente, se retiró la placa de petri de la estufa y se colocó en el desecador. Se pesó la muestra más placa de petri en cuanto se enfríe en el desecador. La determinación de humedad se desarrolló por triplicado en base al Método de la Asociación Internacional de Química Cerealista (A.A.C.C, 2010).

Cálculo. El contenido en agua de la muestra, en porcentaje, es:

$$H\% = \frac{(M - m) * 100}{M}$$

M = masa inicial de la muestra (g)

m = masa del producto seco (g)

Figura 9

Determinación de humedad



Nota. ^aEstufa; ^bPlacas Petri con muestras en el interior de la estufa

c) **Determinación de Proteína**

El contenido en proteína bruta de un producto es el resultado de multiplicar el contenido en nitrógeno, determinado por el procedimiento Kjeldahl por un factor de transformación del nitrógeno en proteína.

La metodología Kjeldhal número 2.062 de AOAC, actualmente, sigue siendo el método oficial más usado; se basa en 3 operaciones: Digestión, Neutralización – Destilación y Titulación. En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con HCl (o H₂SO₄) estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra.

Cálculo para la determinación de % de Proteína

$$\%N = \frac{(0.014 * N * V * 100) * f}{m}$$

$$\%PROTEINA = \%N * F$$

Donde:

- m : masa de la muestra (g)
- N : Normalidad del ácido estandar titulante
- V : Volumen de HCl 0.1 N (mL)
- f : Factor de conversión del titulante
- F : factor de transformación de nitrógeno en proteína (6.25).

Figura 10
Equipo digestor Khenjdal



d) Determinación de Grasas

Se pesó 5 g de muestra, de forma que pase por un tamiz de 500 μ y desecada a 100°C, se introdujo en un cartucho que se tapona con algodón. Anotó el peso del matraz, desecado en la estufa y enfriado en el desecador. Introdujo el cartucho en el extractor, añadir Eter de Petroleo una vez conectado el matraz y se procedió a la extracción, continuándola hasta que el éter sea incoloro; son suficientes 4 horas a una velocidad de destilación de 4 a 5 gotas/s, y 16 horas para 2 a 3 gotas/s. Sacar el cartucho del extractor y recuperar el éter. Llevar el matraz con el extracto y el resto del disolvente a la estufa de desecación a 100°C y tenerlo media hora. Se dejó enfriar el matraz en el desecador y, en cuanto alcanzó la temperatura ambiente, pesado.

El porcentaje de grasa bruta sobre sustancia seca viene dado por la fórmula:

$$\text{Grasa Bruta \% (materia seca)} = \frac{(P1 - P2) * 100}{P}$$

P1 = peso, en g, del matraz con el extracto etéreo.

P2 = peso, en g, del matraz vacío.

P = peso, en g, de la muestra empleada

e) Determinación de Fibra alimentaria

Se realizó mediante el Método AACC, 32-20 (2010). Las muestras por triplicado son previamente desgrasadas. La muestra se extrae con una solución de detergente neutro en caliente.

Las muestras son gelatinizadas con α – amilasa térmicamente estable y luego digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón. La fibra dietética total es precipitada por la adición de etanol, mientras que la insoluble con agua destilada, el residuo total se filtra, se lava, se seca y se pesa

La determinación de cenizas en el residuo filtrado permite conocer por diferencia de peso, la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina de la muestra.

Cálculo para la determinación de fibra.

$$FDT \% = \frac{\text{Peso residuo} - \text{Peso}(\text{Proteína} + \text{ceniza})}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$FDI \% = \frac{\text{Peso res. insoluble} - \text{Peso}(\text{Proteína} + \text{ceniza})}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$FDS \% = FDT - FDI$$

Figura 11

Equipo determinador de Fibra alimentaria



f) Determinación de Cenizas

Se pesó 5 g de muestra por triplicado. Se sometieron las muestras a alta temperatura usando una cocinilla, pasados entre 20 – 30 minutos, se introdujeron las muestras a la entrada de la mufla con la puerta abierta, y dejar que arda. Cuando las llamas se extingan, empujar la cápsula al interior del horno y cerrar la puerta del mismo. La incineración se dio a 910°C por 3 horas. Al transcurrir el tiempo se saca las cápsulas del horno y deja enfriar en el desecador. Se pesan las muestras tras alcanzar la temperatura ambiente.

$$\text{Cenizas \%} = \frac{(P2 - P1) * 100}{P}$$

Donde:

- P1 : Peso del crisol con la ceniza
- P2 : Peso del crisol con la muestra
- P : Peso de la muestra

Figura 12

Determinación de cenizas



Nota. ^aMufla; ^bCrisoles con cenizas de semillas analizadas

g) Determinación de Almidón

El contenido de almidón en las materias primas se midió utilizando el kit de ensayo enzimático de almidón total K-TSTA-100A (Megazyme,

Wicklow, Irlanda), basado en el método AOAC 996.11. El contenido de almidón fue expresado en g/100 g de peso seco (dw).

h) Granulometría

La Determinación de la Granulometría de las harinas, a través del método AOAC 965-22 con tamices N°20, 30, 45, 60, 80 Y 120.

Para el análisis granulométrico se usó la tamización con tamices acoplados en cascada. Para realizarlo se coloca el juego de tamices ordenados de arriba abajo por orden decreciente de abertura de malla. Luego el producto se añade sobre el primer tamiz es decir el de mayor abertura y se somete a un conjunto de movimiento vibratorio. Luego la harina queda distribuida en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose:

- Retenido: producto que queda sobre el tamiz
- Cernido: Producto que atraviesa el tamiz

Siendo B el producto por lo tanto $B = \sum R + C$ conociendo estos datos se pueden calcular el % de retención y % cernido.

$$RETENCIÓN \% (R) = \sum \frac{R}{B} \times 100$$
$$CERNIDO \% (C) = \sum \frac{B}{B} \times 100$$

Figura 13

Equipo granulométrico



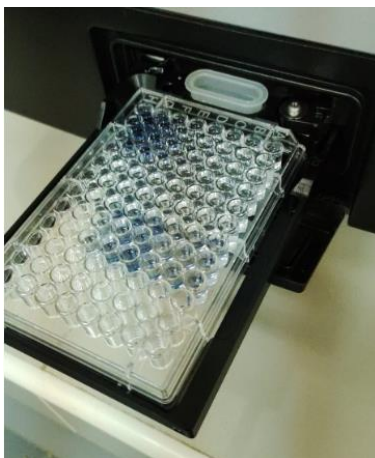
Nota. Equipo granulométrico con tamices N°20, 30, 80 Y 120.

i) Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)

Los TSPC se analizaron mediante la reacción Fast Blue BB (FBBB) según Pico *et al.*, (2020) (Anexo 04). El método FBBB consiste en la reacción del grupo (-OH) de los compuestos fenólicos con el radical diazonio (-N₂ -) del reactivo Fast Blue BB. La cuantificación de TSPC se realizó con curvas de calibración lineales de ácido gálico (0–225 µg/mL) que mostró buena linealidad ($R^2 > 0,998$). Todos los análisis se realizaron por triplicado y la manipulación de los reactivos se realizó en condiciones lo más oscuras y frías posibles. Los datos se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g de muestra dw.

Figura 14.

Determinación de compuesto fenólicos



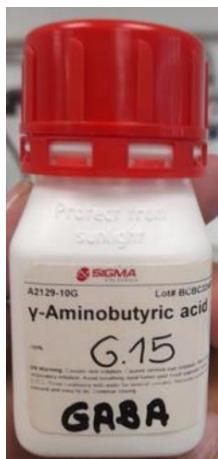
Nota. Placa de 96 pocillos, previo a la medición de absorbancia

j) Determinación de ácido γ -aminobutírico (GABA)

El ácido γ -aminobutírico (GABA) fue extraído y analizado mediante cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa (RP-HLC), según está descrito por Paucar-Menacho *et al.* (2017) (Anexo 05). La calibración externa se realizó utilizando soluciones estándar de GABA en el rango lineal entre 10

y 1000 mol/ μ L ($R^2 > 0,99$). Todos los análisis se realizaron por duplicado. Los resultados se expresaron como mg/100 g dw.

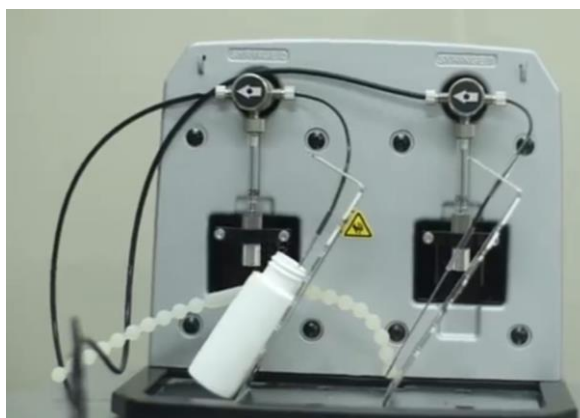
Figura 15
Ácido γ -Aminobutirico (GABA)



k) Determinación de la Capacidad Antioxidante Radical de Oxígeno (ORAC)

La capacidad antioxidante se determinó mediante el método de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), según Rico *et al.*, (2020) (Anexo 06). Las mezclas de reacción se colocaron en una placa negra de 96 pocillos y la fluorescencia se leyó en un lector de microplacas Synergy HT (BioTek Instruments, Winowski, VT, EE. UU.) cada minuto a longitudes de onda de excitación y emisión de 485 y 520 nm, respectivamente. El equipo fue controlado por el software Gen5™, versión 1.1 (BioTek Instruments). Los resultados se expresaron como μ mol de equivalentes de Trolox (TE)/g de peso seco.

Figura 16
Determinación por método ORAC



Nota. Lector Multimodal

1) Contenido de Ácido fítico (PA)

El método del ácido fítico, es un método de purificación del fosforo (Anexo 07). Para cada análisis individual, el método requiere una engorrosa purificación por intercambio de aniones y una de las principales suposiciones inherentes que solo purifica el ácido fítico. El ácido fítico (PA) se midió utilizando el kit de ensayo enzimático K-PHYT (Megazyme, Wicklow, Irlanda) (McKie y McCleary, 2019).

3.4.2. Análisis de las formulaciones

a) Color Instrumental

El color instrumental de los extruidos se determinó en una Konica CM-5 espectrofotómetro (Minolta, Chiyoda, JAP) evaluando el sistema CIE-L*a*b* y la variación de color (ΔE), con tres repeticiones. Las condiciones del equipo se configuraron con iluminante D65, ángulo de observación de 10° y calibración en modo RSIN (Reflectance Specular Inclusive).

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

b) Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)

Los compuestos fenólicos solubles totales (TSPC) se determinaron en extractos hidroalcohólicos y posterior cuantificación por colorimetría mediante el método Fast Blue BB (FBBB) adaptado a placas multipocillo, según Pico *et al.* (2020). Todos los análisis se realizaron por duplicado. Los datos se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g de muestra dw.

c) Determinación de la Capacidad Antioxidante Radical de Oxígeno (ORAC)

La capacidad antioxidante se determinó mediante el método de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), según Rico *et al.*, (2020). Las mezclas de reacción se colocaron en una placa negra de 96 pocillos y la fluorescencia se leyó en un lector de microplacas Synergy HT (BioTek Instruments, Winowski, VT, EE. UU.) cada minuto a longitudes de onda de excitación y emisión de 485 y 520 nm, respectivamente. El equipo fue controlado por el software Gen5™, versión 1.1 (BioTek Instruments). Los resultados se expresaron como μmol de equivalentes de Trolox (TE)/g de peso seco.

d) Contenido de Ácido fítico (PA)

El ácido fítico (PA) se midió utilizando el kit de ensayo enzimático K-PHYT (Megazyme, Wicklow, Irlanda) (McKie y McCleary, 2019).

3.4.3. Caracterización tecnológica del extruido

A. Índice de expansión

Se determinará por la relación entre el diámetro del producto final y la matriz, según la metodología descrita por Meza *et al.* (2019) y calculado por la ecuación:

$$IE = \frac{DE}{DM}$$

Dónde:

IE = índice de expansión

DE = diámetro del extrusado (mm)

DM = diámetro de la matriz (mm).

B. Densidad aparente

Se determinará según Chávez-Jáuregui *et al.* (2000). El cálculo se realizará a través de la relación entre la masa y el volumen de la muestra, según la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{\left(\pi * c * \left(\frac{d}{2}\right)^2\right)}$$

Dónde:

ρ = Densidad (g/cm³)

m = masa de la muestra (g)

c = longitud de la muestra (cm)

d = diámetro de la muestra (cm).

C. Textura intrumental (FC y WC)

La fuerza (FC) y trabajo de corte (WC) de los extruidos se analizaron mediante un texturometro equipado con una celda de carga, ajustada para medir la fuerza de compresión, mediante el método 74-09.01 (AACCI, 2010). Los extruidos se colocaron en un lecho monocapa y se procesó con las siguientes condiciones (distancia de sonda de 48 mm, velocidad de preensayo 1mm/s, velocidad de ensayo 2mm/s y pos ensayo 10mm/s. Los resultados de FC se expresaron en (N) de la primera compresión requerida para que la muestra se rompiera, mientras que el WC fue el número total de picos de fuerzas medidos a lo largo del ensayo (N.s).

La determinación se realizó por triplicado a las 12 formulaciones.

D. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Serán evaluados a través del método descrito por Meza *et al.* (2019);

$$ISA = \frac{M_{re}}{M_a} * 100 \quad IAA = \frac{M_{rc}}{M_a - M_{re}} * 100$$

Dónde:

IAA = índice de absorción de agua (%)

ISA = índice de solubilidad en agua (%)

Mrc = masa del residuo de centrifugación (g)

Ma = masa de la muestra (g, en base seca)

Mre = masa del residuo de evaporación (g).

3.4.4. Evaluación de Intención de compra del extruido final

La evaluación sensorial (**Anexo 06**) se realizará con 30 panelistas semientrenados voluntarios y habituales consumidores de extruidos y cereales. Para ellos se aplicará una escala hedónica de 5 puntos (1= “Con certeza no lo compraría”; 5= “Con certeza lo compraría”).

3.5. Diseño experimental

La estrategia experimental a utilizar será la Metodología de Superficie de Respuesta a través de un Planeamiento de Mezclas Centroide Simplex con tres variables independientes:

X₁ = Grits de Maiz

X₂ = Harina de Quinoa germinada

X₃ = Harina de kiwicha germinada

Tabla 5.

Diseño de mezclas Simplex Centroide con 3 variables independientes en los niveles codificados y niveles reales.

Formulación	Valores codificados			Valores reales (%)		
	Grits de Maiz	Harina de Quinua germinada	Harina de Kiwicha germinada	Grits de Maiz	Harina de Quinua germinada	Harina de Kiwicha germinada
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3
1	1,0000	0,0000	0,0000	100	0	0
2	0,0000	1,0000	0,0000	0	100	0
3	0,0000	0,0000	1,0000	0	0	100
4	0,5000	0,5000	0,0000	50	50	0
5	0,5000	0,0000	0,5000	50	0	50
6	0,0000	0,5000	0,5000	0	50	50
7	0,6667	0,1667	0,1667	66,67	16,67	16,67
8	0,1667	0,6667	0,1667	16,67	66,67	16,67
9	0,1667	0,1667	0,6667	16,67	16,67	66,67
10	0,3333	0,3333	0,3333	33,33	33,33	33,33
11	0,3333	0,3333	0,3333	33,33	33,33	33,33
12	0,3333	0,3333	0,3333	33,33	33,33	33,33

Nota. X_1 = Harina de maíz; X_2 = Harina de Quinua germinada; X_3 = Harina de Kiwicha germinada

3.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las pruebas del diseño experimental fueron evaluados con la Metodología Superficie de Respuesta para calcular el coeficiente de regresión y análisis de varianza (ANOVA) con nivel de significancia del 10%, usando el software STATISTICA 7.0 (Stat-Soft, Tulsa-OK-USA). Para hallar la formulación resultante se utilizó la metodología de deseabilidad, con el software DESIGN EXPERT 6.0, donde para las variables dependientes estadísticamente significativas ($R^2 > 0.75$); se estableció importancia entre 1 (menos importante)

al 5 (más importante). El objetivo se definió como “maximizar” (IE, a*, ISA, ORAC, TPC), “dentro del rango” (L*) y “minimizar” (DA, WS, b* y PA).

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Caracterización de las materias primas

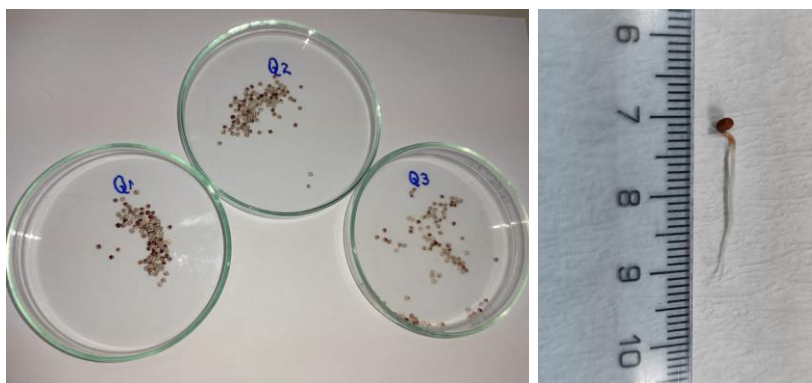
5.1.1. Tasa de germinación (%)

Con el fin de asegurar la calidad de nuestras materias primas, se determinó la tasa de germinación de los pseudocereales a utilizar. Cabe indicar que la tasa germinativa se evidencia con el crecimiento de la radícula (ruptura del endospermo), las semillas se consideraron germinadas cuando la radícula se había extendido al menos 1 mm (Hu *et al.*, 2018).

Las semillas de Quinoa durante las primeras 45 horas de germinación ya había brotado su radícula y germinados al 95%, se dejó en el germinador hasta cumplir las 72 horas pero no hubo diferencia, mantuvo su número de semillas germinadas. Otros autores, informan datos similares a diferentes condiciones, 90% de germinación a 35°C x 49 horas (Leguía, 2018) y 62.68% a 25°C x 10 horas (Hinostroza, 2020), ambos para la variedad Pasankalla.

Figura 17

Proceso de Tasa de germinación de la Quinoa

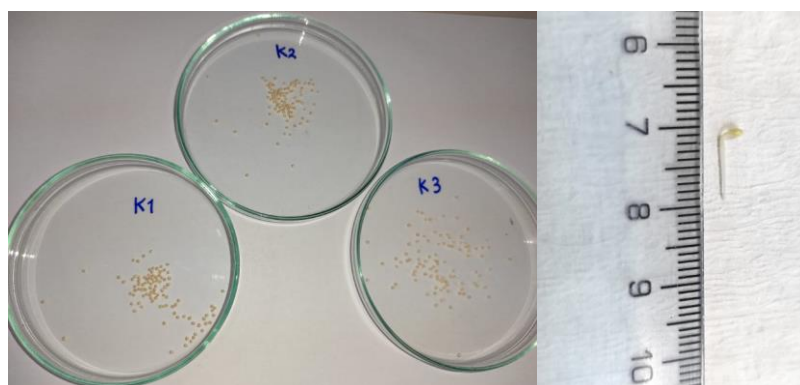


Nota. a) Germinación de 100 semillas de quinoa por triplicado b) Semilla de quinoa con radícula (45 horas de germinación)

Las semillas de Kiwicha var. Centenario comenzaron a germinar desde las primeras 28 horas, sin embargo, alcanzó su 99% de tasa de germinación total a las 47 horas. Así mismo, se dejó que completar las 72 horas, sin embargo, no se observó diferencia. Por su parte Hinostroza (2020), informó que sometiendo Kiwicha var. Oscar Blanco a 17° C x 10 h se obtiene 81.52% de tasa de germinación. Ante lo mencionado, el poder germinativo de las semillas está relacionado con variables como la T°, HR%, tiempo (h) y además existen autores que afirman que también influye la desinfección del grano (Valencia, 2015).

Figura 18

Proceso de Tasa de germinación de la Kiwicha



Nota. a) Semillas de kiwicha durante proceso de germinación (100 semillas sobre papel filtro en placa Petri con agua destilada, por triplicado); b) Semilla de kiwicha con radícula, a las 28 horas de germinación.

Por su parte, FAO indica que la germinación representa el verdadero proceso en el que se producen las transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de las semillas, y a su vez se ha aplica a diferentes semillas para aumentar sus valores nutricionales (Cornejo *et al.*, 2019). Es así que Hernández (2006) reporta que semillas con porcentajes de germinación inferiores al 80% deben ser descartadas. Por lo tanto, la tasa de germinación de 95 y 99% para Quinoa y kiwicha (**Tabla 6**), respectivamente nos augura la eficacia de nuestras materias primas para el proceso de germinación.

Tabla 6

Variables para la determinación de tasa de germinación (%) de los pseudocereales Quinua y Kiwicha

Semillas	Tasa de germinación (G)	Variables de tasa de germinación			
		A			B
		T1	T2	T3	
Quinua var. Pasankalla	95%	95	94	95	100
Kiwicha var. Centenario	99%	100	98	99	100

Nota. A=Número de semillas germinadas; B=Total de semillas sometidas al proceso de germinación. G: El valor de tasa de germinación es el promedio de tres tratamientos.

5.1.2. Composición química de las materias primas

5.1.2.1. Composición proximal de las materias

Los alimentos de alto contenido de carbohidratos son los más utilizados para el proceso de extrusión, que al someterse a suficiente destrucción de su estructura granular, aumenta la solubilidad en agua de la fracción amilácea y provoca cambios en las propiedades reológicas que aseguran la expansión a la salida del extrusor (Cuggino, 2008). El maíz es el cereal más utilizado para el proceso de extrusión, así como los pseudocereales quinua y kiwicha, que por su elevado contenido de almidón tienen excelentes propiedades de expansión, característica que es indispensable en este tipo de productos (Aro y Calsin *et al.*, 2019).

La composición química de grits de maíz y las harinas de quinua y kiwicha germinadas se presentan en la **tabla 7**. El grits de maíz mostró el mayor contenido de almidón (71.15 g/100 g dw) en comparación con las harinas de pseudocereales germinados (32 – 45 g/100 g dw) y sin germinar (40 – 45 g/100 g dw). Lo cual es importante resaltar, ya que estudios demostraron que la incorporación de pseudocereales en productos alimenticios reduce los valores de índice glucémico

(IG), ganando relevancia como alimento funcional y nutraceutico (Nowak *et al.*, 2016). Además, el proceso de germinación en pseudocereales presenta una reducción en el contenido de almidón, en el estudio encontramos reducción del 20.01 y 7.53 % para Quinua y kiwicha germinada, respectivamente. De igual otros autores lo evidencian, por ejemplo, tres genotipos de quinua estudiados, quinua gris, blanca y roja redujeron en 13.20, 30.35 y 27.90%, respectivamente, a parámetros de germinación de 25°C por 48 horas (Xing *et al.*, 2021), mientras que la quinua pasankalla roja germinada estudiada por Paucar-Menacho y sus colegas (2022) redujo en 58.59% (20°C por 42 horas), obteniendo 16.97 g/100 g dw de almidón. Así mismo, la kiwicha se revalora por sus propiedades beneficiosas en la salud al ser consumido como un cereal integral, ya que los carbohidratos se encuentran entre 55.5 a 74.58% (AACC, 2010), y que pueden disminuir hasta un 32.86% para kiwicha var. centenario germinada (26°C por 63 horas) llegando hasta un 32.45 g/100 g dw (Paucar-menacho *et al.*, 2022).

Tabla 7

Análisis Proximal (base seca - dw) de grits de maíz y semillas de Quinua y Kiwicha germinados y sin germinar

Parámetros	Grits de Maiz	Quinua sin germinar	Harina de Quinua germinada	Kiwicha sin germinar	Harina de Kiwicha Germinada
Humedad (%)	11.12±0.74	5.79±0.30	8.94±0.26	5.79±0.30	9.26±0.23
Almidón (%)	71.15±0.12	40.98±0.88	32.78± 0.52	48.33±0.93	44.69 ± 0.04
Total de Fibra dietaria (%)	5.06±0.74	12.10±0.7	18.84±1.20	15.23±0.52	23.06±0.67
Fibra dietaria insoluble (%)	1.19±0.33	8.8±1.41	12.34±1.06	13.18±0.72	16.18±0.60
Fibra dietaria soluble (%)	3.87±1.08	3.3±0.92	6.14±0.14	2.05±0.13	6.87±0.07
Proteína (%)	7.22±0.05	16.87±0.13	23.36±4.38	16.05±0.14	13.87±0.03
Grasa (%)	3.95±0.02	5.21±0.07	6.55±0.11	5.10±0.08	6.77±0.06
Cenizas (%)	0.85±0.09	2.48±0.17	3.66±0.11	2.66±0.19	2.09±0.02

Nota. Los datos son medias ± desviación estándar de tres repeticiones. Abreviaturas: dw, peso seco.

El contenido de fibra dietaria de los pseudocereales (12 – 23 g/100 g dw) fue superior al contenido de grits de maíz (5.06 g/100 g dw). Es así que autores previos avalan el alto contenido de fibra en pseudocereales, por ejemplo: la fibra de la kiwicha fue estudiada por Chamorro *et al.*, (2018) donde reportan entre 7.5 a 14.12% para 30 accesiones de kiwicha sin germinar. En cuanto al proceso germinativo, se observa un incremento del 55.7 y 51.41 % de fibra dietaria total para quinua y kiwicha germinada, respectivamente. Incremento presentado previamente en la literatura, donde a condiciones específicas de germinación (30° C por 78 horas) se observa un incremento de 655, 99 y 124 % para fibra dietética soluble, insoluble y total en kiwicha (*Amaranthus hypochondriacus*) (Perales-Sánchez *et al.*, 2014). Mientras que para la quinua (Quinua Real, Bolivia) se observó el incremento del 16.43% de fibra cruda (Germinación a 25°C por 72 horas) (Darwish *et al.*, 2020).

Es así que el proceso de germinación tiende a modificar la estructura de los polisacáridos de la pared celular de las semillas, posiblemente afectando la integridad de la histología del tejido y alterando la interacción proteínacarbhidrato. Esto implicará una extensa biosíntesis de la pared celular y, por lo tanto, la producción de nueva fibra dietética favoreciendo el contenido del alimento (Perales- Sánchez *et al.*, 2014).

En cuanto a extrusión, el maíz es el cereal más comúnmente utilizado en este proceso, debido a su bajo costo y a su facultad de expandirse, sin embargo, posee un contenido protéico relativamente bajo en comparación con los pseudocereales, con 7.22 g/100 g dw de proteína como se presenta en la **Tabla 7**, o valores entre 8.3 – 11.3% según el genotipo o variedad de maíz evaluada (Méndez-Montevalvo *et al.*, 2005). Es por ello, que al mezclarlos con proteínas de pseudocereales

germinados, se complementan unos con otros para producir proteínas de mayor calidad nutricional.

El análisis comparativo demostró variación en el contenido proteico provocado por la germinación en los pseudocereales, se observó incremento del 38.47% para quinua germinada y reducción de 13.58% para kiwicha germinada, con respecto a las variedades sin germinar. Es más, autores informaron que la germinación en semillas arroja resultados inconsistentes probablemente debido a los diferentes diseños experimentales, la duración de los estudios y la variación en el perfil inicial de proteínas o aminoácidos de los alimentos (Nkhata *et al.*, 2018). Por una parte, la literatura indica que al someterse los granos al proceso de germinación incrementa su contenido proteico, hasta en un 25% con valores 16.78 a 21.0 g/100 g dw en quinua pasankalla sin germinar y germinada, respectivamente (Choque y Molina, 2018). De igual forma ocurre con la kiwicha que incrementa su contenido proteico, hasta en un 16% con valores 13.09 a 15.18 g/100 g dw en Kiwicha var. Centenario sin germinar y germinada, respectivamente (Casanave y Ruiz, 2022). Incremento que puede explicarse por la generación y movilización de nutrientes de reserva en los granos durante los tres primeros días de germinación, que favorecen al contenido de proteína total (Bewley *et al.*, 2013).

Por el contrario, otros autores observaron una disminución en proteínas, atribuyéndolo al proceso de horneado posterior a la germinación, por ejemplo, en quinua y kiwicha (germinación a 22°C por 72 horas seguido de secado a 40°C por 1 hora) se reportó una disminución del 28.8 y 31.22% respectivamente. Mientras que para las variedades de quinua peruana “INIA Salcedo” y “Pasankalla” se reportó una ligera disminución de 12.5% y 8.7% en la proteína total después del proceso de horneado (48 h de germinación seguido de secado a 5°C por 24 h),

respectivamente (Aguilar *et al.*, 2019). El decreciente contenido de proteínas totales de las harinas germinadas, es provocado por la pérdida de radículas como resultado del despulpado (paso de eliminación de radículas) durante el horneado, lo que provoca una disminución en el contenido de proteína total ya que el producto final del catabolismo durante la germinación es la sacarosa que se transloca unida a proteínas y aminoácidos desde el embrión y se almacena en las radículas (Bewley *et al.*, 2013). Parece que la mayoría de estos efectos pueden no reflejar cambios reales sino cambios relativos debido a la pérdida de materia seca como resultado de la hidrólisis y el metabolismo de los carbohidratos y las grasas por parte de los microorganismos como fuente de energía (Nkhata *et al.*, 2018).

Las harinas de pseudocereales germinados (6.55 – 6.77 %) y sin germinar (5.10 – 5.21 %) contienen valores más altos de grasa a comparación con el grits de maíz (3.38%) (**Tabla 7**). Además, podemos evidenciar que el proceso de germinación incrementa 25.72 y 32.75% el contenido de grasas en la Quinoa y kiwicha germinadas, respectivamente. Tal como lo afirma el estudio de Pachari *et al.* (2019) quienes investigaron las variedades de quinoa nativa peruana “Blanca de Juli”, “Roja Pasankalla” y “Negra Collana”, donde observaron un ligero aumento en el contenido de lípidos de 1.2%, 1.6% y 1.1%, respectivamente, después de 72 h de germinación. Asu vez, Valenzuela *et al.* (2015) reportaron una ligera disminución (2.49%) en el contenido de grasa de Quinoa Roja Pasankalla, y un ligero aumento (0.74%) en el caso de Quinoa var. Negra Collana (después de la germinación a 20 °C por 48 h, con respecto a escarificado, semillas sin germinar).

En contraste autores evidencia la disminución de grasa tras el proceso de germinación, para Cornejo *et al* (2019) la grasa de la kiwicha disminuyó significativamente de 5.35 a 2.58 mg/g, disminución del 51,77% (germinación por

24 horas a 32°C), de igual forma a parámetros de 48 horas a 32°C se presentó una reducción del 46.08% (Sindhu y Khatkar, 2019). Por otro lado, en quinua el contenido de grasa redujo de 8.1 a 5.26%, reducción del 35.06 % (Beniwall et al., 2019), datos respaldados por Jan *et al* 2017, que indica la reducción del contenido de grasas en los cultivares de quinua después de las 48 h de germinación, lo cual según Chauhan et al. (2015) y Xu et al. (2017), podría deberse al aumento de la actividad lipolítica durante la germinación que hidrolizó los componentes grasos y proporcionó la energía esencial para las actividades de crecimiento en la semilla, produciendo la reducción del contenido de grasa en las semillas germinadas.

En comparación con el grits de maiz (0.85%), las harinas de pseudocereales germinados (2.09–3.66 %) y sin germinar (2.48–2.66 %) mostraron un contenido de cenizas significativamente mayor (**Tabla 7**). Así mismo, el análisis comparativo identifica la variación de este parámetro durante la germinación, incremento del 47.58% para quinua germinada y reducción del 21.43% para kiwicha germinada.

Es decir, el proceso de germinación no influye significativamente en el contenido de cenizas, por ejemplo, en kiwicha en la var. Centenario aumentó en 7.14% (Paucar-menacho *et al.*, 2017) y por el contrario para Beniwal *et al.* (2019), disminuyó un 30.03%. Por otro lado, en dos variedades de quinua se reportó aumento de 7.66% y del 26.77% (Darwish *et al.*, 2020). Variación que fue explicada por Chinma *et al.* (2009), afirmando que la transformación del contenido de cenizas durante la germinación podría deberse a la lixiviación de algunos minerales solubles sensibles al agua durante el remojo.

5.1.2.2. Contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, ácido aminobutírico y contenido de ácido fítico de las materias primas.

El ácido fítico es un elemento antinutricional presente en los cereales, que en altas concentraciones inhiben en gran medida la biodisponibilidad de ciertos minerales, como el hierro, calcio, potasio, magnesio y el zinc. El contenido de ácido fítico de las semillas de quinua y kiwicha antes de la germinación es de 10.96 – 13.50 mg/g (Wang *et al.*, 2020) y 0.3 – 2.25 mg/g (Rastogi y Shukla, 2013), respectivamente. Mientras que en harinas de quinua y kiwicha germinadas encontramos reducción de 35.55 y 1.63% (**Tabla 8**), respectivamente de ácido fítico con respecto a sus harinas sin germinar, valores significativamente bajos comparados los reportados en semillas sin germinar.

Resultados que son respaldados por estudios previos, donde se demostró la disminución del ácido fítico en granos germinados. Para la quinua se presentó reducción del 29.29% a parámetros de germinación de 15°C por 72 horas y reducción de 48.6 - 67.88% a parámetros de 30°C por 72 horas (Wang *et al.*, 2020). Así mismo en Quinua germinada se presentaron valores entre 2.19 – 7.75 mg/g de ácido fítico (Le *et al.*, 2021; Bhathal *et al.*, 2017). En cuanto a semillas de kiwicha germinada se reportó disminución del ácido fítico en 30%, donde los granos fueron germinados durante 48 h a 30 C (Najdi *et al.*, 2016). De igual forma, el estudio de dos variedades de amaranto, *A. caudatus* y *A. cruentus*, mostró una disminución del contenido de ácido fítico a medida que aumentaba la duración de la disminuyendo su valor inicial en 29.54, 54.54 y 68.18% después de 24, 48 y 72 horas de germinación, obteniendo valores de 0.14 – 0.31 mg/g después de la germinación (de Ruiz y Bressani, 1990).

Así mismo, Darwish et al. (2020) demostró que la germinación de las semillas de quinua aumentó los contenidos de hierro, calcio y zinc en 39.43, 49.04 y 20.25 %, respectivamente, y disminuyó los factores antinutricionales de ácido fítico en 50.0%. Estos resultados respaldaron investigaciones anteriores, que informaron la germinación aumentó tanto la concentración como la biodisponibilidad de minerales como el hierro y el zinc (Benincasa *et al.*, 2019), y además el ácido fítico reduce influenciado por la temperatura y tiempo de germinación de la semilla.

Tabla 8

Análisis de ácido fítico, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y ácido aminobutírico de grits de maíz y de las harinas de kiwicha y quinua germinadas y sin germinar.

Parametros	Grits de Maiz	Quinua sin germinar	Harina de Quinua germinada	Kiwicha sin germinar	Harina de Kiwicha Germinada
Ácido Fítico (PA) (g/100g)	0.037±0.01	0.090±0.02	0.058±0.01	0.123±0.02	0.121±0.07
TSPC (mg GAE/100 g)	171.11±8.95	62.83±4.89	525.50±38.13	49.27±1.44	144.72±2.09
ORAC (µmol TE/g)	23.47±1.32	12.75±0.78	45.30±3.96	10.23±2.16	35.44±4.55
GABA (mg/100 g)	4.02±0.03	32.98±4.42	202.54±32.05	37.38±1.58	100.00±22.45

Nota. Los datos son medias ± desviación estándar de tres repeticiones. Abreviaturas: dw, peso seco; GABA, ácido γ -aminobutírico; GAE, equivalentes de ácido gálico; nd: no detectado; ORAC, capacidad de absorción de radicales de oxígeno; PA, ácido fítico; TSPC, compuestos fenólicos solubles totales; TE: equivalentes de Trolox.

En cuanto a compuestos bioactivos su contenido fue variable, la harina de quinua germinada (525.50 mg GAE/100 g) presentó el valor más alto, seguido del grits de maíz (171.11 mg GAE/100 g) y harina de kiwicha germinada (144.72 mg GAE/100 g) (Tabla 8). Mientras que las semillas sin germinar presentaron contenidos relativamente bajos, los cuales se encuentran en el rango reportado en investigaciones previas, Chamorro *et al.*, (2018) presenta contenido de compuestos fenólicos totales de 51.34 a 75.69 mg GAE/100 g para 30 accesiones de Kiwicha,

llegando a la conclusión que los valores se ven influenciados por los factores medioambientales y genotipo de la especie.

Por otro lado, Paucar-menacho *et al.* (2017) infiere que al someter los granos a proceso de germinación presenta un mayor contenido de Compuesto fenólicos, que van desde 86.22 a 385.43 (mg GAE / 100 g) dependiendo de las condiciones de germinación, lo cual concuerda con la **Tabla 8**, que a parámetros de 26°C por 63 h de germinación, se obtiene 144.72 ± 2.09 (mg GAE / 100 g) de compuestos fenólicos para la Kiwicha germinada var. Centenario. Por su parte Perales-Sanchez *et al.* (2014) reportó aumento de contenido fenólico libre, combinado y total de semillas de amaranto germinadas 1103, 600 y 829 %, respectivamente (Perales-Sanchez *et al.*, 2014). Valores importantes para la ingesta diaria del ser humano, ya que autores evidencias el potencial como agente quimiopreventivo contra enfermedades crónicas asociadas al estrés oxidativo (Del Rio *et al.*, 2013). En cuanto a quinua germinada se reportó un aumento significativo del 101.2% al final de la germinación por 72 horas (Manrique *et al.*, 2014), mientras que por 82 horas de germinación se obtuvo un aumento de 2 veces los fenoles totales (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010), de igual forma en el presente se evidencia el incremento de compuesto fenólicos para kiwicha. Y es que algunos investigadores han sugerido que la germinación es un bioproceso adecuado y efectivo para incrementar la concentración de compuestos fenólicos en semillas de amaranto, y por ende su calidad nutracéutica.

Lo cual está relacionado a la liberación y biosíntesis de compuestos fenólicos, como resultado de la degradación de la pared celular del grano, provocado por las enzimas activas (principalmente esterasas) durante la germinación. La importancia de esto radica en el hecho de que los compuestos fenólicos como los hidroxicinamatos (p.

ej., los ácidos ferúlico y p-cumárico) se unen a los polisacáridos no amiláceos en las paredes celulares de los granos a través de asociaciones como enlaces éster y éter (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010).

En cuanto a la capacidad antioxidante, se encontró un ORAC más alto para las harinas germinadas de quinua y kiwicha en comparación con maíz (**Tabla 8**). La actividad antioxidante se vio afectada positivamente por el tiempo y la temperatura de germinación, siendo el efecto de la temperatura mayor que el del tiempo. En general, la germinación aumenta la actividad antioxidante de los pseudocereales, se han reportado aumentos de 2 - 2.8 veces para quinua (Laus *et al.*, 2017) y 3.5 - 6.4 veces para kiwicha (Paucar-Menacho *et al.*, 2022; Paucar-menacho *et al.*, 2017) cuando se germinó 20° C por 4 días y 20° C por 43 horas. Los resultados de nuestro estudio podrían atribuirse a la liberación de fenoles unidos y la biosíntesis de antioxidantes para mantener un equilibrio en la homeostasis redox durante la germinación (He *et al.*, 2011).

5.1.3. Granulometría de las materias Primas

5.1.3.1. Grits de Maíz

El tamaño óptimo de partículas durante la extrusión no es estándar, depende de la configuración del equipo y la materia prima, sin embargo, diversos autores indican que es preferible trabajar con tamaños gruesos (retrasan la gelatinización hasta antes de salir del dado, favorecen en valores de textura y expansión del producto final), siendo no recomendable trabajar con harinas tamizadas finas, ya que no favorecen en el transporte del material al interior del extrusor (Harper, 2019). El extrusor doble tornillo utilizado, permite trabajar con harinas finas hasta en un 25%, mientras que no permite el uso de

partículas demasiado gruesas ya que posee un dado con abertura de salida de 5mm, partículas superiores provocarían la obstrucción del mismo.

Los valores presentados en la **tabla 9**, representan las diferentes granulometrías que tuvo el maíz amarillo producto de la molienda con tamiz de 5 mm. Para el proceso de extrusión se usó el total del grits de Maiz formado por 22, 21, 46 y 11 % de porción retenida en mallas de N° 20, 30, 80, 120 respectivamente. Debido a que solo el 11% representa harina de maíz fina retenida en la malla N° 120, lo cual no perjudica el procesamiento del extrusor.

Por su parte, la fracción que se quedó retenida en la malla N°20, estuvo compuesta por la piloriza, parte del germen, y las partículas de mayor tamaño del grano de maíz amarillo. Mientras que en la malla N° 30, quedó retenida en su mayoría parte del endospermo el cual tiene mayor porcentaje de almidón, lo que favorece el proceso de extrusión.

Tabla 9.
Análisis granulométrico de Grits de maíz amarillo

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	%Retenido		Peso Cernido (%)
			Parcial	Acumulado	
20	0.85	10.97	22.00	22.00	78.00
30	0.60	10.49	21.03	43.03	56.97
80	0.18	22.96	46.04	89.07	10.93
120	0.125	5.4	10.83	99.90	0.10
Fondo	<0.125	0.05	0.10	100.00	0.00
Total		49.87			

5.1.3.2. Harina de Quinoa germinada

En la **tabla 10**, se presentan las diferentes granulometrías obtenidas por la harina de quinoa germinada producto de la molienda, siendo así que se trabajó con el total de la granulometría formado por 40, 24 y 36 % de porción retenida en mallas de N° 20, 30, <30 respectivamente.

Cabe resaltar que el 64% quinoa germinada que se quedó retenida en la malla N° 20 y 30, en su mayoría es parte del endospermo y radículas, obteniendo una harina gruesa de textura aspera, con un color crema con partículas guindas, como resultados de los restos de la cascara de Quinoa Pasankalla. Color que influirá más adelante en la coloración del extruido final y granulometría adecuada para el proceso de extrusión.

Tabla 10.
Análisis granulométrico de Harina de Quinoa germinada

Malla N°	Abertura (um)	Peso retenido (g)	%Retenido		Peso Cernido (%)
			Parcial	Acumulado	
20	850	20.3	40.52	40.52	59.48
30	600	11.9	23.75	64.27	35.73
Fondo	<600	17.9	35.73	100.00	0.00
Total		50.1			

5.1.3.3. Harina de Kiwicha germinada

Los valores presentados en la **tabla 11**, representan las diferentes granulometrías que tuvo la harina de kiwicha germinada producto de la molienda. Para este caso se utilizaron tamices N° 20, 30, 45 y 60, obteniendo mayo peso retenido en el tamiz N° 60 y fondo con aberturas de 250 y <250

um, respectivamente. Ello equivale a 87% del peso total, obteniendo una harina color crema, con textura fina.

El equipo extrusor doble tornillos requiere no usar un porcentaje mayor a 20% de harina fina, ya que puede causar error durante la extrusión. Por tal razón el equilibrio entre grits de maiz, harinas de quinua y kiwicha germinadas, son óptimos para el proceso de extrusión, resultando en un correcto proceso operacional.

Tabla 11.
Análisis granulométrico de Grits de Harina de Kiwicha germinada

Malla N°	Abertura (um)	Peso retenido (g)	%Retenido		Peso Cernido (%)
			Parcial	Acumulado	
20	850	0.5	0.97	0.97	99.03
30	600	0.6	1.17	2.14	97.86
45	350	5.4	10.49	12.62	87.38
60	250	19.2	37.28	49.90	50.10
Fondo	<250	25.8	50.10	100.00	0.00
Total		51.5			

5.2. Caracterización del snack extruido

5.2.1. Características Tecnológicas

5.2.1.1. Índice de expansión (IE)

El índice de expansión es un parámetro que permite observar el incremento del tamaño de alimento por efecto de la expansión, por lo tanto, se requiere obtener valores máximos de esta variable para la optimización. Los resultados de índice de expansión oscilaron entre 1.0 y 2.10 aproximadamente, obteniendo el valor mayor la Formulación F1 y F5, con 2.10 y 1.41 respectivamente, las cuales presentan mayor contenido de Grits de Maiz, con 100 y 50% respectivamente.

Siendo el maíz el cereal más utilizado para el proceso de extrusión, ya que al someter su elevado contenido de almidón a suficiente destrucción de su estructura granular, aumenta la solubilidad en agua de la fracción amilácea y provoca cambios en las propiedades reológicas que aseguran la expansión a la salida del extrusor (Cuggino, 2008), característica que es indispensable en este tipo de productos (Aro *et al.*, 2019).

El análisis estadístico permitió la elaboración de la **ecuación N°1** que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es la ecuación cuadrática con $R^2 = 78.29\%$ y $P\text{valor} < 0.005$.

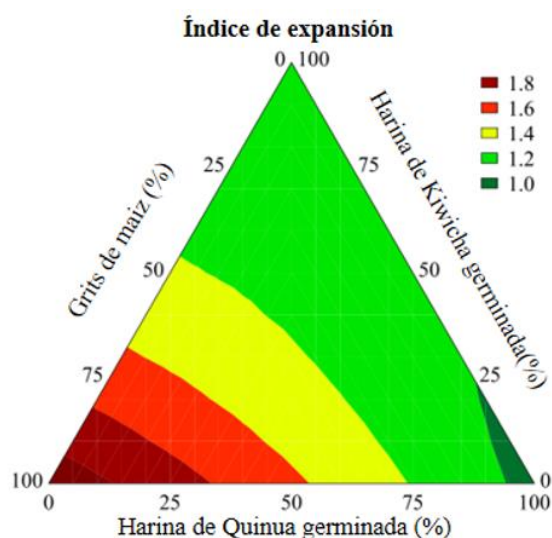
$$(\text{Índice de expansión}) = 1.93x_1 + 0.94x_2 + 1.18x_3 - 1.32x_1x_3 \dots\dots\dots \text{Ecuación N°1}$$

La ecuación N° 1 indica que el índice de expansión fue influenciado positivamente por el contenido de grits de maíz y harina. Mientras que la combinación binaria entre kiwicha germinada y grits de maíz afectan negativamente ($\beta_{13}=-1.32$), reduciendo los valores de índice de expansión del extruido. Como se evidencia en el gráfico de contorno (Figura 19), los mejores valores de índice de expansión ($IE>1.6$) se encuentran en la zona guinda, donde existe mayor contenido de grits de maíz y menor de quinua germinada.

Es así, que podemos afirmar que los valores de índice de expansión están relacionados con el porcentaje de almidón de la formulación. Por ejemplo, la Kiwicha germinada presenta entre 44.69 a 63.58% de almidón (Chamorro *et al.*, 2018), mientras que la Quinua *var. pasankalla* germinada presenta solo un 55.84%.

Figura 19

Gráfico de contorno para índice de expansión de los extruidos



Valores que explican que las formulaciones con mayor contenido de Kiwicha que Quinua, tienen mejor resultado de Índice de expansión. Tal como lo afirma Lazaro y Sotelo (2017), que a mayor contenido de almidón y amilopectina, se generan mejores valores de IE. No obstante, Shuh y Tsai (Citado en Calvimontes *et al.*, 2014) indican que no es sólo el valor del contenido de almidón el que influye en el índice de expansión del grano, sino también la proporción entre Amilosa y Amilopectina. Según esto, un grano con alto contenido de amilosa entre 55 – 70% y baja amilopectina, no es apropiado para esta tecnología, ya que nos proporciona un expandido crocante y duro. Mientras que el almidón con alto contenido de amilopectina y baja amilasa gelatiniza más rápido, esto permite que se formen burbujas más grandes en el corto tiempo que dura la operación de expansión, y nos proporciona un producto con mayor expansión y por lo tanto más crujiente (Calvimontes *et al.*, 2014).

5.2.1.2.Densidad Aparente (DA)

En productos extruidos la densidad aparente es un parámetro de control de calidad, las estructuras que presentan baja densidad se caracterizan por tener estructuras bien expandidas que están conformadas por células grandes y paredes delgadas (Ravindran *et al.*,2011). Es por ello, que desde el punto de vista económico se seleccionan aquellos de menor densidad aparente y real, siendo esta la condición más deseable para los expandidos.

Los valores de densidad aparente (DA) del estudio oscilan entre 0.19 y 0.52 mg/cm³, aproximadamente, obteniendo los menores valores las formulaciones F4 (50% X₁ + 50% X₂), F1 (100%X₁) y F7 (66.67%X₁ + 16.67%X₂ + 16.67% X₃), con 0.19; 0.22 y 0.22 mg/cm³, respectivamente.

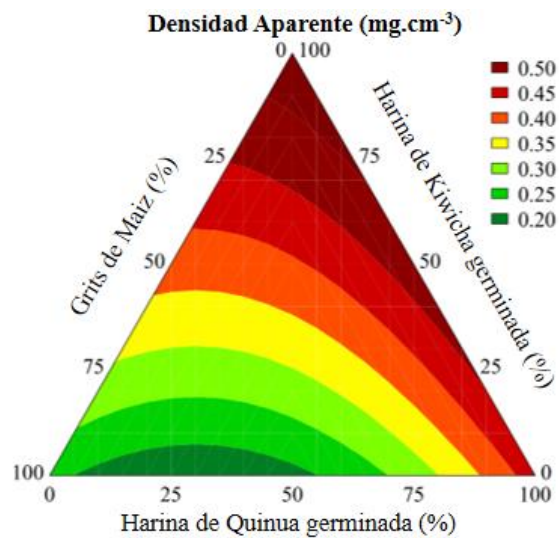
El análisis estadístico (ANOVA) permitió la elaboración de la ecuación N°2 que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es la ecuación cuadrática con R²= 87.79 % y Pvalor = <0.001.

(Densidad aparente) = 0.21x₁ + 0.43x₂ + 0.53x₃ – 0.54x₁x₂... **Ecuación N°2**

Tal como lo afirma Tas y Shah (2021), la densidad aparente y el índice de expansión son atributos dependientes con una relación inversa. A diferencia del índice de expansión, la densidad se vio incrementada en las formulaciones que presentaban mayor concentración de harina de Kiwicha germinada en la mezcla; mientras que la densidad fue menor en las formulaciones con mayor porcentaje de grits de maiz. Así mismo la ecuación N° 2 evidencia que la combinación binaria de grits de maiz con harina de kiwicha germinada ($\beta_{12}=-0.54$), reducen el valor de densidad aparente del extruido.

El gráfico de contorno (**Figura 20**) destacó que los mayores valores de DA se obtienen en la zona guinda, con mayor porcentaje de Harina de Kiwicha germinada y menor de grits de Maiz. Sin embargo, en cuanto a DA buscamos el menor valor, que corresponde a la zona verde ($DA < 0.30$ N.s), que tiene mayor porcentaje de Grits de maiz y Harina de Quinua germinada hasta el 50%, el cual nos resulta en un producto de gran volumen, pero menor peso específico.

Figura 20.
Gráfico de contorno para Densidad Aparente (DA) de los extruidos



Como se observa en el estudio, la densidad aparente aumentó con la proporción de harinas de kiwicha y quinua germinadas, que tienen un mayor contenido de fibra en comparación con el grits de maíz con valores de 23.06, 18.84 y 5.06%, respectivamente, debido a que la fibra sufre una reducción de tamaño mínima y se mantiene estable durante el proceso de extrusión, lo que limita la expansión y aumenta la densidad aparente. Resultados similares fueron reportados por Wani y Kumar (2016) en snacks a base de fenogreco, avena y guisante y por Ramos *et al.*, (2016), en snacks a base de harinas de Fécula de camote, harina de Quinua y Tarwi, donde la densidad aparente fue significativamente alta (entre 0,199 y 0,427 g/cm^3), así mismo el aumento de la densidad fue atribuido a la presencia

de azúcar y fibra soluble que absorben la humedad y afectan la expansión de los extruidos y, por consiguiente, la densidad (Pérez-Ramos *et al.*, 2017).

5.2.1.3. Textura Instrumental

En los alimentos extruidos, la textura instrumental es de gran importancia, y la textura crujiente suele ser un atributo deseable (Alam *et al.*, 2015). El análisis de textura de snacks expandidos se ha realizado mediante la evaluación de la fuerza de corte (FC) y trabajo de corte (WC), con resultados que oscilan entre 7.04 – 40.07 N y 33.51 – 331.66 N.s, respectivamente.

El análisis estadístico permitió la elaboración de las ecuaciones N°3 y N°4 que describen el comportamiento de los resultados. Siendo el WC, una variable a optimizar durante el estudio, ya que presenta un p (<0.003) inferior a p (0.10), concluyendo que existe diferencia significativa. Por otro lado, al evaluar el modelo matemático de FC, observamos que las variables independientes presentan p (0.522818) superior a p (0.10), resultando que no tiene efecto significativo sobre la fuerza de corte.

Por esta razón, evaluamos detalladamente el análisis de varianza (ANOVA) estadístico (**Anexo 11**), para la variable de FC resultando con un Fcal (0.9738) valor menor al Ftab (3.40), lo cual indica que los resultados de las formulaciones no difieren de forma estadísticamente significativas del resto de formulaciones. De igual forma el R² (0.5383) es inferior a 0.75, por lo cual se concluye no considerar la Fuerza de Corte, en optimización del extruido.

Trabajo de corte (WC) = 314x₁ + 74x₂ + 68x₃ – 559x₁x₂ – 406x₁x₃.....Ecu. N°3

El gráfico de contorno destacó que los mayores valores de FC se obtienen en la zona guinda (<30 N.), que tiene mayor porcentaje de Harina de kiwicha

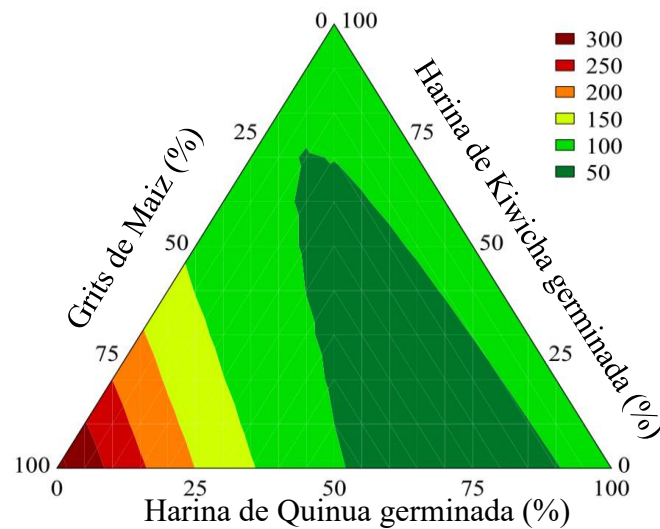
germinada, seguido de los grits de Maiz. Valores semejantes se reportaron previamente, Muñoz-Pabon *et al.*, (2022) que indica que la sustitución de grits de maíz por cereales como la quinua afectan la FC, mezclas de 30 y 37% de contenido de quinua conducen a valores más altos de FC, así mismo estas mezclas dan lugar a extruidos que requieren mayor trabajo WC y son más duros, con valores de dureza que aumenta de 54 a 130% según la proporción de quinua. Estos extruidos presentaron la menor expansión, lo que concuerda con los resultados de Jozinovic *et al.* (2016), quienes concluyeron que las propiedades texturales están influenciadas por el grado de expansión, es decir, los extruidos con mayor IE presentaron menor tenacidad y mayor fracturabilidad.

Además, la textura se ve influenciada por la adicción de fibra y proteína resultando productos con mayor densidad y dureza, por su efecto a la resistencia y el espesor de la pared de la burbuja de aire (Jin *et al.*, 1995). La sustitución parcial de harinas de cereales por leguminosas u otras formulaciones ricas en proteínas genera estructuras más duras (Philipp *et al.*, 2017), en contraste se produce debilitamiento general de la estructura celular en los productos expandidos cuando se agregan ingredientes con altos niveles de fibra cruda (Oliveira *et al.*, 2017; Kasprzak *et al.*, 2013).

Por su parte Oliveira *et al.* (2015), encontraron una relación negativa entre el índice de expansión y dureza de los extruidos de arroz y tarwi; las formulaciones con mayor proporción de tarwi presentaron menos expansión y mayor dureza, características causadas por el incremento en el contenido de proteína y la reducción del contenido de almidón en la formulación. A mayor proporción de tarwi, la dureza del extruido aumenta, mientras que a mayor proporción de fécula de camote y harina de quinua, la dureza disminuye (Pérez-Ramos *et al.*, 2017).

Figura 21

Gráfico de contorno para Trabajo de corte (N.s)



Así mismo, el gráfico de contorno (**Figura 21**) destacó que lo mayores valores de WC se obtienen en la zona guinda, que tiene mayor porcentaje de Grits de Maíz. Mientras que las Harinas de Kiwicha y Quinua germinadas, tienen valores promedios a lo largo de sus límites. Así mismo, en cuanto a WC nos favorece tener el mínimo valor, por lo que el rango que nos interesa está en la zona verde que corresponde a mezclas de igual proporción de las tres variables independientes. Siendo las mezclas de maíz-quinua germinada ($\beta_{12}=-559$) y maíz-kiwicha germinada ($\beta_{13}=-406$), quienes favorecen a obtener un valor de trabajo de corte inferior, lo cual está relacionado al equilibrio en su contenido de fibra y proteína de las materias primas, como se explicó previamente.

5.2.1.4. Índice de absorción de agua (IAA)

El índice de absorción de agua (IAA) es un indicador que mide el almidón dañado (grado de gelatinización) y la desnaturalización de la proteína en función de su capacidad de formación de gel. La gelatinización del almidón es la conversión del almidón nativo en material digerible mediante la aplicación de

agua y calor, que es uno de los efectos importantes de la extrusión sobre el almidón de los alimentos. Siendo así la humedad y la temperatura de extrusión, variables que influyen en el IAA durante la extrusión (Tovar *et al.*, 2017).

El análisis de varianza (ANOVA) estadístico (**Anexo 11**), para la variable de IAA resultó con un F_{cal} (1.55338) valor menor al F_{tab} (3.40), lo cual indica que los resultados de las formulaciones no difieren de forma estadísticamente significativas del resto de formulaciones. Además, sus variables independientes presentan p (0.322745) superior a p (0.10), resultando que no tiene efecto significativo sobre el resultado de IAA. De igual forma el R^2 (0.6508) es inferior a 0.75, resultado semejante a lo reportado por diversos autores que indican que las variables influyentes en el IAA son los parámetros de procesamiento, que al disminuir la humedad y elevar la temperatura se obtienen valores altos de IAA (Neder *et al.*, 2016). Sin embargo, el presente estudio mantuvo constantes los parámetros del procesamiento, y se demostró que las variables independientes en estudio como el contenido de grits de maíz y harinas de quinua y kiwicha germinadas no representan efecto significativo sobre el IAA, razón por la cual esta variable dependiente no es considerada en la optimización.

Así mismo, en el gráfico de contorno se observa que a mayores valores de harina de Quinua germinada el IAA aumenta, sin embargo, los resultados del IAA se encuentran agrupados cerca de la media, lo cual quiere decir que no existe diferencia significativa.

Por otro lado, los resultados de IAA oscilan entre 4.4 – 5.8%, aproximadamente (**Tabla 13**). Los valores máximos de IAA se obtuvieron de las formulaciones F2 (100% X_2), F7 (16.7% X_1 , 66.7% X_2 , 16.7% X_3) y F8 (16.7% X_1 , 16.7% X_2 , 66.7%

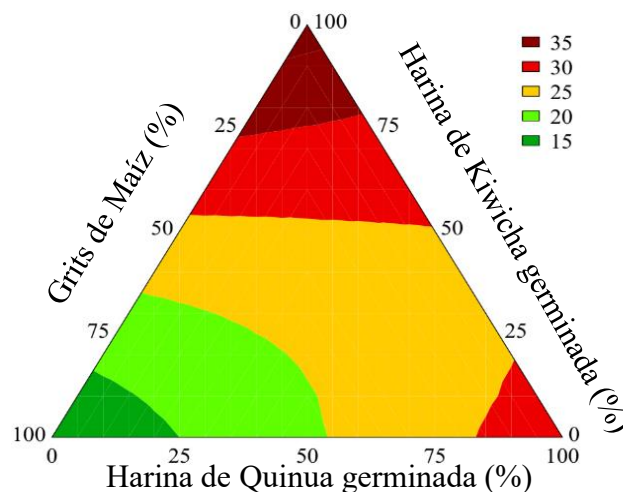
X₃) con valores de 5.7, 5.8 y 5.8 %, respectivamente, mientras que el control F1 presentó el valor más bajo (4.4 %). Los niveles de proteína relativamente más altos de la quinua y kiwicha germinada permitieron la retención de más moléculas de agua en la estructura formada después de la extrusión, al mismo tiempo los niveles más altos de fibra también conducen a una mayor unión de agua, lo que llevó a un IAA más elevado como lo observa G. Rolandelli, *et al.* (2020). La misma tendencia se observó con la sustitución de harina de maíz por sésamo (Nikmaram *et al.*, 2015), salvado de avena (Kasprzak *et al.*, 2013).

5.2.1.5. Índice de Solubilidad de agua (ISA)

Los resultados de ISA oscilan entre 9.54 - 37.9 %, aproximadamente, los valores máximos se obtuvieron de las formulaciones de mayor porcentaje de harinas de pseudocereales germinados, F2 (100% X₂) y F3 (100% X₃) con valores de 29.4 y 37.0 %, respectivamente. Mientras que el extruido de 100% grits de maiz solo presentó 9.54% de ISA., tal como se observa en el gráfico de contorno (Figura 22) donde los mayores valores de ISA se obtienen en la zona guinda (ISA>30), con mayor porcentaje de Harina de Kiwicha germinada y Quinua germinada.

Figura 22

Gráfico de contorno para índice de solubilidad de agua (ISA)



El análisis estadístico permitió la elaboración de la **ecuación N°5** que describe el comportamiento de los resultados, siendo así el modelo matemático que mejor se ajusta la ecuación cuadrática con $R^2 = 88.61\%$ y $P_{\text{valor}} = < 0.001$.

$$(\text{ISA}) = 10.70x_1 + 27.92x_2 + 37.20x_3 - 30.75x_2x_3 \dots \dots \dots \text{ (Ecuación N°5)}$$

El ISA es directamente proporcional a la cantidad de sólidos solubles liberados del almidón después de la extrusión. Un ISA alto es un indicador de buena digestibilidad del almidón, ya que implica el grado de gelatinización y dextrinización (Nargis *et al.*, 2017), por ello se requiere maximizar esta variable. La ecuación matemática nos detalla que la proporción de harina de kiwicha germinada, aumenta el valor de ISA ($\beta_3=37.20$), mientras que la mezcla entre harina de quinua y kiwicha germinadas disminuye su valor ($\beta_{23}=-30.75$), que puede deberse al aumento en contenido fibroso en la formulación del alimento (Nargis *et al.*, 2017). Por su parte, Ramos *et al.* (2015) informa que los extruidos de contenido creciente de Kiwicha, quinua y cañihua (harinas ricas en fibra) pueden reducir la hidrólisis de carbohidratos (ISA mayor = 21.1–35.2%) y en contraste las formulaciones de maíz, mijo y sorgo indican un mayor daño al almidón, presentando valores menores de ISA (4.3 – 4.7%), dado que el mijo y sorgo tienen contenido de almidón similar al maíz (Rolandelli *et al.*, 2020).

Así mismo, Nargis *et al.*, (2017) argumenta que el ISA aumentó inicialmente con el aumento del contenido de humedad, lo que puede deberse a la adecuada gelatinización y expansión lateral del almidón, mientras que una mayor disminución con el aumento del contenido de humedad puede atribuirse a la reducción de la expansión lateral debido a la plastificación de las masas fundidas observadas.

Tabla 12.
Características tecnológicas de las formulaciones de snack extruidos

Formulaciones	Formulación de la mezcla (%)			Características Tecnológicas					
	X ₁	X ₂	X ₃	IE	DA	Fuerza de corte (N)	Trabajo de corte (N.s)	IAA	ISA
F1	100	0	0	2.10 ± 0.06	0.22 ± 0.02	32.48 ± 3.17	331.66 ± 27.53	4.35 ± 0.01	9.54 ± 0.09
F2	0	100	0	1.00 ± 0.08	0.46 ± 0.07	21.24 ± 2.56	67.05 ± 10.24	5.71 ± 0.23	29.41 ± 0.95
F3	0	0	100	1.11 ± 0.12	0.52 ± 0.09	29.17 ± 4.18	55.05 ± 27.53	4.54 ± 0.02	36.96 ± 0.15
F4	50	50	0	1.41 ± 0.07	0.19 ± 0.02	15.46 ± 1.69	88.86 ± 13.24	5.41 ± 0.01	17.09 ± 0.08
F5	50	0	50	1.39 ± 0.05	0.35 ± 0.05	35.51 ± 4.06	118.37 ± 23.15	5.21 ± 0.07	25.51 ± 0.16
F6	0	50	50	1.08 ± 0.22	0.49 ± 0.07	27.13 ± 4.43	63.63 ± 9.86	5.15 ± 0.21	27.53 ± 1.19
F7	66,67	16,67	16,67	1.18 ± 0.12	0.22 ± 0.03	7.40 ± 0.65	54.91 ± 6.10	5.84 ± 0.04	22.32 ± 0.40
F8	16,67	66,67	16,67	1.19 ± 0.06	0.25 ± 0.04	12.96 ± 1.12	55.01 ± 4.96	5.76 ± 0.03	21.95 ± 0.09
F9	16,67	16,67	66,67	1.26 ± 0.05	0.46 ± 0.04	40.07 ± 4.87	80.20 ± 12.65	4.41 ± 0.09	26.28 ± 0.26
F10	33,33	33,33	33,33	1.14 ± 0.06	0.38 ± 0.08	25.95 ± 2.66	34.21 ± 6.57	4.94 ± 0.14	19.09 ± 0.60
F11	33,33	33,33	33,33	1.14 ± 0.08	0.36 ± 0.05	27.00 ± 2.81	36.58 ± 6.65	5.15 ± 0.03	21.59 ± 0.57
F12	33,33	33,33	33,33	1.11 ± 0.03	0.37 ± 0.04	24.70 ± 1.87	33.51 ± 4.47	5.01 ± 0.17	20.39 ± 2.35













Nota. Medias de tres repeticiones ± desviación estándar; X₁= Grits de Maiz; X₂= Harina de Quinua Germinada; X₃= Harina de Kiwicha germinada; IE=Índice de expansión; DA= Densidad aparente; IAA=Índice de absorción de agua; ISA=Índice de solubilidad de agua.

5.2.2. Color Instrumental

La **tabla 13**, muestra los valores L^* , a^* , b^* y diferencia de color (ΔE) para cada una de las formulaciones evaluadas, el valor de L^* representa la luminosidad (negro 0/ Blanco 100), los valores de a^* y b^* corresponden a los colores (verde-/ rojo+) y (azul-/ amarillo +), respectivamente.

Para L^* los valores oscilan entre 41.36 ± 0.30 y 61.35 ± 1.36 , siendo el 97.56% explicado por el modelo matemático (**Ecuación L^***). Las interacciones entre grits de maíz, harinas de quinua y kiwicha germinadas mostraron efecto negativo en la luminosidad de las muestras, resultando en extruidos con tonos más oscuros. Por otro lado, el uso de grits de maíz tuvo efectos positivos en la luminosidad de las muestras.

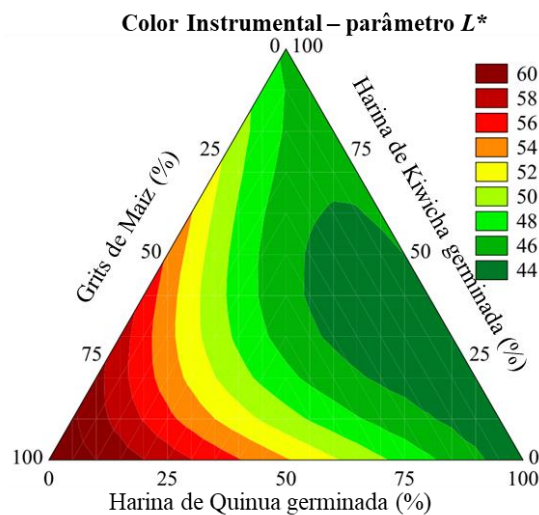
Tabla 13.
Dimensiones “L”, “a” y “b” del color de los extruidos

Formulaciones	Colorimetría			Estimación de color	(ΔE)
	L^*	a^*	b^*		
F1	61.35 ± 1.36	5.71 ± 0.25	36.52 ± 0.68		71.62
F2	41.36 ± 0.30	8.90 ± 0.05	21.35 ± 0.26		47.39
F3	45.40 ± 0.35	10.13 ± 0.15	24.49 ± 0.26		52.57
F4	52.40 ± 1.48	7.08 ± 0.19	23.21 ± 0.80		57.75
F5	52.88 ± 1.18	8.07 ± 0.14	26.67 ± 0.67		59.77
F6	45.13 ± 0.57	8.68 ± 0.07	22.99 ± 0.60		51.39
F7	55.31 ± 0.70	7.36 ± 0.16	26.05 ± 0.55		61.58
F8	44.55 ± 0.70	9.23 ± 0.17	22.09 ± 0.26		50.58
F9	45.37 ± 0.27	9.28 ± 0.25	23.77 ± 0.77		52.05
F10	44.12 ± 0.53	9.92 ± 0.16	23.33 ± 0.08		50.88
F11	44.00 ± 0.69	10.03 ± 0.18	23.38 ± 0.36		50.83
F12	45.30 ± 0.85	9.85 ± 0.14	23.35 ± 0.13		51.91

Nota. Medias de tres repeticiones \pm desviación estándar. Fuente: Representaciones visuales de NixTM Sensor de color disponible en. <https://www.nixsensor.com/free-color-convert/>

Como vemos existen diferencias significativas en cuanto a la luminosidad de las muestras, la F1 al contener 100% de grits de maiz, obtuvo una coloración amarilla bien acentada que muestra diferencia en cuanto a las demás formulaciones. Sin embargo, en las formulaciones con mayor % de Harina de quinua germinada, como se observa en la zona verde del gráfico de contorno (Figura 23), se obtuvo menores valores de L^* , lo cual influye a una coloración más opaca.

Figura 23.
Gráfico de contorno para el parámetro L^*



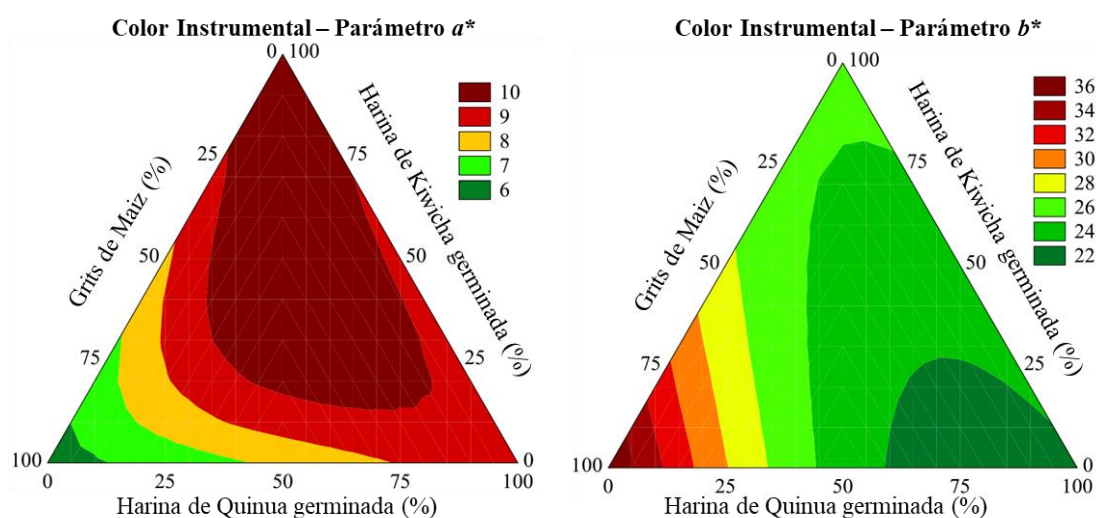
El parámetro a^* de color instrumental presentó valores entre 5.71 ± 0.25 y 10.13 ± 0.18 , según ANOVA el 97.26% de los resultados se explica con el modelo matemático presentado (**Ecuación a^***). El componente binario de los pseudocereales germinados tiene efecto negativo sobre el parámetro a^* , acercando el color del extruido al tono rojo. Por otro lado, el componente ternario de las tres variables independientes tuvo efectos positivos, siendo la harina de kiwicha germinada la que tiene mayor incidencia en maximizar el parámetro a^* .

El parámetro b^* osciló entre 21.35 ± 0.26 y 36.52 ± 0.68 , siendo el 98.4% según ANOVA explicado por la ecuación matemática (Ecuación b^*). Los componentes binarios grits de maíz con harina de quinua germinada y grits de maíz con harina de kiwicha germinada, promueven la disminuir del parámetro b^* , siendo lo más factible ya que se busca obtener tonos más amarillentos. Lo cual se obtiene con mayor incidencia de grits de maíz.

Tabla 14.
Modelo matemático para color instrumental de los extruidos

Parámetro	Modelo matemático	R ²	Pvalor
Instrumental color – parámetro L^*	$61.95x_1 + 42.44x_2 + 45.58x_3 - 136.12x_1x_2x_3$	97.56	<0.001
Instrumental color – parámetro a^*	$5.57x_1 + 8.89x_2 + 10.05x_3 - 3.31x_2x_3 + 54.53x_1x_2x_3$	97.26	<0.001
Instrumental color – parámetro b^*	$36.07x_1 + 21.66x_2 + 24.66x_3 - 23.05x_1x_2 - 15.77x_1x_3$	98.40	<0.001

Figura 24.
Gráfico de contorno para el parámetro a^ y b^* (Color instrumental)*



La combinación de estas diferentes tonalidades de amarillo y rojo producen diferentes tonos de marrón para cada uno de los tratamientos como se aprecia en la estimación de color (**Tabla 14**) y colores de los extruidos (**Anexo 10**). El color marrón observado se debe en parte a la caramelización de los carbohidratos del grano que ocurre durante el calentamiento de éste y a la formación de productos de reacción de Maillard que tienen propiedades antioxidantes (Fares y Menga, 2012). Al mirar los valores $L^*a^*b^*$ para cada formulación en la Tabla 13, podemos determinar objetivamente que las formulaciones son semejantes en color. Estos valores nos dicen que la F1 es mucho más clara y más amarilla que las demás formulaciones, debido a que presenta un 100% de grits de maíz, amarillo. Mientras que los extruidos que contenían niveles más altos de Harinas de pseudocereales germinados fueron más oscuros, siendo la harina de Kiwicha germinada la que tiene mejores efectos, ya que nos provee mayores valores de a^* y reduce el parámetro b^* , condiciones que se buscan más adelante en el extruido final.

En cuanto a la diferencia de color, Mokrzycki y Tatol (2011) mencionan que $0 < \Delta E < 1$ (el observador no nota la diferencia), $1 < \Delta E < 2$ (solo el observador experimentado puede notar la diferencia); $2 < \Delta E < 3,5$ (el observador inexperto también nota la diferencia), $3,5 < \Delta E < 5$ (se nota una clara diferencia de color) y $5 < \Delta E$ (el observador nota dos colores diferentes). De esta forma, se evidenció que la sustitución de ingredientes en la formulación resultó en un cambio de color que cualquier consumidor pudo observar, sobre todo si tomamos como estándar el F1 que tiene una diferencia de $9 < \Delta E < 25$ en comparación a las formulaciones restantes. Sin embargo, si solo se consideran las formulaciones

F3, F6, F8, F9, F10, F11 y F12 solo un observador experimentado podría notar la diferencia.

5.2.3. Contenido de PA, TSPC y ORAC en los Extruidos

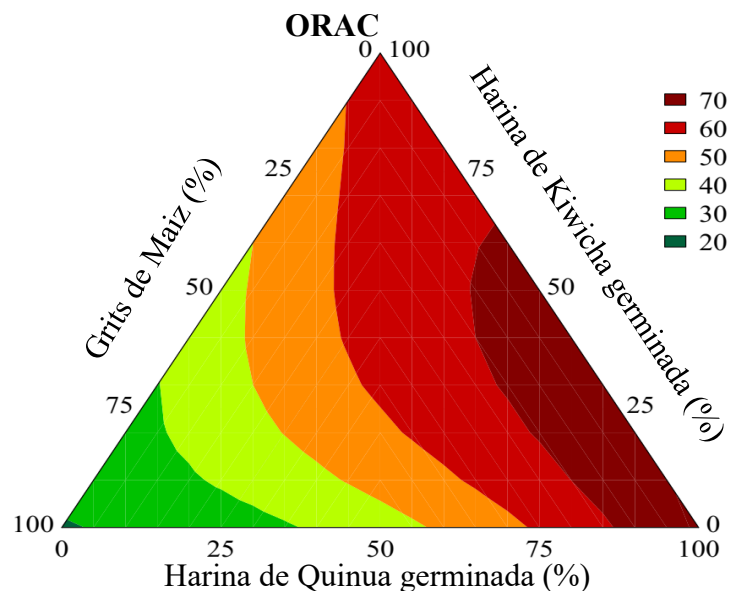
5.2.3.1. Determinación de la capacidad antioxidante de radicales de oxígeno (ORAC)

Los resultados de ORAC de las 12 formulaciones oscilan entre 19.1 y 71.52 $\mu\text{mol TE/g}$, aproximadamente (**Tabla 15**). El análisis estadístico permitió la elaboración de la ecuación N°8 que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es de la ecuación especial cúbica con $R^2 = 96.07\%$ y $P\text{valor} = <0.001$.

$$(\text{ORAC}) = 19.43x_1 + 71.27x_2 + 53.66x_3 - 37.62x_1x_2 + 225.86x_1x_2x_3 \dots \text{Ecuación N°8}$$

Figura 25.

Gráfico de contorno para ORAC



El modelo matemático para el contenido de capacidad antioxidante indicó que este parámetro es influenciado positivamente por las harinas de pseudocereales

germinados, todos los términos lineales fueron positivos, lo que indica que la adición de harinas de quinua y kiwicha germinada aumentó la capacidad antioxidante en los extruidos, en especial la mezcla ternaria ($\beta_{123}=225,86$) que incrementa su valor. De igual forma, el gráfico de contorno (**Figura 25**) destacó que los mayores valores de ORAC se obtienen en la zona guinda, que tiene mayor porcentaje de Harina de Quinua germinada y menor porcentaje de Grits de Maiz. Mientras que la Harina de Kiwicha germinada, tiene valores mayores a lo largo de sus límites.

El valor máximo de actividad antioxidante lo obtuvo la Formulación F2 (100% X₂) y F8(16.67X₁ + 66.67X₂ + 16.67X₃), con 71.52 y 60.91 $\mu\text{molTE/g}$ respectivamente, las cuales presentan mayor contenido de Harina de Quinua germinada. Estos valores son superiores al del extruido control (19.1 $\mu\text{mol TE/g}$), por lo tanto, la incorporación de harinas de pseudocereales germinados en la formulación de extruidos mejora significativamente su potencial, como se reporta en otros estudios. Por ejemplo, los valores de actividades antioxidante de harina de kiwicha extruida aumentó en 12% en comparación a harina cruda, con valores de 34,75 a 39,03 $\mu\text{mol TE/g}$ de muestra (peso seco), respectivamente (Milán-Carillo *et al.*, 2012). En contraste, la capacidad antioxidante se ve afectada por parámetros de extrusión como humedad de alimentación y temperatura en la última zona de extrusión, es así que Ortiz-Cruz *et al.*, (2020) indica que a condiciones optimas de extrusión (Humedad=30% y T=160°C) la harina de salvado de sorgo obtiene 14.12 $\mu\text{mol TE/g}$, confirmando el aumento de capacidad antioxidantes en el salvado de sorgo después de la extrusión.

Además, si evaluamos los pseudocereales, se observa que la Quinua y Kiwicha germinadas presentan mayores valores de ORAC a diferencia del grits de maiz,

presentando valores de 45.30, 35.44 y 23.47 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente. Es así, como se evidencia que el proceso de extrusión favorece el contenido de ORAC en el producto final ya que en la F2 (100% X_2) se obtuvo ORAC de 71.52 $\mu\text{mol TE/g}$, valor 57.88% mayor al de la materia prima inicial, Harina de Quinoa germinada. De igual forma para la F3 (100% X_3) donde se obtuvo 57.61 $\mu\text{mol TE/g}$ de ORAC, que vendría a ser 62.56% mayor al contenido de ORAC inicial de la materia prima, Harina de Kiwicha germinada.

En general, los extruidos de grits de maíz con adición de harinas de quinoa y kiwicha germinadas mostraron una capacidad antioxidante total de 33.88 A 71.51 $\mu\text{mol TE/g}$ (Tabla), lo cual quiere decir que el consumo de 100 g de extruido podría cubrir la ingesta diaria recomendada (3000 a 5000 $\mu\text{mol TE}$) de antioxidantes (USDA, 2010).

5.2.3.2.Extracción y Cuantificación de Compuestos Fenólicos Solubles Totales (TSPC)

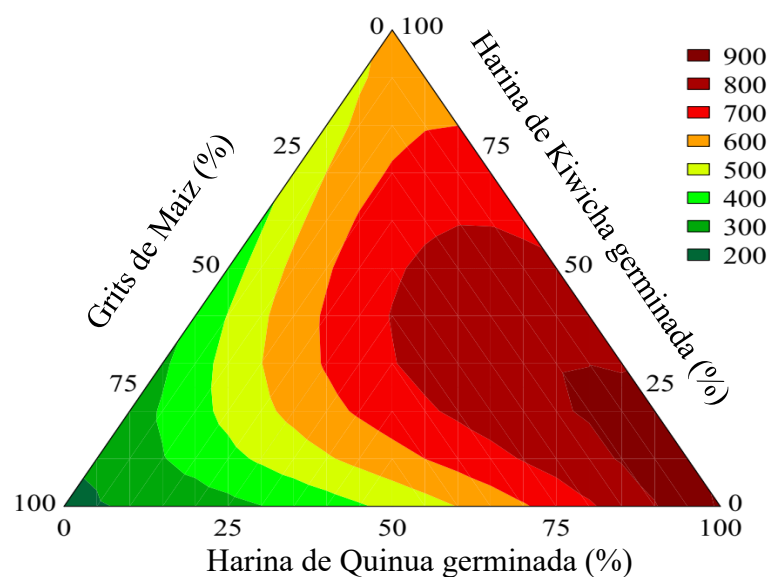
Los resultados de compuestos fenólicos totales (TSPC) de las 12 formulaciones oscilan entre 169 y 910 (mg GAE/100 g), aproximadamente. El valor máximo lo obtuvo la Formulación F2 (1000 X_2) y F8(16.67 X_1 +66.67 X_2 +16.67 X_3), con 910 y 813 (mg GAE/100 g) respectivamente, las cuales presentan mayor contenido de Harina de Quinoa germinada.

El análisis estadístico permitió la elaboración de la ecuación N°9 que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es el de la ecuación especial cúbica con $R^2 = 98.01\%$ y Pvalor = <0.001.

$$(\text{TSPC}) = 180x_1 + 911x_2 + 522x_3 - 485x_1x_2 + 5884x_1x_2x_3 \dots \text{Ecuación N°9}$$

Basado en el análisis estadístico, el modelo matemático indica que a mayor proporción de kiwicha germinada ($\beta_2=911$) el contenido de TSPC se verá en incremento, mientras que la mezcla ternaria ($\beta_{123}=-5884$) incide en la reducción de TSPC. Por su parte, la literatura relacionó el contenido de TSPC con la coloración de la cascara, Bresani (1993) encontró en sus análisis frijoles blancos, negros, marrones y rojos con valores de 2.3, 6.6, 7.8 y 12.6 mg/g equivalentes de catequina, respectivamente. Evidenciando que la presencia del antioxidante polifenólico catequina, incide en coloraciones de cascara más rojas como la Quinoa pasankalla roja, la cual tiene mayor influencia en la capacidad bioactiva del extruido. Así mismo, se informa el incremento de TPSPC para harinas de kiwicha (69.50 $\mu\text{mol TE/g}$) (Milán-Carillo *et al.*, 2012) y sorgo germinadas (14.12 $\mu\text{mol TE/g}$) (Ortiz-Cruz *et al.*, 2020), reportando la importancia de la optimización del proceso de extrusión en el aumento del contenido de compuestos fenólicos.

Figura 26.
Gráfico de contorno para TSPC



El gráfico de contorno (**Figura 26**) destacó que lo mayores valores de TSPC se obtienen en la zona guinda, que tiene mayor porcentaje de Harina de Quinoa germinada y menor porcentaje de Grits de Maiz. Además, si evaluamos los pseudocereales, se observa que la Quinoa germinada presenta mayores valores de TSPC, lo cual complementará la deficiencia de los grits de maiz, presentando valores de 525.50 y 171.11 (mg GAE/100 g), respectivamente. Es así, como se evidencia que el proceso de extrusión favorece el contenido de TSPC en el producto final ya que en la F2 (100%X2) se obtuvo TSPC de 910 (mg GAE/100 g), valor 1.73 veces mayor al de la materia prima inicial, Harina de Quinoa germinada. De igual forma para la F3 (100%x3) donde se obtuvo 557 (mg GAE/100 g) de TSPC, que vendría a ser 3.84 veces mayor al contenido de TSPC inicial de la materia prima, Harina de Kiwicha germinada.

En general, el proceso de extrusión aumenta el contenido de TSPC, al utilizar alta temperatura y presión conduce a la ruptura de la estructura de la pared celular, lo que podría contribuir a la liberación de compuestos fenólicos unidos a los componentes de la pared celular y a la extracción de compuestos fenólicos (Zhang *et al.*, 2018). Se ha informado que el proceso de extrusión puede cambiar los perfiles de fibra dietaria y aumentar el contenido de fibra dietaria soluble en los granos (Gajula, *et al.*, 2008). La degradación y solubilización de la fibra dietaria insoluble también puede resultar en el aumento de compuestos fenólicos libres de solventes extraíbles en los cereales.

Tabla 15

Efecto del reemplazo de grits de Maíz por harinas de pseudocereales germinadas en ORAC, TSPC y PA en Snacks

Formulaciones	Formulación de la masa			Análisis de Compuestos bioactivos y Capacidad Antioxidante		
	X1	X2	X3	ORAC	TSPC	PA
F1	100	0	0	19.10 ± 1.48	169 ± 29	0.31 ± 0.20
F2	0	100	0	71.52 ± 3.51	910 ± 55	0.453 ± 0.24
F3	0	0	100	57.61 ± 2.38	557 ± 12	0.924 ± 0.10
F4	50	50	0	33.88 ± 1.32	399 ± 9	0.429 ± 0.04
F5	50	0	50	34.07 ± 3.40	348 ± 17	0.675 ± 0.08
F6	0	50	50	49.13 ± 3.09	709 ± 24	0.675 ± 0.31
F7	66.67	16.67	16.67	38.97 ± 2.28	463 ± 13	0.28 ± 0.35
F8	16.67	66.67	16.67	60.91 ± 2.28	813 ± 45	0.438 ± 0.12
F9	16.67	16.67	66.67	48.25 ± 3.63	565 ± 19	0.683 ± 0.37
F10	33.33	33.33	33.33	54.19 ± 0.48	712 ± 22	0.016 ± 0.02
F11	33.33	33.33	33.33	51.31 ± 0.50	679 ± 24	0.015 ± 0.03
F12	33.33	33.33	33.33	51.10 ± 3.20	702 ± 5	0.018 ± 0.02

Nota. Medias de tres repeticiones ± desviación estándar; X₁= Grits de Maíz; X₂= Harina de Quinoa Germinada; X₃= Harina de Kiwicha germinada; Capacidad antioxidante = ORAC (µmol TE/g); Compuestos fenólicos totales= TSPC (mg GAE/100 g); Contenido de ácido fítico= PA (g/100g).

5.2.3.3. ÁCIDO FÍTICO (PA)

El ácido fítico (PA) (Myo-inositol hexafosfato) es considerado un anti-nutriente, ya que puede unirse a minerales (como el calcio, hierro y zinc) y a vitaminas (como la niacina) disminuyendo su absorción y aprovechamiento por el cuerpo humano (Martínez *et al.*, 2002).

Los resultados de PA de las 12 formulaciones se ven expresados en la Tabla 15, los valores oscilan entre 0.015 a 0.924 g/100g, aproximadamente. El ácido fítico actúa como quelante de micronutrientes, por ello requerimos una formulación con valor mínimo de PA, el cual se obtuvo en las Formulación F10, F11 Y F12, que son valores triplicados de la mezcla $33.33X_1+33.33X_2+33.33X_3$, con promedio de 0.0163 g/100g de ácido fítico.

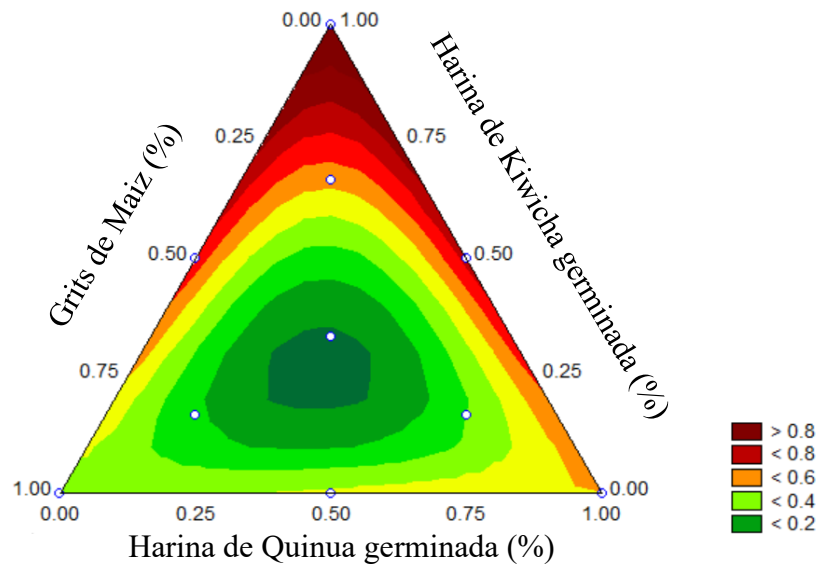
El análisis estadístico permitió la elaboración de la ecuación N°10 que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es el de la ecuación especial cúbica con $R^2 = 92.51\%$ y $P_{valor} = <0.001$.

$$(PA) = 0.35x_1 + 0.5x_2 + 0.98x_3 - 14.32x_1x_2x_3 \dots \text{Ecuación N°10}$$

El gráfico de contorno (**Figura 27**) destacó que lo mayores valores de PA se obtienen en la zona guinda, que tiene mayor porcentaje de Harina de Kiwicha germinada. Mientras que los valores que buscamos son los que se encuentran en la zona verde al centro del gráfico, que indica igual proporción de las tres variables independientes, presentando los mínimos valores de ácido fítico. Los modelos matemáticos indican que el ingrediente de mayor contenido Pa es la kiwicha germinada ($\beta_3 = 0.98$), mientras que la mezcla ternaria ($\beta_{123} = -14.32$)

promueve una visible disminución de contenido de PA, favoreciendo la ingesta de vitaminas y minerales tras el consumo de los extruidos.

Figura 27.
Gráfico de contorno para Ácido fítico (PA)



Así mismo, autores han evidenciado que el proceso de extrusión reduce significativamente el contenido de ácido fítico, Kaur *et al.* (2015) encontraron que el contenido fenólico en 4 salvados de cereales (trigo, arroz, cebada y avena) mostró una reducción sustancial después de la extrusión junto con otros antinutrientes como el ácido fítico y los oxalatos. Este hecho se debe, en mayor parte, a la labilidad de este compuesto en presencia de altas temperaturas (Kaur *et al.*, 2015). En un estudio de Alonso *et al.*, (2000), la extrusión de habas y frijoles dio como resultado la reducción del contenido de PA, concluyendo que la extrusión de leguminosas convierte PA en sus formas más bajas de fosfato. Sin embargo, la extrusión de salvados de leguminosas, avena, arroz y trigo no afectó el contenido total de fitato de estos cereales (Feizollahi *et al.*, 2021)

5.3. Análisis numérico y validación de modelos matemático del extruido

Se desarrolló la evaluación de las formulaciones de extruidos de maíz para obtener mayor incorporación de harinas de quinua y kiwicha germinadas, con el fin de que dichas harinas mejoren las características nutricionales del extruido, aporten mayor contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Como las tres variables independientes, presentaron resultados diferentes para los atributos tecnológicos y nutricionales, se decidió mantener estas variables en rango.

Desde un punto de vista práctico, la evaluación multirespuesta se obtuvieron mediante la aplicación de una función de deseabilidad (D) en la que se seleccionaron los siguientes criterios: para las variables dependientes estadísticamente significativas ($R^2 > 0.75$); se estableció importancia entre 1 y 5, siendo 1 menos importante y 5 más importante. El objetivo se definió como “maximizar” (IE, Parámetro a^* , ISA, ORAC, TPC), “dentro del rango” (Parámetro L^*) y “minimizar” (DA, WS, Parámetro b^* y PA) como se presenta en la **tabla 16**.

Luego de someter los resultados de las 10 variables dependientes significativas de las 12 formulaciones de snack extruido de grits de maíz y harina de quinua y kiwicha germinadas, al software Design Expert versión. 06, nos da como resultado la formulación más apropiada y los valores tentativos de sus variables dependientes. Así mismo, se obtuvo una deseabilidad de 0.794, como resultados de la mejor combinación de las variables independientes del proceso.

Tabla 16.*Variables dependientes e independientes para la optimización del snack final*

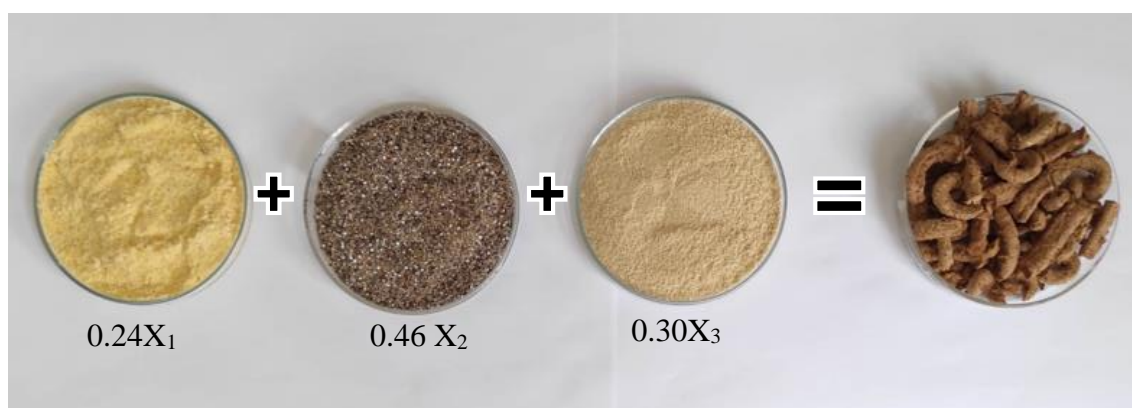
Nombre	Valor	Límite inferior	Límite superior	Importancia	Valores tentativos
Variables Independientes					
Grits de Maíz	en el rango	0	1	3	0.24
Harina de Quinoa germinada	en el rango	0	1	3	0.46
Harina de kiwicha germinada	en el rango	0	1	3	0.30
Variables Dependientes significativas					
IE	maximizar	0.99722	2.10278	1	1.15796
DA	minimizar	0.19397	0.51578	1	0.347524
WS	minimizar	33.5093	331.656	5	38.8254
L*	en el rango	41.3567	61.35	3	43.6018
a*	maximizar	5.71	10.1267	5	9.84303
b*	minimizar	21.3533	36.5167	5	22.3602
ISA	maximizar	9.54129	36.9589	1	22.2933
ORAC	maximizar	19.0983	71.5163	5	56.6702
TSPC	maximizar	168.69	910.431	5	758.05
PA	minimizar	0.01483	0.924271	5	0.13236
Deseabilidad = 0.793947					

Tabla 17*Mejor formulación del extruido final*

Grits de Maíz (X ₁)	Harina de Quinoa germinada (X ₂)	Harina de kiwicha germinada (X ₃)
24%	46%	30%

Figura 28

Formulación del extruido final



5.4. Caracterización química del extruido resultante

Se analizó la composición química de los extruidos, control (100% grits de maíz) y OPM (24% grits de maíz + 46% H. quinua germinada+30% H. kiwicha germinada), los cuales se presentan en las **Tabla 18**. El análisis comparativo nos permitió indicar que la formulación de extruido resultante de la investigación (OPM) tiene características químicas superiores al extruido control, se observa incremento de Fibra dietaria (9.21%), proteína (84.48 %), compuestos fenólicos soluble totales (1: 2.07), capacidad antioxidante (1: 2.49) y GABA (1:5.74), con respecto a la formulación control (Control: OPM).

Además, al evaluar la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos solubles totales del extruido OPM, observamos que a partir de las harinas germinadas el proceso de extrusión provoca un incremento favorable en el contenido funcional. Lo cual fue demostrado por Basilio-Atencio y sus colegas (2020), que indican que a parámetros de extrusión de 18 % de humedad y 175°C se evidencia un incremento de 47.4% de capacidad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox/g}$) y 20.3% de compuestos fenólicos totales ($\text{mg GAE}/100 \text{ g}$) en extruidos de kiwicha, en comparación a kiwicha sin extruir, lo que podría estar relacionado

con la liberación de antioxidantes y compuestos fenólicos ligados de la matriz alimentaria causada por extrusión (Ramos Diaz *et al.*, 2017). Así mismo se reportó incremento en la extrusión para *A. hypochondriacus*, de 56.6 a 69.50 GAE/100 g (Milán-Carrillo *et al.*, 2012).

Tabla 18

Composición química del extruido de grits de maíz y harinas de quinua y kiwicha germinadas resultante.

Parámetros	Control	OPM
Humedad (g/100 g)	3.33±0.04	4.99±0.13
Almidón (g/100 g dw)	71.14±0.12	48.82±0.90
Fibra dietaria total (%)	9.88±0.14	10.79±1.66
Fibra dietaria insoluble (g/100 g dw)	6.87±0.18	7.38±0.26
Fibra dietaria soluble (g/100 g dw)	3.02±0.04	3.41±1.40
Proteína (g/100 g dw)	7.22±0.05	13.32±0.08
Grasa (g/100 g dw)	3.95±0.02	2.91±0.21
Ceniza g/100 g dw)	0.85±0.09	2±0.26
PA (g/100 g dw)	0.36±0.03	0.22±0.03
TSPC (mg GAE/100 g)	196.29±4.97	406.09±25.44
ORAC (µmol TE/g)	19.85±2.60	49.47±8.34
GABA (mg/100 g)	5.19±0.18	29.80±0.08

Nota. Control= 100% grits de maíz; OPM= 24% grits de maíz + 46% H. quinua germinada+30% H. kiwicha germinada.

Durante el proceso de extrusión el almidón sufre una degradación molecular por la temperatura, humedad y velocidad del tornillo del extrusor, obteniéndose

materiales de menor peso molecular, tales como las dextrinas (Witczak *et al.*, 2015). En el estudio, el contenido de almidón del extruido decreció tras la incorporación de pseudocereales, obteniendo una reducción del 31.4%, favoreciendo la digestibilidad potencial del extruido. Es así que autores previos afirman que todos los extruidos elaborados con la inclusión de pseudocereales muestran una reducción significativa en los carbohidratos fácilmente digeribles y los carbohidratos de digestión lenta en comparación con el producto de control durante el perfil glucémico predictivo *in vitro*. Lo cual indica el uso potencial de pseudocereales, para obtener productos extruidos con índice glucémico reducido (Brennan *et al.*, 2012). De esta manera, se evidencia que el uso de harina de quinua y kiwicha germinadas, favorecen en la composición química de los extruidos.

5.5. Evaluación de intención de compra del extruido final

La formulación del extruido resultante se sometió a 30 panelistas semientrenados para evaluar la intención de compra del consumidor, con una escala hedónica de 5 puntos, que va desde con certeza no lo compraría a con certeza lo compraría. Las pruebas se realizaron en la planta piloto agroindustrial.

Figura 29
Cabinas de Pruebas organolépticas



Tabla 19.*Resultado de la encuesta para conocer la intención de compra*

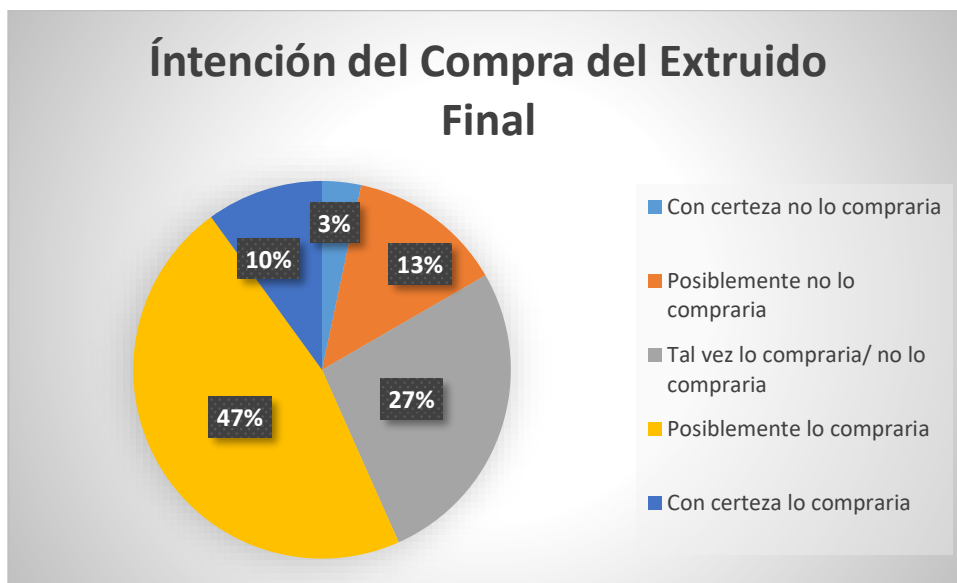
	1	2	3	4	5
Intención de Compra	1	4	8	14	3

La evaluación de intención de compra nos arrojó buenos resultados, el 10% con certeza lo compraría, mientras que el 47% marcó que posiblemente lo compraría y el 43% restante comentaron que la razón principal de su decisión, es porque le falta adicionar un saborizante al extruido, para contrarrestar el sabor de la quinua.

La decisión de esta última fracción de panelistas se relaciona a lo indicado por Carpenter *et al.* (2002), quienes indican la importancia del sabor en la aceptabilidad de los alimentos, para reconocer la aceptación o rechazo del consumidor. Extruidos de quinua y maíz morado, fueron sometidos a pruebas organolépticas, donde indicaron sabor amargo, quemado e insípido (sin sabor) para el 21.79, 21.18 y 35.10% de los jueces, respectivamente (Galindo-Lujan, 2018). Mientras que la formulación de un extruido de quinua y maíz morado (70:30) con cobertura dulce obtuvo un porcentaje de aceptación mayor del 50% (Repo-Carrasco *et al.*, 2011). Con lo cual podemos asumir que los consumidores tienen preferencias por alimentos dulces o salados, sin embargo, relacionado a los nuevos hábitos de consumos, su decisión también está relacionada al contenido nutricional. Es así que el presente estudio, deja la posibilidad de una nueva investigación donde se evalúen como variables independientes la concentración de algún saborizantes o zumo de fruta, para mejorar la aceptabilidad del producto en el público en general.

En general, se concluye que el extruido resultante del presente estudio tendría éxito en el mercado, ya que en la actualidad la población no solo busca un alimento rico, además busca que tenga altos estándares nutricionales que aporten a su dieta diaria, oportunidad para ingresar al mercado un extruido de grits de maíz con harinas de quinua y kiwicha germinadas, con elevado potencial nutricional.

Figura 30.
Resultados de las pruebas para intención de compra



VI. CONCLUSIONES

- Se afirma la hipótesis planteada en la investigación, la formulación de 24% grits de maíz, 46% de harina de quinua germinada y 30% de harina de kiwicha germinadas se encuentran dentro de la proporción planteada y presenta las características tecnológicas y fisicoquímicas más apropiadas.
- Se concluye que los grits de maíz aportan características tecnológicas apropiadas al extruido, no obstante, debido a su déficit proteico, la adición de harinas de quinua y kiwicha germinadas resultaron adecuadas para mejorar el contenido químico de los extruidos, siendo la harina de quinua germinada la principal variable del incremento de contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y disminución de ácido fítico, seguido de la harina de kiwicha germinada.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el efecto de otras variables independientes como concentración de endulzantes o saborizante durante el proceso de extrusión.
- Se recomienda evaluar las variaciones tecnológicas del extruido tras el uso de extrusores de diferente tipo de husillo.
- Se recomienda estudiar el efecto del uso de empaques en el extruido, sobre las propiedades tecnológicas del extruido, y determinar su vida útil.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, M., Gonzales, C. y Condezo-Hoyos, L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidate stress markers in cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*. 56: 410-417.
- ACC International (2010). Method 32-21.01. Insoluble and soluble dietary fibre in oat products enzymatic-gravimetric method. 11th Ed. Saint Paul, Minnesota: Association of American Cereal Chemists;
- Aguilar, F. E. J. y Romero, V. M. (2018). Actividad antioxidante del germinado de la semilla de cuatro variedades de *Amaranthus Caudatus* l. "Kiwicha". *Investigación*, 26(2), 99 -. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.2.89>
- Aguilar, J., Miano, A.C., Obregón, J., Soriano-Colchado, J. y Barraza-Jáuregui, G. (2019). Malting process as an alternative to obtain high nutritional quality quinoa flour. *Journal Cereal Science* 90.
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., y Gupta, K. (2015). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. doi:10.1080/10408398.2013.779568
- Alonso, R., Orue, E., Zabalza, M. J., Grant, G., y Marzo, F. (2000). Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(3), 397-403.

- Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt EK, Gallagher E (2010) polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem* 119:770–778. doi:10.1016/j.foodchem.2009.07.032 12.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th edition.
- Aristegui, Maquinaria (2020). Método de extrusión su proceso y aplicación. <https://www.aristegui.info/metodo-de-extrusion-su-proceso-y-aplicacion/>
- Aro A.J.M. y Calsin, C.M. (2019). Elaboración de una mezcla alimenticia a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), cebada (*Hordeum vulgare* L.) maiz (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* L. Merr) por proceso de cocción - extrusión. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(4), 293-303. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.506>
- Aviles, D. (2019). Evaluación nutricional de galletas enriquecidas con harina de quinua negra (*chenopodium petiolare kunth*) germinada [TESIS PROFESIONAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. Repositorio UNAP http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11664/Aviles_Deza_Jos_e_Rosendo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Basilio-Atencio, J., Condezo-Hoyos, L., y Repo-Carrasco-Valencia, R. (2020). Effect of extrusion cooking on the physical-chemical properties of whole kiwicha (*Amaranthus caudatus* L) flour variety centenario: Process optimization. *LWT*, 109426. doi:10.1016/j.lwt.2020.109426.

- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., y Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11(2), 421.
- Beniwal, S. K., Devi, A., y Sindhu, R. (2019). Effect of grain processing on nutritional and physico-chemical, functional and pasting properties of amaranth and quinoa flours.
- Bewley, D. J., Bradford, K. J., Hilhorst, H.W.M. y Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and Dormancy*, third ed. Springer, Londres.
- Bhathal, S.; Kaur, N.; Gill, J. Efecto del procesamiento sobre la composición nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *agricola Res. J.* 2017 , 54 , 90–93. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Bravo, M., Reyna. R., Gómez, S. P., Huapaya, M. (2013). Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*chenopodium Quinoa*) y kiwicha (*Amarantus caudatus*). *Revista Peruana de Química e Ingeniería química*, 16(1), 54-60.
- Brennan, MA, Menard, C., Roudaut, G. y Brennan, CS (2012). Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. 64(5), 392–398. doi:10.1002/star.201100150.
- Bressani, R.; De Martell, E. and Godínez, C. (1993). “Protein quality evaluation of amaranth in adult humans”.. *Plant Foods for Human Nutrition*. Vol. 43, núm. 2. Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Burgos, V. y Armada, M. (2015) Caracterización y valor nutricional de productos precocidos de semillas de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Ciencia y tecnología de los alimentos*, 35, 531-538.

- Calvimontes V. A.; Cortez V., G.; Huaranga J. A. (2014). Elaboración de un snack expandido de haba (*Vicia faba* L.). 75 (1): 218 – 226. 75 (1): 218 – 226
- Carpenter, R.; Lyon, D.; Hasdell, T. 2002. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Zaragoza, España. Acribia. 224 p.
- Carrillo, W., Vilcacundo, R. y Carpio, C. (2015). Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 18-22, ISSN 1667-8052
- Carvalho-Barreto, G., Vanderlei, F., Marques-Vanderlei, L. y Madeiro-Leite, A. (2016). Impact of malnutrition on cardiac autonomic modulation in children. *Journal de Pediatria*, 92 (6), 638-644.
- Casanave, Zevallos. y Ruiz, Chocano. (2022) Evaluación del aporte nutricional de los granos germinados y sin germinar de quinua, kiwicha y cañihua. [Universidad Femenina del Sagrado Corazón] Escuela de Posgrado Programa Académico de Maestría en Nutrición y Dietética. Lima-Perú, 120pp.
- Cázares-Sánchez, Esmeralda, Chávez-Servia, José L., Salinas-Moreno, Yolanda, Castillo-González, Fernando, y Ramírez-Vallejo, Porfirio. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49(1), 15-30. Recuperado en 24 de julio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100002&lng=es&tlng=es.
- Ceyhun, S. A. y Sanlier, N. (2019). Una planta de nueva generación para la cocina convencional: quinua (*Chenopodium Quinoa Willd.*). *Trends in Food Science & Technology*, 86, 51-58. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.039.
- Chamorro Gómez, R., Repo Carrasco, R., Ccapa Ramírez, K., y Quispe Jacobo, F. (2018). Composición química y compuestos bioactivos de treinta accesiones de kiwicha

(*Amaranthus caudatus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 362-374.

Chamorro-Gómez, E. (2018) Valor nutricional y compuestos bioactivos de 30 accesiones de kiwicha (*Amaranthus Caudatus* l.) del INIA-PERÚ. [Tesis de maestría; UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. Repositorio La Molina:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3081/chamorro-gomez-ruth-esther.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Chauhan, A., Saxena, D. C., y Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2), 939-945.

Chávez-Jáuregui, R. N., Silva, M. E. y Arêas, J. A. G. (2000). Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Food Science*, 6 (65), 1009-1015. 9.

Chinma, C. E., Adewuyi, O., y Abu, J. O. (2009). Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, 42(8), 1004-1009.

Choque, T. y Molina, D. (2018). Influencia de los métodos de secado en bandejas y en vacío sobre el germinado de quinua (*chenopodium quinoa* willd.) variedad pasankalla. [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA] 253 pp.

Cora, H. y De la cruz, J. (2019). Evaluación del diseño de la extrusora prototipo en el proceso de extrusión quinua (*chenopodium Quinoa* Willd) de la empresa Foods Peru Andinos S.R.L.

- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E. y Rosell, C. M. (2019). Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. *Food Research International*, 121, 933-939. doi: 10.1016/j.foodres.2019.01.022.
- Covarrubias, N., Sandoval, S., Vera, J., Núñez, C., Alfaro, C. y Lutz, M. (2020). Contenido de humedad, proteínas y minerales en diez variedades de quínoa chilena cultivadas en distintas zonas geográficas. *Revista chilena de nutrición*, 47(5), 730-737. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182020000500730>
- Cuggino, M. I. (2008). Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a base de maíz-leguminosa (Doctoral dissertation).
- Daniels, S.R y Hassink, S.G (2015, Julio) Comité de nutrición. El papel de la pediatría en prevención primaria de obesidad. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26122812
- Darwish, A. M. G., Al-Jumayi, H. A. O., y Elhendy, H. A. (2020). Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*Cheopodium quinoa* Willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague-Dawley male albino rats. *Cereal Chemistry*. doi:10.1002/cche.10366
- De Ruiz, A. C., y Bressani, R. (1990). Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal chemistry*, 67(6), 519-522.
- Del Rio, D.; Rodriguez-Mateos, A.; Spencer, J. P.E.; Tognolini, M.;Borges, G. y Crozier, A. (2013). Antioxidants & Redox Signaling, 1818-1892.<http://doi.org/10.1089/ars.2012.4581>
- Durán-Hernández, D., G. F. Gutiérrez-Hernández, J. L. Arellano-Vázquez, E. García-Ramírez, y J. Virgen-Vargas. (2011). Caracterización molecular y germinación

- de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomy Mesoamerican*, 22: 11-20.
- El-Samahy, S. K., El-Hady, E. A., Habiba, R. A., y Moussa-Ayoub, T. E. (2007). Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9, 136-147.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013) Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>.
- FAO (s.f). Evaluación de la calidad de la semilla. <https://www.fao.org/3/Q2180S/Q2180S12.htm>. Consultado el 13 de agosto del 2022.
- Fares, C. y Menga, V. (2012) “Efectos del tostado en el perfil de carbohidratos y las propiedades antioxidantes de la harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) añadida al trigo duro”, *Food Chemistry*, vol. 131, núm. 4, págs. 1140-1148. [doi:10.1016/j.foodchem.2011.09.080](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.080)
- Feizollahi, E., Mirmahdi, R. S., Zoghi, A., Zijlstra, R. T., Roopesh, M. S., y Vasanthan, T. (2021). Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products. *Food Research International*, 143, 110284. [doi:10.1016/j.foodres.2021.110284](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110284)
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K., y Herald, T. J. (2008). Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: dietary biber profile and sensory characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4). S173-9.
- Galindo-Lujan (2018). “NIVEL DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE EXTRUIDOS DE QUINUA CON MAÍZ MORADO COMO UNA ALTERNATIVA DE

ALIMENTACIÓN SALUDABLE. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA, 108 pp.

- García-Valle, Daniel E., Agama-Acevedo, Edith, Nunez-Santiago, ~ Maria del Carmen, Alvarez-Ramirez, Jose, y Bello-Perez, Luis A. (2021). Extrusion pregelatinization improves texture, viscoelasticity and in vitro starch digestibility of mango and amaranth flours. *Journal of Functional Foods*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104441>.
- Geren, H., Kavut, Y. T., Demiroğlu, Topçu, G., Ekren, S., y İşıpliler, D. (2014). Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirilen kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da farklı ekim zamanlarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkileri. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*. 51 (3), 297-305. <https://doi.org/10.20289/euzfd.46525>
- Gómez, M. y Huapaya, H. (2013) Estudio químico y nutricional de granos andinos germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*) *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.* Vol. 16 (01). Págs. 54-60
- Gwartz, J. A. y García-Casal, M. N. (2013). Procesamiento de harina de maíz y productos alimenticios de harina de maíz. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312 (1), 66–75. doi: 10.1111 / nyas.12299.
- Harper, J. M. (2019). *Extrusion of foods*. CRC press. 220pp. <https://doi.org/10.1201/9780429290428>
- He, L., Xu, H., Liu, X., He, W., Yuan, F., Hou, Z., y Gao, Y. (2011). Identification of phenolic compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) seed residues and investigation into their antioxidant capacities by HPLC–ABTS+ assay. *Food Research International*, 44(5), 1161-1167.

- Hernández L., A. y. (1997). Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia*. *Agrociencia*, 31(4), 397-403.
- Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E. y Jiménez, V. (2006). Germinación y crecimiento de la planta (en línea). Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 1.^a edición. 124 pp.
- Hinostroza, C (2020). Efecto de la germinación de quinua y kiwicha en el contenido de fenolicos totales, betalainas, vitamina c y actividad antioxidante. Tesis para titulación [Universidad Nacional del centro del Perú] Huancayo-Perú, 89 pp.
- Hu, H., Liu, H. y Liu, F. (2018) Seed germination of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars responds differently to the stress of salt type and concentration. *Ind. Crops Prod.* 123, 254–261.
- Huang, Y.L., Ma, Y. S., Tsai, Y. H. y Chang, S. K. C. (2019). In vitro hypoglycemic, cholesterol-lowering and fermentation capacities of fiber-rich orange pomace as affected by extrusion, *International Journal of Biological Macromolecules*. 124, 796-801. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.24.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). (2012). Quinua INIA 415 Pasankalla variedad para agroindustria, exportación y consumo nacional. https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/quinua/INIA_415.pdf.
- ISI (International Starch Institute). (2013). Technical memorandum on corn starch. International Starch Institute A/S, Agro Food Park 13, DK-8200 Aarhus N, Denmark. www.starch.dk.

- ISTA (International Seed Testing Association). (2016). International Rules for Seed Testing. 1° edición, 1-10.
- Jan, R., Saxena, D. C., y Singh, S. (2017). Effect of germination on nutritional, functional, pasting, and microstructural properties of chenopodium (*Chenopodium album*) flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12959.
- Jin, XC y Ong, SH (1995). Un método práctico para estimar la dimensión fractal. *Cartas de reconocimiento de patrones*, 16 (5), 457-464.
- Jing, Y., y Chi, Y. J. (2013). Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*, 138(2), 884-889.
- Jozinovic, A., Šubari, D., Ackar, D., Babi, J., y Milicevic, B. (2016). Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *J. Food Eng.* 172, 31–37. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.04.012
- Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Sykut-Domanska, E. (2013). Effect of fiber-protein additions and process parameters on microstructure of corn extrudates. *Journal of cereal science*, 58, 488-494.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B. y Dar, B.N. (2015). “Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans”. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3): 1670–1676
- Laus, M. N., Cataldi, M. P., Robbe, C., D’Ambrosio, T., Amodio, M. L., Colelli, G., ... Pastore, D. (2017). Antioxidant capacity, phenolic and vitamin C contents of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by sprouting and storage conditions. *Italian Journal of Agronomy*, 12(1). doi:10.4081/ija.2017.816
- Lázaro, C. y Sotelo, H. (2017). Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (*zea mays*), harina de quinua (*chenopodium quinoa*) y harina

- de garbanzo (*cicer arietinum*) obtenido mediante extrusión. Tesis para titulación [Universidad Nacional del Santa]. 131 pp.
- Le, L.; Gong, X.; An, Q.; Xiang, D.; Zou, L.; Peng, L.; Wu, X.; Tan, M.; Nie, Z.; Wu, Q.; et al. (2021). Brotes de quinua como potencial fuente vegetal: Composición de nutrientes y contenido funcional de diferentes variedades de brotes de quinua. *Química alimentaria* 357, 129752. [[Google Scholar](#)]
- Leguía, S. (2018). Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y contenido proteico de tres variedades de quinua germinada (*chenopodium quinoa* Willd). Tesis, Apurímac, Andahuaylas.
- Li, Ming, Hasjim, Jovin, Xie, Fengwei, Halley, Peter J., y Gilbert, Robert G. (2014). Shear degradation of molecular, crystalline, and granular structures of starch during extrusion. 66(7-8), 595-605. 10.1002/star.201300201
- Lopes-da-Silva, M. F., Santos, L. y Choupina, A. (2015). A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(1), 03-10. Recuperado em 06 de fevereiro de 2021, de http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002&lng=pt&tlng=pt.
- Manrique, Guillermo Daniel; Carciochi, Ramiro Ariel; Dimitrov, K.; Changes in phenolic composition and antioxidant activity during germination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.); Universiti Putra Malaysia; *International Food Research Journal*; 21; 2; 2014; 767-773
- Martínez B., Ibáñez M. y Rincón F. (2002) Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *ALAN*, 52, 219.231.
- Martínez, G., Mackenzie, J., y Bermúdez, A. S. (2012). Determinación de parámetros para la elaboración de un expandido de maíz. *Alimentos hoy*, 5(5), 16-19.

- Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M. C., Rodriguez-Martin, N. M., Millan, F. y Montserrat-de la Paz, S. (2019). Valor nutracéutico de la kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Functional Foods*, 103735. doi: 10.1016 / j.jff.2019.103735
- McKie, V.A. y McCleary, B.V. (2019). A Novel and Rapid Colorimetric Method for Measuring Total Phosphorus and Phytic Acid in Foods and Animal Feeds. *J. AOAC Int.* 99, 738–743.
- Méndez-Montevalvo, G., Solorza-Feria, J., del Valle, M. V., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O., y Bello-Pérez, L. A. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(3), 267-274.
- Meza, S. L. R., Sinnecker, P., Schmiele, M., Massaretto, I. L., Chang, Y. K. y Marquez, U. M. L. (2019). Production of innovative gluten-free breakfast cereals based on red and black rice by extrusion processing technology. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4855-4866.
- Milán-Carrillo, J., Montoya-Rodríguez, A., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, X., y Reyes-Moreno, C. (2012). Optimization of extrusion process for producing high antioxidant instant Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) flour using response surface methodology. *Applied Mathematics*, 1516–1525. <https://doi.org/10.4236/am.2012.330211> 03.
- Milán-Carrillo, J., Montoya-Rodríguez, A., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, X. y Reyes-Moreno, C. (2012). Optimización del proceso de extrusión para producir harina instantánea de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) con alto contenido de antioxidantes utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Scientific Research* 10 A(3):24126 DOI: [10.4236/am.2012.330211](https://doi.org/10.4236/am.2012.330211).

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riegos). (2020). Plan Nacional de Cultivos: Campaña Agrícola 2019-2020. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/471867/Plan_Nacional_de_Cultivos_2019_2020b.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri]. (2017). Sistema Integrado de Estadística Agraria: Anuario Estadístico de producción agrícola 2017. <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarioestadistico>.
- Mokrzycki, W. S., y Tatol, M. (2011). Diferencia de color Δ Encuesta EA. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383-411.
- Montoya-Rodríguez, M. A., Gómez-Favela, C., Reyes-Moreno, J., Milán-Carrillo, E. y González, M. (2015). Identificación de secuencias de péptidos bioactivos de proteínas de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y su papel potencial en la prevención de enfermedades crónicas. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 139-158.
- Morita, N., Park, S. H. y Maeda, T. (2013). Germinated quinoa for functional foods. In N. Morita, P. van Hung, y T. Maeda (Eds.), *Advances in cereal and pseudocereal research for functional foods*. New York: Nova Science Publishers Inc. pp 93e109.
- Mostacero, E.; Huaranga, A. y Villacorta, E. (2006). Cultivo de la kiwicha. Boletín técnico N°4. Biodiversidad y Desarrollo Agrario (BIDA); Aide au Développement Gembloux (ADG) y la Cooperación Belga al Desarrollo (.eb).
- Muñoz-Pabon K.S., Parra-Polanco A.S., Roa-Acosta D.F., Hoyos-Concha J.L. y Bravo-Gomez J.E. (2022) Physical and Paste Properties Comparison of Four Snacks Produced by High Protein Quinoa Flour Extrusion Cooking. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:852224. doi: 10.3389/fsufs.2022.852224

- Najdi Hejazi, S., Orsat, V., Azadi, B., y Kubow, S. (2016). Improvement of the in vitro protein digestibility of amaranth grain through optimization of the malting process. *Journal of Cereal Science*, 68, 59–65. doi:10.1016/j.jcs.2015.11.007
- Nargis, Y., Fiza, N., Rehana, S., Hafiza, A. y Adnan, S. (2017). Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6): 2165-2168
- Navruz-Varli, S. y Sanlier, N. (2016). Beneficios nutricionales y para la salud de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376. doi: 10.1016 / j.jcs.2016.05.004.
- Neder, D., Amaya, C. A., Quintero, A., Pérez, E., De J Alanís, M. G., Báez, J. G., Jiménez, J. A. (2016). Physicochemical changes and resistant-starch content of extruded cornstarch with and without storage at refrigerator temperatures. *Molecules*, 21(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/molecules21081064>
- Nikmaram, N., Garavand, F., Elhamirad, A., Beiraghi-toosi, S., y Goli-movahhed, G. (2015). Production of high quality expanded corn extrudates containing sesame seed using response surface methodology. Quality assurance and safety of crops & Foods, 7(5), 713-720.
- Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., y Shingiro, J.-B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science & Nutrition*. doi:10.1002/fsn3.846
- Nowak, V., Du, J. y Charrondière, U.R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193:47-54.
- Oliveira, L. C., Rosell, C. M., y Steel, C. J. (2015). Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch

- transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(6), 1504-1514.
- Oliveira, L. C., Schmiele, M. y 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.
- Ortiz-Cruz, R., Ramírez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A., Torres-Chávez, P., Sánchez-Machado, D., Montaña-Leyva, B., López-Cervantes, J. y Gutiérrez-Dorado, R. (2020) Effect of Extrusion Processing Conditions on the Phenolic Compound Content and Antioxidant Capacity of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bran. *Plant Foods for Human Nutrition* volume 75, pages252–257.
- Pachari, V.E., Alca, J.J., Rondón, S.G., Callejas Campioni, N. y Jachmanián, A.I (2019). Comparison of the lipid profile and tocopherol content of four Peruvian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars (Amarilla de Manganí, Blanca de Juli, INIA 415, Negra collana) during germination. *Journal Cereal Science* 88, 132-137.
- Paucar-Menacho LM, Simpalo-López WD, Castillo-ZhengyuJin WE, Esquivel-Paredes LJ, Martínez-Villaluenga C. (2022) Improving Nutritional and Health Benefits of Biscuits by Optimizing Formulations Based on Sprouted Pseudocereal Grains. *Foods*. 2022; 11(11):1533. <https://doi.org/10.3390/foods11111533>
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J. y Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (*Amaranthus caudatus*) using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 76, 245-252.

- Paucar-Menacho, L., Martínez-Villaluenga, C., Dueñas, M., Frias, J. y Peñas, E. (2018). Response surface optimisation of germination conditions to improve the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity in quinoa. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 516-524.
- Perales-Sánchez, J. X. K., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M. A., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Valdez-Ortiz, A., y Gutiérrez-Dorado, R. (2014). Increasing the Antioxidant Activity, Total Phenolic and Flavonoid Contents by Optimizing the Germination Conditions of Amaranth Seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(3), 196–202. doi:10.1007/s11130-014-0430-0
- Pérez, C. y Luzuriaga, O. (2010). Caracterización de la harina de semillas de amaranto *Amaranthus Caudatus* para elaboración de pan en mezclas con harina de trigo. *Química Central* (2010). *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador*. (01):61-70.
- Pérez-Ramos, K., Elías, P.C. y Delgado, S.V. (2017). High-protein snack: an extruded from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>
- Philipp, C., Oey, I., Silcock, P., Beck, S. M., y Buckow, R. (2017). Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. *Journal of Food Engineering*, 212, 165-173.
- Pico, J.; Pismag, R.Y.; Laudouze, M.; Martinez, M.M. (2020) Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. *Food Funct.*, 11, 9868–9880.
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, R. y Jukka-Pekka, S. (2020). Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and

nutritional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science* (94), 102996.

Ramos Diaz, J. M., Sundarrajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S., y 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. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12320>

Ramos, D. J. M., Sundarrajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S. y Jouppila, K. (2016). 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.

Rastogi, A y Shukla, S. (2013). Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 109-125.

Ravindran, G., Carr, A., y Hardacre, A. (2011). A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends. *Food Chemistry*, 124(4), 1620-1626.

Repo-Carrasco, R. (1998). Introducción a la Ciencia y Tecnología de Cereales y de Granos Andinos. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima- Perú.

Repo-Carrasco, R. (2014). Valor nutricional y compuestos bioactivos en los cultivos andinos. Redescubriendo los tesoros olvidados. Universidad Agraria La Molina (UNALM).

- Repo-Carrasco, R., C., Espinoza, S. E., Jacobsen. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19: 179-189
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., y 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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>.
- Reyes, J. (2007). Aislado y caracterización fisicoquímica del almidón de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). [Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima- Perú.
- Reyes, M.; Ávila, T. y Guevara, P. (2006) Componente nutricional de diferentes variedades de quinua en la región Andina. Avances – Investigación en Ingeniería N°5. Disponible: http://www.med-informatica.net/TERAPEUTICA-STAR/Quinoa_ComposicionNutricionalVariedadesAndina_2006_r5_art10.pdf
- Reynaga, Arturo. (2012). PROTOTIPO DE EXTRUSOR DE QUINUA REAL PARA PEQUEÑO Y MEDIANO PRODUCTORES. La Paz, Bolivia : Anakainoo Producciones Gráficas.
- Rico, D., Peñas, E., García, M. del C., Martínez-Villaluenga, C., Rai, D. K., Birsan, R. I., Frias, J. y Martín-Diana, A. B. (2020). Sprouted Barley Flour as a Nutritious and Functional Ingredient. *Foods*, 9(3), 296. doi:10.3390/foods9030296
- Rimache, A. M. (2012). Cultivo del maíz (1st ed.). Alfa omega (Eds.). Lima, Perú; p. 25.
- Rodríguez, S. D., Rolandelli, G., y Buera, M. P. (2019). Detection of quinoa flour adulteration by means of FT-MIR spectroscopy combined with chemometric

methods. *Food Chemistry*, 274, 392-401.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.140>

Rolandelli, G., Navarro, Y. T. G., Pinilla, S. G., Farroni, A. E., López, G. F. G., y Buera, M. del P. (2020). Microstructural characteristics and physical properties of corn-based extrudates affected by the addition of millet, sorghum, quinoa and canary seed flour. *Food Structure*, 100140. doi:10.1016/j.foostr.2020.100140

Saavedra, P. C. (2005). Evaluación Fisicoquímica del Maíz Amarillo Duro (*Zea Mays*) Tratado Bajo Fertilización Orgánica e Inorgánica a dos Niveles de Nitrógeno en el Valle del Chira – Piura. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Martín]. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. 169 pp.

Sindhu, R., y Khatkar, B. S. (2019). Pseudocereals: Nutritional Composition, Functional Properties, and Food Applications. In *Food Bioactives* (pp. 129-147). Apple Academic Press.

Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C. C., y Baskin, J. M. (2015). Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. *Australian Journal of Botany*, 63(8), 631. doi:10.1071/bt15133

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, C. y Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 132–138. doi:10.1016/j.jcs.2011.10.010

Tas, A. A., and Shah, A. U. (2021). The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: science, technology and challenges. *Trends Food Sci. Tech.* 116, 701–711. doi: 10.1016/j.tifs.2021.08.016

- Torres, A., Cova, A. y Valera, D. (2018). Efecto del proceso de germinación de granos de Cajanuscajan en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Revista chilena de nutrición*, 45(4), 323-330. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500323>.
- Tovar, C. E., Peragan, E. A., Enriquez, M. G., Pismag, Y., y Fernandez, L. C. (2017). Effect evaluation on normal and germinated flour quinoa (chenopodium quinoa willd) avaliação do efeito do processo de extrusão na fa, 15(2), 30-38.
- Tovar-Hernández, E., Perafán-Gil, M., Enríquez-Collazos, Y., Pismag-Portilla, L., Ceron-Fernandez. (2017) Extrusion process effect evaluation on normal and germinated flour quinoa (chenopodium quinoa willd). *Biocología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(2), 30-38. doi: [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)30-38](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)30-38)
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. (2012). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. Nutrient Data Laboratory Home Page. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.
- USDA, Departamento de agricultura (2010) “Antioxidantes y Salud”, Publicaciones ACES, Beltsville.
- Valadez-Vega, C.; Lugo-Magaña, O.; Figueroa-Hernández, C.; Bautista, M.; Betanzos-Cabrera, G.; Bernardino-Nicanor, A.; González-Amaro, R.M.; Alonso-Villegas, R.; Morales-González, J.A.; González-Cruz, L. (2022) Effects of Germination and Popping on the Anti-Nutritional Compounds and the Digestibility of *Amaranthus hypochondriacus* Seeds. *Foods* 11, 2075. <https://doi.org/10.3390/foods11142075>
- Valencia, P. (2015). Evaluación tecnológica de la germinación y clarificación de las bebidas tradicionales fermentadas y pasteurizadas de maíz morado (zea

- mays) y quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad inia 420 negra collana. Tesis: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Valencia, U., Ann-Sofie, S., Jenny-Ruales, S. (1999). Procesamiento de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd): efectos sobre la disponibilidad de hierro in vitro y la hidrólisis del fitato. *Revista internacional de ciencias alimentarias y nutrición*, 50 (3), 203-211.
- Valenzuela Antezana, R.N., Mita Ticona, G., Zapana Yucra, F.E., Quilla Cayllahua, D., Miranda Alejo, R., Mita Churqui, U.J., 2015. Efecto de la germinación y cocción en las propiedades nutricionales de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Investigaciones Altoandinas* 17, 169. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.109>
- Vázquez-Carrillo, M. G., D. Santiago-Ramos, Y. Salinas-Moreno, J. López-Cruz, Ma. C. Ybarra-Moncada, y A. Ortega-Corona. (2014). Genotipos de maíz (*Zea mays* L.) con diferente contenido de aceite y su relación con la calidad y textura de la tortilla. *Agrociencia* 48: 159-172.
- Vilcacundo, R. y Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Wang Yu, Zuo Yong-mei, Zhou Xue-yong, et al. (2020) Quinoa germination promoted the release of its active ingredients. *Modern Food Science and Technology*, 36(8): 126-133. 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.1177
- Wani, S. A., y Kumar, P. (2016). Development and parameter optimization of health promising extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food Biosci.* 14, 34–40. doi: 10.1016/j.fbio.2016.02.002

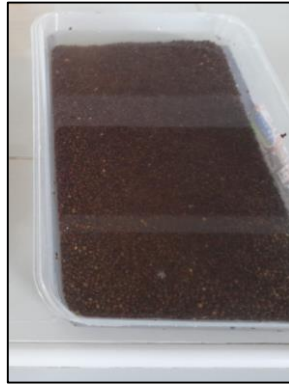
- Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. y Korus, J. (2015). Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. *Journal of Cereal Sciences* (Article in press), 1-12.
- World Agricultural Production Foreign Agricultural Service (2013). <http://www.fas.usda.gov.WAP>.
- Xing, B., Teng, C., Sun, M., Zhang, Q., Zhou, B., Cui, H., Ren, G., Yang, X., y Qin, P. (2021). Effect of germination treatment on the structural and physicochemical properties of quinoa starch. *Food Hydrocolloids*, 115, 106604. doi:10.1016/j.foodhyd.2021.106604
- Xu, L., Chen, L., Ali, B., Yang, N. A., Chen, Y., Wu, F., ZhengyuJin y Xu, X. (2017). Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi* L.). *Food chemistry*, 229, 312-318.
- Zhang, R., Khan, S. A., Chi, J., Wei, Z., Zhang, Y., Deng, Y., Liu, L., Zhang, M. (2018). Different effects of extrusion on the phenolic profiles and antioxidant activity in milled fractions of brown rice. *LWT*, 88, 64–70. doi:10.1016/j.lwt.2017.09.042

IX. ANEXOS

Anexo 1. Germinación de Quinoa var. Pasankalla Roja



1.Recepción de materia



2.Lavado y Desinfección



3.Hidratación



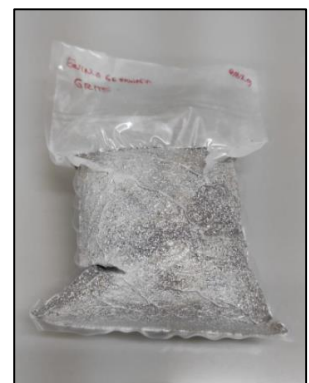
4.Germinación



5.Secado



6. Molienda



7.Envasado al vacío

Anexo 2. Germinación de Kiwicha var. Centenario



1.Recepción de materia



2.Lavado y Desinfección



3.Hidratación



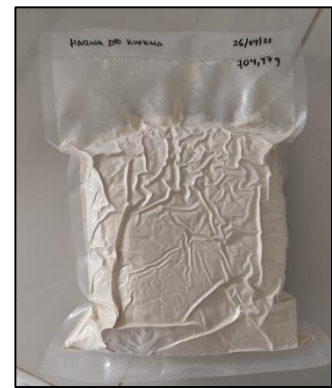
4. Germinación



5. Secado



6. Molienda



7. Envasado al vacío

Anexo 3. Proceso de extrusión



1. RECEPCIÓN Y FORMULACIÓN DE MUESTRAS



2. PROGRAMACIÓN DE LOS PARÁMETROS



3. ACONDICIONAMIENTO GRADUAL DEL AGUA



4. EXTRUSIÓN Y CORTADO



5. SECADO Y ENFRIAMIENTO



6. ENVASADO AL VACIO

Anexo 4.

Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)

Los TSPC se analizaron mediante la reacción Fast Blue BB (FBBB) según (Pico *et al.*, 2020). El método FBBB consiste en la reacción del grupo (-OH) de los compuestos fenólicos con el radical diazonio (-N₂ -) del reactivo Fast Blue BB. Como resultado de la sustitución electrofílica aromática, se forma un azo complejo.

- a. Se extrajo una cantidad de 100 mg de la muestra molida con 1 ml de metanol al 80 % en ácido fórmico al 0.1 %. La muestra se agitó (2000 rpm) y luego se incubó durante 15 min a 30°C. Posteriormente, la muestra se centrifugó durante 5 min a 5°C y 10000 rpm, para una primera extracción (extracto metanólico).
- b. Al sedimento se le añadió 1 ml de acetona al 70 % en ácido fórmico al 0.1%, y se agitó utilizando el agitador de muñeca para una segunda extracción (Extracto acetónico). Los extractos metanólico y acetónico se combinaron y el volumen final se ajustó a 2 mL con agua desionizada (Extracto de TPSC)
- c. Se mezcló un volumen de 1 mL de extracto de TPSC con 100µL de reactivo FBBB recién preparado (0,1% en agua destilada) y agitado en vórtex durante 1 min. Inmediatamente, la solución del extracto se agitó luego de agregar 100µL de NaOH al 5% y se incubó durante 120 min en la oscuridad a temperatura ambiente (20°C). Finalmente, 200µL de la mezcla incubada se colocó en una placa de 96 pocillos y se midió la absorbancia por triplicado a 420 nm utilizando un lector de microplacas Synergy HT. La cuantificación de TSPC se realizó con curvas de calibración lineales de ácido gálico (0–225µg/mL) que mostró buena linealidad ($R^2 > 0,998$). Todos los análisis se realizaron por triplicado y la manipulación de los reactivos se realizó en

condiciones lo más oscuras y frías posibles. Los datos se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g de muestra dw.

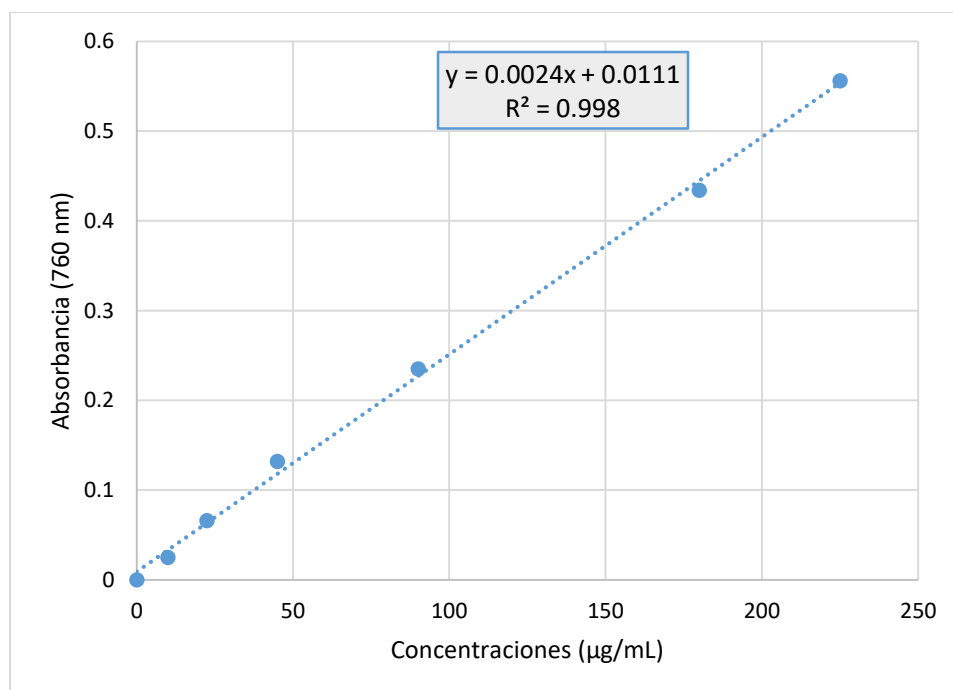
Tabla 20.

Datos de curva de calibrado para compuestos fenólicos solubles totales

Concentración ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia (nm)
0	0
10	0.025
22.5	0.066
45	0.132
90	0.235
180	0.434
225	0.556

Figura 31

Curva de calibrado de Compuestos fenólicos solubles totales (TSPC)



Anexo 5.

CONTENIDO DE GABA (Ácido γ -aminobutírico)

a. PREPARACION DE LOS EXTRACTOS A PARTIR DE LAS HARINAS DE EXTRUIDOS

Se pesó 500 mg de la muestra (harina) en tubo de centrifuga de 50 mL con tapa rosca y adicionó 10 mL de agua MilliQ fría (4°C) y homogenizar.

1ra Centrifugación: Centrifugar (15 min a 9000 rpm a 4 °C) y filtrar, se llevó el filtrado a un vial.

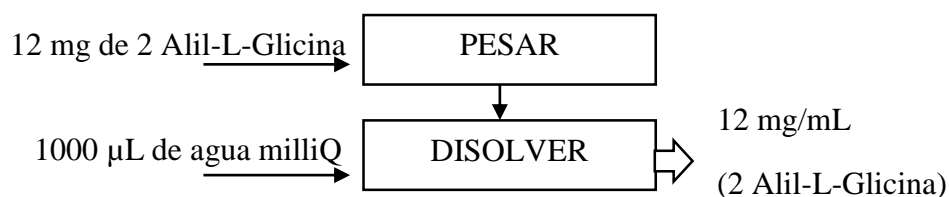
2da Centrifugación: Se adicionó 2 mL de agua MilliQ al sedimento residual y homogenizó, luego se centrifugó (15 min a 9000 rpm a 4 °C). Se filtró el sobrenadante y recogió el filtrado sobre la fracción en el vial anterior.

Luego se congeló los viales a -20°C, para posterior liofilizados por 2 días, a presión de vacío y -86°C. Después, se resuspendió el liofilizado en 500 μ L de agua MilliQ con ayuda del equipo ultrasonido.

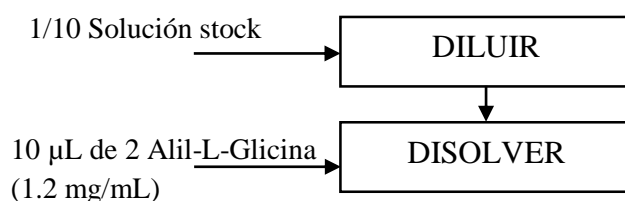
Luego, colocar 50 μ L de muestra en un tubo de 1.5 mL y concentrar hasta sequedad.

b. PREPARACION DE SOLUCIONES PARA LA DERIVATIZACION

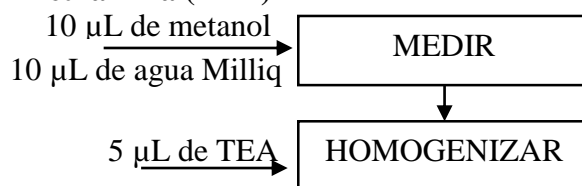
1º: Solución stock de 2 Alil-L-Glicina



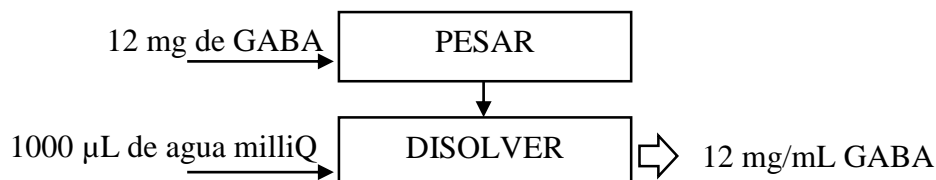
2º: Solución de trabajo de 2 Alil-L-Glicina



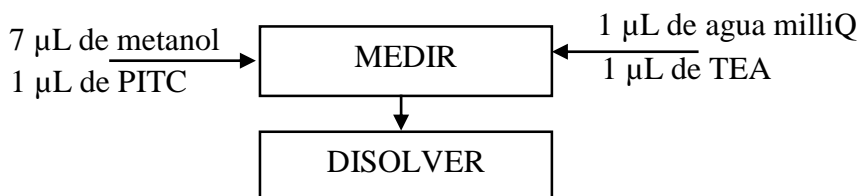
3°: Reactivo Trietilamina (TEA)



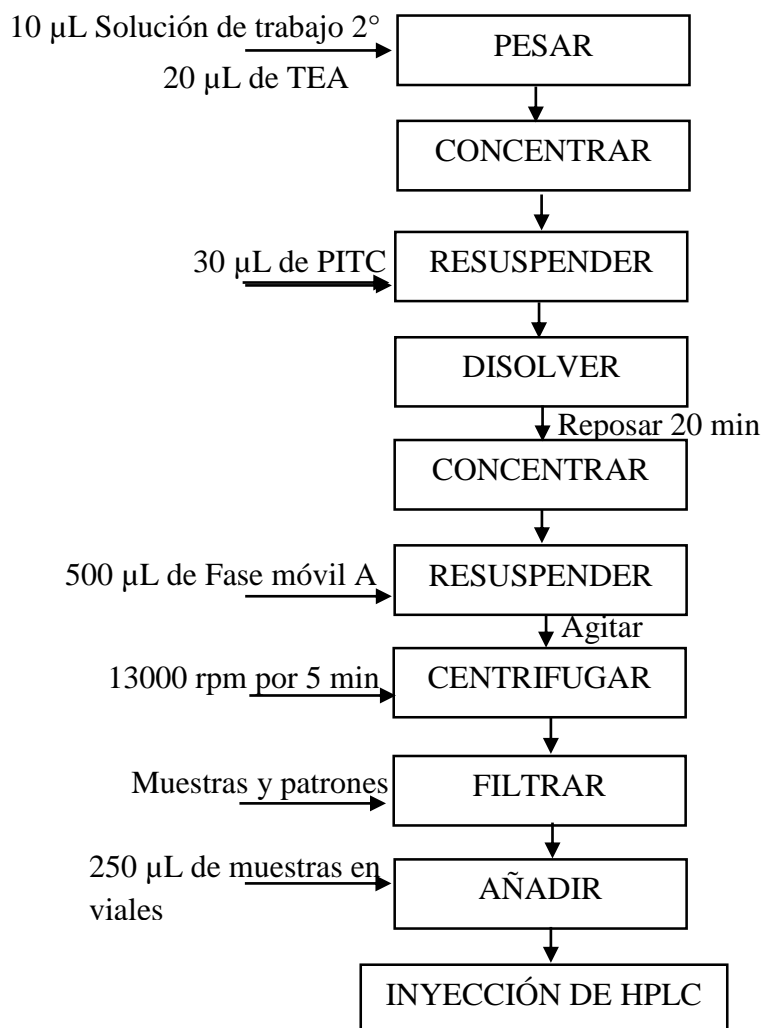
4°: Solución stock de GABA (guardar a -20 °C)



5°: Preparación del reactivo de Fenilisotiocianato (PITC)



c. DERIVATIZACION DE LAS MUESTRAS de GABA



d. DERIVATIZACION DE LOS PATRONES de GABA

Se toman 10 μL de la solución stock de 2 Alil-L-Glicina y 10 μL de la solución stock de GABA Concentrar hasta sequedad en el concentrador a vacío Añadir 10 μL de agua milliQ + 20 μL del reactivo de TEA

Agitar con vortex A partir de este punto continuar de modo semejante al de las muestras (derivatización de las muestras) Hasta colocar las siguientes diluciones seriadas en los viales de HPLC de 250 μL

ANALISIS MEDIANTE HPLC

e. Disposición de solventes en HPLC

- FASE MOVIL A: 7.708 g de Acetato amónico 0.1M + 900 mL de agua milliQ (pH 6.5)
- FASE B: 7.708 g de Acetato amónico 0.1M + 400 mL de agua milliQ + 100 mL de metanol HPLC. (pH 6.5)
- FASE C: Metanol-agua (50:50 v/v)
- FASE D: Agua milliQ

El detector DAD se configuró en 338 nm (de 0 a 15 min) y 262 nm (de 15 a 30 min). La calibración externa se realizó utilizando soluciones estándar de GABA en el rango lineal entre 10 y 1000 pmol/ μL ($R^2 > 0,99$). Todos los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como mg/100 g dw.

PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRADO

Patrón 1 (P1): Obtenido de la derivatización (GABA: 12 mg/mL; 2 Alil-L-Glicina: 12 mg/mL)

Patrón 2 (P2): 200 μL de P1 + 200 μL de la fase móvil A. Agitar

Patrón 3 (P3): 200 µL de P2 + 200 µL de la fase móvil A. Agitar

Patrón 4 (P4): 200 µL de P3 + 200 µL de la fase móvil A. Agitar

Patrón 5 (P5): 200 µL de P4 + 200 µL de la fase móvil A. Agitar

Patrón 6 (P6): 200 µL de P5 + 200 µL de la fase móvil A. Agitar

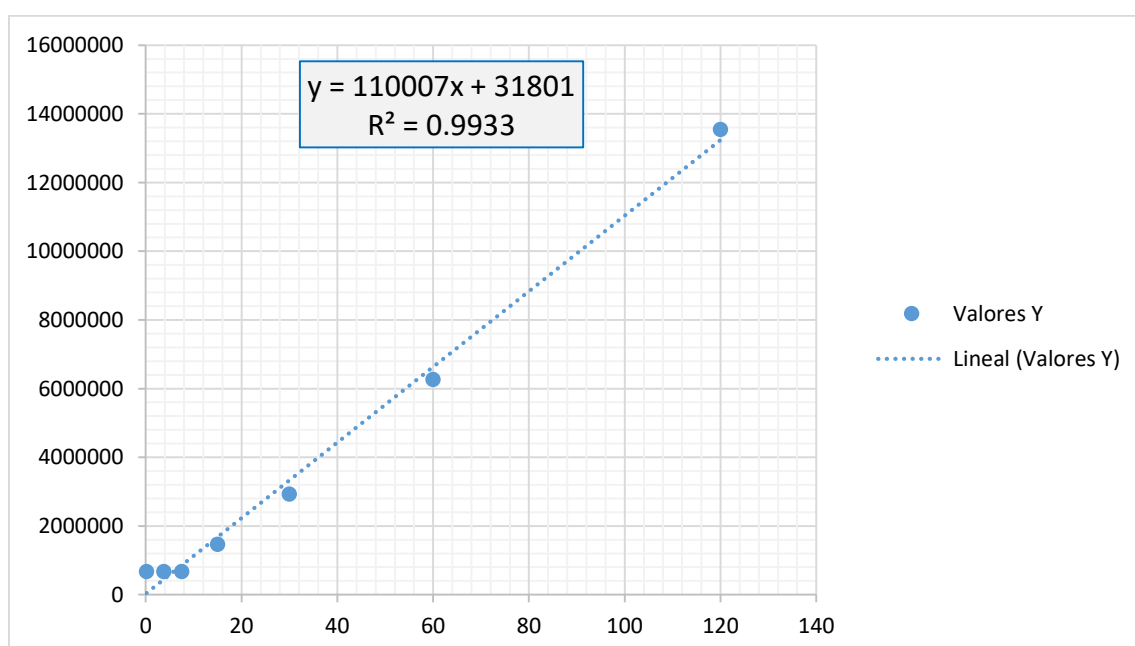
Tabla 21

Valores para la curva de calibrado Patron - GABA

X	Y
0.15	674008.336959
3.75	674008.336959
7.50	674008.336959
15.00	1464851.754592
30.00	2925378.511448
60.00	6269974.814561
120.00	13545998.251933

Figura 32

Curva de calibrado para GABA



Anexo 6.

Determinación de Capacidad Atrapadora de Radicales de Oxígeno (ORAC)

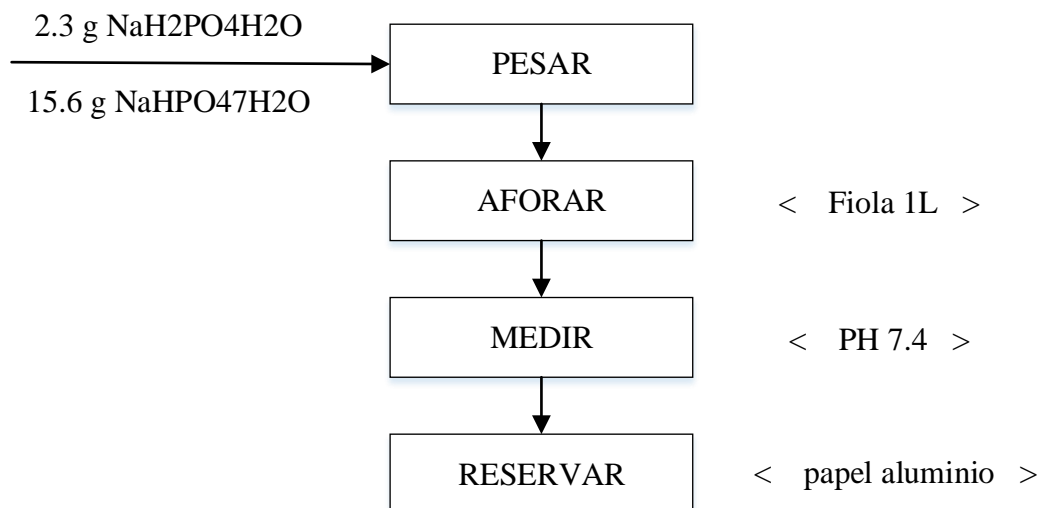
A. Fundamento

El método ORAC es un método fluorescente donde se mide el retraso, en presencia de compuestos antioxidantes, de la disminución de la fluorescencia de la fluoresceína debido a la acción de agentes oxidantes. El agente oxidante que se utiliza es el AAPH, y la actividad antioxidante se mide en relación al Trolox.

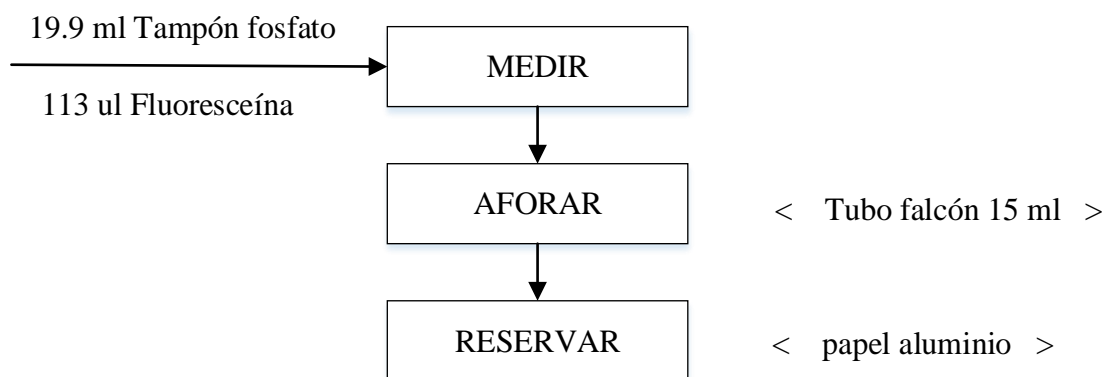
Se mide a partir del área de fluorescencia bajo la curva de la muestra en comparación del blanco, donde no hay presencia de antioxidante.

B. Preparación de reactivos

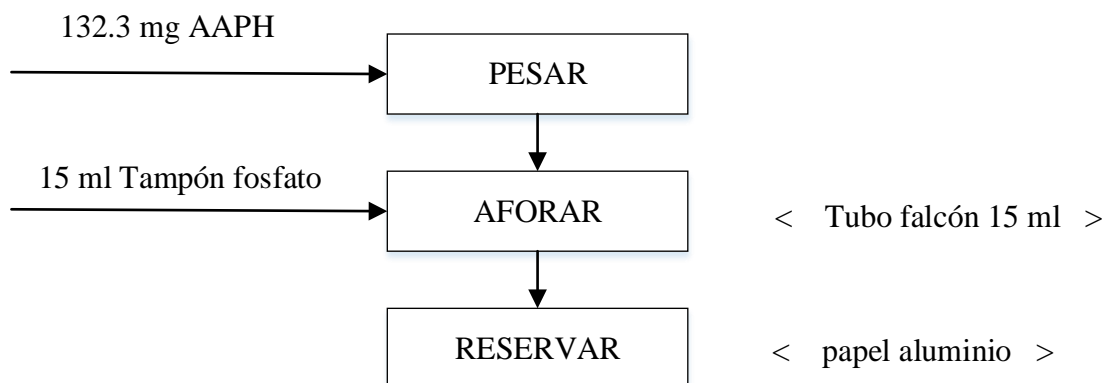
- Solución de Tampón Fosfato Sódico



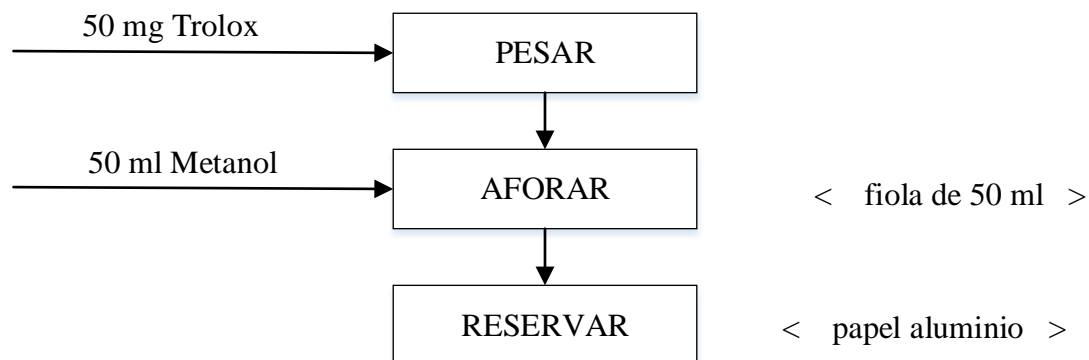
- Solución Fluoresceína



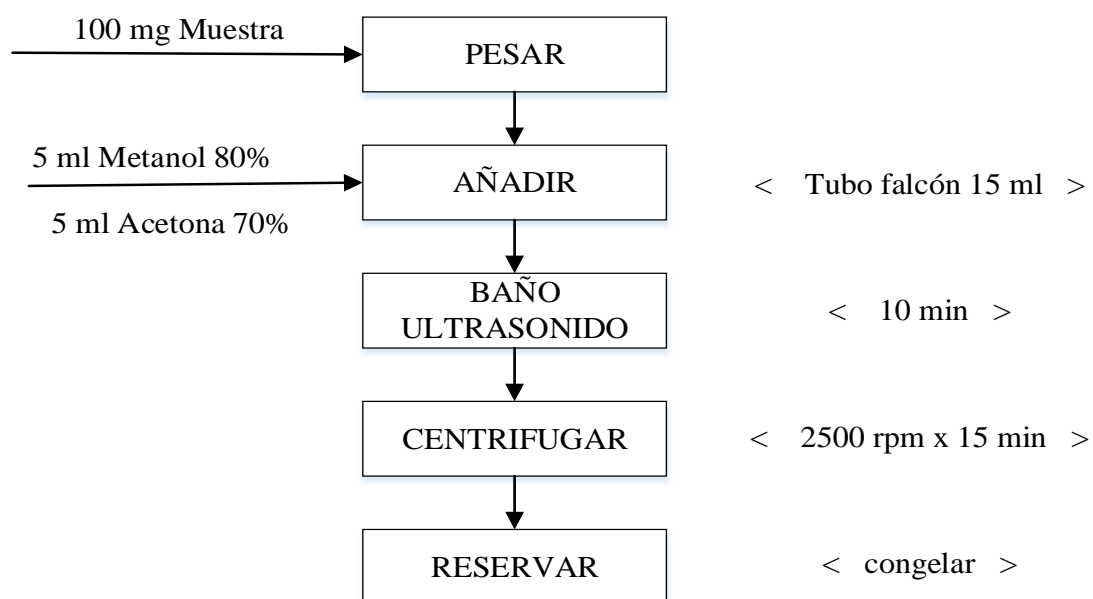
- **Solución AAPH**



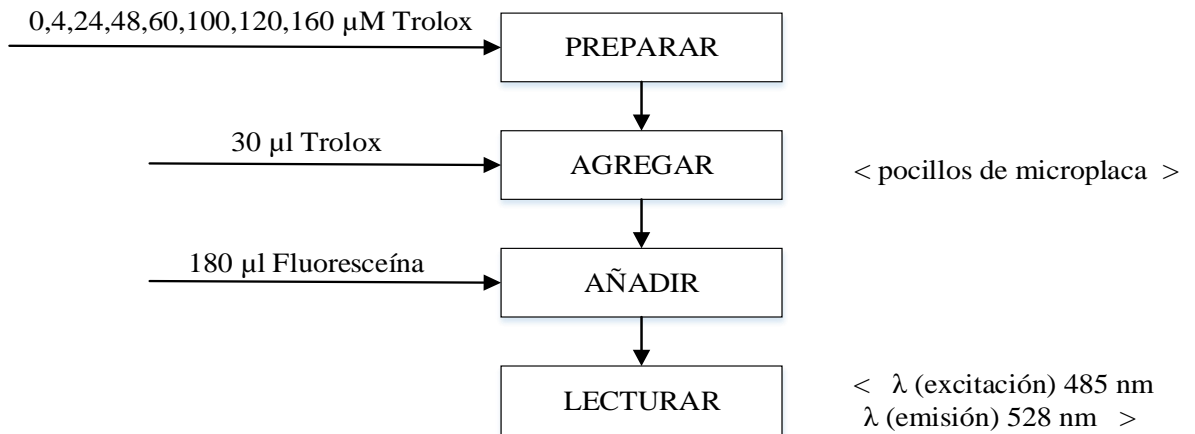
- **Solución Trolox**



C. Preparación de muestras



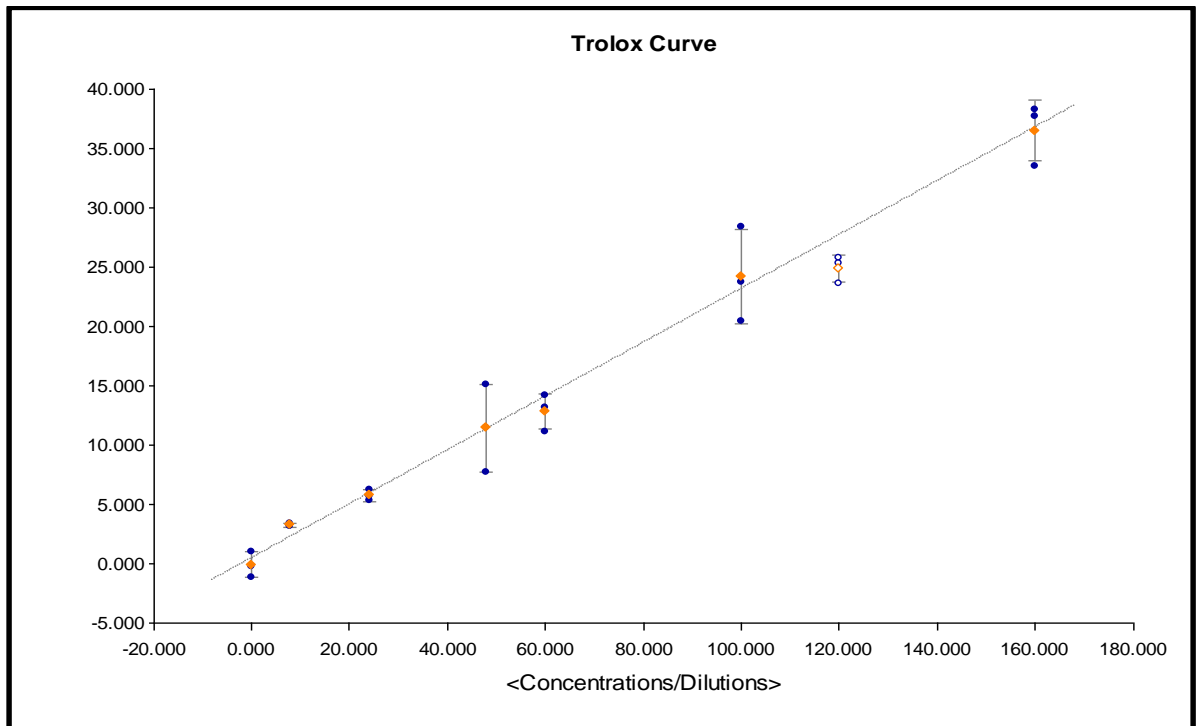
D. Preparación de Curva de Calibrado



E. Curva de calibrado Trolox para la determinación de capacidad antioxidante

Figura 33.

Curva de calibrado para la capacidad antioxidante (ORAC)



Ecuación de la curva trolox:

$$Y = 0.227X + 0.499$$

$$R^2 = 0.996$$

F. Lectura de muestras

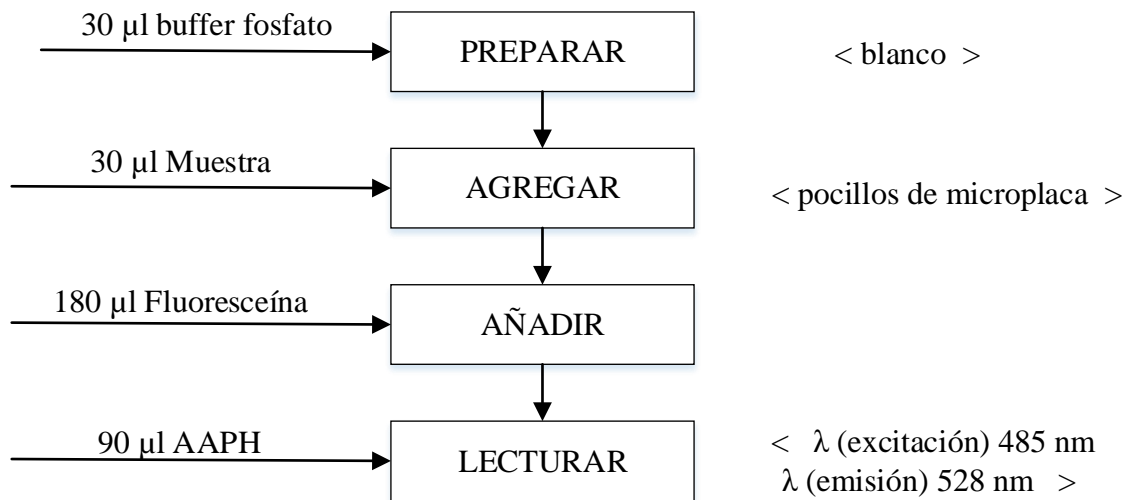
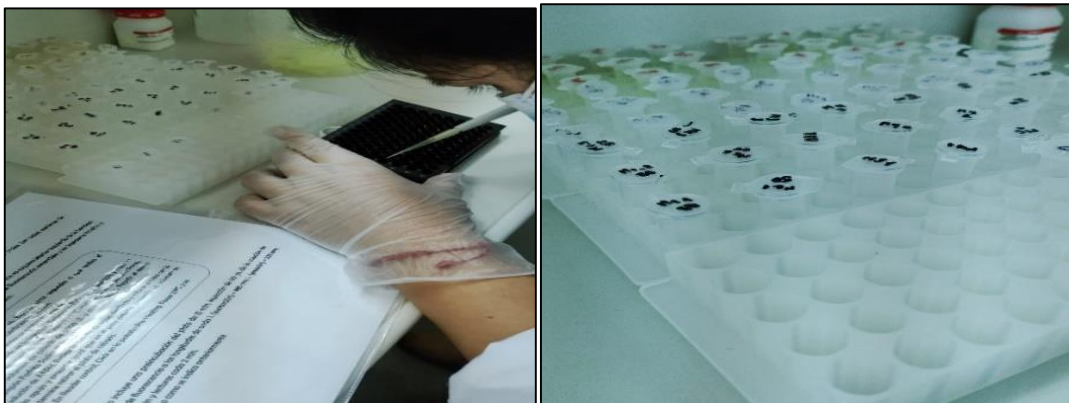


Figura 34

Proceso de análisis de capacidad antioxidante por el método ORAC



Nota. Adición de muestra a los pocillos microplaca con ayuda de una micropipeta

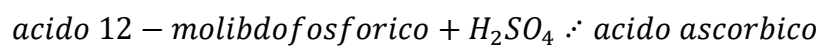
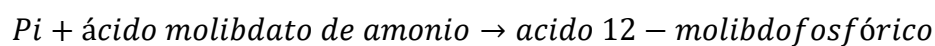
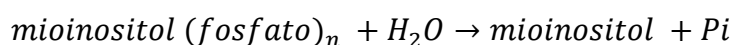
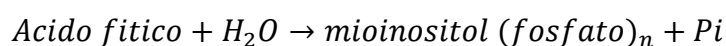
C.

Anexo 7.

Determinación del Contenido de Ácido Fítico

A. Fundamento

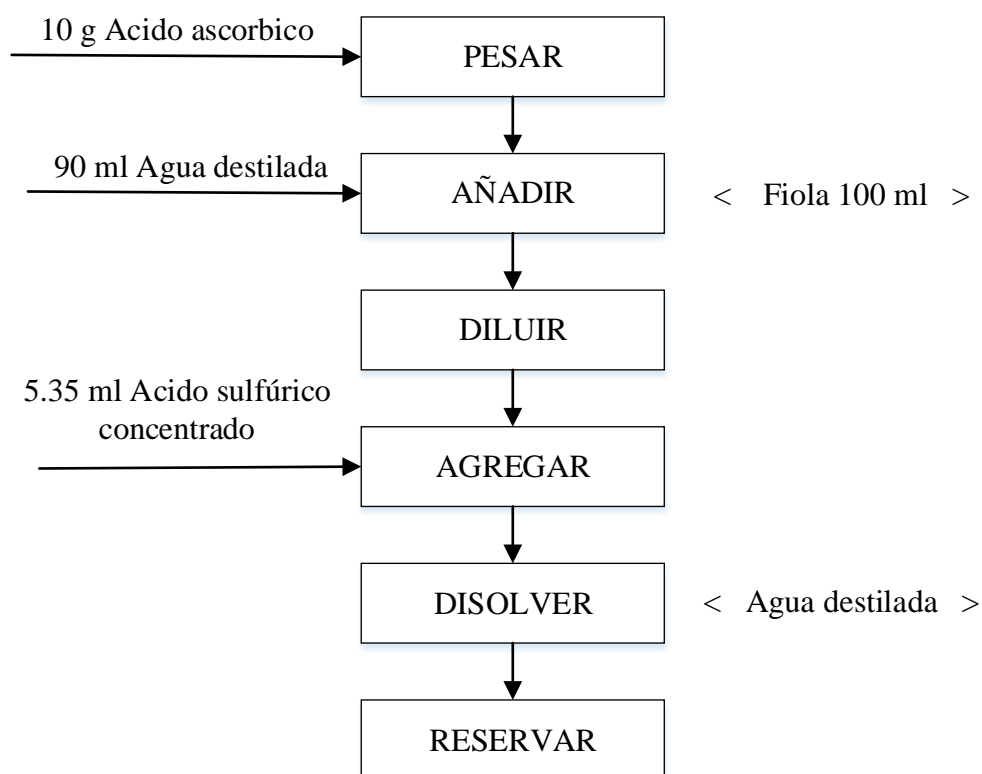
El método del ácido fítico, es un método de purificación del fosforo. Para cada análisis individual, el método requiere una engorrosa purificación por intercambio de aniones y una de las principales suposiciones inherentes que solo purifica el ácido fítico. Este principio se basa en 4 reacciones químicas:



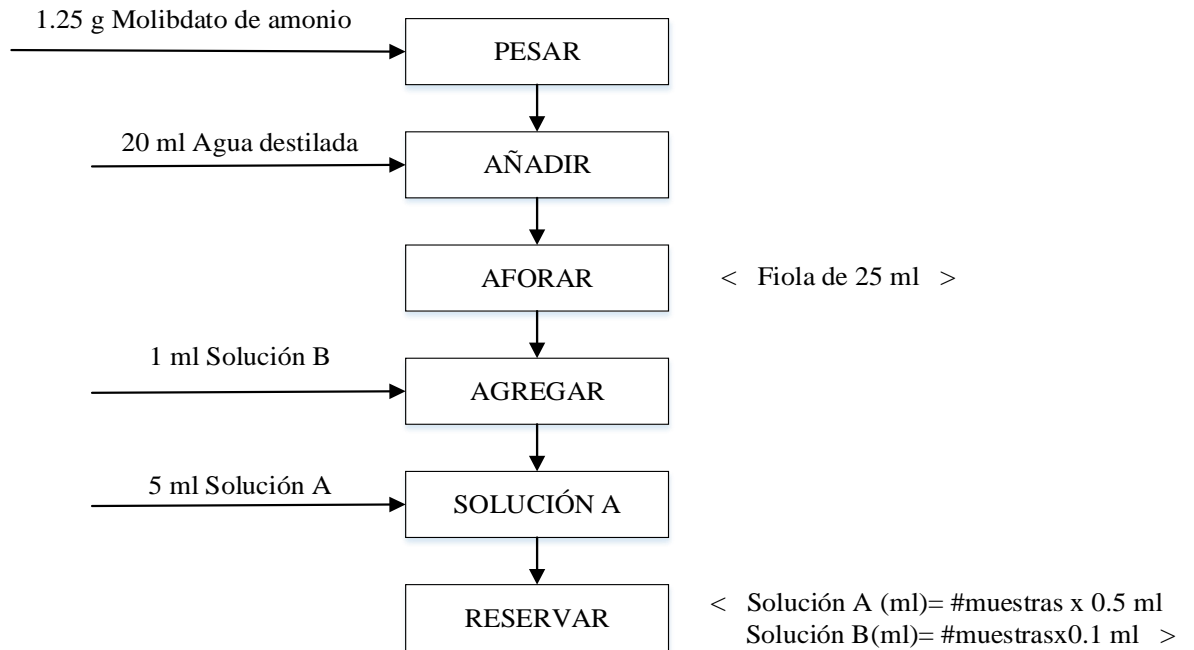
→ azulde molibdeno

B. Preparación de reactivos

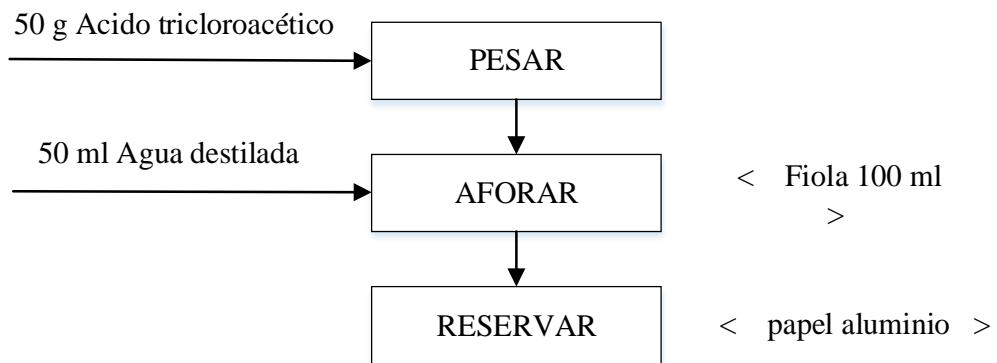
- Solución de Ácido Ascórbico



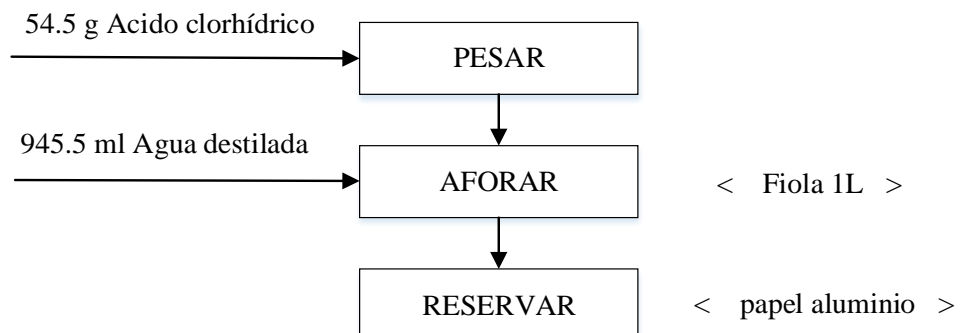
- **Solución de Molibdato de amonio**



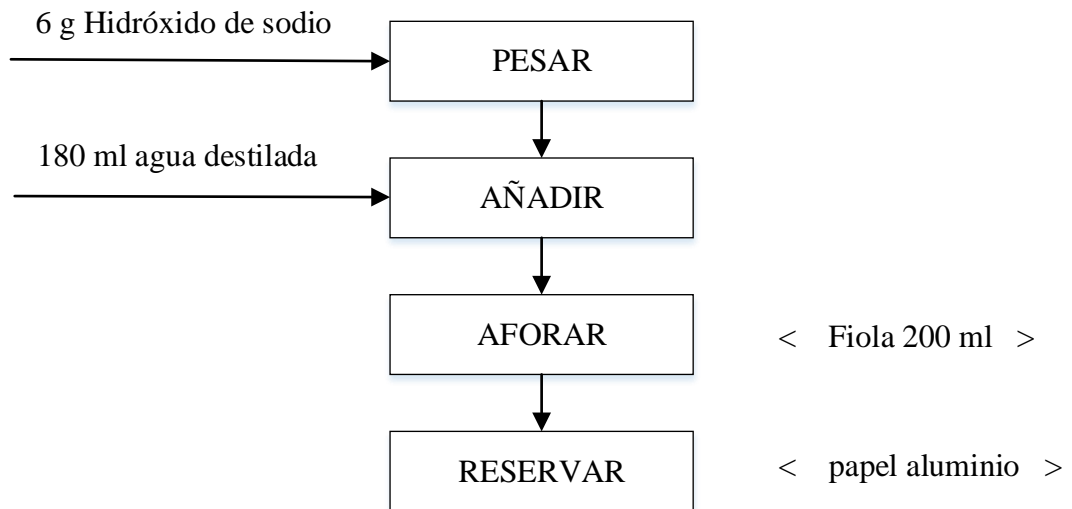
- **Solución Acido Tricloroacético**



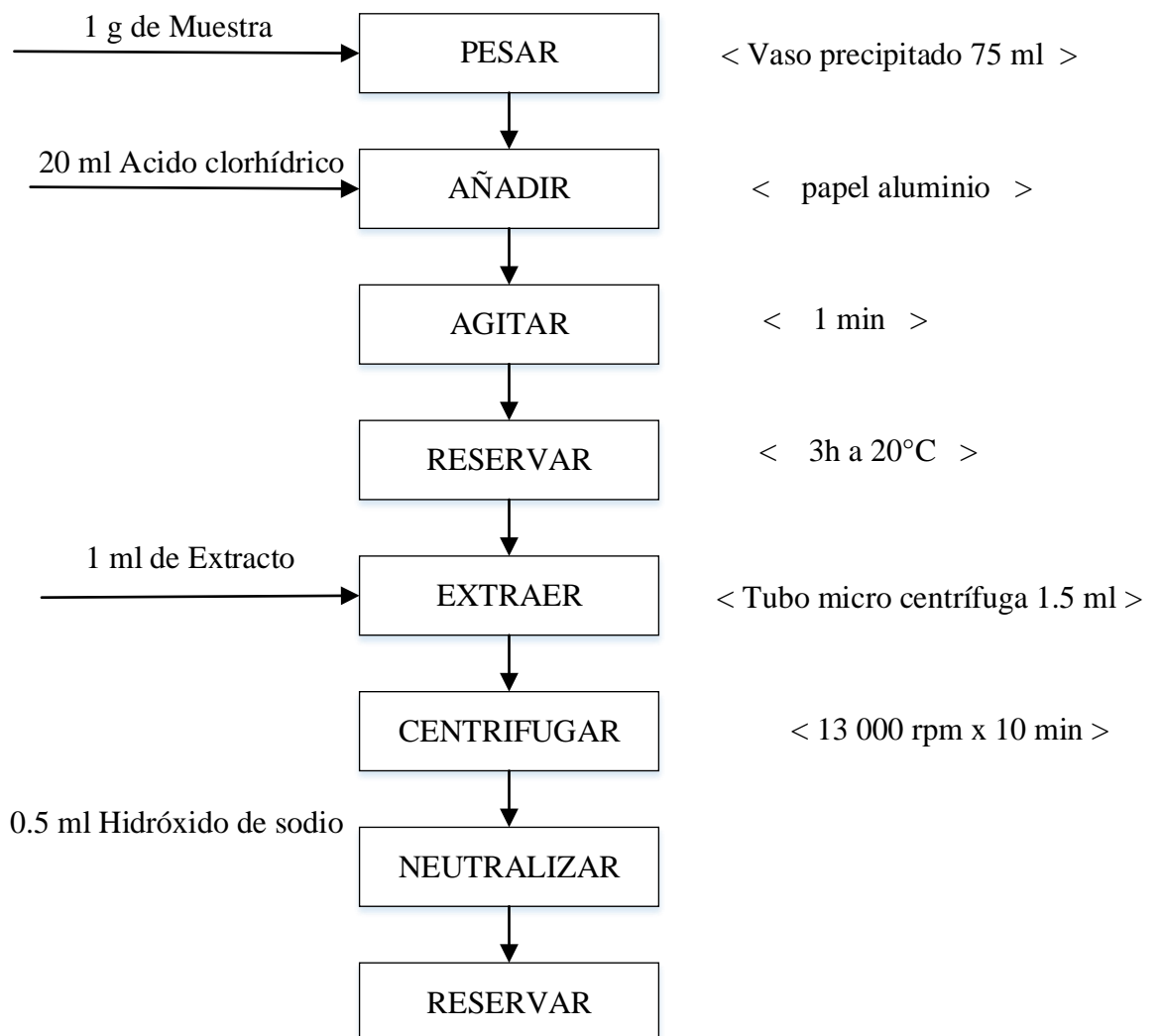
- **Solución Ácido Clorhídrico**



- **Solución Hidróxido de sodio**



C. Preparación de Muestras



G. Preparación de Curva de Calibrado de Fósforo

Tabla 22

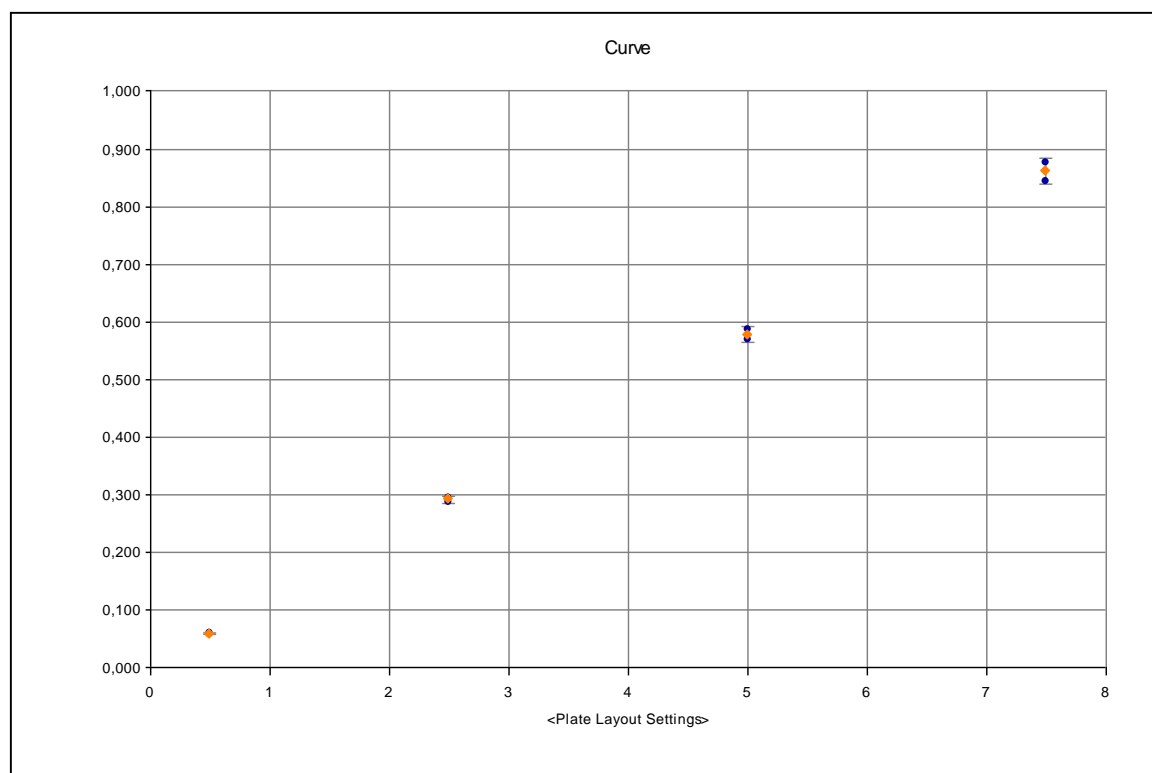
Valores para la preparación de la curva de calibrado para ácido fítico.

CONCENTRACIONES	STD 0 (0 MG)	STD 1 (0.5 MG)	STD 2 (2.5 MG)	STD 3 (5 MG)	STD 4 (7.5 MG)
Agua destilada	5.00 mL	4.95 mL	4.75 mL	4.50 mL	4.25 mL
Solución estandar de fosforo (Solución total de 5 mL)	- 5.00 mL	0.05 mL 5.00 mL	0.25 mL 5.00 mL	0.50 mL 5.00 mL	0.75 mL 5.00 mL

H. Curva de calibrado de Fósforo para la determinación de Ácido Fítico

Figura 35

Curva de calibrado para ácido fitico

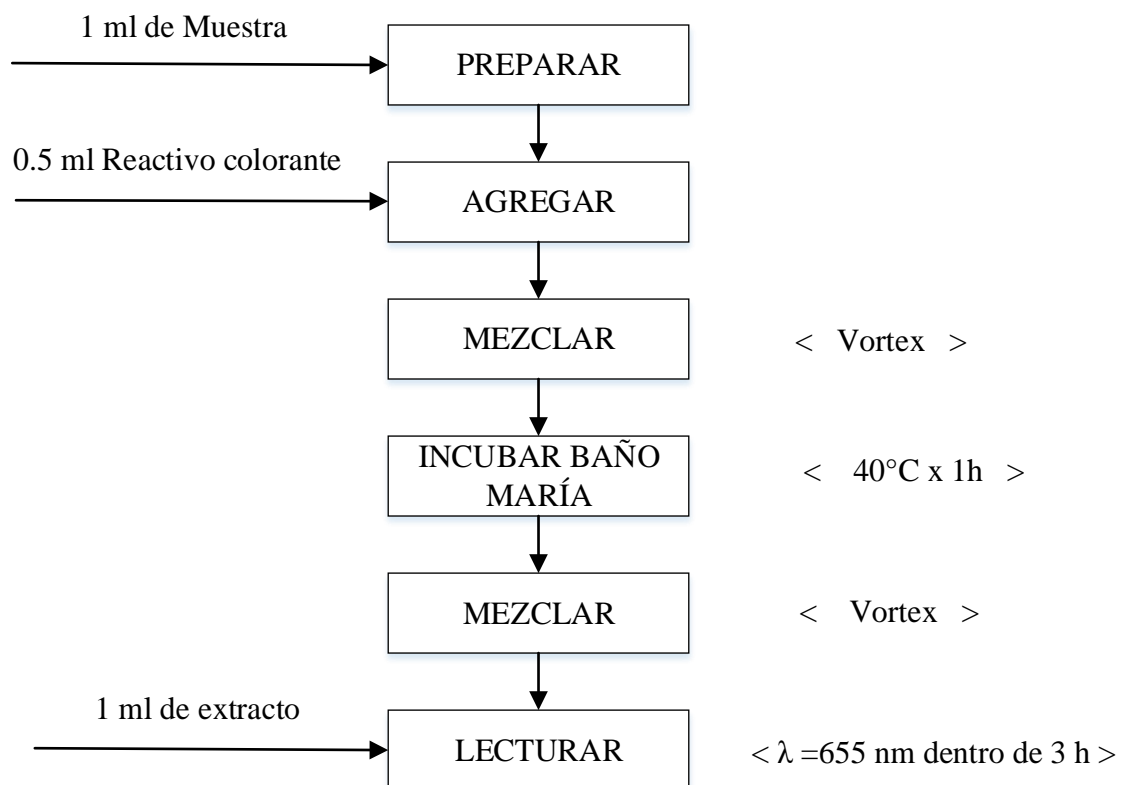


Ecuación de la curva PA:

$$Y = 0.115X + 0.00378$$

$$R^2 = 1.0$$

I. Lectura de muestras

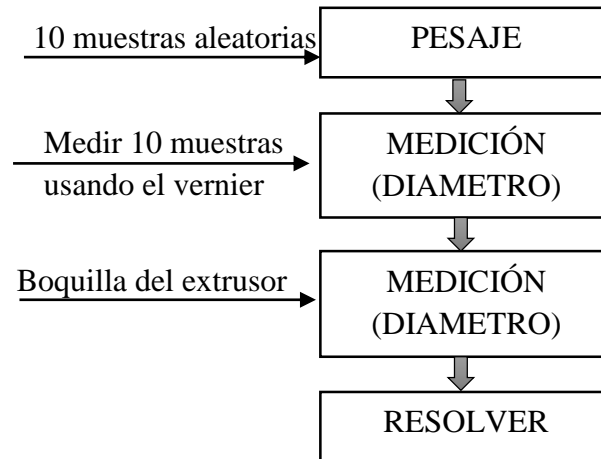


Anexo 8.

Metodología de las variables tecnológicas

A. Índice de Expansión

Se determinará según Meza *et al.* (2019). Para la determinación del índice de expansión de los extruidos se tomarán 10 muestras aleatorias:



El cálculo se realizará según la ecuación:

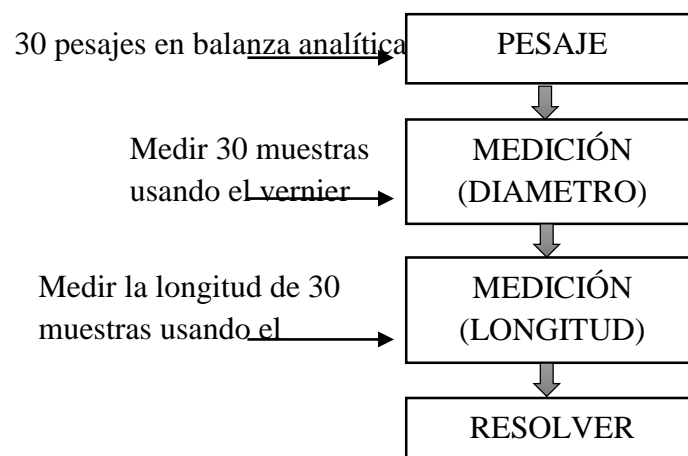
$$IE = \frac{d_1(mm)}{D_1(mm)}$$

Dónde:

- D1 = Diámetro de la boquilla (mm);
- d1 = Diámetro promedio del extruido (mm)

B. Densidad aparente

Se determinará según Chávez-Jáuregui *et al.* (2000). Para determinar la densidad, se tomaron 30 muestras aleatorias de extruidos:



El cálculo se realizará según la ecuación:

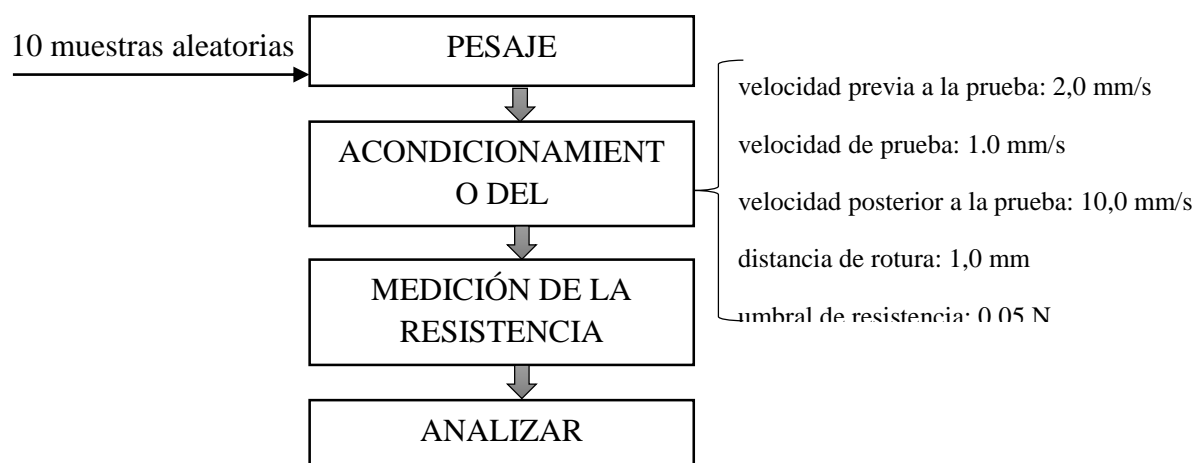
$$\rho = \frac{m}{\left(\pi * c * \left(\frac{d}{2}\right)^2\right)}$$

Dónde:

- ρ = Densidad (g/cm³);
- m = masa promedio de las muestras (mg);
- c = longitud promedio de las muestras (mm);
- d = diámetro promedio de las muestras (mm).

C. Textura Instrumental

La fuerza (FC) y trabajo de corte (WC) de los extruidos se analizaron mediante un Texturómetro, mediante el método 74-09.01 (AACCI, 2010):



D. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Se determinaron el ISA y el IAA de los extruidos basado en la metodología descrita por Meza et al., (2019), utilizando tres muestras de cada cereal de desayuno.



Luego fueron evaluados através de la siguiente formula:

$$ISA = \frac{M_{re}}{M_a} * 100 \quad IAA = \frac{M_{rc}}{M_a - M_{re}} * 100$$

Dónde:

IAA = índice de absorción de agua (%)

ISA = índice de solubilidad en agua (%)

Mrc = masa del residuo de centrifugación (g)

Ma = masa de la muestra (g, en base seca)













Mre = masa del residuo de evaporación (g).

Anexo 9.

Formato encuesta para determinar la intención de compra del extruido final

EVALUACION SENSORIAL DE UN EXTRUIDO													
Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____													
II. Con base en su opinión sobre las muestra de EXTRUIDO , indique en base a la escala siguiente, su INTENCIÓN DE COMPRA.													
5. Con certeza lo compraria	<table border="1"><thead><tr><th>MUESTRA</th><th>INTENCIÓN DE COMPRA</th></tr></thead><tbody><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr><tr><td> </td><td> </td></tr></tbody></table>	MUESTRA	INTENCIÓN DE COMPRA										
MUESTRA		INTENCIÓN DE COMPRA											
4. Posiblemente lo compraria													
3. Talvez compraria / talvez no compraria													
2. Posiblemente no lo compraria													
1. Con certeza no lo compraria													

Anexo 10. Formulaciones experimentales de extruidos

Formulación 1: 100% X₁	Formulación 2: 100% X₂	Formulación 3: 100% X₃
		
Formulación 4: 50% X₁ + 50% X₂	Formulación 5: 50% X₁ + 50% X₃	Formulación 6: 50% X₂ + 50% X₃
		
Formulación 7: 66.67% X₁ + 16.67% X₂ + 16.67% X₃	Formulación 8: 16.67% X₁ + 66.67% X₂ + 16.67% X₃	Formulación 9: 16.67% X₁ + 16.67% X₂ + 66.67% X₃
		
Formulación 10: 33.33% X₁ + 33.33% X₂ + 33.33% X₃	Formulación 11: 33.33% X₁ + 33.33% X₂ + 33.33% X₃	Formulación 12: 33.33% X₁ + 33.33% X₂ + 33.33% X₃
		

Anexo 11.

Cuadros estadísticos para el análisis de investigación de las características tecnológicas del extruido

A) ÍNDICE DE EXPANSIÓN

- Análisis de varianza para índice de expansión de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	0.722903	3	0.240968	9.3043	2.92	0.005492
Residual	0.207189	8	0.025899			
Total Ajustado	0.930092	11	0.084554			
R²	0.8511	(R ² ajustado = 78.29)				

- Coeficiente de regresión para índice de expansión (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	1.92521	0.137947	13.95618	0.000001	1.66869	2.181728
(B)H. Quinua germinada	0.94427	0.116958	8.08214	0.000041	0.72778	1.162763
(C)H. Kiwicha germinada	1.18185	0.137947	8.56743	0.000027	0.92533	1.438367
AC	-1.31916	0.687558	-1.91862	0.091310	-2.59771	-0.040613

B) DENSIDAD APARENTE

- Análisis de varianza para densidad aparente de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	0.126002	3	0.042001	19.66169	2.92	0.000476
Residual	0.017089	8	0.002136			
Total Ajustado	0.143092	11	0.013008			
R²	0.8946	(R ² ajustado = 87.79)				

- Coeficiente de regresión par densidad aparente (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	0.213243	0.039618	5.45823	0.000603	0.142572	0.289915
(B)H. Quinoa germinada	0.432416	0.039618	10.92730	0.000004	0.359245	0.506588
(C)H. Kiwicha germinada	0.534368	0.033590	15.90851	0.000000	0.471905	0.596830
AB	-0.536919	0.197464	-2.82035	0.022482	-0.924114	-0.189725

C) FUERZA DE CORTE

- Análisis de varianza para la fuerza de corte de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	527.9726	6	87.9954	0.9728	3.40	0.522818
Residual	452.2599	5	90.4520			
Total Adjusted	980.2324	11	89.1120			
R²	0.5386					

- Coeficiente de regresión para fuerza de corte

	Coeff.	Std.Err.	t(5)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	27.9343	9.1853	3.04122	0.028711	9.426	46.4431
(B)H. Quinoa germinada	19.9938	9.1853	2.17673	0.081449	1.485	38.5025
(C)H. Kiwicha germinada	32.7733	9.1853	3.56804	0.016077	14.265	51.2820
AB	-57.1872	46.2522	-1.23642	0.271211	-150.388	36.0132

AC	16.8547	46.2522	0.36441	0.730456	-76.346	110.0551
BC	12.4156	46.2522	0.26843	0.799089	-80.785	105.6160
ABC	-2.8271	251.5980	-0.01124	0.991469	-509.809	504.1549

D) TRABAJO DE CORTE

- Análisis de varianza para trabajo de corte de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	63921.14	4	15980.29	12.2555	2.96	0.002802
Residual	9127.46	7	1303.92			
Total Ajustado	73048.61	11	6640.78			
R²	0.8944	(R ² ajustado = 87.50)				

- Coeficiente de regresión para Fuerza de corte (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	314.002	34.5316	9.09533	0.000040	248.653	379.499
(B)H. Quinoa germinada	74.004	31.0095	2.39554	0.047778	15.535	133.035
(C)H. Kiwicha germinada	67.567	31.0095	2.17875	0.065762	8.812	126.312
AB	-559.081	154.6595	-3.61491	0.008568	-852.095	-266.066
AC	-406.483	154.6595	-2.62824	0.033999	-699.497	-113.468

E) ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

- Análisis de varianza de Índice de absorción de agua (IAA) de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	1.853519	6	0.308920	1.55338	3.40	0.322745
Residual	0.994348	5	0.198870			
Total Ajustado	2.847867	11	0.258897			
R²	0.6508					

- Coeficiente de regresión para Índice de absorción de agua (IAA) (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(5)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	4.55531	0.43069	10.57674	0.000131	3.6874	5.42317
(B)H. Quinoa germinada	5.77534	0.43069	13.40947	0.000041	4.9075	6.64321
(C)H. Kiwicha germinada	4.36172	0.43069	10.12726	0.000161	3.4939	5.22959
AB	2.06147	2.16874	0.95054	0.385489	-2.3086	6.43158
AC	3.11408	2.16874	1.43589	0.210517	-1.2560	7.48419
BC	-0.12594	2.16874	-0.05807	0.955943	-4.4960	4.24418
ABC	-8.98509	11.79729	-0.76162	0.480646	-32.7572	14.78702

F) ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (ISA)

- Análisis de varianza para Índice de solubilidad de agua (ISA) de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	456.3624	3	152.1208	20.72844	2.92	0.000396
Residual	58.7100	8	7.3387			
Total Adjusted	456.3624	3	152.1208			
R²	0.9152	(R² ajustado = 88.61)				

- Coeficiente de regresión para Índice de solubilidad de agua (ISA) (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(5)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	10.7035	1.96881	5.43653	0.000619	7.0424	14.36458
(B)H. Quinoa germinada	27.9155	2.32212	12.02156	0.000002	23.5974	32.23354
(C)H. Kiwicha germinada	37.1989	2.32212	16.01942	0.000000	32.8809	41.51704
BC	-30.7532	11.57395	-2.65538	0.029013	-52.2555	-9.21090

G) PARÁMETRO DE COLOR L*

- Análisis de varianza para parámetro de color L* de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	381.4118	3	127.1373	106.4201	2.92	0.000001
Residual	9.5574	8	1.1947			
Total Adjusted	390.9692	11	35.5427			
R²	0.9837	(R² ajustado = 97.56)				

- Coeficiente de regresión para Parámetro de color L* (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	61.945	0.84380	73.41164	0.000000	60.376	63.5139
(B)H. Quinoa germinada	42.443	0.84380	50.30554	0.000000	40.879	44.0170
(C)H. Kiwicha germinada	45.575	0.84380	54.01109	0.000000	44.006	47.1437
ABC	-136.120	20.54875	-6.62765	0.000165	-174.401	-97.9785

H) PARÁMETRO DE COLOR a*

- Análisis de varianza para parámetro de color a*de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	20.45857	4	5.114644	61.86794	2.96	0.000015
Residual	0.57869	7	0.082670			
Total Adjusted	21.03727	11	1.912479			
R²	0.9745	(R ² ajustado = 97.26)				

- Coeficiente de regresión para parámetro de color a* (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	5.56592	0.225993	24.61538	0.000000	5.13475	5.99108
(B)H. Quinoa germinada	8.88644	0.247299	35.92591	0.000000	8.41591	9.35297
(C)H. Kiwicha germinada	10.05115	0.247299	40.64369	0.000000	9.58262	10.51967
BC	-3.31339	1.363415	-2.43021	0.045406	-5.89649	-0.73029
ABC	54.53049	5.999544	9.00743	0.000042	42.67388	65.40710

I) PARÁMETRO DE COLOR b*

- Análisis de varianza para parámetro de color b* de extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	172.0817	4	43.02042	107.1540	2.96	0.000002
Residual	2.8104	7	0.40148			
Total Adjusted	174.8921	11	15.89928			
R ²	0.9843	(R ² ajustado = 98.40)				

- Coeficiente de regresión para parámetro de color b* (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	36.0703	0.605932	59.52859	0.000000	34.9223	37.2182
(B)H. Quinoa germinada	21.6582	0.544129	39.80348	0.000000	20.6273	22.6891
(C)H. Kiwicha germinada	24.6565	0.544129	45.31365	0.000000	23.6256	25.6874
AB	-23.0481	2.713836	-8.49047	0.000062	-28.1833	-17.9002
AC	-15.7656	2.713836	-5.80925	0.000657	-20.9069	-10.6238

Anexo 12.

Cuadros estadísticos para el análisis de investigación de las características de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y ácido fítico.

A) CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (ORAC)

- Análisis de varianza para Capacidad antioxidantes en extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	2113.487	5	422.6975	38.33710	3.11	0.000177
Residual	66.155	6	11.0258			
Total Adjusted	2179.642	11	198.1493			
R ²	0.899	(R ² ajustado = 96.07)				

- Coeficiente de regresión para Capacidad antioxidante (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	19.4334	4.8226	4.10431	0.004548	10.6566	28.9302
(B)H. Quinoa germinada	71.2743	4.8226	13.90834	0.000002	57.9375	76.2111
(C)H. Kiwicha germinada	53.6600	4.4071	11.41336	0.000009	41.9503	58.6496
AB	-37.6213	26.5880	-1.13202	0.294908	-80.4714	20.2748
ABC	225.8643	116.9975	2.38207	0.048733	57.0358	500.3577

B) COMPUESTOS BIOACTIVOS

- Análisis de varianza para compuestos bioactivos en extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	481677.7	4	120419.4	85.60064	2.96	0.000075
Residual	9847.3	7	1406.8			
Total Adjusted	491525.0	11	44684.1			

R² 0.9814 (R² ajustado = 98.01)

- Coeficiente de regresión para compuestos bioactivos (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	179.673	32.2595	5.56962	0.000842	118.555	240.791
(B)H. Quinoa germinada	910.686	32.2595	28.23002	0.000000	849.568	971.804
(C)H. Kiwicha germinada	521.891	29.4802	17.70309	0.000000	466.038	577.744
AB	-484.922	177.8537	-2.72202	0.029679	-821.080	-147.164
ABC	5884.370	782.6239	7.51622	0.000135	4399.627	7365.112

C) CONTENIDO DE ÁCIDO FITICO

- Análisis de varianza para contenido de ácido fítico en extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	0.9010163	3	0.3003388	32.925	2.92	0.000075
Residual	0.0729763	8	0.0091220			
Total Adjusted	0.9739927	11	0.0885448			

R² 0.8511 (R² ajustado = 92.51)

- Coeficiente de regresión para contenido de ácido (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-90.% - Cnf.Limt	+90.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	0.3507	0.073733	4.75617	0.001434	0.2136	0.4878
(B)H. Quinoa germinada	0.4987	0.073733	6.76341	0.000143	0.3616	0.6358
(C)H. Kiwicha germinada	0.9764	0.073733	13.24185	0.000001	0.8393	1.1135
ABC	-14.3209	1.795589	-7.97560	0.000045	-17.6599	-10.9819



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Luz Maria Paucar Menacho

Asesora de Investigación de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
-----------	----------	--	-----------	--	------------	---

Departamento Académico:	Agroindustria y Agronomía
-------------------------	---------------------------

Escuela Profesional:	Ingeniería Agroindustrial
----------------------	---------------------------

De la Universidad Nacional del Santa, asesor del informe de tesis intitulado:

“EXTRUIDO DE GRITS DE MAÍZ (*Zea mays*) CON HARINAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amarantus caudatus*) GERMINADAS”

De la estudiante: Verona Ruiz Anggie Liseth

De la escuela/ departamento académico: Ingeniería Agroindustrial /Agroindustria y Agronomía.

Constato que el estudiante investigador ha presentado su declaración jurada, tal como se ha pedido presentado a falta del software anti plagio Turnitin.

Quien suscribe la presente, declaro haber analizado dicho informe y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio, cumpliendo con el valor dentro del límite del turnitin 30%. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 16 de Noviembre de 2022

Firma:

Nombres y Apellidos del Asesor: Luz Maria Paucar Menacho

DNI: 08099817



DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA

Yo, Bach. Verona Ruiz, Anggie Liseth, estudiante de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
-----------	----------	--	-----------	--	------------	---

Departamento Académico:	Agroindustria y Agronomía
-------------------------	---------------------------

Escuela Profesional:	Ingeniería Agroindustrial
----------------------	---------------------------

De la Universidad Nacional del Santa, declaro que el trabajo de Investigación intitulado:

“EXTRUIDO DE GRITS DE MAÍZ (*Zea mays*) CON HARINAS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) Y KIWICHA (*Amarantus caudatus*) GERMINADAS”

Presentado en Folios, para la obtención de grado académico

Título Profesional	(X)	Investigación anual	()
--------------------	-------	---------------------	-----

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación sería público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por VRIN.
- De encontrarse uso de material Intelectual sin reconocimiento de su fuente o autor, me someto las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 16 de Noviembre de 2022

Firma:

Nombres y Apellidos: Anggie Liseth Verona Ruiz

DNI: 71025905

NOTA: Esta declaración jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito no exime a tesis e investigadores, que ni bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.