

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Desarrollo de un extruido saludable a partir de harinas de quinua y
cañihua germinadas con adición de maíz”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORA:

Bach. Alicia Anaís Lavado Cruz

ASESORA:

Dra. Luz María Paucar Menacho

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 “DESARROLLO DE UN EXTRUIDO SALUDABLE A PARTIR DE HARINAS DE QUINUA Y CAÑIHUA GERMINADAS CON ADICIÓN DE MAIZ”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la Bachiller. Lavado Cruz Alicia Anaís, fue revisado y asesorado por la Dra. Luz Maria Paucar Menacho, designada mediante resolución decanal N° 204-2021-UNS-FI.

ASESORA

Dra. Luz Maria Paucar Menacho

Dni: 08099817

Orcid: 0000-0001-5349-6167



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

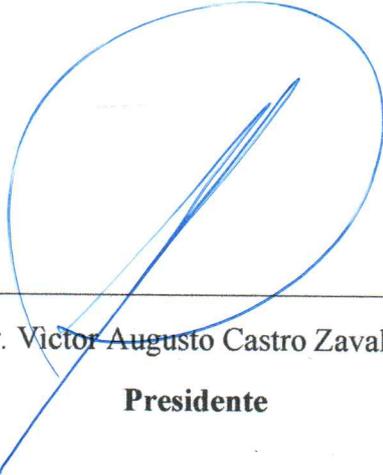
FACULTAD DE INGENIERÍA

E.A.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



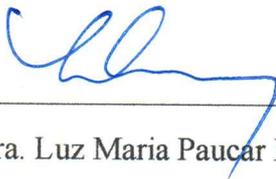
HOJA DE AVAL DE JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “DESARROLLO DE UN EXTRUIDO SALUDABLE A PARTIR DE HARINAS DE QUINUA Y CAÑIHUA GERMINADAS CON ADICION DE MAIZ”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la Bachiller Lavado Cruz Alicia Anais, 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° 243-2022-UNS-CFI quienes firman en conformidad:



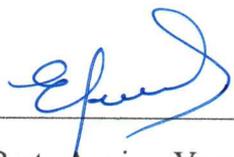
Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta

Presidente



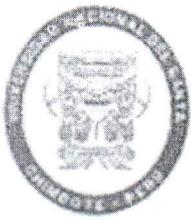
Dra. Luz Maria Paucar Menacho

Integrante



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas

Secretaria



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día nueve 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° 243-2022-UNS-CFI, con fecha 17 de junio del 2022, 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:

“DESARROLLO DE UN EXTRUIDO SALUDABLE A PARTIR DE HARINA DE QUINUA Y CAÑIHUA GERMINADAS CON ADICIÓN DE MAIZ”, elaborado por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial.

• **LAVADO CRUZ ALICIA ANAIS**

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

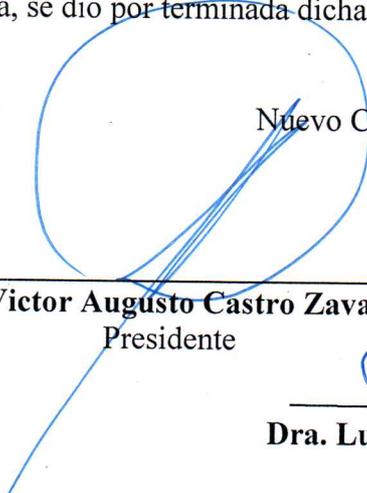
Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

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
LAVADO CRUZ ALICIA ANAIS	19	EXCELENTE

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

Nuevo Chimbote, 09 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, que guía cada paso que he dado en mi vida, por brindarme salud y fortaleza para lograr mis objetivos y permitirme culminar este momento tan importante en mi vida porque él conoce los sueños de mi corazón.

A mis padres Alfonso y Carmen, por su confianza y respaldo incondicional a lo largo de mis años de formación profesional, son mi ejemplo.

A mis hermanos por ser un ejemplo en su formación, y a todos mis seres queridos que estuvieron apoyándome en todo el transcurso de mi tesis y siempre me impulsaron a superarme, a cumplir los objetivos que me trazo y nunca dejar de aprender, porque todo esfuerzo tiene su recompensa.

Alicia

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 mi amiga y compañera de investigación Angie Verona Ruiz, por haber compartido gratos momentos durante el desarrollo de nuestras tesis, porque cuando necesite de alguien siempre estuvo para apoyarme y especialmente a Gustavo Corilla Porras por brindarme su apoyo incondicional durante toda la etapa de tesis.

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.

Alicia

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo desarrollar un extruido con óptimas características tecnológicas, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y menor ácido fítico a partir de harinas de quinua (42h/20°C) y cañihua (72h/20°C) germinadas con adición de grits de maíz, usando un diseño de mezcla simplex-centroide y las variables dependientes se analizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta ($P < 0.10$ y $R^2 > 0.80$). Los extruidos se trabajaron en un extrusor doble tornillo a temperaturas de (30, 45, 55, 75, 95, 105 y 115°C), con flujo de alimentación (25 kg/h), velocidad del tornillo (30 Hz) y matriz (6 mm ϕ). Posteriormente, los resultados obtenidos de los análisis en los extruidos demostraron, en IE una variación de 0,88 y 2,10 asociado a carbohidratos y DA entre 0.22 y 0.73 mg/cm³; las formulaciones con mayor % de grits de maíz tuvieron valores más altos de trabajo de corte, sin embargo, la fuerza de corte no fue influenciada mostrando datos entre 10.16 y 49.96 N. La harina de cañihua germinada favoreció el proceso de dextrinización en la extrusión, mostrando mayor ISA y menor valor de IAA. Para parámetros de color, el uso de niveles más altos harina de quinua y cañihua germinadas resultaron extruidos más oscuros ($L^* = 34.17-61.23$), con una tonalidad amarillenta inferior ($b^* = 20.52-37.65$) y valores superiores de a^* (5,99-10,73). Al evaluar el contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante antes y después de la extrusión se encontró un incremento del 58% y del 49%. En conclusión, la formulación óptima para maximizar el índice de expansión, parámetro a^* , ISA, el contenido de fenólico, la actividad antioxidante y minimizar el contenido de ácido fítico fue de 24% grits de maíz, 17% de quinua y 59% de cañihua, con una deseabilidad del 64,40% e intención del 57% (puntuaciones <4), siendo la formulación más viable para futuras investigaciones.

Palabras Clave: germinación, extrusión, pseudocereales, calidad nutricional, propiedades tecnológicas

ABSTRACT

The objective of the study was to develop an extrudate with optimal technological characteristics, bioactive compounds, antioxidant activity and lower phytic acid from quinoa (42h/20°C) and cañihua (72h/20°C) flours germinated with the addition of corn grits. corn, using a simplex-centroid mixture design and the dependent variables were analyzed using the response surface methodology ($P < 0.10$ and $R^2 > 0.80$). The extrudates were processed in a twin screw extruder at temperatures (30, 45, 55, 75, 95, 105 and 115°C), with feed flow (25 kg/h), screw speed (30 Hz) and die (6mm ϕ). Subsequently, the results obtained from the analyzes in the extrudates showed, in IE, a variation of 0.88 and 2.10 associated with carbohydrates and DA between 0.22 and 0.73 mg/cm³; the formulations with a higher % of corn grits had higher values of shear work, however, the shear force was not influenced, showing data between 10.16 and 49.96 N. The germinated cañihua flour favored the dextrinization process in the extrusion, showing higher ISA and lower IAA value. For color parameters, the use of higher levels of germinated quinoa and cañihua flour resulted in darker extrudates ($L^* = 34.17 - 61.23$), with a lower yellowish hue ($b^* = 20.52 - 37.65$) and higher values of a^* (5.99–10.73). When evaluating the content of bioactive compounds and antioxidant activity before and after extrusion, an increase of 58% and 49% was found. In conclusion, the optimal formulation to maximize expansion index, parameter a^* , ISA, phenolic content, antioxidant activity and minimize phytic acid content was 24% corn grits, 17% quinoa and 59% quinoa. cañihua, with a desirability of 64.40% and an intention of 57% (scores <4), being the most viable formulation for future research.

Keywords: germination, extrusion, pseudocereals, nutritional quality, technological properties

ÍNDICE GENERAL

Pág

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRAC	viii
I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Antecedentes de la Investigación	15
2.2. Quinoa	18
2.2.1. Generalidades de la Quinoa	18
2.2.2. Expansión Global de la Quinoa	19
2.2.3. Taxonomía de la Quinoa	21
2.2.4. Morfología de la Quinoa	23
2.2.5. Composición Química de la Quinoa	25
2.2.6. Variedades de la Quinoa.....	29
2.3. Cañihua.....	33
2.3.1. Generalidades de la Cañihua.....	33
2.3.2. Producción Nacional de la Cañihua	33
2.3.3. Taxonomía de la Cañihua.....	34
2.3.4. Morfología de la Cañihua.....	35
2.3.5. Composición Química de la Cañihua.....	37
2.3.6. Variedades de cañihua	38
2.3.7. Uso de la Cañihua	40
2.4. Maíz	41
2.4.1. Generalidades del Maíz	41
2.4.2. Taxonomía del Maíz	42
2.4.3. Morfología del Maíz	43
2.4.4. Composición Química del Maíz	45
2.5. Germinación.....	48
2.5.1. Generalidades de la Germinación.....	48
2.5.2. Etapas del Proceso de Germinación	49
2.5.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la germinación.....	51

2.5.5. Degradación y cambio de sustancias de almacenamiento durante la germinación.....	52
2.5.6. Cambios de compuestos bioactivos de semillas germinadas.....	54
2.6. Snacks Extruidos	57
2.7. Extrusión	58
2.7.1. Definición de extrusión	58
2.7.2. Generalidades de la Extrusión	59
2.7.3. Proceso de Extrusión.....	60
2.7.4. Equipo extrusor	62
2.7.5. Efectos de la Cocción por extrusión.....	64
III. MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.1. Lugar de Ejecución	67
3.2. Materias Primas	67
3.3. Equipos, Reactivos, Instrumentos y otros Materiales	67
3.3.1. Equipos.....	67
3.3.2. Reactivos.....	68
3.3.3. Materiales de Vidrio.....	69
3.3.4. Otros materiales.....	70
3.4. Métodos.....	70
3.4.1. Obtención de la Harina de Quinua Germinada	70
3.4.2. Obtención de la Harina de Cañihua Germinada.....	73
3.4.3. Obtención de los Grits de Maíz	76
3.4.4. Evaluación de la Calidad de las Materias Primas	77
3.4.4.1. Caracterización fisicoquímica de las harinas de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz	77
3.4.5. Obtención de los Extruidos tipo Snacks	79
3.4.6. Evaluación de la Calidad de los Snacks Extruidos.....	81
3.4.6.1. Evaluación Fisicoquímica.....	81
3.4.6.2. Evaluación Tecnológica.....	82
3.4.6.3. Evaluación de Aceptabilidad General de los snacks óptimos.....	85
3.5. Diseño Experimental.....	85
3.6. Análisis Estadístico	89
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	90

4.1. Evaluación de Calidad de las Materias Primas	90
4.1.1. Caracterización Químico Proximal	90
4.1.2. Caracterización Fisicoquímico	95
4.1.3. Análisis Granulométrico.....	101
4.1.4. Análisis de Colorimetría.....	107
4.2. Evaluación de Calidad de los Snack Extruidos.....	108
4.3. Optimización numérica y validación de modelos matemáticos del extruido ..	150
4.3.1. Evaluación de la aceptabilidad general e intención de compra de las mejores formulaciones	152
V. CONCLUSIONES	156
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
VIII. ANEXOS.....	170

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los cereales para el desayuno y snacks son, de hecho, un componente importante del desayuno en todo el mundo; aproximadamente la mitad de la población consume cereales para el desayuno en países desarrollados, principalmente niños. Por ejemplo: en Australia, el 49% de los niños de 2 a 18 años eligen este tipo de bocaditos, exclusivamente cereales endulzados (Fayet-Moore *et al.*,2017); en Bélgica el consumo es más alto entre niños de 6 a 9 años (Vermote *et al.*,2020), lo mismo sucede en España como en Portugal que consumen la mitad de su población, (Markttest, 2015) y en EE.UU., alrededor del 36% de sus niños (Smith *et al.*,2019). Actualmente, se busca que los cereales y snacks, sean fortificados con granos integrales para que puedan desempeñar un papel más nutritivo y contribuir en una dieta más rica de nutrientes (Santos *et al.*,2022).

En el país, si realizamos una comparación entre el consumo alimentario del desayuno en escolares de dos zonas socioeconómicas distintas, resulta que los desayunos de escolares de la zona rural son un modelo más cercano al saludable, mientras que los de la zona urbana son pocos saludables (comida rápida), tendencia que debe ser modificada, reemplazando estos alimentos por otros nutricionalmente equilibrados que contribuyan a su nutrición y salud (Arija *et al.*,2017)

Ante la alta demanda de alimentos sanos, estudios previos reflejan el incremento nutricional de los granos, después de verse sometido a la germinación. La germinación es un proceso tecnológico emergente que mejora naturalmente los beneficios nutricionales y nutracéuticos de granos y se ha demostrado que maximiza el contenido fitoquímico y la actividad antioxidante de pseudocereales como la kiwicha, cañihua, quinua y amaranto (Darwish *et al.*,2020).

La quinua (*Chenopodium quinoa*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) son pseudocereales nutritivos originarios de las zonas alto andinas de América del Sur (Peña,2020). La quinua germinada contiene un 15.45% de proteína, 5.41% de fibra dietética, sin gluten, rica fuente de ácidos grasos saludables, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos (Pereira *et al.*, 2019). Así mismo, la cañihua germinada contiene un 20% proteína, de las cuales su fracción principal son albuminas y globulinas (41%), alto contenido de aminoácidos azufrados, rico en flavonoides, quercetina, hierro y magnesio (Abderrahim *et al.*, 2012).

Como la mayoría de los productos de extrusión están hechos de sémola de maíz, arroz, trigo que son poco nutritivas, se está analizando el efecto de la incorporación de pseudocereales como sustitutos en la elaboración y así obtener productos con gran fuente de micronutrientes a través de la fortificación con vitaminas, proteínas y minerales. Con la extrusión se obtiene una amplia gama de productos alimenticios como aperitivos y cereales para desayuno listo para comer (Oliveira *et al.*,2017). Por tal razón, la elaboración de productos extruidos a partir de granos germinados mejorará la composición nutricional, sin embargo, se desconoce sus consecuencias en las características tecnológicas y sensoriales (Bravo & Ortega, 2017).

Considerando la importancia de lo anteriormente dicho nace la siguiente problemática: ¿Cuál será la formulación óptima para desarrollar un producto extruido a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz con las mejores características tecnológicas, con alto contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y menor contenido de ácido fítico? Y se plantea la siguiente hipótesis de investigación: La formulación de un extruido a partir de (20-60%) harina de cañihua germinada y (5-20%) harina de quinua germinada con adición de (30-70%) de grits de maíz, permitirá optimizar

las características tecnológicas que maximicen el contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y minimizar el contenido de ácido fítico.

Por lo tanto, la presente investigación propone desarrollar un extruido con las óptimas características tecnológicas, contenido de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y contenido de ácido fítico a partir de harina de quinua y cañihua germinadas con adición de grits de maíz, y como objetivos específicos:

- Germinar y caracterizar fisicoquímicamente las materias primas (harina integral de cañihua germinada var. Illpa INIA, harina integral de quinua germinada var. Pasankalla y grits de maíz).
- Evaluar las características tecnológicas (colorimetría, índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), textura instrumental, índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción en agua (IAA)) de los extruidos obtenidos de la mezcla de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz siguiendo un diseño de mezclas simplex con centroide de 12 tratamientos.
- Evaluar el efecto de la extrusión en la composición de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y ácido fítico de los extruidos obtenidos de la mezcla de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de maíz siguiendo un diseño de mezclas simplex con centroide de 12 tratamientos.
- Determinar la formulación óptima del extruido que maximice las características tecnológicas, el contenido de compuestos bioactivos, la capacidad antioxidante, y minimice el contenido de ácido fítico
- Evaluar la aceptabilidad general e intención de compra del extruido final óptimo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Actualmente, la popularidad del desarrollo de un refrigerio que combine materias primas con cualidades nutricionales únicas dan como resultado un alimento deseable, con alto valor nutricional, buen sabor y un precio asequible (Cuj-Laines *et al.*,2018).

Al respecto Kowalski *et al.* (2016) en el artículo científico “Características del proceso de extrusión de la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) Var. Cereza vainilla, nos mencionan que el procesamiento de granos de cereales y pseudocereales en productos que prometen un valor nutritivo a los consumidores representa una oportunidad considerable para el procesamiento de alimentos a gran escala, por eso utilizaron las semillas de quinua que contienen cantidades superiores de compuestos bioactivos como los polifenoles (2,7–3,8 g/kg), además no contiene gluten. Los autores afirman la cocción por extrusión es muy ventajosa en comparación con otras técnicas de procesamiento debido al corto tiempo de proceso y su naturaleza continua ya que afectaría lo menos posible las características físicas de la quinua. Donde tuvieron como objetivo: Comprender la cocción por extrusión en las características de la harina de quinua usando la metodología de superficie de respuesta, donde se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y la estabilidad química de los compuestos bioactivos como fenoles y saponinas en diferentes condiciones de procesamiento de extrusión. Obteniendo que la energía requerida para extruir esa variedad de quinua es de 250 a 500 kJ/Kg, observándose las características de los extruidos con respecto a la relación de expansión (1,17 – 1,55 g/cm³), densidad unitaria (0,45 -1,02 g/cm³),

índice de absorción de (2,33-3,05 g/g) e índice de solubilidad de un 15%; pero este tipo de harina no tuvo una expansión directa relativamente baja en comparación con el maíz o trigo, lo que se sugiere que no es adecuada para este proceso.

Paucar-Menacho *et al.* (2017) en el artículo científico “Optimización de la superficie de respuesta de las condiciones de germinación para mejorar la acumulación de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la quinua”, mencionan este proceso de germinación se ha propuesto como un enfoque económico para mejorar el contenido de compuestos bioactivos en pseudocereales para combatir la alta tasa de enfermedades crónicas como diabetes tipo 2, obesidad, enfermedades cardiovasculares y malos hábitos nutricionales en las personas. Teniendo como objetivo optimizar las condiciones de germinación (tiempo y temperatura) mediante la metodología de superficie de respuesta (RMS) para maximizar el contenido de ácido α -aminobutírico y compuestos fenólicos totales, así como la actividad antioxidante de la quinua. Mostrando que las condiciones óptimas para maximizar el contenido de compuesto fenólico total y la actividad antioxidante en la quinua germinada fueron de 20°C durante 42 horas, donde se exhibieron broten con aumento del 80% en compuestos fenólicos y 30% en actividad antioxidante en comparación con las sin germinar; pero el ácido α -aminobutírico obtenido en estas condiciones no fue significativo, pero el aumento de flavonoides fue más pronunciado.

También Tovar-Hernández *et al.* (2017), hacen referencia en su artículo científico titulado “Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua normal y germinada”, donde ellos evaluaron los efectos del proceso de extrusión sobre los componentes nutricionales y características fisicoquímicas de las harinas

procedentes. Para ello a cada harina le realizaron análisis proximal, curvas de empastamiento, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua. Ellos utilizaron un extrusor de tornillo simple compacto a temperaturas de 96°C - 115°C - 111°C - 100°C. Obteniendo como resultados que el proceso de extrusión afectó el valor nutricional de las harinas de quinua normal y germinada, notándose disminución en los contenidos de 16 proteína, carbohidratos y grasa, siendo más *notable* en la harina germinada por lo cual podría decirse que la germinación genera menor estabilidad térmica en el grano. El índice de absorción de agua de las harinas incrementó luego de la extrusión, indicando que las dos harinas son adecuadas para el desarrollo de productos instantáneos.

Huanatico (2018) en la tesis “Efecto del germinado y extrusión sobre el contenido de aminoácidos de la cañihua (*chenopodium pallidicaule aellen*) y elaboración de donas”, tuvo como objetivo evaluar el efecto del germinado y extrusión sobre los aminoácidos de la cañihua y su elaboración de donas. Donde primero germino con tres tratamientos a 48, 72 y 96 horas a 20 °C, seco a 60 °C y molió la cañihua germinada para obtenerla en harina. A la harina germinada le realizo sus análisis químico- proximal, la determinación de aminoácidos y azúcares reductores. Segundo realizo la cocción por extrusión en un solo extrusor de un tornillo, a 150 °C por 30 minutos a una velocidad de rotación del tornillo sin fin de 500 rpm. Por último, elaboro donas crocantes a partir de su harina germinada extruida y harina de trigo, teniendo 5 formulaciones (90/10; 80/20; 70/30; 60/40; 50/50). Resultando que el tiempo ideal para germinar cañihua es de 96 horas con un contenido proteico de 17,7%, con un aumento en aminoácidos (Tirosina, valina y lisina). En el caso de extrusión, se logró un aumento proteico de 18%, donde se

concluye que el segundo tratamiento es el óptimo (72 horas) para el germinado y extrusión, finalmente con una sustitución del 30% de harina es la más aceptable.

Pérez-Ramos (2019) en la tesis “Bocadito con alto contenido proteico: Un Extruido A Partir De Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd.*), Tarwi (*Lupinus Mutabilis Sweet*) Y Camote (*Ipomoea Batatas L.*) tuvo como objetivo la elaboración de un bocadito extruido de elevado tenor proteico, a partir de quinoa, tarwi y fécula de camote. 17 Aplicaron el método de diseño de mezcla, además realizaron el análisis químico proximal por triplicado a las materias primas y al bocadito extruido óptimo, La determinación del contenido de proteínas, mide el Índice de expansión, La resistencia mecánica de material extruido, así mismo a la formulación óptima se determinó aplicando la prueba de deseabilidad basada en los modelos de regresión ajustado, dicha formulación se obtuvo maximizando el contenido de proteína e índice de expansión; y minimizando la dureza y densidad aparente de los extruidos. Exponiendo que la formulación óptima tuvo un porcentaje de quinoa, tarwi y fécula de camote de 57%, 26% y 17 % respectivamente. El análisis fisicoquímico de la fórmula óptima dio como resultado 20,16% de proteína, 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm³ densidad aparente y 9,31 N de dureza. La calidad proteica de la formulación óptima fue determinada mediante los ensayos de digestibilidad verdadera y valor biológico verdadero en ratas, obteniéndose 83,5% y 62,9% respectivamente.

2.2. Quinoa

2.2.1. Generalidades de la Quinoa

La quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) es un pseudocereal autóctono de la región Alto andina de América del Sur, de importante tradición y notable tolerancia al impacto medioambiental con alto valor nutricional. Recientemente se ha

informado que una porción de quinua (alrededor de 40 g) cumple con una parte significativa de las recomendaciones diarias de nutrientes esenciales (RDA), principalmente vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales. Además se ha identificado en una plétora de quinua compuestos bioactivos en este cultivo, incluyendo saponinas, compuestos fenólicos, fitoesteroles, fitoecdisteroides y péptidos bioactivos (Vilcacundo, 2016).

2.2.2. Expansión Global de la Quinua

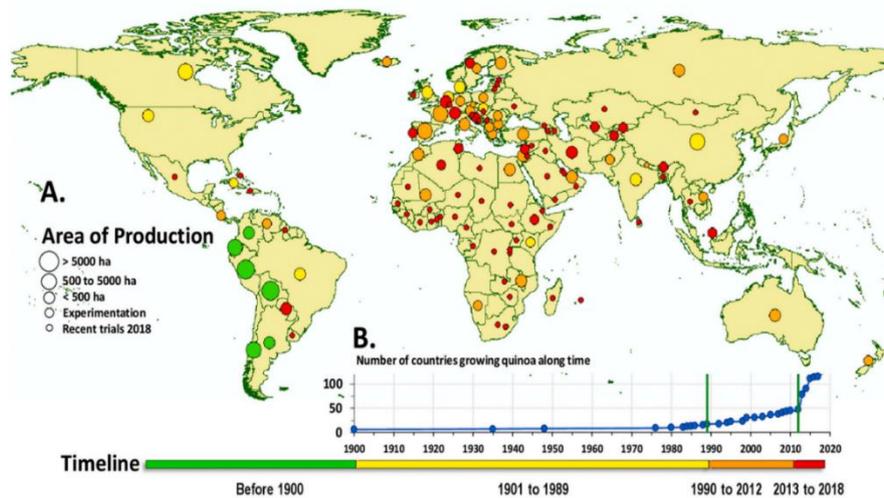
La distribución mundial de la quinua ha cambiado significativamente a lo largo del tiempo, de ser producido en 6 países, ahora este grano está presente en más de 120 países alrededor del mundo. Esta captación fue inducida por el creciente interés, el desarrollo de mercado, la investigación y promoción de la quinua. Este nuevo escenario trae nuevos competidores para la región andina donde se produce quinua en sistemas de producción como en estaciones experimentales (Alandia *et al.* 2020).

La quinua tiene una historia agrícola que data aproximadamente hace 5000-7000 años en la región andina de Sudamérica. Los principales países productores de quinua son Perú, Bolivia y Ecuador, siendo cultivado en Finlandia e Inglaterra experimentalmente, la quinua se exporta a los países europeos y a los EE.UU. en cantidades cada vez mayor (Ceyhun *et al.*, 2019). Este cultivo andino tiene una producción global de 1,58,920 toneladas, con Perú produciendo principalmente 86,011 toneladas de quinua cultivada en 64,660 hectáreas, seguido por Bolivia con 70,763 toneladas en 1,11,605 hectáreas cultivadas y Ecuador con 2146 toneladas en 2048 hectáreas (Bhinder *et al.*, 2021).

En la *Figura 1*, se muestra la distribución mundial de la quinua desde los años 1900 hasta el año 2020, así mismo el autor ha hecho una recopilación de todas las áreas de producción de quinua en los 5 continentes, ya sea en experimentación y/o cultivo.

Figura 1

Distribución mundial de la Quinua a lo largo del tiempo



Nota: El grafico representa la distribución geográfica de las variedades de quinua desde el año 1900 hasta el 2020 en los 5 continentes; donde (A) representa a las áreas de producción y experimentación con quinua y (B) el incremento del número de países que cultivan quinua. Adaptada de Alandia *et al.* (2020).

Algunos de los principales desafíos son los rendimientos inestables, la baja tecnología, ecosistemas frágiles y regulaciones poco claras entorno a la participación en los beneficios de la conservación de los recursos genéticos andinos.

Por otra parte, la región andina contiene una gran variabilidad de zonas y sistemas productivos donde se produce la quinua. Esto es un gran potencial para continuar desarrollando mercados de consumo de granos andinos porque las características únicas de la región andina brindan narrativas para etiquetas que aumentan el valor de productos dirigidos a consumidores que demandan comida auténtica, fuera de lo

convencional. Además, el Perú posee una enorme diversidad genética de la quinua, sin embargo, en condiciones que no aseguran su conservación. Las inversiones son necesarias para evitar la pérdida de estos valiosos recursos y aprovechar la rica biodiversidad de la quinua y sus familiares especies silvestres (Rojas *et al.* ,2015). Los gobiernos deben concentrar su atención en este activo. Por ello, la aplicación de resultados de investigaciones previas y desarrollo de nuevos productos conducen a innovaciones útiles (Alandia *et al.* ,2020).

2.2.3. Taxonomía de la Quinua

La Quinua es una especie dicotiledónea, de la familia *Amaranthaceae* que produce frutos aquenios con una semilla redonda de 1.5 a 4 mm (García *et al.*,2015). La familia *Amaranthaceae* tiene una amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales que incluye cerca de 170 géneros y 2300 especies. Se señala que los granos de polen son medianos y pantoporados en los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium*, antiguamente se separaba *Chenopodiaceae* de *Amaranthaceae* por los tépalos, brácteas verdes y por los estambres libres entre sí (Rojas,2021).

La clasificación taxonómica de la quinua es la siguiente:

Tabla 1

Clasificación Taxonómica de la Quinua

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Angiospermas
Orden	Caryophyllales

Familia	Amaranthaceae
Subfamilia	Chenopodioideae
Género	Chenopodium
Especie	Chenopodium quinoa Willdenow

Nota: Tomada de ITIS (2017)

El género *Chenopium* comprende unas 150 especies, entre cultivados y silvestres. Entre las especies cultivadas tenemos a la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), cañihua (*C.pallidicaule Aellen*) y el huazontle, quelite o chía (*C. nuttalliae Safford*), mientras entre las especies silvestres tenemos a *C. carnosolum*, *C. petiolare* y *C. hircinum* (Rojas,2021).

Al mismo tiempo, esta planta es tolerante al frío, a la sequía y la sal, se puede cultivar a gran altura en las zonas montañosas por eso se muestra una gran biodiversidad en sierra peruana (Pilco-Quesada *et al.*, 2020). Las especies de quinua se caracterizan por altos niveles de diversidad y plasticidad fenotípica (Ahmad *et al.*,2019), pero se deben abordar puntos cruciales si se quiere mejorar su rendimiento fuera del territorio nativo del grano.

Estos obstáculos pueden superarse si se selecciona la correcta variedad cultivada de quinua que tolere todas las condiciones ambientales adversas. Actualmente se cultivan unas 6000 variedades de quinua en todo el mundo, cada una con características genéticas distintas, lo que convierte un reservorio excepcional de diversidad genética explotable para la investigación y mejorar el rendimiento (Rojas *et al.*,2015). Estos reservorios de variedades genéticas aquí en el Perú, se les llama como “Estaciones Experimentales Agrarias”, son 24 estaciones en total que están distribuidas a nivel nacional por el Instituto Nacional de Innovación Agraria. Estas estaciones tienen como función ejecutar acciones de innovación

agraria en recursos genéticos animales y vegetales, así como realizar la producción de semillas, plántones y reproductores, y también de brindar servicios tecnológicos en sus laboratorios.

2.2.4. Morfología de la Quinua

La raíz de la quinua es pivotante, la cual cuenta con una raíz principal de la que sales un gran número de raíces laterales muy ramificadas y la longitud de las raíces varia de 0.8 a 1.5 m (Rojas,2021).

El tallo es cilíndrico en unión con la raíz y a medida que se aleja se vuelve anguloso en la naciente de hojas y ramas, su corteza está formada por tejidos fuertes y lignificados que le da una consistencia firme y compacta, que en la cosecha el tallo queda hueco o vacío. Su color en la época de floración, puede ser verde, verde-amarillo, naranja, rosado, rojo y púrpura. A la madurez el color del tallo se torna de color crema o rosado con diferentes intensidades, la altura de la planta desde la base del tallo hasta la inflorescencia varía de 0.5 m a más de 3m.

De acuerdo a Gómez & Aguilar (2016) el hábito de ramificación del tallo puede ser de:

- Hábito sencillo: con un solo tallo y una inflorescencia terminal definida. Este tipo de tallos se encuentra en variedades de los ecotipos del altiplano y de los salares.
- Hábito ramificado con las variantes: las ramas laterales tienen la misma longitud que el tallo principal y todas terminan en panojas, y el tallo principal tiene mayor longitud que los tallos secundarios dando a la planta una forma cónica y de base amplia.

Las hojas se dividen en dos partes diferenciadas: el peciolo y la lamina. El peciolo de las hojas es largo y acanalado, su color puede ser verde, rosado, rojo y púrpura.

La lamina de la hoja cuenta con tres venas principales que se originan del peciolo, ellas son polimórficas en la misma planta; los follajes pueden ser triangulares o romboidales y las inflorescencias pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados. El color de la lamina es verde, en algunas variedades hay hojas de color verde-purpura, a la madurez las laminas se tornan amarillentas, naranjas, rosadas, rojas o purpuras (Gómez & Aguilar, 2016).

El fruto es un aquenio de forma esferoidal cubierto por el perigonio sepaloide y se desprenden con facilidad a la madurez; sin embargo, puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla en la cosecha en algunos casos. El fruto está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla; el pericarpio está adherido a la capa de la semilla, tiene alveolos en su superficie y la saponina que le da el sabor amargo al grano. El fruto puede alcanzar un diámetro de 1.5 a 3 mm.

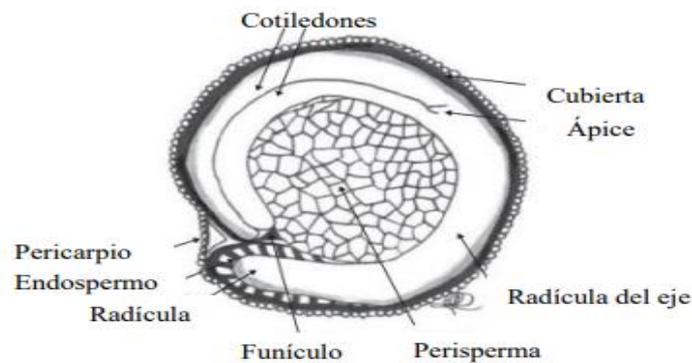
La semilla presenta tres partes: epispermo, embrión y perispermo. El epispermo, está compuesta por cuatro capas: la primera es de superficie rugosa, quebradiza que esta externamente, la cual se desprende fácilmente al frotarla, ahí encontramos la saponina que es la enzima de amargor de la quinua. La segunda capa es muy delgada y lisa, se observa solo cuando la capa externa es translúcida; la tercera capa es de color amarillenta, delgada y opaca y la última capa es translúcida (Bravo & Ortega, 2017).

El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula que constituye el 30% del volumen total de la semilla, además envuelve al perispermo como un anillo, es de color amarillo, mide 3.54 mm de longitud y 0.36 mm de ancho. La radícula tiene un color castaño oscuro y en ella se encuentra la mayor cantidad de proteína de la quinua, alcanza del 40% y en el perispermo solo al 8.3% (Bravo & Ortega, 2017). Por último, el perispermo es el principal tejido de almacenamiento que está constituido por granos de almidón, de color blanco y representa el 60% de la superficie de la semilla (Rojas,2021).

En la *Figura 2* se muestra la estructura de la semilla de la quinua, donde se encuentra el embrión, el perispermo y epispermo.

Figura 2

Estructura del grano de Quinua



Nota: Adaptada de *Caracterización Fenotípica de 402 accesiones de Quinua*, por A., Rojas, 2021, (<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4804>).

2.2.5. Composición Química de la Quinua

La quinua tiene una cantidad de proteína igual o por lo menos como en la leche porque incluye todos los aminoácidos esenciales, tiene un contenido de proteína de 12 a 20 %, aunque esto varía según la variedad (Ceyhun *et al.*,2019). Según

estudios realizados el 60-74% es carbohidrato, 16.5-23.9% es proteína, 9-12.6% es humedad, 4-10% es lípido y 3-4% es mineral. (Paucar-Menacho *et al.*,2017), Como grano alimenticio sin gluten con un índice glucémico bajo, la quinua es una alternativa viable para dietas e industrias especiales. Incluye más proteínas que el trigo, el centeno, la avena, el mijo, maíz y arroz y cuenta con otros aminoácidos esenciales en su compuesto rico en lisina (2.4-7.8%) que es un aminoácido esencial y limitado en algunos cereales como el trigo, tiene una equilibrada composición de aminoácidos (Gordillo-Bastidas *et al.*,2016). La Tabla 2 muestra una comparación de los valores nutricionales de la quinua en relación al arroz, cebada, trigo, maíz, centeno y sorgo, considerados como alimentos más cruciales en el mundo tanto en humanos como en dietas animales.

Tabla 2

Comparación de los valores nutricionales de granos de quinua con otros granos (100 g)

Componente	Quinua	Arroz	Cebada	Trigo	Maíz	Centeno	Sorgo
Grasa (g)	6.07	0.55	1.3	2.47	4.74	1.63	3.46
Proteína (g)	14.12	6.81	9.91	13.68	9.42	10.34	10.62
Ceniza (g)	2.7	0.19	0.62	1.13	0.67	0.98	0.84
Fibra (g)	7.0	2.8	15.6	10.7	7.3	15.1	6.7
Carbohidratos (g)	64.16	81.68	77.71	71.13	74.26	75.86	72.09
Energía (kcal)	368	370	352	339	365	338	329

Nota: Tomado de Navruz-Varli (2016)

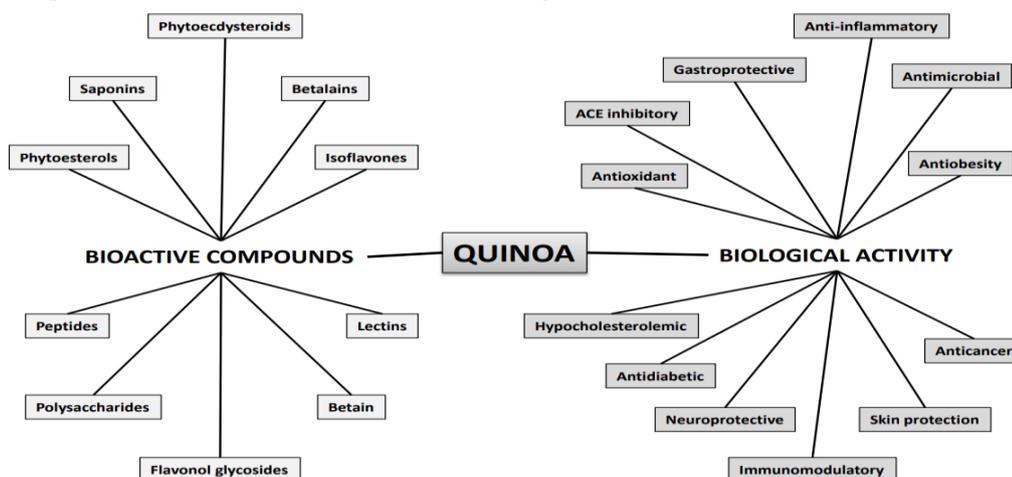
Su tasa total de fibra en la quinua es de aproximadamente 10%, su cantidad de fibra es superior a la de otros cereales y menor que las legumbres. La fibra

insoluble es importante debido a que facilita la digestión y evita el estreñimiento (Ceyhun *et al.*,2019). Con respecto a su semilla, el 5 % es aceite, el 60% es carbohidrato y el 4% es pulpa/fibra, porque la quinua es una hierba que incluye aceite vegetal libre de colesterol de alta calidad y comestible y la tasa de aceite (6-7%) es mayor en comparación con los granos. El ácido palmítico es el principal ácido graso saturado que se encuentra en la quinua. El contenido de aceite en la quinua roja es mayor que las otras variedades (Valdez-Arana *et al.*, 2020).

Al mismo tiempo, contiene componentes de polifenoles (colorante pigmento), fitoesteroles (aceite vegetal) y flavonoides (compuesto de sabor y olor) y tiene efectos nutraceuticos. Tiene características funcionales incluyendo su efecto sobre la alta presión arterial y efectos reductores del colesterol en el suero y el hígado, con todas estas características favorables ha aumentado el interés de incluirlo en varios productos en la industria alimentaria (Cicero & Colletti, 2015). Los compuestos bioactivos identificados en la quinua y sus actividades biológicas informadas se muestran en la *Figura 3*.

Figura 3

Compuestos bioactivos y actividades biológicas de la Quinoa



Nota: Adaptado de *Valor nutricional y biológico de la quinua*, por Vilcacundo & Hernández,2017, (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>).

Al ser una fuente de fibra, la quinua cuenta con propiedades nutricionales superiores ya que contiene diversos minerales (calcio, magnesio, zinc, hierro, potasio, fosforo) y vitaminas (E, B y C), con alto nivel de proteínas, grasas y aminoácidos esenciales de calidad, convirtiéndolo en un buen suplemento de vegetales verdes y legumbres secas. Los tocoferoles y tocotrienoles son compuestos que se pueden disolver en el aceite disponibles en las semillas de quinua, estos compuestos ayudan a prevenir la formación de radicales libres.

Aunque su valor nutricional es alto, la saponina es un antinutricional elemento de la cascara de la semilla (0.14-0.73%), que le da un sabor intensamente amargo, por eso la cascara debe ser removida antes de consumirlo (ver *Tabla 3*). Las semillas de quinua contienen saponinas en el pericarpio que confieren un sabor amargo a los productos resultantes y puede reducir la absorción de zinc y hierro (Filho *et al.*,2017)

Las saponinas tienen características positivas como propiedades antihipercolesteroles, analgésicas, antialérgicas y antioxidantes, pero también reducen la biodisponibilidad de vitaminas y eficiencia de la conversión de alimentos, y puede dañar las células del intestino delgado (Suarez-Estrella *et al.*,2018). Según Hinostroza (2020), existen dos tipos de quinua en función del contenido de saponina:

- Quinua amarga: alto sabor amargo causado por la saponina ubicado a nivel del epispermo de la semilla, entre ellas se encuentran: Real Boliviana, Amarilla Maranganí y otros.

- Quinoa dulce: es de bajo sabor amargo relacionado a su saponina ubicado en el epispermo, aquí se encuentran: Blanca de Junín, Huancayo, Hualhuas, Pasankalla, Negra Collana y otros.

Tabla 3

Anti nutrientes presentes en la Quinoa

Anti nutriente	Unidad	Contenido
Saponina	mg/g	9.0-21.0
Ácido fítico	mg/g	4.7-10
Taninos	%	0.5
Inhibidores de tripsina	ppm	1.4-5.0

Nota. Adaptada de Aldana (2019)

2.2.6. Variedades de la Quinoa

Entre las variedades de quinoa más conocidas y estudiadas se tiene: INIA-415 Pasankalla, INIA-420 Negra Collana, INIA-427 Amarilla Sacaca, INIA-431 Altiplano, Kancolla, Blanca de Junín, Blanca de Hualhuas, Salcedo-INIA, Amarilla Marangani.

Las variedades de quinoa más que todo difieren en su composición, para seleccionar la mejor variedad de quinoa en germinación, se encuentra tres variedades (Pasankalla, Negra Collana y Hualhuas) que tienen mayor contenido de azúcares reductores, permitiendo asegurar en las semillas un suministro importante de energía para la germinación (Valencia *et al.*,2017).

a. Quinoa variedad Blanca Huancayo

Los investigadores Estrada & Pinedo (2013), citado por Rojas (2021) reportan la descripción general para la quinoa blanca de la variedad Huancayo:

- Tipo de crecimiento: Herbáceo
- Habito de crecimiento: Simple
- Ciclo vegetativo: 105 días en la costa, 120 días en los valles y 144 días en el altiplano
- Altura de la planta: 1.30-1.40 m
- Rendimiento promedio: 3.54 Tn/Ha

b. Quinua variedad INIA 420-Negra Collana

La variedad Negra Collana está compuesta de 13 accesiones provenientes de 12 localidades, es comúnmente llamada como “Qyutu jiwras” y es el resultado de pruebas de identificación, adaptación y eficiencia desarrolladas con los productores de 7 comunidades campesinas de la región de Puno (Rosas, 2015). Según Torres & Chávez (2016) mencionan que esta variedad de quinua resalta un alto valore de litio, potasio, calcio, hierro, magnesio y zinc, que es un bueno regulador del estrés y depresión.

A continuación, se menciona la descripción general para este tipo de quinua según Estrada & Pinedo (2013), citado por Rojas (2021):

- Tipo de crecimiento: Herbáceo
- Habito de crecimiento: Ramificado hasta el tercio inferior
- Ciclo vegetativo: 160 a 180 días
- Altura de la planta: 1.50-170 m
- Rendimiento promedio: 2.50 Tn/ Ha

c. Quinua variedad INIA 415-Pasankalla

La variedad Pasankalla es un tipo de quinua de color rosado, de sabor dulce, con periodo vegetativo tardío, con gran aceptación en el mercado externo por sus cualidades de trasformación y elevado contenido de proteína (Peña, 2020).

En la *figura 4* se muestra el grano de quinua de la variedad Pasankalla biológicamente cubierta por su cascara antes del lavado.

A continuación, se menciona la descripción general para este tipo de quinua según Estrada & Pinedo (2013), citado por Rojas (2021):

- Tipo de crecimiento: Herbáceo
- Habito de crecimiento: Simple
- Ciclo vegetativo: 120 días en la costa, 135 días en los valles y 150 días en el altiplano
- Altura de la planta: 1.50-1.70 m
- Rendimiento promedio: 2.50 Tn/Ha

Figura 4

Grano de Quinua variedad INIA 415-Pasankalla cosechada



Según Rosas (2015), menciona que la quinua Pasankalla es una variedad obtenida de la Estación Experimental Agraria (EEA) Illpa-Puno, por el Programa Nacional de Investigación en Cultivos Andinos. Su mejor desarrollo se logró en la zona agroecológica Suni del altiplano entre los 3800 y 3900 m.s.n.m y soporta un clima frío seco.

Tiene un gran potencial para la agroindustria, alta productividad, siendo su rendimiento potencial de 4,5 tn/ha; sin embargo, el INIA (2016) menciona que tiene un rendimiento medio de 3.54 tn/ha. La Tabla 4 muestra los valores

nutricionales de la quinua variedad Pasankalla roja en relación a humedad, proteína, grasa, fibra cruda, ceniza, azúcares reductores y saponina.

Tabla 4

Composición nutricional y contenido de saponina de quinua Pasankalla

Componente	Unidad	Contenido
Humedad	%	9.88
Proteína	%	17.62
Grasa	%	5.94
Fibra cruda	%	2.10
Ceniza	%	2.13
Azúcares reductores	g de glucosa	4.07
Saponina	%	0

Nota: Tomado de Peña (2020)

2.2.7. Uso de la Quinua

Esta planta no pertenece a la familia de gramíneas; pero produce semillas que pueden ser molidas en harina y ser utilizadas como cultivo de cereal, por lo que se le denomina pseudocereal. A partir de la harina de quinua se producen una serie de productos horneados y tostados, como panes, galletas, bizcochos, fideos, pastas y tortitas, entre otros. Además, las semillas de quinua se pueden fermentar para elaborar cerveza o “chicha”, que es una bebida alcohólica tradicional de la cultura andina. Las hojas de las hojas de la quinua son similares a las espinacas que se pueden comer y los brotes de quinua germinada se incorporan en ensaladas (Vilcacundo & Hernández, 2017). Hasta la planta entera también se ha utilizado

como fuente de alimentación para el ganado, incluidos los bovinos, los cerdos y las aves de corral.

2.3.Cañihua

2.3.1. Generalidades de la Cañihua

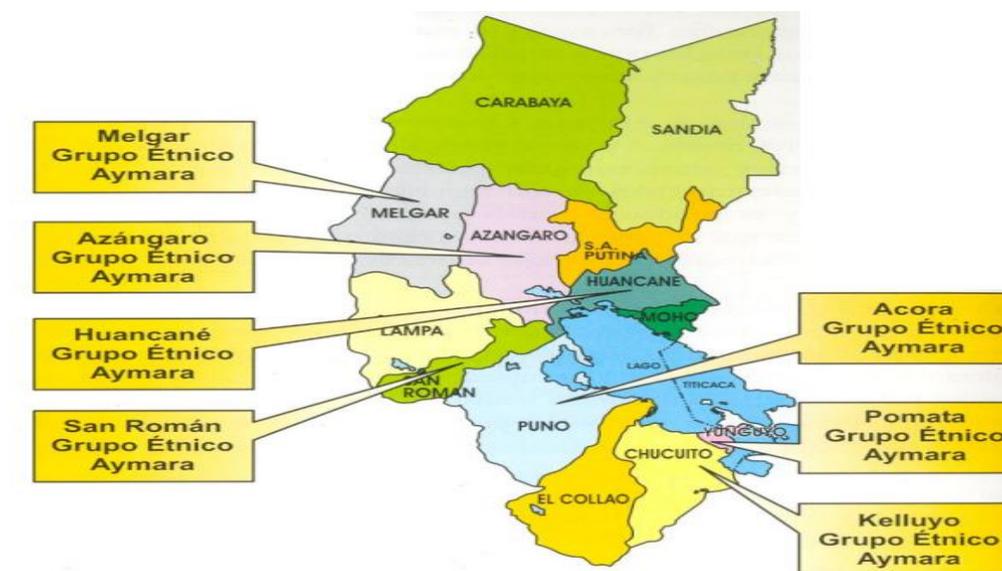
La cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), también llamada como “Kañihua” o “Cañahua”, es un pseudocereal originario en la región Andina entre 3500 a 4200 m.s.n.m. que limita el empleo de muchas especies, ya que la cañihua es una planta domesticada al frío, tolerante a periodos prolongados de sequía y adaptación a climas agrestes que oscilan entre -10 °C y 28 °C. Cuyo tamaño oscila entre los 20 y 60 cm y su color varía desde marrón oscuro a negro. Es cultivada actualmente en las proximidades del lago Titicaca en Bolivia y Perú y los rendimientos de grano en estas regiones oscilan entre 375 y 2968 Kg/Ha (Pérez, 2018).

2.3.2. Producción Nacional de la Cañihua

La producción nacional de cañihua según la Dirección General Agrícola (DGA) del Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) es de 5.887 toneladas al 2019, mayor que al 2018 y en lo referente al área, se instalaron 6336 hectáreas. En el Perú la mayor concentración de sembríos se halla en el Altiplano de Puno, principalmente en las provincias de Melgar (Llalli, Macarí, Ayaviri, Nuñoa), Azángaro, Huancané, San Román, Puno (Acora) y Chucuito (Pomata y Kelluyo), también en Cuzco y Arequipa; pero en menor escala. En la *Figura 5* se muestra las zonas de producción de cañihua en la región puno y su grupo étnico.

Figura 5

Distribución de Centros de Producción de Cañihua en Puno-Perú



Nota: Adaptado de Optimización en la elaboración de galletas utilizando harina de cañihua, kiwicha y quinua, por Coila (2019), (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13419>)

El potencial de los productos nativos peruanos es inmenso y debe ser aprovechado al máximo; sin embargo, el reglamento de la Unión Europea sobre los “novel food” representa un obstáculo al desempeño de la cañihua, cuyas propiedades nutricionales son superiores a las de la quinua.

Y es un claro ejemplo de un producto andino con alto potencial que resulta perjudicado por ese reglamento para ser exportado al continente europeo (ComexPerú,2016).

2.3.3. Taxonomía de la Cañihua

La cañihua presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Tabla 5*Clasificación Taxonómica de la Cañihua*

TAXONOMÍA	
Reino	Vegetal
División	Phanerogamae
Clase	Dicotyledoneae
Subclase	Archychlamydeae
Orden	Centrospermales
Familia	Chenopodiaceae
Subfamilia	Chenopodioideae
Género	Chenopodium
Especie	Chenopodium pallidicaule Aellen

Nota: Tomado de Solano (2017)

La cañihua tiene una amplia variabilidad genética que se puede apreciar en los colores de las plantas y las semillas, estas varían desde el color amarillo y naranja como los más claros, llegando hasta el color purpura como el más oscuro con todas las tonalidades intermedias. Algunos de los cultivares que se conocen en el Perú son: Cupis, Ramis, Akallapi, Huanaco, Rosada, Chillihua, Cordorsaya, Kéllu y Puca; en Bolivia los cultivares se incluyen Kanallapi, Chusllunca e Issualla. Existen 380 germoplasmas de cañihua en las estaciones experimentales INIA de Camacani e Illpa (Puno) y en el Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) (Chahua, 2020).

2.3.4. Morfología de la Cañihua

Con respecto a la descripción botánica de la cañihua, describe a la cañihua como una planta herbácea, que es ramificada desde la base, con un periodo vegetativo entre 140 y 150 días, y alcanza una altura de 50 a 60 cm. El color de la planta (tallos y hojas) varía según el eco tipo en la fase fenológica de grano pastoso,

desde un verde a: amarillo, anaranjado, rosado, claro, rosado oscuro, rojo y purpura (Chahua, 2020).

La cañihua tiene tres tipos de crecimiento: “saiwa” de tallos erguidos; “lasta” de tallos semi erguidos y “pampalasta” de tallos tendidos solo sus extremos son erguidos.

La raíz de la planta de cañihua es pivotante relativamente profunda de 13 a 16 cm, con escasa ramificación principal y numerosas raicillas laterales que varían del color blanco cremosos hasta el rosado pálido.

Con respecto a su tallo, la cañihua tiene un tallo hueco, estriado y ramificado desde la base de la planta hasta las ramas secundarias, el número de ramas varia de 11 a 16 según el ecotipo y se cuenta desde la base hasta que llegue la madurez fisiológica. El color del tallo cuando llega a la madurez varía según el ecotipo: amarillo, claro, verde amarillento, verde agua, verde claro, verde oscuro, crema, anaranjado, rojo, café y purpura.

Las hojas son de forma de lámina foliar romboidal que mide de 3 a 3.5 cm de largo y 2.5 a 2.8 cm de ancho con borde entero o dentado. Las hojas presentan tres nervaduras bien marcadas en el envés, que se unen en la inserción del pecíolo, las hojas contienen vesículas con cristales de oxalato de calcio que controlas la transpiración excesiva en condiciones muy secas.

La flor es de tipo basípeta, hermafroditas, androceo formado por 1-3 estambres con diferente longitud del filamento estaminal, cubiertas por hojas terminales que las protegen de las temperaturas bajas.

El grano de cañihua no contiene saponina, es de forma cónica de 1 a 1.2 mm de diámetro, el embrión es curvo y periforme, el epispermo es muy fino y puntiagudo

de color negro. El grano está cubierto por el perigonio de color gris de muy fino de pericarpio y translucido, las semillas no presentan dormancia y pueden germinar sobre la propia planta porque tiene la humedad suficiente.

2.3.5. Composición Química de la Cañihua

Es un grano muy nutritivo propio del altiplano andino, que contiene proteínas ligeramente superiores a la quinua y cereales, con alto contenido de hierro de fácil asimilación por el organismo humano. Su contenido y balance de aminoácidos permite clasificar a la proteína de cañihua como de primera calidad por su relación y presencia de aminoácidos esenciales (Coila, 2019).

Este cereal está menos extendido que la quinua y la kiwicha, a pesar de no presentar el sabor amargo de otras semillas andinas debido a su bajo contenido de saponinas. Es rico en proteínas (15%-19%), su contenido de carbohidratos es de (63%-66%), posee azúcares libres en pequeñas cantidades como glucosa (1.80%), fructosa (0.40%), maltosa (1.70%) y tiene una composición equilibrada de aminoácidos esenciales como Trp (0.7%-0.9%), Met (1.4%-3.0%), Thr (4.4%-4.7%) y Lys (5.0%-6.3%).

Además, tiene altas concentraciones de proteínas como globulinas 7S (26%), albuminas (16%), globulinas 11S (27%), prolaminas (10%) y glutelinas (23%) (Moscoso-Mujica *et al.*,2017). Es excepcionalmente rico en flavonoides, quercetina y siendo predominante la isorhamentina (Abderrahim *et al.*,2012). A continuación, en la Tabla 6, se muestra una comparación de los valores nutricionales de la cañihua en relación con sus variedades y procesado de ella misma, considerados como alimentos para humanos.

Tabla 6

Composición Nutricional de Cañihua Andina (g/100g) según sus variedades y según el tipo de procesado

Parámetros	Variedad de Cañihua			Procesado de Cañihua			
	Variedad Cupi	Variedad Ramis	Variedad Illpa INIA	Cañ. Amarilla	Cañ. Gris	Cañ. Laminada	Cañ. Parda
Humedad	8.45	7.73	8.36	12	12.4	8.1	12.2
Proteína	17.31	18.03	13.82	14.3	14	17.6	13.8
Lípidos	10.03	7.93	3.92	5.0	4.5	8.3	3.5
Cenizas	2.76	2.84	4.16	5.9	5.1	4.3	5.3
Fibra cruda	11.23	9.20	11.08	9.4	9.8	11.2	10.2
Carbohidratos	58.94	62.62	61.54	62.8	64	61.7	65.2

Nota: Tomado de Pauro (2017)

También la semilla de cañihua contiene un índice glucémico bajo, alto nivel de fibra dietética, grasas no saturadas y ofrece una amplia variedad de vitaminas (E y B) y minerales (calcio, magnesio, sodio, fósforo, hierro, zinc) nutricionalmente superando a la quinua y kiwicha (Mangelson *et al.*,2019).

El aceite de este cereal tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados como el contenido de tocoferoles que es mayor al aceite de maíz. Cuenta con Omega 6 (ácido linoleico) en un 42.6%, omega 9 (ácido oleico) con 23.5% y Omega 3 (ácido linoleico) con 6% (Mera,2018).

2.3.6. Variedades de cañihua

Según Pauro (2017), nos menciona que a una variedad de cañihua se define al grupo de plantas similares que tienen las mismas características morfológicas y comportamiento, que se puede diferenciar de otras variedades dentro de la misma especie. En la institución INIA han realizado esfuerzos y aportes en la obtención de variedades de cañihua a través de métodos de selección y estudios de

estabilidad de rendimiento, lográndose obtener las tres primeras variedades más sobresalientes de la cañihua, como:

a. Variedad Cupi

Esta variedad puede alcanzar una altura de 60 cm, donde el diámetro del tallo central es de 4 mm, de color púrpura pálido el tallo cuando alcanza su madurez fisiológica. El aspecto de su fruto es cerrado, de color gris, de epispermo color negro y el diámetro del grano es de 1.0 a 1.1 mm.

Figura 5

Grano de Cañihua variedad Cupi después de lavarse



Nota: Tomado de Pauro (2017).

b. Variedad Ramis

La variedad Ramis alcanza una altura de 52 cm, donde el diámetro del tallo central es de 4.5 mm, de color púrpura el tallo y las hojas al alcanzar la madurez fisiológica. El aspecto del fruto es semiabierto, de color gris oscuro, del epispermo color negro, y el diámetro del grano varía de 1.1. a 1.2 mm.

c. Variedad Illpa INIA 406

Esta variedad puede alcanzar una altura de 67 cm, su diámetro del tallo central es de 5 mm, de color del tallo y las hojas son anaranjado en madurez fisiológica. El aspecto del fruto es cerrado, de color suave, del epispermo café claro y el diámetro del grano varía de 1 a 1.1 mm.

Figura 6

Grano de Cañihua variedad Illpa INIA 406 en cáscara recién cosechado



2.3.7. Uso de la Cañihua

El uso principal de la cañihua es consumirlo como alimento por los agricultores de la zona Andina. Sus semillas contienen aproximadamente 51% de almidón en materia seca. A la cañihua rica en almidón generalmente se le tuesta y se le muele para formar harina de color marrón lista para consumir; se puede agregar a las sopas, convertirse en bebidas calientes o refrescantes, en panes, pasteles y budines (Pérez, 2018). El consumo de Cañihua ha compensado la falta de proteína animal y sigue siendo una de las principales fuentes de proteínas en muchas áreas (Alvarez & Avalo, 2019).

Como medicina tradicional, las cenizas del tallo de la cañihua, llamadas Ilipta, es usada cuando se mastica coca. Ilipta es rica en calcio y provee los nutrientes esenciales para la dieta de las personas que viven en climas fríos de la sierra. Por otro lado, se comercializa a la cañihua ocasionalmente fuera del área de producción, pero no pierde su pureza, a menudo se mezcla con harina de cebada o de habas. Además, no se dispone de información de industrias se dediquen al procesamiento de la cañihua, por lo que es necesario presentarlo como una alternativa natural con características funcional para ser procesada (Mera,2018).

2.4.MAÍZ

2.4.1. Generalidades del Maíz

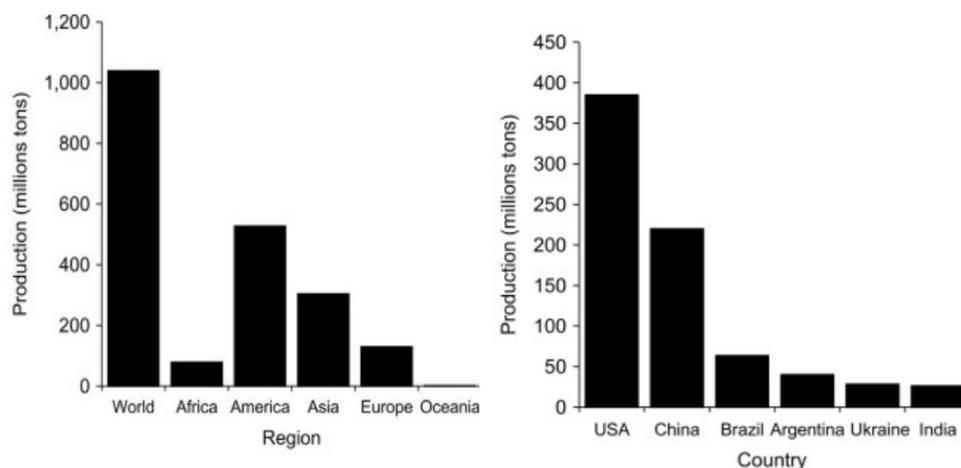
El maíz (*Zea mays ssp. Parviglumis*), se originó en las tierras altas de México hace entre 7000 y 10000 años a.c.; es uno de los tres cultivos de cereales con mayor producción en el mundo; junto al arroz y el trigo. El maíz es uno de los cereales más relevante en la dieta humana y es uno de las principales fuentes de nutrientes en los países en desarrollo debido a su disponibilidad y asequibilidad.

Hoy en día, el maíz tiene un alto valor e importancia económica a nivel mundial no solo como alimento humano, sino también como alimentos para animales y como materia prima para los productos industriales y biocombustibles. En la agricultura, el maíz se cultiva y se utiliza como cultivo alimentario básico; pero en los países desarrollados, el uso principal es como alimento para animales porque hay una alta demanda de harina de trigo (García-Lara, 2019).

El maíz es el cereal más cultivado y consumido, con una producción de más de 1000 millones de toneladas métricas y una superficie cosechada de casi 200 millones de hectáreas al 2016. Su producción ha aumentado debido al aumento de la superficie de tierra dedicada a la producción y al aumento del rendimiento por unidad de tierra, en el continente americano se produce casi el 55% de la producción total, de ahí le sigue Asia, Europa y Oceanía (ver *Figura 8*). Y entre los países más productores se encuentran: EE.UU. con el 38% del total mundial, seguido de China (18%), Brasil (8%), Argentina (8%), Ucrania (7.5%), India (5%) y México (3%) (Organización para la Agricultura y la Alimentación, 2018).

Figura 7

Producción mundial de maíz. (A) producción de maíz por región y (B) Los 6 principales productores de maíz.



Nota: Tomado de Organización para la Agricultura y la Alimentación, FAOSTAT, Bases de datos estadísticos de la FAO, 2018,(<http://apps.fao.org/>).

En todo el mundo existen una variedad de productos enteros y procesados a base de maíz, este se consume en mazorca y es apto para la elaboración de diferentes productos como palomitas de maíz, tortillas, papillas, polenta, cereales para el desayuno, bocadillos, productos de panificación y harina de maíz. En las últimas décadas, los hábitos alimenticios de las personas en todo el mundo han cambiado de comer alimentos tradicionales de maíz, en comer comida rápida, cereales para el desayuno y bocadillos extruidos y nixtamalizados con una variedad de jarabes y edulcorantes que no son nutritivos (Serna-Saldívar, 2015)

2.4.2. Taxonomía del Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas Poaceae (Gramineae), tribu Maydeae. La planta se clasifica como angiosperma, que forma semillas monocotiledóneas que nacen en un ovario y pertenecen a la tribu *Andropogoneae* en la subfamilia *Panicoideae* de la familia *Poaceae*, como se

muestra en la *Tabla 7*. El maíz cultivado es una planta doméstica y es una de las especies más productivas de las plantas alimenticias. Es una planta con una alta tasa de actividad fotosintética, una relación de multiplicación de 1:600-1:1000 y es el potencial más alto para la producción de carbohidratos por unidad de área por día. Esta planta se originó en los trópicos; sin embargo, se cultiva en una amplia variedad de climas desde Canadá hasta el norte de Argentina (García-Lara, 2019).

Tabla 7

Clasificación taxonómica del Maíz

Taxonomía	
Reino	Plantae
Filo	Espermatofita
Subfilo	Angiospermas
Clase	Monocotiledóneas
Orden	Ciberales
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Zea mays

Nota: Adaptado de la Ficha Técnica, Zea mays (maíz), Datos de CABI ,2017.

2.4.3. Morfología del Maíz

El maíz se clasifica según la altitud y el entorno en que se cultiva, hay dos tipos principales: maíz tropical y maíz templado. El maíz tropical se cultiva en condiciones más cálidas, mientras el maíz templado se cultiva en climas más frío. Las plantas de maíz normalmente crecen y se desarrollan desde una semilla hasta

una planta madura en unos pocos meses. El tamaño de la planta, el tiempo de crecimiento y el potencial de rendimiento varían según la región de producción (Serna-Saldívar, 2015).

La planta de maíz es de una estructura frondosa alta con un sistema de raíces fibrosas, sostiene un brote con muchas hojas y una rama lateral terminada por una inflorescencia femenina, que desarrolla una mazorca cubierta por hojas de cáscara y en la parte superior se desarrolla la inflorescencia masculina conocida como panoja.

La mazorca se compone de un núcleo central de grandes células de parénquima, llamado médula, diseñado para almacenar nutrientes. Está rodeado por una capa fibrosa resistente que contiene vasculares que transportan nutrientes a cada grano en desarrollo (Loy, 2019).

Luego de la polinización, se desarrolla el grano o fruto, llamado cariósipide. La cariósipide es el que contiene nutrientes que fueron almacenados y luego se utilizan y modifican durante la germinación y el desarrollo de la plántula. El almacenamiento de nutrientes está organizado y protegido por barreras físicas y químicas contra agentes bióticos externos. Esas barreras que protegen el grano de maíz se dividen en tres estructuras principales: pericarpio, endospermo y germen. El pericarpio, cubre el grano en una fina capa con la función de proteger la verdadera semilla formada por el germen y el endospermo considerado como el primer y segundo tejido de reserva. El germen contiene un eje embrionario y el escutelo, en cambio el endospermo se compone principalmente de gránulos de almidón, que sirve como fuente principal de energía para la germinación de la semilla y las pequeñas plántulas y las proteínas del gluten. En la *Figura 9* se

muestra el esquema morfológico del grano de maíz, donde se puede identificar las tres estructuras principales: el endospermo, el pericarpio y el germen (Hamaker,2019).

Figura 8

Esquema de la morfología del Maíz



Nota: Tomado de Lázaro & Sotelo (2017)

2.4.4. Composición Química del Maíz

El maíz es el grano más importante utilizado como alimento para el ganado a nivel mundial, sin embargo, la harina de maíz es 100% digerible para el procesamiento del grano en productos alimenticios. Aunque es más en proteínas que otros alimentos, el maíz es fuente importante de proteínas debido al volumen de alimentación, como también contiene importantes minerales y vitaminas. Los coproductos de la industria de molienda de maíz se han convertido en fuente de energía, proteína, fibra digerible, tales como la harina de gluten de maíz, grits de maíz, sémola de maíz, harina nixtamalizada de maíz (Loy, 2019).

El maíz alberga un 70% de almidón en el grano, de un 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite que están contenidos en sus tres estructuras: el germen que constituye el 10 al 12% en peso seco, sin embargo, es una fuente proteica de baja calidad, es deficiente en niacina, en vitamina del complejo B sintetizada a partir del triptófano, ver en la *Tabla 8* la composición (Gutiérrez, 2017).

Tabla 8*Composición Química del maíz amarillo var. Morocho*

Parámetros	Maíz Amarillo (g/100g)
Humedad	13,5
Proteína	6,7
Grasa	4,8
Fibra cruda	3.8
ceniza	1.4
Carbohidratos	73,6

Nota: Tomada de las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (2017)

Los principales componentes del grano de maíz son: Almidón, proteínas, lípidos, fibra y cantidades menores de azúcares, minerales y vitaminas.

2.4.4.1. Carbohidratos del Maíz

El almidón es el carbohidrato principal del maíz y constituye alrededor del 85% del peso del endospermo y el 72% del peso total del grano. De ahí le siguen los polisacáridos de la pared celular, celulosa y poco del β -glucano. Los polisacáridos no amiláceos se concentran en el salvado, pero también se encuentran en el germen y en el endospermo, por eso se considera fibra dietética. Con respecto al almidón del maíz normal se compone de dos grandes polímeros, que son, α -amilosa (20%-25%) y α -amilopectina (75%-80%) (Hamaker, 2019).

El almidón influye mucho en la funcionalidad como ingrediente de diversos procesos alimenticios. El almidón existe con gránulos de diferentes formas, tamaños y composición con respecto al genotipo del maíz. Dentro de las propiedades fisicoquímicas más importantes de este, son: morfología del grano, contenido de amilosa, temperatura de gelatinización; y estas propiedades afectan las características como textura, volumen, consistencia, humedad y vida de

anaquel. Además este polisacárido es responsable de la textura, apariencia, sabor, índice de expansión y densidad de los productos extruidos (Lázaro & Sotelo, 2017).

La fibra de maíz es insoluble en su mayoría y tiene muchos enlaces cruzados, lo que lo convierte en poco fermentable en su estado original, sin embargo, si se solubiliza, fermenta bien lentamente. Se presentan oportunidades para usos futuros de los carbohidratos del maíz

2.4.4.2. Proteínas del Maíz

Después del almidón, las proteínas son el segundo componente más importante del maíz. Las proteínas del maíz pueden oscilar entre el 8 y 11% del peso del grano, tienen un porcentaje relativamente alto de los aminoácidos que contienen azufre, metionina y cisteína; pero son deficientes en los aminoácidos esenciales como lisina y triptófano. El contenido de proteína del maíz y la proporción de sus aminoácidos pueden variar ampliamente debido a la manipulación genética o mejorada y en menor grado según el año de cultivo, la fertilidad del suelo, el manejo de cultivos y las condiciones climáticas (Larkins, 2019).

2.4.4.3. Lípidos, Vitaminas y Minerales del Maíz

Los lípidos del maíz representan aproximadamente el 4.4. % del peso total del grano, y están localizados en el germen (87%). Aquí encontramos principalmente los triglicéridos, fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y carotenoides. El contenido de ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) es bajo en comparación con los ácidos grasos poliinsaturados, principalmente oleico y linoleico, los cuales representan la mayoría del total de lípidos del maíz. Con respecto a las vitaminas del maíz, están las vitaminas liposolubles A y E, el contenido de vitamina A es genéticamente variable y alcanza 2.5 mg/kg de peso seco. Las vitaminas

hidrosolubles (B1) y piridoxina se encuentran presentes en cantidades de 3,8 y 5,3 mg/kg de peso seco, respectivamente. La concentración de minerales en el grano de maíz es aproximadamente de 1.4%, donde el 78% de estos se encuentran en el germen del grano. El mineral que más abunda en el maíz es el fósforo. Y la fibra dietética se halla en un 9.8% del grano entero (Vinces & Zavala, 2020).

2.5. Germinación

2.5.1. Generalidades de la Germinación

Según Cruz (2017), define a la germinación como una secuencia de eventos que dan como resultado la transformación del embrión en una plántula, que comienza con la toma de agua por la semilla seca (inhibición) y finaliza con la aparición de la radícula (crecimiento).

Actualmente es un proceso eficaz para mejorar la palatabilidad, la calidad nutricional y la digestibilidad de las semillas comestibles, y se ha utilizado para producir alimentos comestibles, como brotes de soja, brotes de trigo sarraceno y arroz germinado (Gan *et al.*, 2017).

Ante eso, la germinación se considera como un método selectivo y eficiente para mejorar el valor nutricional y reducir los factores anti nutricionales de los cereales. Hay estudios que han demostrado que la germinación puede incrementar aún más los componentes bioactivos de las semillas comestibles, como el ácido α -aminobutírico (GABA), los polifenoles y las vitaminas, todos los que se pueden utilizar como antioxidantes alimentarios para proteger el cuerpo contra el daño oxidativo (Beom-Gyun *et al.*, 2019). Por lo tanto, es de suma importancia discutir los complejos compuestos fisiológicos, bioquímicos y bioactivos producidos

durante la germinación de las semillas comestibles, así como las condiciones de germinación que afectan el enriquecimiento de los componentes bioactivos.

2.5.2. Etapas del Proceso de Germinación

La acumulación de nutrientes y los compuestos bioactivos en los brotes varían según las condiciones de germinación, por lo tanto, es obligatorio optimizar las condiciones de germinación para maximizar esos compuestos como las propiedades funcionales de los pseudocereales (Paucar-Menacho *et al.*, 2017).

Los factores que intervienen en la germinación son la temperatura, el agua, el oxígeno y la luz, que influyen directamente en la germinación de las semillas. La emergencia de la plántula está directamente influenciada por las características fisiológicas y bioquímicas propias de las semillas, como también el comportamiento de estas ante condiciones externas y grado de eficiencia del uso de sus reservas en el proceso de germinación (Morales-Santos *et al.*, 2017).

La germinación consta de tres etapas: remojo, germinación y secado. En seguida, se describen cada uno de las tres etapas de germinación (Luna, 2015):

2.5.2.1. Remojo

El primer paso de la germinación es la toma de agua por la semilla, conocida como la fase de inhibición, la que depende de la composición química de la semilla, porque las semillas ricas en proteínas absorben gran cantidad de agua mientras que las oleaginosas absorben menos; de ahí está la permeabilidad de la envuelta seminal y por último la disponibilidad de agua en el medio ambiente.

El objetivo principal del remojo es hidratar el grano bajo condiciones aeróbicas de tal manera la humedad que absorbe el grano propicia la generación de fitohormonas llamadas gliberelinas que desencadenan el suceso fisiológico de la

germinación, el agua penetra al grano por difusión del germen, la tasa de hidratación es alta en el comienzo del proceso y lenta en las etapas siguientes.

Esta operación se realiza remojando los granos en agua por una inmersión de 24 a 80 horas en un intervalo de temperatura de 10-20 °C, hasta alcanzar la humedad del grano de un 42-45%, a esa humedad ya es considerada suficiente para iniciar el proceso de germinación. Teniendo en consideración, que el remojo debe interrumpirse cada 8 a 12 horas por un lapso de 2 horas para luego volver a cubrir el grano con agua, a esta condición se le conoce como aireación, porque permite que el embrión respire oxígeno y metabolice aeróbicamente.

2.5.2.2.Germinación

La segunda etapa, es proceder con la germinación de los granos bajo condiciones especiales para lograr la activación enzimática deseada, la división celular y el desarrollo de la radícula, el proceso se lleva a cabo en equipos de germinación con controles de temperatura y humedad relativa, es el proceso que más tiempo demora generalmente entre cuatro a seis días. Durante la germinación se hace circular aire y la duración de la germinación es variables según el tipo de grano, terminando la raíz alcanza una longitud de dos veces el tamaño del grano como máximo. El primer signo de la germinación es la protuberancia de las raicillas o brotes, a este crecimiento se le denomina plúmula y sirve para estimar la velocidad de germinación; cuando plúmula alcanza los tres cuartos de la longitud del grano, entonces el proceso de germinación ya se considera completado.

2.5.2.3.Secado

Y por última etapa, está el proceso de secado, que su objetivo principal es parar la germinación y la disgregación del grano para obtener un producto estable. El saco baja la humedad del brote lo suficiente para que pueda ser almacenada por

periodos largos. Para detener la acción de las enzimas, es necesario conseguir humedades menores al 5%, por eso hay que alcanzar temperaturas bastantes elevadas, pero no demasiado para no destruir las enzimas.

El propósito del secado se resume en fijar al grano aquellas propiedades deseables adquirida de la germinación, poder conservar la malta sin problemas de deterioro, darle al grano la friabilidad para facilitar la molienda y modificar la composición química y reducir el contenido enzimático.

2.5.3. Cambios fisiológicos y bioquímicos durante la germinación

La germinación es un proceso complejo de cambios fisiológicos y bioquímicos, que incluyen la absorción de agua, el cambio de la estructura subcelular, el crecimiento de la raíz y la yema, la formación del sistema enzimático, la mejora de la respiración y la degradación de las sustancias almacenada. En el campo de la ciencia de alimentos, la germinación es un importante método de procesamiento biológico, se utiliza ampliamente para mejorar el contenido de nutrientes de las semillas, reducir factores anti nutricionales y aumentar la digestibilidad de las proteínas, así como enriquecer el contenido de componentes funcionales (Liu *et al.*,2022).

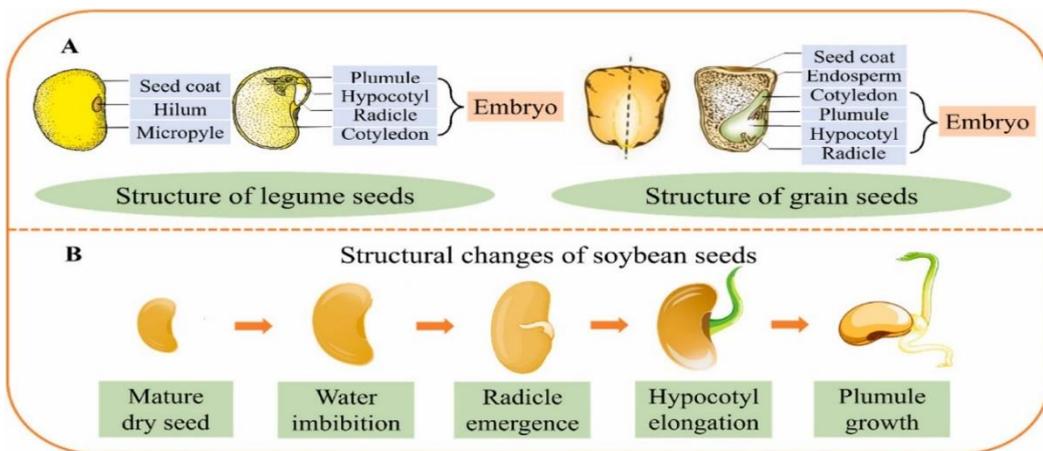
2.5.4. Cambios estructurales de las semillas durante la germinación

Generalmente, la germinación inicia con la inhibición de agua por parte de las semillas secas maduras, y esta absorción de agua es trifásica, que incluye una rápida inhibición inicial (fase I), una fase de retraso (fase II) y un aumento posterior (fase III) (He *et al.*,2020). En condiciones adecuadas, estas semillas secas restauran gradualmente sus actividades metabólicas al absorber agua del medio ambiente, lo que les permite completar eventos celulares principales y prepararse para el crecimiento posterior de las plántulas. Cuando estas semillas

están saturadas de agua, la radícula continúa creciendo. A medida que se va alargando la radícula, el hipocotilo comienza alargarse y luego crece una plúmula (Altuner, 2020).

Figura 10

Cambios estructurales de la semilla de soja durante la germinación



Nota: Adaptado de *Nuevas perspectivas sobre compuestos fisiológicos, bioquímicos y bioactivos durante la germinación de semillas comestibles*, por Liu et al., 2022.

2.5.5. Degradación y cambio de sustancias de almacenamiento durante la germinación

Las semillas de cereales no pueden obtener energía del exterior durante el proceso de germinación, por lo que deben degradar todas sus propias sustancias de almacenamiento para proporcionar energía para el crecimiento. Existe una gran cantidad de enzimas unidas almacenadas en semillas secas inactivas y estas enzimas latentes podrían activarse en condiciones adecuadas, lo que daría como resultado un hidrolisis enzimático. Bajo la acción conjunta de estas enzimas, las sustancias de almacenamiento como el almidón, la proteína y la grasa se transforman en formas que son fáciles de transportar y utilizar, lo que permite la

realización del catabolismo, mientras tanto el contenido de anti nutrientes como el ácido fítico y los taninos puede reducirse debido al hidrolisis (Liu *et al.*, 2022).

2.5.5.1. Almidón

El almidón es la parte principal del almacenamiento de nutrientes en las semillas. Durante el proceso de germinación de las semillas, el almidón se hidroliza bajo la acción de amilasa en azúcares moleculares más pequeños como glucosa, maltosa y dextrina límite, que son utilizados por los brotes germinados como fuentes de energía para promover el crecimiento del embrión. Recientemente en estudios se ha reportado que los granos germinados tienen una actividad metabólica fisiológica más vigorosa en comparación de los no germinados, y los contenidos de almidón, amilosa, amilopectina disminuyen significativamente a medida que avanza la germinación, sin embargo, el contenido de azúcar reductor y azúcar soluble aumento gradualmente (Ma *et al.*, 2020).

Esto puede atribuir el aumento de la actividad de la α -amilasa, la β -amilasa y las enzimas des ramificadas durante la germinación, lo que descompone los almidones en azúcares más pequeños y esto conduce a la pérdida del almidón total.

2.5.5.2. Proteína

Durante la germinación, las proteínas de almacenamiento se hidrolizan bajo la acción de las proteasas para liberar aminoácidos, mejorando así la biodisponibilidad de los nutrientes. Por eso se considera que la germinación tiene un efecto positivo en el contenido de la mayoría de los aminoácidos presentes en las semillas, aunque difieren las tendencias y el alcance los cambios en diferentes semillas germinadas. Los aminoácidos liberados proporcionan energía a través de la oxidación de carbono después de la desaminación o sintetizar una nueva proteína junto con los péptidos moleculares (Zhou *et al.*, 2018). Un claro ejemplo,

se encontró aumento en el contenido de proteína cruda en frijol mungo, garbanzo y quinua después de la germinación (Pilco-Quesada *et al.*,2020), lo que atribuye a una reducción en el peso seco especialmente la pérdida de masa de carbohidratos a través de la respiración durante la germinación de la semilla.

2.5.5.3.Ácido Fítico

El ácido fítico es un antinutricional que está presente ampliamente en las semillas, forma quelatos con una variedad de oligoelementos en el tracto digestivo formando conjugados estables insolubles que reducen la biodisponibilidad de los nutrientes minerales (Guo *et al.*,2015). Según los estudios realizados han demostrado que la germinación es una forma eficaz de reducir el ácido fítico en las semillas de cereales y leguminosas, al mismo tiempo aumentan los elementos minerales libres como el calcio, el magnesio y el fosforo en consecuencia, mejorando así sus tasas de absorción (Chung & Kang, 2021). Esto puede ser asociado con el aumento de la actividad de fitasa y otras fosfatasas que provoca la hidrólisis del complejo de fitatos, liberando fosfato para apoyar la germinación de las plántulas; sin embargo, se encontró la tasa de absorción de zinc no aumento a medida que el contenido de ácido fítico se redujo después de la germinación.

2.5.6. Cambios de compuestos bioactivos de semillas germinadas

Como ya sabemos, durante la germinación de las semillas ha sufrido cambios rápidos y continuos en la estructura del espacio físico y la composición química. El almidón, la proteína y la grasa, como base material importante de las formas de vida, evolucionan constantemente en este proceso, acumulando las sustancias activas y la energía necesaria para que las semillas continúen su proceso de vida. Los estudios recientes han encontrado que la germinación es un método prometedor para reducir los factores anti nutricionales y acumular compuestos

bioactivos beneficiosos para la salud humana como GABA, polifenoles, flavonoides y vitaminas. Sin embargo, estos componentes bioactivos en semillas germinadas de granos están involucrados en un proceso dinámico, y su síntesis y transformación varían según la especie, condiciones de germinación y los cambios bioquímicos en el proceso (Hung *et al.*,2020).

2.5.6.1.Ácido α -aminobutírico (GABA)

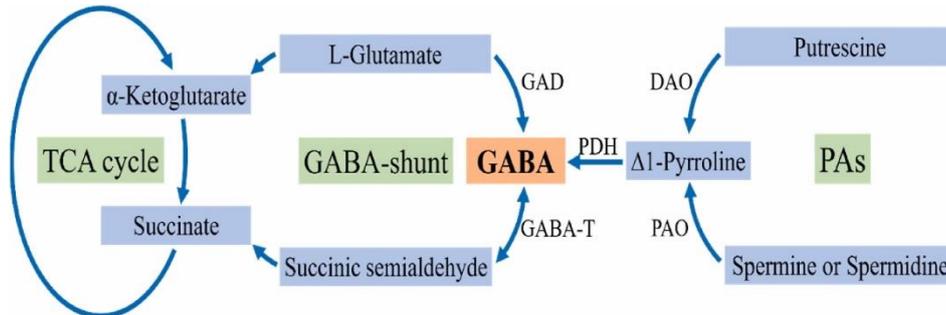
El ácido GABA es un aminoácido no proteico de cuatro carbonos que existe ampliamente en procariotas y eucariotas en estado libre (Zhao *et al.*,2017). En la *Figura 11*, se muestra las dos vías principales de síntesis de GABA en plantas superiores. La primera vía, conocida como la derivación GABA, la síntesis de GABA se cataliza principalmente por la descarboxilación de L-glucamato (L-Glu) a través del glutamato descarboxilasa, y luego se metaboliza a través de una transaminación de amoniaco reversible que es catalizada por la transaminada GABA. Otra vía, se llama la degradación de poliaminas (PA), que implica los siguientes pasos: la putrescina (espermina, espermidina) que es catalizada por diamino oxidasa o poliamino oxidasa para producir $\Delta 1$ -pirrolina, que puede descomponerse aún más en GABA bajo la catálisis de $\Delta 1$ -pirrolina deshidrogenasa.

Algunos estudios encontraron que la germinación puede acumular GABA significativamente en semillas de granos. Por ejemplo, se reportó que los brotes germinados de maíz morado y mijo marrón aumentaron 3.5 y 8.44 veces el GABA en comparación con sus semillas crudas (Paucar-Mencaho *et al.*,2017). De la misma manera, se observó un marcado aumento del contenido de GABA y glutamato en la soja y la quinua germinadas (Luo *et al.*,2018), y esto se puede

atribuir por el aumento de las actividades GAD, GABA-T y succinato-semialdehído deshidrogenasa en la derivación GABA durante la germinación.

Figura 11

Dos vías principales de síntesis de GABA en las plantas superiores



Nota: En la figura se muestran las dos vías principales que sintetizan el GABA, que son por derivación de GABA por glutamato y la vía por la degradación de Poliaminas. Tomado de Liu *et al.* (2022).

2.5.6.2. Polifenoles

Los polifenoles son compuestos que contienen al menos una unidad de fenol en su estructura molecular y existen principalmente en el reino vegetal en forma libre o unida (Gan *et al.*, 2017). En la actualidad se ha indicado que la germinación puede degradar una gran parte de los componentes alrededor de la pared celular de las plantas, liberando compuestos fenólicos solubles y unidos y, por lo tanto, aumentar claramente el contenido de compuestos fenólicos totales en granos germinados, como el trigo sarraceno, el maíz y la quinua (Beitane *et al.*, 2018; Paucar-Menacho *et al.*, 2017). Así mismo, con el tiempo de germinación prolongado, varios estudios observaron un aumento significativo de ácidos fenólicos y flavonoides, que son los dos compuestos fenólicos más comunes detectados en las semillas germinadas.

Anteriormente se informó que los ácidos fenólicos y los flavonoides se sintetizan a través de la ruta del shikimato y la ruta del fenilpropanoide, sin embargo, se observó una disminución del contenido fenólicos en leguminosas germinadas (Xu *et al.*,2018). En resumen, la tasa de liberación y conjugación de compuestos fenólicos en semillas de granos es un cambio complejo durante el proceso de germinación (Liu *et al.* 2022).

2.6.Snacks Extruidos

2.6.1. Definición de Snack

Son alimentos ingeridos como entremés, con el propósito de ser consumidos por placer o como un complemento energético nutritivo, pero no constituye por sí mismo ninguna de las principales comidas del día (Bravo & Ortega, 2017). La industria del snack es muy variable, debido a los gustos de los consumidores, es por ello que siempre se va innovando en la producción de snacks nuevos, con ingredientes que proporcionan características nutricionales y organolépticas adecuadas para obtener un producto de calidad (Laureano & Avellaneda, 2018).

La extrusión es un proceso muy común para la elaboración de snack debido a que utiliza altas temperaturas y alta presión en un corto tiempo, así mismo es un proceso versátil para elaborar productos extruidos a base de granos de cereales y leguminosas. Por lo tanto, si los snacks son elaborados a base de frutas, tubérculos, leguminosas, cereales y otros, pueden ser fuente de proteína y energía, particularmente para los sectores de bajos niveles de ingresos.

2.6.2. Clasificación

Los snacks se han clasificados de diversas formas a lo largo del tiempo y no existe una clasificación formal, se basan en la fabricación de procesos, las materias primas utilizadas, su sabor y su calidad nutricional.

Según Espinoza (2017) los snacks se clasifican en:

- **Snacks fritos:** Son aquellos que se obtienen luego de la fritura directa de la materia prima con el agregado posterior de saborizantes, colorantes, sal, azúcar y otros aditivos.
- **Snacks extruidos:** Son aquellos que se obtienen de una mezcla de materias primas sometidas a un proceso de extrusión y terminan siendo alimentos precocidos.
- **Snacks confituras:** Son aquellos que se obtienen por deshidratación osmótica.

2.7.Extrusión

2.7.1. Definición de extrusión

La extrusión es un proceso térmico mecánico por el cual materiales que contienen almidones son plastificados y cocidos por la acción combinada de alta presión, alto calor y esfuerzo de corte, forzándolos a pasar por una boquilla (Aranda & Bocanegra, 2018).

Romero (2018) define a la extrusión como el moldeo de un material por forzamiento, a través de muchas aberturas de diseño, después de haberlo sometido a calentamiento y formas alimentos húmedos, almidonosos y proteicos.

Y su objetivo principal es ampliar la variedad de alimentos que componen la dieta diaria, elaborado a partir de ingredientes básicos, de distinta forma,

textura y color, como lograr la cocción, pasteurización, expansión, reducción de humedad, homogenización y/o restructuración del alimento (Romero, 2018).

2.7.2. Generalidades de la Extrusión

Tiempos cortos de extrusión a altas temperaturas ha sido utilizado industrialmente durante los últimos 50 años. En sus inicios el uso de extrusión solo se limitaba a mezclar y dar forma a los cereales que eran conocidos como “fáciles de comer”; en la actualidad se le considera al extrusor como un biorreactor de alta temperatura y corto tiempo de resistencia, que transforma una amplia variedad de materias primas en productos pre cocidos y/o cocidos (Aranda & Bocanegra, 2018).

El proceso de extrusión se trata de la cocción con niveles bajos de humedad, comparado con la cocción convencional, los niveles normales de humedad se encuentran en un intervalo de 10-40% y a pesar de ello se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo esas condiciones, el tamaño de partícula de la materia prima, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante la extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material. A medida que es transportado el fluido, los elevados esfuerzos de corte se combinan con la alta temperatura, transformando los gránulos de almidón y las estructuras proteicas, con lo que el producto se convierte más digestible (Kameco, 2015).

Permite obtener una amplia variedad de alimentos e ingredientes con alta productividad a bajo costo de operación, ahorrando energía y de buena calidad. Así mismo combina muchas operaciones unitarias como: el mezclado, acondicionamiento, transporte, homogenización, cocción, deshidratación, estabilización enzimática, texturización, pasteurización, esterilización los cuales genera productos de alta calidad. Por eso se caracteriza por ser una técnica

eficiente y con múltiples ventajas en la cocción de cereales, por ejemplo: inactivación térmica de inhibidores y factores que alteran la digestibilidad, interacción entre proteínas, producción de un alimento sanitariamente adecuado, alta estabilidad del almacenaje, posibilidad de dar formas y texturas diferentes, agregar diversos sabores y colores (Romero, 2018).

Según (Fellows, 2017) las mayores ventajas de proceso de extrusión en la industria son:

- **Versatilidad:** Permite el uso de diversos tipos de materias primas, condiciones de operación, valor agregado para el desarrollo de nuevos productos.
- **Productividad:** Proceso continuo con alto rendimiento y totalmente automatizado.
- **Costo:** Bajo costo de producción comparado con alta productividad.
- **Calidad de producto:** Por ser considerado como un proceso de HTST (Alta temperatura a corto tiempo), preserva los componentes sensibles a altas temperaturas, aumenta la digestibilidad de proteínas y almidones, también inactivar factores anti nutricionales.
- **Sostenible al ambiente:** El proceso no produce efluentes, reduciendo costos y evitando la contaminación ambiental.

2.7.3. Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión consta de varios subcomponentes. Una tolva que proporciona una zona de amortiguamiento a la materia prima en la entrada, de manera que el extrusor opere de manera continua. Se utiliza un tornillo de alimentación de velocidad variable para descargar material uniforme y continuo de la tolva y llevarla extrusor. El barril del extrusor consta de cabezas encamisadas

que tienen tornillos giratorios, las cabezas se calientan mediante un cartucho eléctrico y se enfrían por un Schiller o un medio de enfriamiento. Entonces, la calidad del producto y la estabilidad del sistema depende de la optimización de las variables del proceso y de la materia prima de alimentación.

Los principales componentes de un extrusor según (Romero, 2018) son:

- **Zona de alimentación:** Aquí se introducen las materias primas en crudo de baja densidad al cilindro del extrusor. La velocidad de alimentación depende de la capacidad de los tornillos, para no tener atoramiento ni falta de alimentación al momento de transportar. Siempre hay que tener el sistema de alimentación constante sin interrupción ya que es fundamental para el correcto funcionamiento del extrusor así mismo para obtener extruidos homogéneos. Si se utiliza calentamiento del tornillo, se tiene que inyectar agua corriente debajo de la zona de alimentación con el fin de hidratar los biopolímeros y aumentar la conductividad del calor.
- **Zona de amasamiento:** Aquí se continúa la compresión, y los tornillos del extrusor empiezan a alcanzar un mayor grado de llenado mientras disminuye el paso del tornillo. La materia prima pierde su textura y su densidad empieza a aumentar conforme lo hace la presión del cilindro. El corte empieza a funcionar conforme el tornillo se llena.
- **Zona de cocimiento final:** En esta área, la temperatura y la presión aumentan rápidamente debido a la presión de la matriz y el paso pequeño del tornillo. La temperatura del producto extruido es llevada a temperaturas superiores de ebullición normal, pero no ocurre evaporación debido a la presión que existe. El tornillo es una de las partes importantes del sistema ya que este se encarga de dar el cocimiento, es decir la

gelatinización del almidón, lo cual tiene que ver con la calidad del producto final. La caja extrusora donde el tornillo gira cuenta con ranuras internas para mejorar el grado de cocimiento del material a procesar. La cocción o cizallamiento es altamente influenciado por la proporción de la longitud y el diámetro del cilindro. La transformación de la materia prima final ocurre en esta zona, lo que afecta la densidad, el color y las propiedades funcional del producto final.

- **Dado o Matriz:** La masa presurizada es forzada a través de una matriz llamada boquilla, que permite dar forma al producto, donde la caída de presión en la salida, ocasiona la expansión y evaporación de la humedad en el producto terminado, aquí está el mecanismo de corte fijado directamente al extrusor, para tener el tamaño requerido del extruido. Para fijar la longitud y forma final se utilizan dispositivos adicionales, como mallas con diferentes orificios. La matriz o dado también tiene una función importante en los productos esponjosos al promover una repentina evaporación de humedad en forma de vapor.

2.7.4. Equipo extrusor

El instrumento básico para el proceso de cocción por extrusión es la extrusora, este se puede clasificar según su mecanismo de transporte como extrusora de tornillo pistón o rodillo (Philipp *et al.*,2017).

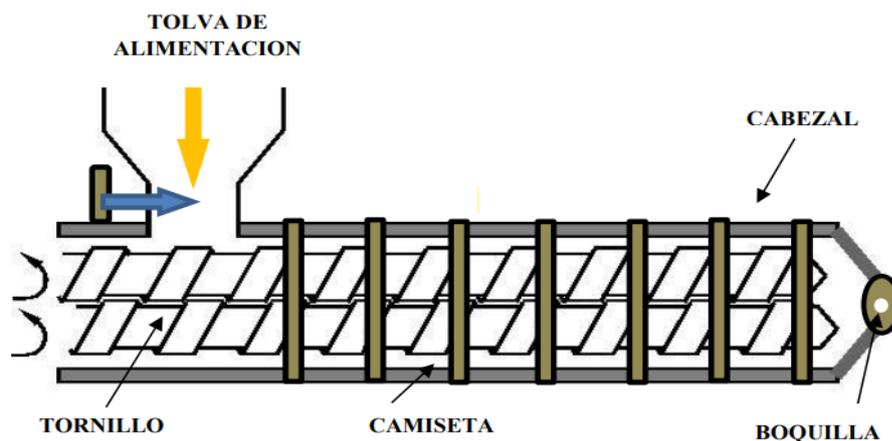
El extrusor está constituido por una tolva de alimentación, cilindro, camiseta, tornillo, cabezal, boquilla tal como se observa en la *Figura 12*. Entre todos los extrusores, los de tornillo son lo más populares en la industria de procesamiento de alimentos, que pueden operar con tornillos simples, gemelos o múltiples que giran dentro de un barril fijo. El tornillo es una de las partes más importantes del

sistema, porque se encarga de dar la gelatinización del almidón; cocimiento, que determina la calidad del producto final.

La caja extrusora donde el tornillo gira tiene ranuras internas para poder mejorar el estado de cocimiento del material pudiendo ser estas paralelas o en espiral. Las de espiral aumentan el grado de gelatinización del material. (Lázaro & Sotelo, 2017). Este barril encierra herméticamente a un tornillo de Arquímedes giratorio con una matriz en la descarga (Park *et al.*,2014).

Figura 12

Esquema de un extrusor de doble tornillo



Nota: Tomado de Lázaro & Sotelo (2017)

De ahí, se alimenta a una tolva en el barril fijo las materias primas debidamente mezcladas para que puedan ser transportadas a lo largo del extremo de descarga por los tornillos giratorios. El producto que sale por la extrusora tendrá el diseño y forma por la matriz que se le ha impartido. Cuando se trabaja extrusión a pequeña escala, se involucra materias primas menos complejas, de bajo costo mayormente y se trabaja con diseños de un solo tornillo, mientras para procesos a escala industrial, se trata con ingredientes más complejos y se recomienda extrusoras de doble tornillo (Alam & Aslam, 2021).

2.7.4.1.Extrusora de doble tornillo

Este tipo de extrusoras maneja más capacidad de ingredientes crudos más complejos, por lo tanto, se usa generalmente en la industria de alimentos. La extrusora de doble tornillo típica comprende de dos tornillos de servicio pesado que giran firmemente dentro de un barril. Aunque existen algunos ejemplos de extrusoras de doble husillo contra rotativas, que no se usan en aplicación de alimentarias porque tienen malas características de mezcla y son más caros debido a la alta presión involucrada. También, estas extrusoras giratorias funcionan a altas velocidades y ofrecen mejor mezcla de materias primas. En el sistema, el material se transfiere de un tornillo a otro y el flujo se produce por la combinación del flujo de arrastre y flujo de desplazamiento, como una extrusora de un solo tornillo (Cuj-Laines et al.,2018).

2.7.5. Efectos de la Cocción por extrusión

2.7.5.1.Efecto en las Propiedades nutricionales

En el proceso de cocción por extrusión, la mezcla de ingredientes se somete a numerosas transformaciones estructurales y químicas que incluyen desnaturalización de proteínas, gelatinización de almidón, degradación de vitaminas, cambio de pigmento y formación de complejos. Manipulación de las variables independientes (por ejemplo, velocidad del tornillo, configuración del tornillo, diseño del molde, contenido de humedad) del alimento, la temperatura y la tasa de alimentación) produce cambios en uno o más de los variables (por ejemplo, tiempo de residencia, entrada de energía mecánica a la extrusora y energía térmica en la extrusora) y, por lo tanto, afecta la funcionalidad y las propiedades fisicoquímicas del deshielo (Cuj-Laines *et al.*,2018).

La extrusión provoca gelatinización, dextrinización, desnaturalización y modificación de la estructura molecular del almidón, fibra y proteína. Cuando las proteínas se someten a extrusión, experimentan un cambio conformacional llamado desnaturalización, que favorece la exposición de las proteínas a las proteasas aumentando así la biodisponibilidad de las proteínas para el organismo (Navarro-Cortez *et al.*, 2014).

En la *Tabla 9*, se presenta una recopilación de materias primas con alto contenido de proteína y del país de donde provienen.

Tabla 9

Materias primas ricas en proteínas que se pueden utilizar en la producción de snacks extruidos.

Nombres	Contenido de Proteína(%)	Países	Referencias
Soya	78.7	Brasil	Carvalho <i>et al.</i> (2012)
Frijol	18-30	Brasil	Llopart <i>et al.</i> (2014)
Piel de calabaza	21-25	Nueva Zelanda	Norfezah <i>et al.</i> (2011)
pulpa y semilla	23.8	Canadá	Hood-Niefer y Tyler (2010)
Guisante	24.4	México	Dorado <i>et al.</i> (2008)
Mijo	9.4	Estados Unidos	Navam <i>at al.</i> (2014)
Amaranto	12.8-17.4	South África	Beswa <i>at al.</i> (2016)
Chía	16.64	Estados Unidos	Byars and Singh (2015)
Pistacho	18.1	Italia	De Pilli <i>et al.</i> (2015)
Cañihua	15-19	Perú	Tacora-Cauna <i>et al.</i> (2010)

2.7.5.2.Efecto en las Propiedades tecnológicas

Un estudio sobre la extrusión de tres diferentes variedades comerciales de quinua mostró que la quinua real boliviana exhibió la mayor expansión (ER^{1/4}2.3), en

comparación con la quinua negra (ER^{1/4}1,2) y vainilla de cereza (ER^{1/4}1,1) (Aluwi *et al.*, 2016). El contenido de humedad, la temperatura y la velocidad del tornillo tienen efectos significativos sobre la expansión de los extruidos a base de quinua. La alta expansión se observó a baja temperatura (130 ° C), y los autores explicaron que la baja temperatura podría compensar la disminución de la viscosidad de la masa fundida debido al alto contenido de grasa contenido y bajo contenido de amilosa en harinas de quinua. Además, las harinas de quinua necesitan condiciones de alto cizallamiento durante la extrusión para romper los gránulos de almidón debido a su alto contenido de grasa y bajo contenido de amilosa contenidos (Kowalski *et al.*, 2016). La extrusión también puede reducir el contenido de saponina en la quinua debido a las entradas de energía térmica y mecánica, pero el calor tiene un efecto más pronunciado.

Ryan *et al.* (2016), evaluaron los efectos de la cocina por extrusión de granos de quinua a las características tecnológicas encontrando que esta harina de quinua tuvo una expansión baja en comparación con los granos de cereales como el maíz o el trigo, lo que sugiere que no es adecuada para la elaboración de productos de expansión directa.

Como se muestra en lo anteriormente mencionado, se debe encontrar la combinación correcta del tipo de almidón, el contenido de humedad y las condiciones de extrusión como la longitud del tornillo, velocidad de rotación, temperatura del cilindro, forma del troquel y grado de cizallamiento, que van a controlar la cantidad de expansión del producto, su textura, su color, tal como el sabor.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.Lugar de Ejecución

El trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Instituto de Investigación de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa: Área de Bioprocesos, Área de Control de Calidad, Área de Operaciones Unitarias y Área de Alimentos Funcionales.
- Laboratorio de Composición Bioquímica de los Productos Agroindustriales.
- Instalación del área de análisis sensorial de la Planta Piloto Agroindustria.
- Instituto de Ciencia, Tecnología y Nutrición de Alimentos (ICTAN-CSIC), Madrid-ESPAÑA.
- Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad Federal de los Valles de Jequitinhonha y Mucurí (UFVJM)-BRASIL.

3.2.Materias Primas

- Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) en grano de la variedad Pasankalla Roja adquirida de la Universidad Agraria La Molina (Lima, Perú).
- Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) en grano de la variedad Illpa adquirida del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) (Puno, Perú).
- Maíz Amarillo (*Zea mays*) en grano de la variedad Morocho fue adquirido del Caserío de Huacacorral (Guadalupito, Perú)

3.3.Equipos, Reactivos, Instrumentos y otros Materiales

3.3.1. Equipos

- Extrusor doble tornillo (Inbramaq PQ DRX-50)
- Secador de bandejas (SE 1402)
- Módulo de molienda y tamizado (Torrh 60XL)

- Cámara germinadora de semillas (Maquilak)
- Molino de rotura (Brabender SM 4)
- Selladora al vacío (Maquilak)
- Agitadora digital (IKA MS 3)
- Agitador magnético (Nahita STIRRER)
- Ultrasonido (Branson CPX952519 R)
- Centrífuga (Digicen 21 R)
- Purificador de agua (Millipore Milli-Q)
- Lector Multimodal (Synergy H1)
- Liofilizador (Labconco)
- Contrador al vacío (Thermo RVT4104)
- HPLC (Shimadzu SCL-10AVP)
- PH metro digital (Termo Scientific STAR A211)
- Estufa (Poleko Aparatura SLN 115)
- Balanza de precesión eléctrica (Precisa LX220)
- Balanza Analítica (Precisa Gravimetrics)
- Refrigeradora y Congeladora (Bosch KSV 44)
- Equipo de baño maría (Cole Parmer 8892)
- Espectrofotómetro (Konica CM 5)
- Texturómetro (Stable micro Systems TA-XT Plus)

3.3.2. Reactivos

- Fosfato monosódico monohidratado ($\text{NaH}_2\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$)
- Fosfato disódico heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Fluoresceína Sodium Salt

- Solución AAPH
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid)
- Metanol absoluto 80%
- Acetona 70%
- Ácido gálico (Sigma-Aldrich)
- Carbonato de sodio 7.5%
- Reactivo Folin Ciocalteu 2N
- Ácido ascórbico 10%
- Ácido sulfúrico 1 M
- Molibdato de amonio 5%
- Ácido tricloroacético 50%
- Ácido clorhídrico 0.66 M
- Ácido molibdato de amonio 2M
- Agua destilada

3.3.3. Materiales de Vidrio

- Microplacas de poliestireno de 96 pocillos
- Micropipetas (0-100ul, 100-1000ul, 1000-5000ul)
- Puntas de micropipetas (200 ul, 1000 ul, 5000 ul)
- Matraces Erlenmeyer (50 ml, 100 ml, 250 ml y 500 ml)
- Probetas (50, 100 y 500 ml)
- Fiolas de 10 ml, 50 ml, 100 ml
- Tubos Falcón (15 ml, 25 ml)
- Tubos tipos spondorff 1.5 ml y 2 ml
- Porta eppendorff

- Vasos precipitados (10 mly 50ml)
- Pipetas volumétricas (1,5 y 10 ml)
- Placas Petri 51 mm x 76 mm
- Viales

3.3.4. Otros materiales

- Mesa de acero inoxidable, bandejas de plástico, espátula, rejillas para germinación, bolsas de polipropileno de alta densidad, colador y cucharon, bolsas al vacío, Material para prueba sensorial: Cabinas de degustación, formatos, lapiceros, vasos descartables, papel filtro, papel aluminio.

3.4. Métodos

3.4.1. Obtención de la Harina de Quinua Germinada

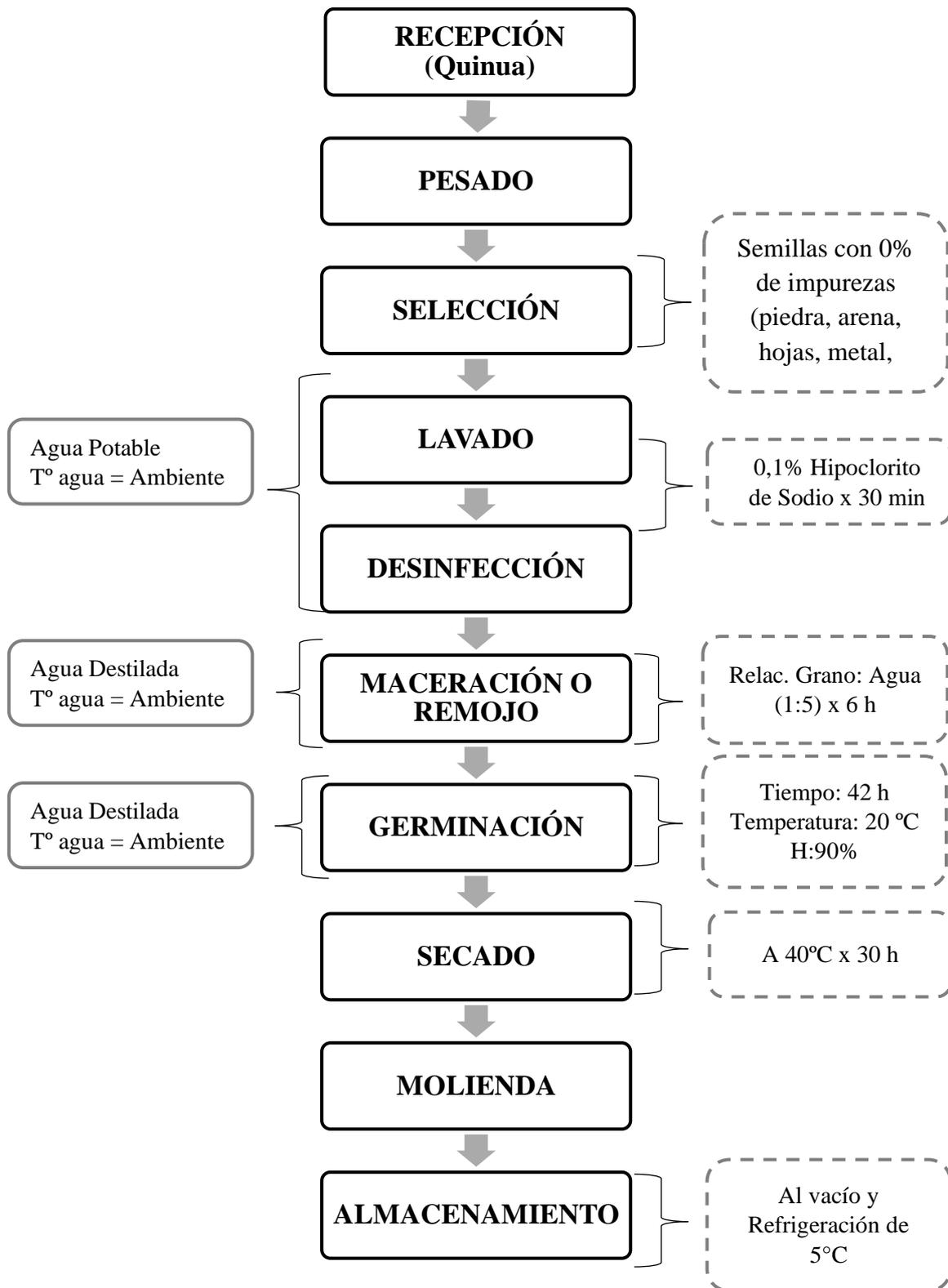
Para la elaboración de la harina de quinua germinada se siguió la metodología de (Paucar-Menacho *et al.*,2018), el método permite obtener mayor acumulación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. En la *Figura 13*, se observa el diagrama de flujo para la elaboración de harina de quinua germinada y en el Anexo 2 se alcanza el balance de materia.

- Recepción:** La materia prima (quinua variedad “*Pasankalla*”) se transportó hacia el laboratorio de Alimentos funcionales del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial.
- Pesado de la materia prima:** La materia prima fue pesada en una balanza de capacidad de 5 kg, previamente se limpió de polvo o algún objeto extraño que tenga.
- Selección:** Se procedió a la eliminación de impurezas de los granos y separar los granos de buena calidad, para tener uniformidad de la materia prima.

- d) Desinfección:** Se desinfectó con Hipoclorito de Sodio (Lejía comercial) en un porcentaje de 0.01% por la cantidad de agua utilizada durante 30 minutos y luego se enjuaga para eliminar cualquier rastro del agente desinfectante.
- e) Maceración o remojo:** A las semillas de quinua se hidrataron con agua destilada a 20 °C en una relación de grano de 1:5 durante 8 horas. Cada 2 horas se procede a airear para evitar la formación de CO₂ y alcohol dentro del agua, además prevenir la formación de microorganismos.
- f) Germinación:** Se realizó en una cámara germinadora de semillas de bandejas por un lapso de 42 horas a 20 °C, con un sistema de circulación de agua para mantener la humedad relativa del 90%, durante este tiempo se hizo monitoreo de la radícula del grano hasta que alcance entre 2-2.5 cm.
- g) Secado:** Se realizó en un secador de bandejas semi industrial por un lapso de 30 horas a 40 °C, durante ese tiempo se hizo monitoreo de la humedad de la quinua germinada hasta que obtenga una humedad del 8-10%.
- h) Molienda:** Se realizó en el molino de rotura de semillas, con tamaño de corte N° 2, aquí se realizó la pulverización de la quinua germinada tostada para la obtención de la harina germinada.
- i) Envasado y Almacenamiento:** La harina de quinua germinada luego de ser molida fue envasada en bolsas de polietileno gofradas de alta densidad, de ahí se les realizó vacío para evitar contaminación. Una vez sellada, se almacenó en una refrigeradora para su conservación.

Figura 13

Diagrama de Flujo de la Obtención de Harina de Quinua Germinada



3.4.2. Obtención de la Harina de Cañihua Germinada

Para la elaboración de la harina de cañihua germinada se siguió la metodología de (Abderrahim *et al.*,2012), el método permite obtener mayor acumulación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante. En la *Figura 14* se observa el diagrama de flujo para la elaboración de harina de cañihua germinada y en el Anexo 4 se alcanza el balance de materia del proceso de obtención.

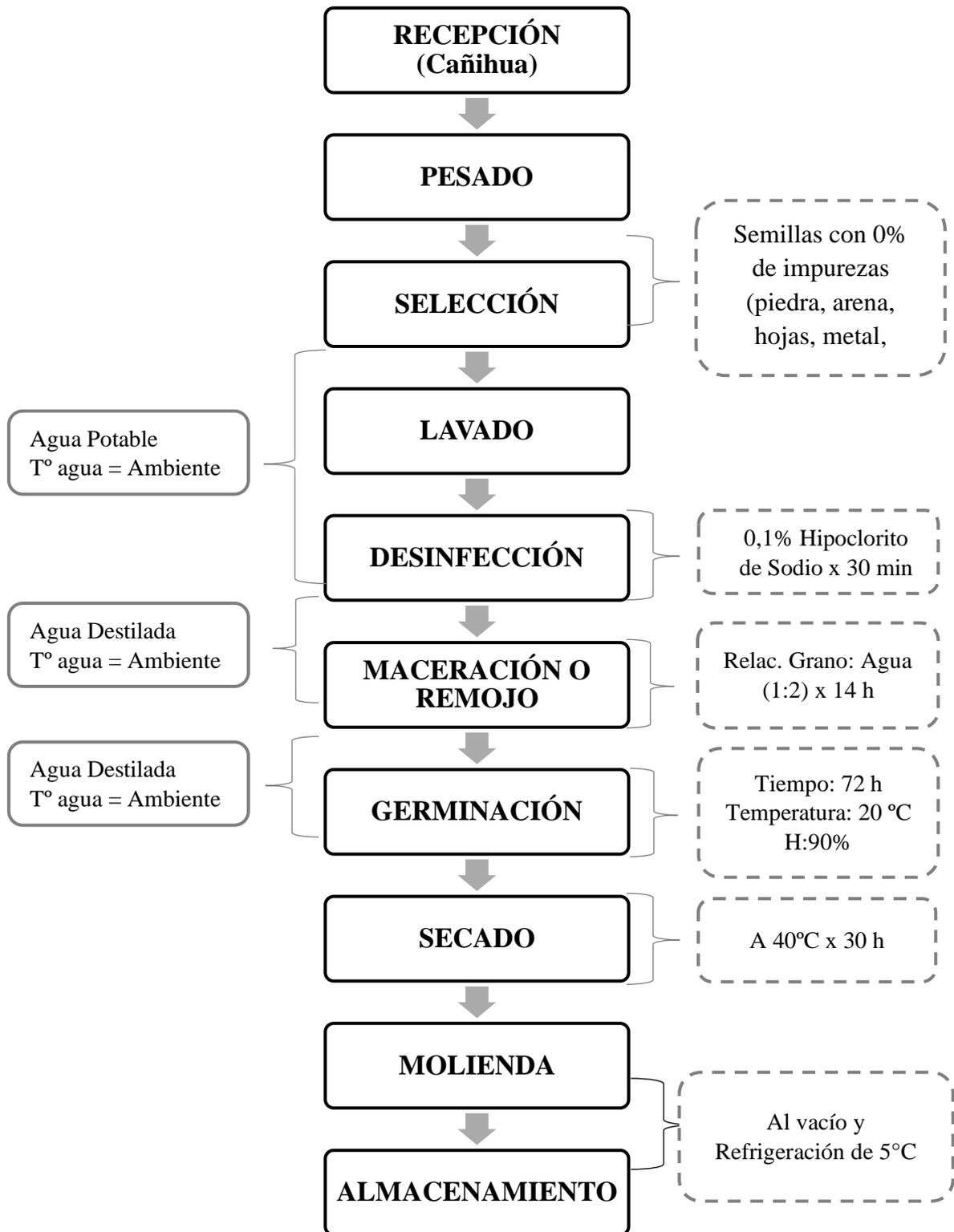
- a) **Recepción:** La materia prima (cañihua variedad “*Illpa INIA*”) se transportó hacia el laboratorio de Alimentos funcionales del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial.
- b) **Pesado de la materia prima:** La materia prima fue pesada en una balanza de capacidad de 5 kg, previamente se limpió de polvo o algún objeto extraño que tenga.
- c) **Selección:** Se procedió a la eliminación de impurezas de los granos y separar los granos de buena calidad, para tener uniformidad de la materia prima.
- d) **Desinfección:** Se desinfectó con Hipoclorito de Sodio (Lejía comercial) en un porcentaje de 0.3% por la cantidad de agua utilizada (1:2,p/v) durante 15 minutos y luego se enjuaga para eliminar cualquier rastro del agente desinfectante.
- e) **Maceración o remojo:** A las semillas de cañihua se hidrataron con agua destilada a 20 °C en una relación de grano de 1:5 durante 14 horas. Cada 2 horas se procede a airear para evitar la formación de CO₂ y alcohol dentro del agua, además prevenir la formación de microorganismos.
- f) **Germinación:** Se realizó en una cámara germinadora de semillas de bandejas por un lapso de 72 horas a 20 °C, con un sistema de circulación de agua para

mantener la humedad relativa del 90%, durante este tiempo se hizo monitoreo de la radícula del grano hasta que alcance entre 2-2.5 cm.

- g) Secado:** Se realizó en un secador de bandejas semi industrial por un lapso de 30 horas a 40 °C, durante ese tiempo se hizo monitoreo de la humedad de la cañihua germinada hasta que obtenga una humedad del 8-10%.
- h) Molienda:** Se realizó en el molino de rotura de semillas, con tamaño de corte N° 2, aquí se realizó la pulverización de la cañihua germinada tostada para la obtención de la harina germinada.
- i) Envasado y Almacenamiento:** La harina de cañihua germinada luego de ser molida fue envasada en bolsas de polietileno gofradas de alta densidad, de ahí se les realizó vacío para evitar contaminación. Una vez sellada, se almacenó en una refrigeradora para su conservación.

Figura 14

Diagrama de Flujo de la Obtención de Harina de Cañihua Germinada



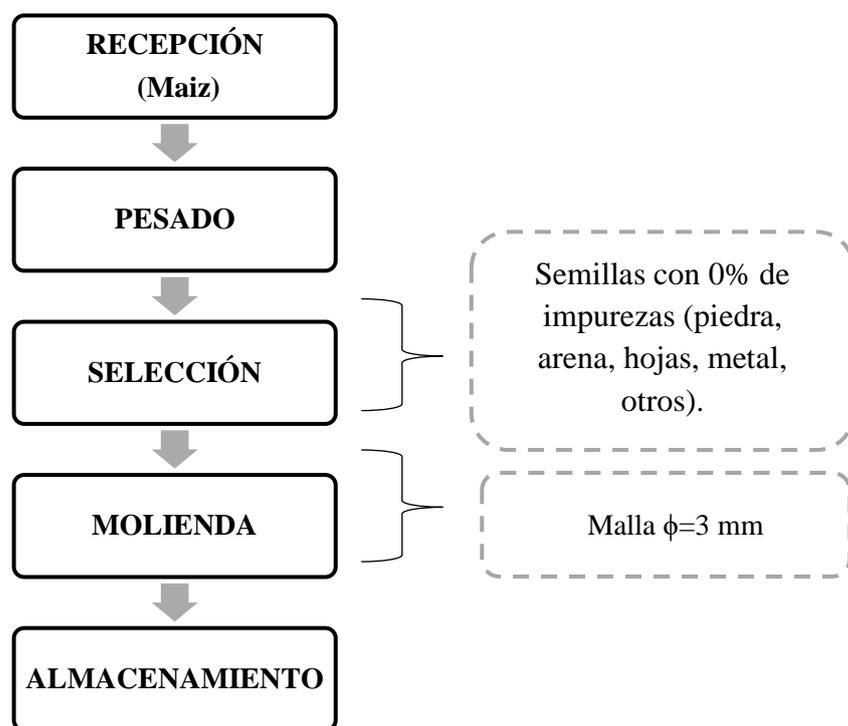
3.4.3. Obtención de los Grits de Maíz

Para la elaboración de los grits de maíz se siguió la metodología de (Lázaro & Sotelo,2017). En la *Figura 15* se observa el diagrama de flujo para la elaboración de grits de maíz y en el Anexo 6 se alcanza el balance de materia junto al rendimiento de los grits de maíz.

- a) **Recepción:** La materia prima (cañihua variedad “*Morocho*”) se transportó hacia el laboratorio de Alimentos funcionales del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial.
- b) **Pesado de la materia prima:** La materia prima fue pesada en una balanza de capacidad de 5 kg, previamente se limpió de polvo o algún objeto extraño que tenga.
- c) **Selección:** Se procedió a la eliminación de impurezas de los granos y separar los granos de buena calidad, para tener uniformidad de la materia prima.
- d) **Molienda:** Se realizó en el equipo de molienda y tamizado, con tamaño de malla $\phi=3\text{mm}$, aquí se realizó la rotura del maíz hasta llegar a una textura casi fina.
- e) **Envasado y Almacenamiento:** Los grits de maíz luego de ser molido fue envasado en bolsas de polietileno gofradas de alta densidad, de ahí se les realizó vacío para evitar contaminación. Una vez sellada, se almacenó en una refrigeradora para su conservación.

Figura 9

Diagrama de Flujo de la Obtención de Grits de Maíz



3.4.4. Evaluación de la Calidad de las Materias Primas

3.4.4.1. Caracterización fisicoquímica de las harinas de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz

Se realizó individualmente la caracterización fisicoquímica de la harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz. En el Anexo 9 se detallan todos los métodos realizados y estos son los siguientes:

- a) **Determinación de Humedad.** Se realizó la determinación de humedad utilizando el método 925.10 recomendado por la AOAC (2005).
- b) **Determinación de Proteína.** Se realizó la determinación de proteína total utilizando el método 920.87 con factor de conversión de 4.0 kcal/g recomendado por la AOAC (2005).

- c) **Determinación de Grasas.** Se realizó la determinación de grasa utilizando el equipo extractor de grasa Soxhlet, según el método 922.06 con factor de conversión de 9.0 kcal /g recomendado por la AOAC (2005).
- d) **Determinación de Ceniza.** Se realizó la incineración de la materia orgánica de la muestra en una mufla, siguiendo el método 923.03 recomendado por la AOAC (2005).
- e) **Determinación de Carbohidratos.** Se realizó la determinación de carbohidratos por diferencia, restando el 100% la suma de los gramos de humedad, proteína, grasa y ceniza recomendado por la AOAC (2005).
- f) **Determinación de Fibra Total, Fibra Soluble y Fibra Insoluble.** Se realizó la determinación de fibra dietética utilizando el método enzimático gravimétrico 985.29 recomendado por la AOAC (2005).
- g) **Granulometría.** Se realizó la determinación de granulometría utilizando el método 965.22 recomendado por la AOAC (2005).
- h) **Color Instrumental.** Se determinó la colorimetría de las materias primas en un espectrofotómetro Konica CM-5, evaluando el sistema CIE-La*b* y la variación de color (ΔE) con tres repeticiones, como se describe por Silva *et al.* (2021).
- i) **Extracción y Cuantificación de Compuestos Fenólicos Solubles Totales (TSPC).** Los compuestos fenólicos solubles totales se determinaron en extractos hidroalcohólicos y posterior cuantificación por colorimetría mediante el método de Folin-Ciocalteu adaptado a placas multipocillo, según Pico *et al.* (2020). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE/100 g dm).

- j) Determinación del ácido γ -aminobutírico (GABA).** El ácido γ -aminobutírico fue extraído y analizado mediante cromatografía líquida de alta resolución de fase inversa (HPLC) y detección UV, según Paucar-Menacho *et al.* (2017). Los resultados se expresaron en mg GABA/100 g dm.
- k) Determinación de la Capacidad Antioxidante Radical de Oxígeno (ORAC).** La capacidad antioxidante se determinó mediante el método fluorescente de la capacidad atrapadora de radicales de oxígeno, usando como agente oxidante el AAPH y se mide en relación al Trolox. Los resultados se expresaron como μ mol de equivalentes de Trolox (TE)/g de peso seco.
- l) Determinación del Contenido de Ácido Fítico (PA).** Se siguió el método 986.11 recomendado por la AOAC (2000), este método se basa en la extracción ácida de fosfato y la purificación por intercambio de aniones del ácido fítico por la fitasa y fosfatasa alcalina. El fosfato total liberado se mide usando el método colorímetro con un espectrofotómetro a λ 655 nm y dado en gramos fósforo/100g muestra.

3.4.5. Obtención de los Extruidos tipo Snacks

Para la elaboración de los extruidos se utilizó un extrusor cocinador de doble tornillo. Para este proceso se realizaron las siguientes etapas:

- a) Recepción:** Se trabajó con las harinas de quinua germinada, cañihua germinada y grits de maíz, luego de haber sido secadas, molidas, envasadas y selladas. El porcentaje por usar es según el diseño experimental presentado en la tabla 9.
- b) Pesado de la materia prima:** Se pesaron las materias primas de acuerdo al porcentaje determinado para los 12 tratamientos indicados en el diseño experimental de la Tabla 12. Esta operación se realizó en una balanza gramera.

- c) **Mezclado:** Después del pesado, se procedió al mezclado de las harinas con los grits de maíz de acuerdo a cada formulación correspondiente, la homogenización de la mezcla se realizó durante unos minutos.
- d) **Acondicionamiento:** Inicialmente el equipo se encendió y una vez programada las temperaturas se dejaron calentar. Al mismo tiempo se inyecta agua al 100% con aceite para limpiar previamente los tornillos.
- e) **Extrusión:** El proceso de extrusión se desarrolló con las condiciones de trabajo de la *Tabla 11* y con 7 temperaturas en las zonas de calentamiento. Primero la mezcla se agrega a la tolva del extrusor, de ahí es transportada por el tornillo hacia la zona de alta presión a las temperaturas programadas, luego el extruido expandido sale a través de los orificios de la boquilla de la salida del extrusor y cortada a la salida con una cuchilla rotatoria que le da la forma deseada.

Tabla 10

Parámetros de extrusión del Snack

Parámetro	Medida
Tasa de alimentación	6 Kg/h
Velocidad de Alimentación	304 rpm
Velocidad de tornillo	304 rpm
Velocidad de cuchilla	450 rpm
Diámetro de boquilla	6 mm
Caudal de agua	10 ml/min
Temperaturas	30, 45, 55, 75, 95, 105 y 115 °C

- f) **Enfriado:** Se dejó enfriar a temperatura ambiente el snack expandido obtenidos de los 12 tratamientos.
- g) **Envasado:** Los snacks expandidos fueron envasados en bolsas de polietileno gofradas de alta densidad, de ahí se les realizó vacío para evitar contaminación. De ahí se tomaron muestras para análisis inmediatos y para estudios fisicoquímicos y tecnológicos.
- h) **Almacenamiento:** Se almacenó a temperatura ambiente en unos de los ambientes del laboratorio de Alimentos Funcionales.

3.4.6. Evaluación de la Calidad de los Snacks Extruidos

3.4.6.1. Evaluación Fisicoquímica

A los 12 tratamientos obtenidos del diseño experimental fueron evaluados de acuerdo a las características fisicoquímicas relevantes de los snacks con el objetivo de obtener los óptimos tratamientos que cumplan con los requisitos establecidos. Se utilizó el programa Statistica para analizar los resultados obtenidos.

- a) **Color Instrumental.** Se determinó la colorimetría de las materias primas en un espectrofotómetro Konica CM-5, evaluando el sistema CIE-La*b* y la variación de color (ΔE) con tres repeticiones, como se describe por Silva *et al.* (2021). Las condiciones del equipo se configuraron con iluminante D65, Angulo de observación de 10° y calibración en modo RSIN (Reflectance Specular Inclusive). Para la obtención de la variación de color se empleó la siguiente formula:

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

Donde:

L= Luminosidad

a*= Cromacidad

b*= Angulo de tonalidad

- b) Extracción y Cuantificación de Compuestos Fenólicos Solubles Totales (TPSC).** Los compuestos fenólicos solubles totales se determinaron en extractos hidroalcoholicos y posterior cuantificación por colorimetría mediante el método de Folin-Ciocalteu adaptado a placas multipocillo, según Pico *et al.* (2020). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE/100 g dm).
- c) Determinación de la Capacidad Antioxidante Radical de Oxígeno (ORAC).** La capacidad antioxidante se determinó mediante el método fluorescente de la capacidad atrapadora de radicales de oxígeno, usando un lector multimodal a longitudes de onda de λ excitación y λ emisión de 485 y 520 nm, como agente oxidante el AAPH y se mide en relación al Trolox. Los resultados se expresaron como μ mol de equivalentes de Trolox (TE)/g de peso seco.
- d) Determinación del Contenido de Ácido Fítico (PA).** Se siguió el método 986.11 recomendado por la AOAC (2000), este método se basa en la extracción acida de fosfato y la purificación por intercambio de aniones del ácido fítico por la fitasa y fosfatasa alcalina. El fosfato total liberado se mide usando el método colorímetro con un espectrofotómetro a λ 655 nm y dado en gramos fósforo/100g muestra.

3.4.6.2.Evaluación Tecnológica

- a) Índice de expansión.** Se determinó por la relación entre el diámetro del producto final y el diámetro de la boquilla del troquel utilizado, según la metodología descrita por Meza *et al.* (2019). Se usó un troquel de boquilla

cuya medida fue de 4 cm de diámetro y con un orificio de 0.5 cm de diámetro y una malla de 4.2 cm de diámetro. Los diámetros fueron medidos con un calibre vernier (sensibilidad 0.02 mm). Para la obtención del índice de expansión se empleó la siguiente formula:

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

Donde:

IE= Índice de Expansión

DE= Diámetro promedio del extrusado (mm)

DM= Diámetro de la boquilla

- b) Densidad aparente.** Se determinó por la relación entre la masa de la muestra extruida y el volumen de ella misma, se siguió la metodología descrita por Chavez-Jáuregui *et al.* (2000). Para la obtención de la densidad aparente se empleó la siguiente formula:

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

Donde:

ρ = Densidad aparente (g/cm³)

m = Masa de la muestra (g)

c= Longitud de la muestra (cm)

d= Diámetro de la muestra (cm)

- c) Índice de Absorción de agua (IAA).** El índice de absorción de agua se determinó mediante la centrifugación de la muestra a 3000 rpm durante 10 minutos, se pasó el sobrenadante en una placa Petri y se pesó el gel que quedó dentro del tubo, como lo dice la metodología de Meza *et al.* (2019). Para la obtención del índice de absorción de agua se empleó la siguiente formula:

$$IAA = \frac{M_{rc}}{M_a} \times 100$$

Donde:

IAA= Índice de absorción de agua (%)

Mrc= Masa del residuo de centrifugación (g)

Ma = Masa de la muestra en base seca (g)

- d) Índice de solubilidad en agua (ISA).** El índice de solubilidad de agua se determinó mediante la centrifugación de la muestra a 3000 rpm durante 10 minutos y el secado del sobrenadante por 4 horas a 90°C, como lo dice la metodología de Meza *et al.* (2019). Para la obtención del índice de absorción de agua se empleó la siguiente formula:

$$ISA = \frac{M_{rc}}{M_a - M_{re}} \times 100$$

Donde:

IAA= Índice de absorción de agua (%)

Mrc= Masa del residuo de centrifugación (g)

Ma = Masa de la muestra en base seca (g)

Mre= Massa del residuo secado (g)

- e) Textura instrumental (FC y WC).** La fuerza (FC) y trabajo de corte (WC) de los extruidos se analizaron mediante un Texturómetro 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 mono capa y se procesó con las siguientes condiciones (distancia de sonda de 48 mm, velocidad de pre ensayo 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 e 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.

3.4.6.3. Evaluación de Aceptabilidad General de los snacks óptimos

a) **Análisis de aceptabilidad sensorial general:** El análisis se realizó con 30 panelistas semi entrenados, quienes evaluaron la aceptabilidad sensorial general de los extruidos en una escala hedónica de 5 puntos (1 = “Odié” y 5 = “Me encantó”). En la sesión, los extruidos fueron ofrecidos en vasos de plástico codificadas aleatoriamente y entregados de forma monódica. El análisis se realizó en cabinas individuales de degustación de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa.

b) **Análisis de intención de compra:** El análisis se realizó con 30 panelistas semi entrenados, quienes evaluaron la intención de compra de los extruidos en una escala hedónica de 5 puntos (1 = “Con certeza no lo compraría” y 5 = “Con certeza lo compraría”). En la sesión, los extruidos fueron ofrecidos en vasos de plástico codificadas aleatoriamente y entregados de forma monódica. El análisis se realizó en cabinas individuales de degustación de la Planta Piloto de la Universidad Nacional del Santa.

3.5. Diseño Experimental

Como diseño experimental se utilizó la Metodología de Superficie de Respuesta a través de un Diseño de Mezclas Simplex con Centroide, considerando las siguientes variables independientes y dependientes:

3.5.1. Definición de variables Independientes:

- % Harina de Quinoa Germinada
- % Harina de Cañihua Germinada

- % Grits de Maíz

3.5.2. Definición de variables dependientes:

- **Características fisicoquímicas:** Color instrumental, Compuestos Fenólicos Solubles Totales (TPSC), Capacidad Antioxidante (ORAC) y Ácido Fítico (PA)
- **Características tecnológicas:** Índice de expansión (IE), Densidad Aparente (DA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA), Índice de Absorción en Agua (IAA) y Textura Instrumental (FC/WC).

Con restricciones en los tres componentes (variables independientes), se aplicó el software estadístico Statistica versión 7.0, con el cual se obtuvieron los 12 puntos experimentales que se muestran en la Tabla 12. Todas las formulaciones fueron originadas por el programa, seis de ellas representaron los puntos experimentales con los que se estimaron los modelos de respuesta, tres de ellas fueron repeticiones utilizados para mejorar la estimación de la varianza de error y tres puntos para el análisis de ajuste de los modelos.

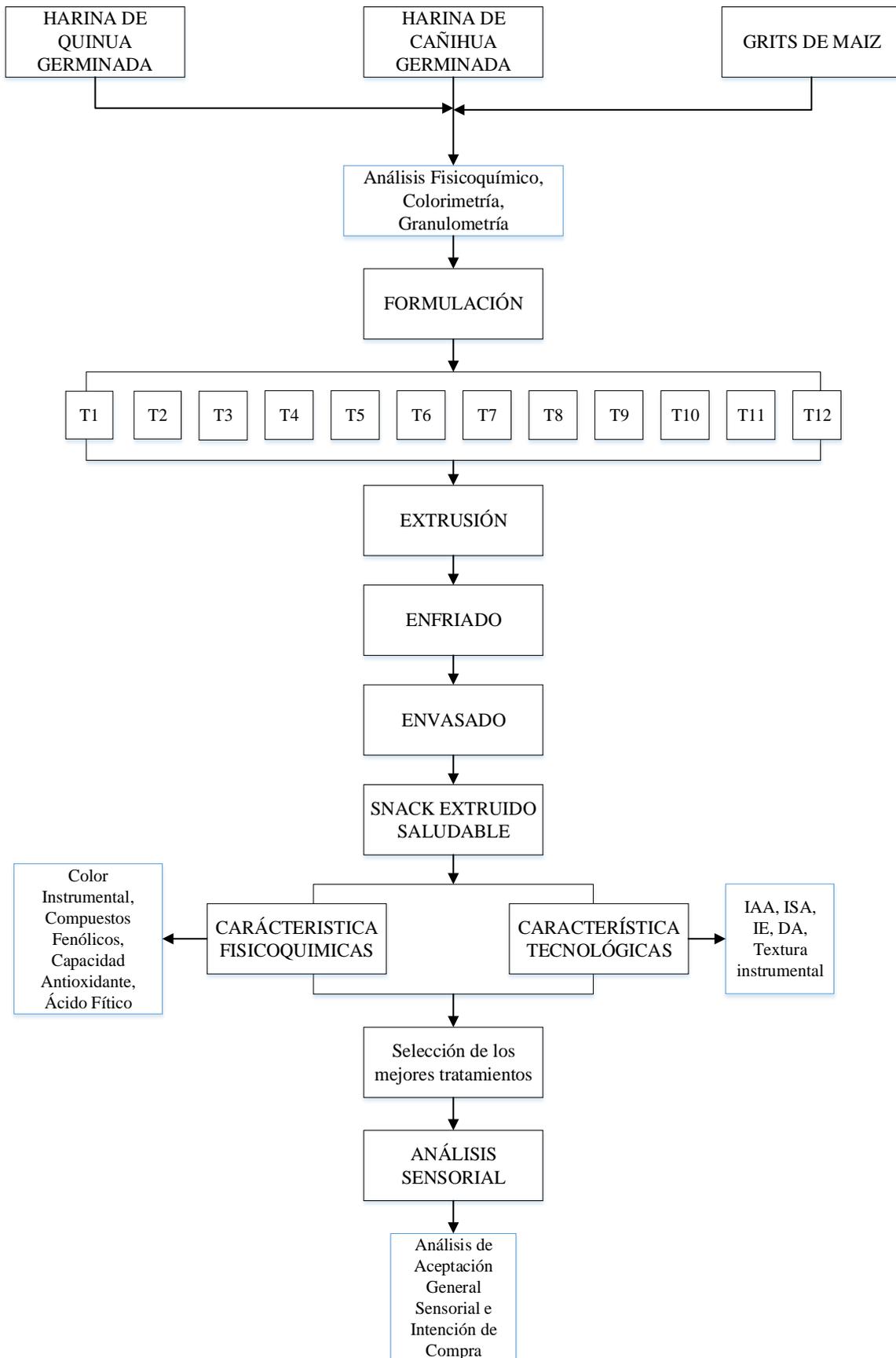
Tabla 11

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

Experimentos	Valores codificados			Valores Reales (%)		
	x1	x2	x3	Grits de Maíz	H. Quinoa Germinada	H. Cañihua Germinada
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

X₁ = Grits de maíz; X₂ = Harina de Quinoa germinada; X₃ = Harina de Cañihua germinada

3.5.3. Esquema experimental



3.6. Análisis Estadístico

Los datos recopilados fueron analizados de manera descriptiva, para probar la veracidad o no de la hipótesis planteada en la investigación, con la finalidad de dar respuesta a los objetivos planteados.

Para conocer la influencia de los factores y la interacción de los mismos, se utilizó el software Statistica para analizar los resultados de color, índice de expansión (%), densidad aparente (mg/cm^3), fuerza de corte (N), trabajo de corte (N.s), índice de solubilidad en agua (%), índice de absorción en agua (%), contenido de polifenoles totales (GAE/100g), capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TE}/\text{g}$) y ácido fítico (%); con un nivel de significancia del 10% (ANOVA) y $R^2 > 0.80$.

Se realizó también la construcción de superficies de respuesta para cada análisis y una prueba de optimización a través de la metodología de deseabilidad con la finalidad de conocer los valores óptimos de cada factor de estudio, para eso se trabajó con el software Desisn-Expert.

El modelo estadístico para este diseño se expresó por la siguiente ecuación (Rodríguez & Iemma, 2014):

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \varepsilon$$

Donde:

Y= Valor relacionado con la variable dependiente

β_i y β_{ij} = Son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes y los componentes binario y ternario

ε = Es el error

x_i y x_j =Es el valor codificado de las variables independientes

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Evaluación de Calidad de las Materias Primas

4.1.1. Caracterización Químico Proximal

Se analizó la composición química de las harinas de quinua y cañihua germinada y sin germinar, como también de los grits de maíz en estado fresco, los datos se muestran en la *Tabla 13* en cuanto a su contenido de humedad, carbohidratos, fibra dietética total, fibra dietética insoluble, fibra dietética soluble, proteína, grasas y cenizas.

Tabla 12

Composición Fisicoquímica de la harina de Cañihua Germinada y sin Germinar, Harina de Quinua Germinada y sin Germinar, y Grits de Maíz en estado fresco

PARÁMETROS	Grits de Maíz	Harina de Cañihua		Harina de Quinua	
		Sin Germinar	Germinada	Sin Germinar	Germinada
Humedad (%)	11.12±0.74	10.01±0.15	12.03±0.13	5.79±0.30	8.94±0.26
Carbohidratos (%)	71.15±0.12	41.21± 1.47	41.21 ± 1.47	40.98±0.88	55.84±0.52
Fibra Dietética Total (%)	9.88±0.14	8.08± 0.08	22.16±0.83	12.10±0.7	18.84±1.20
Fibra Dietética Insoluble (%)	6.87±0.18	6.32±0.95	15.28±0.95	8.8±1.41	12.34±1.06
Fibra Dietética Soluble (%)	3.02±0.04	1.76±0.12	6.88±0.12	3.3±00.92	6.14±0.14
Proteína (%)	7.01±0.06	20.61±0.26	19.11±0.27	16.87±0.13	23.36±4.38
Grasa (%)	3.95±0.02	6.18±0.04	6.23±0.25	5.21±0.07	6.55±0.11
Ceniza (%)	1.23 ± 0.02	2.76±0.13	2.68±0.05	2.48±0.17	3.66±0.11

*Los datos son medias ± desviación estándar de tres repeticiones.

Las harinas de pseudocereales tienen un mejor perfil nutricional que los grits de maíz con un contenido de almidón significativamente más bajo; pero mayor en fibra dietética total, proteína, lípidos y cenizas ($p \leq 0.05$). Además de ser ricas en

fuelle de fibra dietéticas en comparación con Grits de Maíz, la fibra dietética insoluble fue la fracción principal en las harinas de pseudocereales representando el 80% de la fibra dietética total. Este puede ser particularmente interesante ya que al incorporar harinas de pseudocereales en productos podría reducir sus valores de índice Glucémico.

En contraste, el contenido de almidón fue la fracción principal en Grits de Maíz con valores más altos (71.15% dw) en comparación con la harina de pseudocereales germinados (41.21-55.84 % dw). Lo cual es muy importante para el proceso de extrusión porque el índice de expansión aumentará y la gelatinización será mucho más eficiente en el extruido. En una investigación por Paucar-Menacho *et al.* (2022), descubrieron que las harinas de pseudocereales germinados tienen una reducción en el contenido de almidón en comparación con sus granos no germinados, su harina de cañihua germinada tuvo una disminución de 5.45% dw con respecto a cañihua sin germinar y su harina de quinua germinada se redujo hasta un 24.01% dw ante la sin germinar. Esto se debe a que en la etapa de brotación inicia la síntesis de enzimas que degradan el almidón como la α -amilasa y la α -glucosidasa, que son responsables de la hidrólisis enzimática del almidón y del incremento del contenido de mono-di y oligosacáridos como se informó para la cañihua en (Luna,2015).

El contenido de proteína de las harinas de pseudocereales germinadas fue mayor que los Grits de Maíz (7.01% dw) y varió de 19.11% dw a 23.36% dw (ver en Tabla 14). El análisis comparativo reveló que Grits de Maíz tenía el contenido de proteína más baja en comparación con las harinas de pseudocereales germinadas a pesar que la brotación de cañihua no provocó cambios relevantes en el contenido de proteína total (1.5% de reducción), mientras que se observó un incremento del

7% en el contenido de proteína para Harina de Quinoa Germinada con respecto a Harina de Quinoa sin Germinar. Por ejemplo, Chahuan *et al.* (2015) reportaron que el contenido de proteína no se vio afectado significativamente por el proceso de germinación en el amaranto al ser germinado de 24 h a 72 h. Sin embargo, un estudio informó una reducción significativa del 5.2% al 12.5% en el contenido de proteínas en dos variedades de quinoa, la Pasankalla roja y Salcedo INIA después de ser germinadas durante 48 h a 20-25°C (Aguilar *et al.*,2019). Por el contrario, otro estudio ha informado un aumento en el contenido de proteína de 13.49% a 17.99% en germinado de accesiones de cañihua PIK 030413 y PIK 030133, que germinaron de 72 h a 96 h a 20°C (Luna,2015). Así mismo se observó que, en la germinación de tres variedades de quinoa (Salcedo INIA, Pasankalla y Negra Collada), donde Salcedo INIA reportó el mayor incremento en el contenido de proteína de 13.73% a 15.18% en 48 h a 35°C en cambio Pasankalla y Negra Collana reportaron un 6.1% y 4.8% de incremento desde su valor inicial respectivamente (Choque-Quispe *et al.*,2021).

Estos efectos de la germinación sobre el contenido de proteína se han atribuido al metabolismo de las semillas durante la brotación, con respecto a la disminución en el contenido de proteínas se atribuyó al hidrolisis de proteínas de péptidos solubles y aminoácidos que pueden lixiviarse en el agua de remojo, mientras que el aumento puede explicarse por la biosíntesis de nuevas proteínas se activan, movilizandando proteínas de reserva ubicadas en el cotiledones del pseudocereal o la pérdida de carbohidratos por la respiración (Choque-Quispe *et al.*,2021).

Los dos granos y brotes de pseudocereales tienen un contenido de grasa similar (5.21-6.18% dw), pero fueron mayor que Grits de Maíz (3.38% dw) (Ver en Tabla 14), de acuerdo a la literatura. El contenido de grasa expresado como porcentaje

en base seca de Harina de Cañihua Germinada y Harina de Quinoa Germinada fueron similares de 6.23% dw a 6.55% dw. A diferencia de Harina de Quinoa Germinada tenía un contenido de grasa 1.34 veces mayor en comparación con Harina Quinoa sin germinar. Sin embargo, este contenido elevado influyó negativamente en la expansión de los extruidos, por eso Espinoza (2017) señala que el contenido de grasa mayores al 6% en las materias primas ocasiona problemas durante la extrusión. Los mismos resultados se encontró por Luna (2015) cuando comparó el contenido de grasa en semillas de cañihua con semillas de cañihua germinadas a 20°C por 72 h. En ese estudio, el aumento de lípidos de 8.07% a 8.32% fue provocado porque en la germinación de cañihua sucedieron cambios en la distribución de macronutrientes que condujeron a un aumento en el contenido de almidón y proteína similar a mis resultados. Con respecto a la calidad de los lípidos presentes en la harina de quinua y cañihua germinada fue caracterizada por otros autores, ratificando su alto contenido de ácidos grasos insaturados siendo el ácido linoleico (49%-56.4%) el más predominante en las dos seguido del ácido oleico (19.7%-29.5%), palmítico (8.7%-11.7%) y linolénico (Darwish *et al.*,2020; Luo *et al.*,2021). Y se ha mostrado que hay un bajo valor en la relación de ω -6/ ω -3 de las harinas de pseudocereales germinadas por ejemplo la relación en la quinua es de (7:1) siendo más saludable en comparación con la kiwicha (65:1); por lo tanto, el consumo de alimentos fortificados con brotes y/o harinas de pseudocereales pueden promover una alimentación saludable y prevenir enfermedades (Paucar-Menacho *et al.*,2018).

En comparación con los Grits de Maíz (1.23% dw), las harinas de pseudocereales germinados mostraron un contenido de cenizas significativamente superior (Ver en Tabla 14). Las harinas de pseudocereales sin germinar mostraron un contenido

de cenizas similar (2.48-2.76% dw), que fue influenciado por el proceso de brotación (2.68-3.66% dw). Semejantes a mis resultados, Perri *et al.* (2020) observaron diferencias significativas al analizar las harinas obtenidas a partir de granos de cebada, trigo, garbanzo, lenteja y quinua antes y después de la germinación. Otros resultados han informado sobre disminuciones significativas en el contenido de cenizas después de la germinación de diferentes variedades de cañihua y quinua. Bhinder *et al.* (2021) encontró la pérdida de ciertos minerales Zn, K y Mg después del malteado de quinua blanca y negra, sin embargo, Fe aumentó en ambas variedades de quinua. La reducción de minerales en la quinua malteada fue por la pérdida durante la eliminación de raíces. También Castillo (2010) observó una reducción considerable en el contenido de cenizas de 5.10% a 2.60% al germinar cañihua durante 72h a 20°C, demostrando que hay una disminución de materiales inorgánicos en el brote debido al material trasladado a las raicillas germinadas y a las pérdidas por lixiviación durante el proceso de remojo. Así mismo, Peña (2020) al germinar dos variedades de quinua (Pasankalla y Negra Collana) de 8h a 48h a 20°C encontrando diferencias no significativas entre ambas variedades; pero los valores fueron inferiores a mis resultados 2.28% dw y 2.48% dw para Pasankalla y Negra Collada respectivamente. En contraste hay resultados que fueron reportado actualmente por otros autores que describieron un aumento en el contenido de ceniza después de la germinación como fue el caso de Harina de Quinua Germinada que aumento de 2.48% a 3.66% con respecto a Harina de Quinua. Como Demir & Bilgicli (2020) encontraron un aumento proporcional en el contenido de cenizas de la harina de quinua germinada (48 h a 20°C) de 2.07% dw a 3.12 % dw y este aumento se debió a la pérdida de materia seca (carbohidratos y grasa cruda) durante la germinación de semillas de

quinua, además resultó un aumento de Ca, Fe, K, Mg, P y Zn similar a un estudio previo realizado al frijol mungo donde la cantidad de Ca, Fe y K aumentó en un 34%, 50% y 65% respectivamente después de 2 días de germinación (Ortiz-Cruz, 2020).

4.1.2. Caracterización Fisicoquímica

Se analizó el contenido de compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante, el contenido de ácido α -aminobutírico y el contenido de ácido fítico de las harinas de quinua germinada y sin germinar, cañihua germinada y sin germinar, como también de los grits de maíz en estado fresco, los datos se muestran en la *Tabla 14* respectivamente.

Tabla 13

Composición de Compuestos Bioactivos, Capacidad Antioxidante y Acido Fítico de la harina de cañihua germinada, harina de quinua germinada y grits de maíz en base seca

PARÁMETROS	Grits de Maíz	Harina de Cañihua		Harina de Quinua	
		Sin Germinar	Germinada	Sin Germinar	Germinada
Ácido Fítico (%)	3.13±0.11	1.17±0.02	0.56±0.03	0.90±0.02	0.58±0.01
Polifenoles					
Totales	171.11±8.95	314.39±22.38	386.27±27.83	525.5±38.14	612.81±13.2
(mg GAE/100 g)					5
Capacidad					
Antioxidante	23.47±1.32	48.74±5.98	114.92±27.83	46.62±3.53	45.30±3.96
(μ mol TE/g)					
Ácido GABA	23.20±0.75	24.34±4.83	217.98±1.48	32.98±4.42	202.54±32.0
(mg/100 g)					5

*Los datos son medias \pm desviación estándar de tres repeticiones.

Las harinas de pseudocereales germinadas fueron fuentes más ricas en ácido α -aminobutírico (GABA), compuestos fenólicos totales y mostraron una capacidad antioxidante más alto en comparación con grits de maíz. Los grits de maíz

destacaron por su mayor contenido de Ácido fítico (3.13 % dw), seguido por la harina de cañihua sin germinar (1.17 % dw) y la harina de quinua sin germinar (0.90 % dw) en línea con los valores de ácido fítico informados en maíz (1.15% dw) y para la quinua (1.03-6.2% dw) (Thakur *et al.*2021).

Como se sabe, uno de los minerales más abundantes en la quinua y el amaranto es el fosforo (P), que oscila entre 4433-5889 mg/kg en amaranto y 4287-5738 mg/kg en la quinua. Así como el ácido fítico que es la principal reserva de fosforo en los cereales que satisface las necesidades de biosíntesis de los tejidos de crecimiento durante el proceso de germinación. Por su actividad quelante de minerales, el ácido fítico se considera un factor antinutricional que puede unirse a minerales, proteínas y almidón, que reduce la biodisponibilidad de iones divalentes (Ca²⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺ y Zn²⁺) durante la digestión que pueden formar complejos con fitatos que inhibe la absorción de hierro. (Luo *et al.*, 2021).

A diferencia de los cereales donde el ácido fítico se concentra en el germen, en los pseudocereales como la quinua está presente en las capas externas del grano, así como en todo el endospermo (Demir & Bilgiçli, 2020), por eso se utilizó la germinación para reducir el contenido de fitato. Después de la germinación el contenido de ácido fítico disminuyó significativamente ($p \leq 0.05$) en un 52.2% para la harina de cañihua germinada y un 35.6% para harina de quinua germinada demostrando el impacto de la germinación en el ácido fítico de las harinas de pseudocereales germinados con un contenido reducido con respecto a harinas sin germinar y grits de maíz, esto se ve informado en la *Tabla 14*.

En un estudio por Thakur *et al.* (2021), reportaron que al remojar y germinar amaranto ocasionó una reducción significativa de 32.3% y 29.6% en el contenido de tanino y ácido fítico respectivamente, mientras en el trigo sarraceno fue de

59.9% y 17.4% y en la quinua una reducción de 27.1% y 47.6%. Así mismo, después de la germinación de 96 h de dos variedades de quinua (blanca y negra), (Bhinder *et al.*,2021) reportaron una pérdida de 63,7% de ácido fítico en la quinua blanca y una caída del 59,1% en la quinua negra; no obstante (Padmashree *et al.*, 2019) reportaron una pérdida del 16,37% y 29,52% en ácido fítico para quinua blanca y roja respectivamente, luego de una germinación de 48h. Demostrando que también existe una correlación positiva altamente significativa entre el ácido fítico con el color del grano y el tiempo de germinación.

Esta reducción se debe a que durante la germinación los fitatos de las semillas se activan de nuevo, se sintetizan y secretan para hacer que el fosfato, los minerales y el mioinositol estén disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas hidrolizando el ácido fítico; por eso la brotación controlada de los granos aumenta la inaccesibilidad de los elementos minerales (Lemmens *et al.*,2019).

Los compuestos fenólicos son beneficiosos para la salud humana debido a su potencial antioxidante, que reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas (Angeli *et al.*,2020), conjuntamente contribuyen al mantenimiento de un intestino sano, modulando el equilibrio microbiano intestinal (Rochetti *et al.*,2019).

De acuerdo a los valores presentados en la *Tabla 14*, se observa que el contenido de compuestos fenólicos totales difirió entre los diferentes pseudocereales sin germinar y germinados. Donde se evidenció un aumento significativo ($p \leq 0.05$) en las harinas germinadas haciendo un análisis comparativo donde la harina de quinua germinada tuvo el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, con un aumento de 525.5 mg GAE/100g a 612.81 mg GAE/100g, lo mismo sucedió con la harina de cañihua germinada que aumentó de 314.39 mg GAE/100g a 386.27 mg GAE/100g, demostrando el impacto de la germinación en el contenido

fenólico. Estos valores son similares a los reportados por (Choque-Quispe *et al.*,2021), que tuvo incrementos de 55,2% hasta 110,7% (307,64 - 417,75 mg GAE/100g) del contenido de polifenoles después de germinar quinua Pasankalla roja a 24h y 48 h.

También se pudo observar que la quinua Salcedo INIA blanca tuvo un aumento del 54,58% después de la germinación de 72h y del 152,6% para la quinua Negra Collana germinada durante 96h; como esta variedad es más oscura, libera mayor cantidad de compuestos fenólicos debido a la lixiviación durante la germinación (Bhinder *et al.*,2021). Por otro lado Abderrahim *et al.*, (2012) estudiaron el efecto del tiempo de germinación sobre el contenido de polifenoles y flavonoides de la cañihua Cupi, y reportaron mayor incremento del contenido de polifenoles para cañihua germinada por 48h. Aguilar *et al.* (2019) también reportaron un aumento del 49% en el contenido de compuestos fenólicos en cañihua germinada; por su parte (Paucar-Menacho *et al.*,2018) informó una tendencia de aumento en quinua y kiwicha después de la germinación y (Motta *et al.*,2017) reportaron un aumento del 80% en brotes germinados de amaranto.

Este aumento de polifenoles después de la germinación se ve relacionado con la hidrólisis enzimática de compuestos polifenólicos unidos, lo que da resultado el aumento de polifenoles libres, compuestos extraíbles debido a la biosíntesis de nuevos polifenoles de los granos (Lemmens *et al.*,2019).

En relación con la capacidad antioxidante, se conoce que es un aspecto que evalúa la capacidad de un compuesto para reducir el impacto de los radicales libres de oxígeno (ROS) que tienden a producir daños oxidativos en nuestra integridad celular, y los pseudocereales son una excelente fuente de antioxidantes, siendo superiores a muchos cereales (Tang & Tsao, 2017).

En la *Tabla 14* se observa que las harinas de pseudocereales germinados mostraron un contenido de capacidad antioxidante significativamente superior ($p < 0.05$), en comparación con los grits de maíz ($23.47 \mu\text{mol TE/g}$). Donde al realizar un análisis comparativo, la harina cañihua germinada tuvo un incremento de $48.74 \mu\text{mol TE/g}$ a $114.92 \mu\text{mol TE/g}$ (incremento de 66%) con respecto a la harina de cañihua sin germinar, mientras que la harina de quinua germinada ($45.30 \mu\text{mol TE/g}$) reportó una disminución del 2.8% en comparación con su harina sin germinar ($46.62 \mu\text{mol TE/g}$), sin embargo, esta variación en actividad antioxidante puede deberse a factores genéticos, agrotecnológicos o factores durante el proceso de germinación de la quinua.

En una investigación por (Choque-Quispe *et al.*, 2021), se observó que durante la germinación la capacidad antioxidante de la quinua variedad Pasankalla tuvieron un incremento de 19,8% y 69,4% a las 24 y 48 h de germinación, esto contradice con los resultados obtenidos en esta investigación. Así mismo (Bhinder *et al.*, 2021), evaluaron la capacidad antioxidante de la germinación de 72h de dos variedades de quinua (Blanca y Negra), reportando el mayor incremento de 34,76% y 31,57% para quinua blanca germinada y quinua negra germinada, respectivamente. Aguilar *et al.* (2019) reportaron un incremento en capacidad antioxidante después de germinación de 48 h y también reportaron que la quinua coloreada tiene mayor contenido que la quinua blanca.

En otra investigación realizada por Abderrahim *et al.*, (2012) evaluó la capacidad antioxidante de la cañihua a tres tiempos de germinación, encontrando el valor máximo de $100,94 \text{ mmol Trolox/Kg dw}$ a las 72h de germinación. Este resultado muestra que la cañihua es un pseudocereal rico en compuestos antioxidantes, que esta relaciona con las severas condiciones de cultivo que tiene (altitud, frío y

sequia). Más tardes, otra investigación realizada por Luna (2015), evaluaron la capacidad antioxidante de 2 tipos de accesiones de cañihua (PIK 030413 y PIK 030133) a diferentes parámetros de germinación (24h, 48h, 72h y 96h), encontrando que la cañihua germinada a 72h t (139,50-138,99 $\mu\text{mol TE/g}$), respectivamente y a 96h (164,69-181,84 $\mu\text{mol TE/g}$) incrementaron con respecto a su contenido inicial sin germinar. Estos resultados de la capacidad antioxidante incrementaron a medida que se aumentaba el tiempo de germinación, esto es debido a la activación enzimática como también de la pigmentación del grano.

Este incremento de la actividad antioxidante en los pseudocereales, se debe a la respuesta de los granos a los cambios fisiológicos y bioquímicos que se somete durante la germinación, por lo que la germinación se utiliza como una estrategia para maximizar esta capacidad (Torres *et al.*,2018).

Y, por último, el contenido de ácido α -aminobutírico (GABA) que es un aminoácido libre bioactivo que podría ayudar a inhibir la proliferación de células cancerosas y también reducir la presión sanguínea (Sharma *et al.*,2016) , fue bajo en grits de maíz, harina de cañihua sin germinar y harina de quinua sin germinar (23.20, 24.34 y 32.98 mg/100 g dw, respectivamente), en cambio las harinas de pseudocereales germinados revelaron un contenido de α -aminobutírico mucho más alto (202.54-217.98 mg/100 g dw), teniendo aumento de 8,9 veces en cañihua y 6,1 veces en quinua (Ver en *Tabla 14*). En una investigación por (Sharma *et al.*,2016) reportaron que durante el proceso de germinación del mijo de corral hubo un aumento significativo del 12,34% del rendimiento total del extracto ácido α -aminobutírico (GABA), mientras que el contenido de GABA puro aumentó de 3,38 mg/100g a 35,70 mg/100g como resultado de la α -descarboxilación del ácido L-glutámico que fue catalizado por la enzima glutamato descarboxilada durante

la germinación. Así mismo Paucar-Menacho et al. (2018) demostraron la importancia de la germinación para el incremento de ácido α -aminobutírico (GABA) en quinua roja Pasankalla, obteniendo valores que van desde 17,97 a 122,32 mg/100g, valores que difieren por las condiciones de tiempo y temperatura de germinación. En general, la germinación se utiliza como estrategia para incrementar el contenido de compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, capacidad antioxidante y otros en pseudocereales como la quinua y cañihua.

4.1.3. Análisis Granulométrico

Según (Puma,2017) en su investigación establece que la granulometría detalla específicamente el tamaño de la partícula que se quiere obtener, además es importante para definir la calidad final del producto y la uniformidad de la molienda. A su vez el tamaño óptimo de las partículas para extrusión no es estándar, sino que dependen de la configuración de la molienda y de la materia prima; sin embargo, (Harper,2019) indica que es preferible trabajar con tamaños similares a la sémola porque así se retrasaría la gelatinización hasta antes de salir de la matriz, favoreciendo la textura y la expansión del producto, mientras las partículas finas dan una pronta gelatinización y una baja viscosidad en el fluido. Se analizó la granulometría de la harina de quinua germinada, de la harina de cañihua germinada como también de los grits de maíz en estado fresco, los datos se muestran en la *Tabla 15,16 y 17* respectivamente.

Tabla 14*Análisis Granulométrico de la Harina de Quinua Germinada*

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido		% Acumulado que pasa
			Parcial	Acumulado	
20	0.85	20.61	40.89	40.89	59.11
30	0.60	11.85	23.51	64.40	35.60
80	0.18	17.89	35.49	99.89	0.11
Fondo	<0.18	0.05	0.11	100.00	0.00
TOTAL		50.40			

Como se puede observar en la *Tabla 15*, producto de la molienda se obtuvieron diferentes fracciones de harina de quinua germinada, donde las fracciones que quedaron retenidas en las mallas N°20 y 30 tuvieron una retención de hasta 64.4% en acumulativo, estas partículas retenidas están conformadas mayormente por la capa externa del grano de quinua, presentándose una apariencia de cascarilla y textura áspera en la malla N°20 con abertura de 0.85 mm, mientras que en la granulometría de la malla N° 30 con abertura de 0.60 mm representó el 35.6% del total (Ver *Figura 16*), que en su mayoría es parte del endospermo y radículas obteniendo una harina gruesa de textura áspera con un color crema que es característico de la quinua.

Figura 16

Granulometría de la Harina de Quinua Germinada



En una investigación por (Bravo & Ortega, 2017), evaluaron el efecto de la granulometría en el proceso de extrusión de una mezcla a partir de harina de quinua con harina de arroz y torta desgrasada de chía, reportando que la mejor granulometría para la harina de quinua está entre 1mm y 0.125 mm (Malla N°80 y N°120, respectivamente) porque mientras más fina sea la harina resulta un mejor valor del grado de expansión y gelatinización de los extruidos.

Lo mismo sucedió para (Aburto & Taboada, 2019), al elaborar un extruido a partir de harina de quinua y harina de habas, lo cual determinó que la mejor granulometría para la harina de quinua es en la malla N°80 considerada como un módulo de finura de 3, obteniendo una quinua granulada por molienda media.

Entonces vemos que, al comparar con nuestros resultados, difieren totalmente los valores, porque se escogió trabajar con una malla mucho más grande (N°30) a la que recomienda el autor, este efecto se verá en la obtención del extruido a la salida del extrusor y puede ser la granulometría una de las causas de baja expansión del producto.

En cuanto al análisis granulométrico de la harina de cañihua germinada se puede observar en la *Tabla 16*.

Tabla 15*Análisis Granulométrico de la Harina de Cañihua Germinada*

Malla N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido		% Acumulado que pasa
			Parcial	Acumulado	
20	0.85	18.09	35.89	35.89	64.11
30	0.60	7.89	15.65	51.54	48.46
80	0.18	24.00	47.61	99.15	0.85
Fondo	<0.18	0.42	0.85	100.00	0.00
TOTAL		50.40			

Donde las fracciones que quedaron retenidas en las mallas N°20 y N°30 tuvieron una retención de hasta 51.54% en acumulativo, conformadas por la capa externa del grano de cañihua, presentándose una apariencia de cascarilla y textura áspera. Cabe resaltar que el 47.61% de la harina de cañihua germinada se quedó retenida en la malla N° 80 (abertura de 0.18 mm) y el 0.85% logra atravesar esta malla, ya que en su mayoría es del endospermo y radículas, observándose una harina gruesa de textura áspera con un color marrón oscuro característico de la cañihua (Ver en la *Figura 17*). Tomando en consideración los requerimientos establecidos por el Codex Stan (1991) para sémolas, establece que el 79% de la harina debe pasar por la malla de 0.3 mm, vemos que la harina obtenida presenta una granulometría adecuada. El porcentaje de muestra retenido en la malla N°20 fue de 35.89%, esto principalmente corresponde a las partes del grano de cañihua germinada que no fueron molturadas adecuadamente por lo tanto no fue utilizado para elaborar

extruidos, solo fue utilizado el 64.11% para elaborar extruidos con una adecuada granulometría para la fabricación de extruidos.

Además, el tamaño de la partícula también afecta la cocción del producto, pues resulta insuficiente la penetración de calor en las partículas grandes durante el corto tiempo de permanencia en el extrusor (Bravo & Ortega, 2017)

Figura 17

Granulometría de la Harina de Cañihua Germinada



Finalmente, en lo concerniente al análisis granulométrico de los grits de maíz producto de la molienda del maíz amarillo con tamiz de 5 mm se presentan en la Tabla 17.

Tabla 16

Análisis Granulométrico de Grits de Maíz Amarillo

MALLA N°	ABERTURA (MM)	PESO RETENIDO (G)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
			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			

En el que se usó el total de grits de maíz formado por 22, 21, 46 y 11% de porción retenida en las mallas N° 20, 30, 80 y 120 para el proceso de extrusión respectivamente. Debido a que harina de maíz fina retenida en la malla N° 120 representa un 11% y no perjudica el procesamiento del extrusor (Ver en la *Figura 18*). Otros investigadores han trabajado para el proceso de extrusión con la granulometría retenida en la malla N° 60 para el maíz amarillo porque en su mayoría es parte del endospermo el cual tiene mayor porcentaje de almidón que favorece el proceso de extrusión (Lázaro & Sotelo, 2017). Por ejemplo, para elaborar tortillas suaves se requieren de partículas finas, mientras que para la extrusión se requieren de partículas gruesas, debido a que influye en la textura de los productos finales (Pauro, 2017).

En cambio (Espinoza, 2017) menciona que la polenta o sémola de maíz se puede trabajar para extrusión con diámetro de 0.25 mm, porque cuanto más gruesa sean las partículas, mayor será la temperatura de extrusión lo cual dará un producto con una estructura más abierta o expandida. Por lo contrario, el uso complementario de partículas finas le brindará dureza y mayor densidad al producto.

Figura 18

Granulometría de los Grits de Maíz



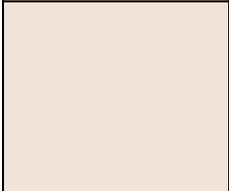
4.1.4. Análisis de Colorimetría

Los resultados obtenidos en el análisis de colorimetría para los parámetros de L*, a* y b* de la harina de quinua germinada y sin germinar, de la harina de cañihua germinada y sin germinar, como también de los grits de maíz se presentan en la Tabla 18. Los valores para el parámetro L* del color instrumental varían entre cero (negro) y 100 (blanco), indicando la luminosidad de la muestra. El parámetro a* varía de verde (-a*) a rojo (+a*) y el parámetro b* de azul (-b*) a amarillo (+b*).

En la *Tabla 18* se observa que, para los grits de maíz, la variable a* presentó un valor de $6,57 \pm 0,04$ unidades, mostrando una tendencia al eje de los tonos rojos, para el caso de la variable b* presentó un valor de $34,82 \pm 0,04$ unidades, ubicándose en la zona de los amarillos claros, luego el parámetro L* presentó un valor alto de $77,66 \pm 0,10$ unidades, siendo la muestra de luminosidad alta en comparación con la harina de pseudocereales germinados y sin germinar.

Tabla 17

Parámetros de color y apariencia real de las materias primas utilizadas en el diseño experimental

Materia Prima	L*	a*	b*	Estimación de Color	Real Apariencia
Grits de Maiz	$77,66 \pm 0,10$	$6,57 \pm 0,04$	$34,82 \pm 0,04$		
Quinua sin Germinar	$69,10 \pm 0,04$	$2,62 \pm 0,01$	$14,05 \pm 0,04$		

Quinoa Germinada	$67,56 \pm 0,11$	$2,47 \pm 0,03$	$10,88 \pm 0,03$		
Cañihua sin Germinar	$57,39 \pm 0,01$	$4,47 \pm 0,01$	$15,59 \pm 0,03$		
Cañihua Germinación	$64,91 \pm 0,07$	$3,76 \pm 0,03$	$18,52 \pm 0,07$		

De hecho, los procedimientos de molienda tienen una gran influencia en el color, el tamaño de corte, el diámetro de las mallas, el tipo de molino, el nivel de tamizado también. Además, el tamaño de la partícula de harina, relacionado con las diferencias en las variedades del grano, la dureza del grano y el contenido de humedad de los granos en la molienda, es otra posible fuente de variación de color (Paredes & Bobadilla, 2018).

4.2. Evaluación de Calidad de los Snack Extruidos

4.2.1. Evaluación Físicoquímica

4.2.1.1. Color Instrumental

Los efectos de las materias primas y el proceso de extrusión en el color instrumental de los 12 tratamientos elaborados a partir de la mezcla de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz, se muestran en la *Tabla 19* para los valores de L^* , a^* y b^* . Los valores para el parámetro L^* del color instrumental varían entre cero (negro) y 100 (blanco), indicando la

luminosidad de la muestra. El parámetro a^* varía de verde ($-a^*$) a rojo ($+a^*$) y el parámetro b^* de azul ($-b^*$) a amarillo ($+b^*$).

Los valores de luminosidad (L^*) de los 12 tratamientos oscilaron entre 34.17 ± 0.46 y 61.23 ± 1.41 , produciendo extruidos más oscuros con la adición de harinas de pseudocereales germinadas y los datos fueron mayores con el uso de grits de maíz como pseudocomponente ($\beta_1 = 61,26$), debido al color natural de los grits de maíz ($L^*=77,66$) en comparación con las demás harinas, harina de quinua germinada ($L^*=67,56$) y harina de cañihua germinada ($L^*=64,91$).

Como es de conocimiento, los orígenes de las materias primas tienen influencia sobre los cambios de color de los cereales extrusionados, además en los productos extruidos el color también es el resultado de reacciones de pardeamiento enzimático (Reacción de Maillard) y degradación de pigmentos (caramelización), como consecuencia del procesamiento a altas temperaturas y el contenido de humedad (Oliveira et al.,2018).

Figura 19

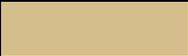
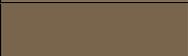
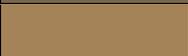
Extruidos a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas con adición de grits de maíz de las pruebas del diseño de mezcla Simplex- Centroide



Aranda & Bocanegra (2018), afirman que la disminución de los valores de luminosidad indican un mayor pardeamiento en el producto extruidos, también que los procesos térmicos cambia las características de la superficie como el color, debido a las temperaturas mayores, lo que ocasiona la pérdida de pigmentación, con lo expuesto por los autores afirmamos que en nuestra investigación el rango de luminosidad fluctúa entre el 34% y el 61% dependiendo de cada formulación, lo cual nos indica que después de someterlos a temperaturas en el proceso de extrusión. Ligeramente el color vario.

Tabla 18

Color instrumental de extruidos elaborados con harinas de cañihua y quinua germinadas con la adición de grits de maíz según el diseño de mezcla Simplex Centroide

Tratamiento	Colorimetría			Estimación de Color	(ΔE)
	L*	a*	b*		
T1	61.23 ± 1.41	5.99 ± 0.21	37.65 ± 0.55		72.12
T2	41.59 ± 0.29	8.80 ± 0.18	21.08 ± 0.40		47.45
T3	34.89 ± 1.07	8.03 ± 0.20	20.63 ± 0.75		41.32
T4	51.61 ± 0.56	6.96 ± 0.09	22.67 ± 0.52		56.79
T5	41.78 ± 1.27	8.14 ± 0.19	23.50 ± 0.88		48.62
T6	34.17 ± 0.46	10.73 ± 0.37	20.52 ± 0.42		41.27
T7	50.35 ± 0.97	6.43 ± 0.08	25.73 ± 0.28		56.90
T8	38.18 ± 0.95	9.22 ± 0.10	21.36 ± 0.43		44.70
T9	36.92 ± 1.15	9.13 ± 0.16	22.52 ± 0.50		44.19
T10	41.56 ± 0.51	7.46 ± 0.25	22.82 ± 0.81		47.99
T11	41.70 ± 0.36	7.55 ± 0.12	23.17 ± 0.36		48.29
T12	40.89 ± 0.35	7.73 ± 0.08	22.53 ± 0.32		47.32

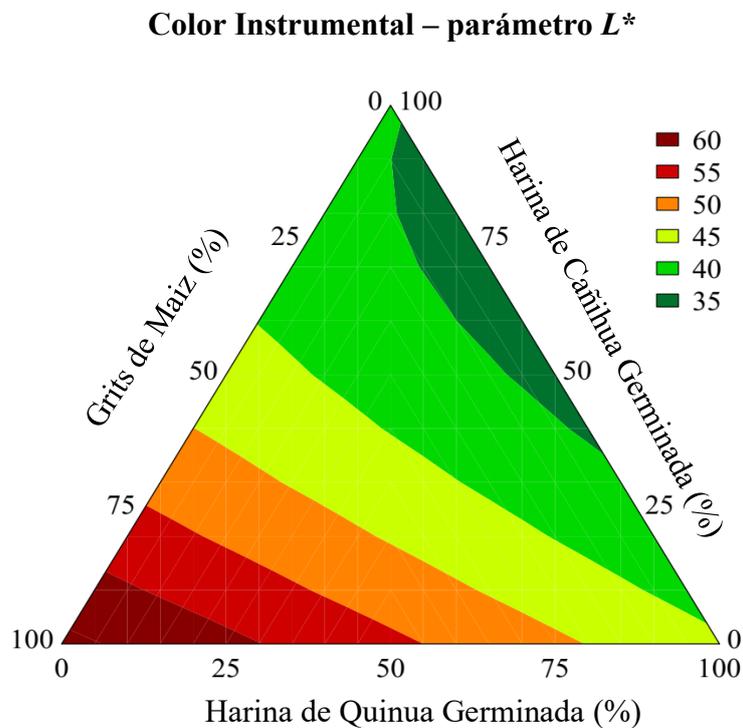
De acuerdo a los valores presentados en la *tabla 19*, se observa un comportamiento de diferencia de color en la luminosidad de los extruidos $T7 < T8 < T9$, dichos tratamientos contienen las proporciones (66.7/16.7/16.7), (16.7/66.7/16.7) y (16.7/16.7/66.7), respectivamente, se puede apreciar que a mayor porcentaje de harina de cañihua germinada ($\beta_3=35.32$) el valor de L* disminuye significativamente ($p \leq 0.05$) tornándose color más oscuro.

El efecto visual de los extruidos a tono marrón según (Damodaran & Parkin, 2019) es debido a la reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático) lo que lleva la formación de pigmentos marrones o negros de alto peso molecular.

Los valores de luminosidad en los extruidos con solo la presencia de harina de quinua germinada y grits de maíz (T2, T4) 41.59 y 51.61, son mayores frente a los tratamientos (T7, T8, T10 y T12); 50.35,38.18,41.56,40.89, respectivamente, demostrando que la mezcla binaria entre grits de maíz con harina de quinua germinada resultó en valores de luminosidad superiores ($\beta_3 = 40.78$). Pero los extruidos con la mezcla ternaria en los tratamientos T10, T11 y T12 resultaron con colores más oscuros que la formulación estándar ($\beta_{123} = -17.15$). Este resultado es corroborado por la superficie de contorno del parámetro L^* en la *figura 20*, donde se observó que la presencia de harinas de pseudocereales germinadas da una mayor intensidad de tonalidad marrón en los extruidos.

Figura 20

Curva de contorno para el parámetro L^ de color instrumental del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas.*



Donde para mayores valores de L^* se obtienen en la zona de color guinda, que tienen mayor contenido de grits de maíz y menor contenido de harina de quinua germinada, mientras que la harina de cañihua germinada tiene valores promedios a lo largo de sus límites. En este sentido, se deduce que la harina de cañihua germinada y quinua germinada en los componentes binarios son responsables del oscurecimiento de las extruidos, superponiendo el efecto que aporta los grits de maíz en el extruido.

Para explicar mejor el comportamiento del color, se tomó en cuenta cada parámetro, inicialmente se realizó el análisis de varianza para el parámetro L^* de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 12 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el parámetro L^* , resultando un valor ($p < 0,05$), con un nivel del 95% de confianza.

Para determinar la diferencia entre las medias de luminosidad de los tratamientos se realizó el análisis de Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación del modelo matemático. Con el análisis estadístico se permitió elaborar la ecuación 1, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es el de la ecuación cuadrática considerándose valido por tener un $R^2=98.61\%$ y un ($p < 0.001$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes (grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cañihua germinada, respectivamente) y los componentes binario y ternario.

$$L^* = 61.26x_1 + 40.78x_2 + 35.32x_3 - 24.32x_1x_3 - 17.15x_2x_3 \dots\dots(1)$$

En la investigación de Rolandelli *et al.* (2020), informaron que la sustitución de la harina de maíz por un 25% por harinas de mijo, sorgo, quinua y harina de semilla canario promovieron una disminución de L* (indicando oscurecimiento) en el rango desde 78 para la harina de control hasta 64, en el orden: maíz > mijo perla > sorgo rojo > quinua > semilla canaria, siendo esta la muestra más oscura.

Igualmente, Alajil *et al.* (2020) elaboraron extruidos a base de quinua, arroz y maíz a diferentes temperaturas de extrusión (100-170°C) hallando que el rango de valor L* fue de 74.08 a 79.09, hallando una diferencia significativa entre los valores de L* y la temperatura de extrusión.

En cambio, valores superiores se encontraron en extruidos a partir de harina de quinua con harina de yuca según (Alajil *et al.*, 2019), donde la luminosidad varió de 53.05-74.69, los autores evaluaron el efecto que tiene la temperatura de extrusión sobre el color encontrando que los valores de L* más bajos se obtuvo a temperaturas de extrusión más baja que aumentó con la temperatura de extrusión. En general, estas condiciones de funcionamiento modifican o destruyen los pigmentos naturales, pero una gama de pigmentos naturales estables, que incluyen verde, amarillo, naranja, rojo y marrón pueden soportar temperaturas de extrusión de 80°C a 135°C. L (Fellows, 2017).

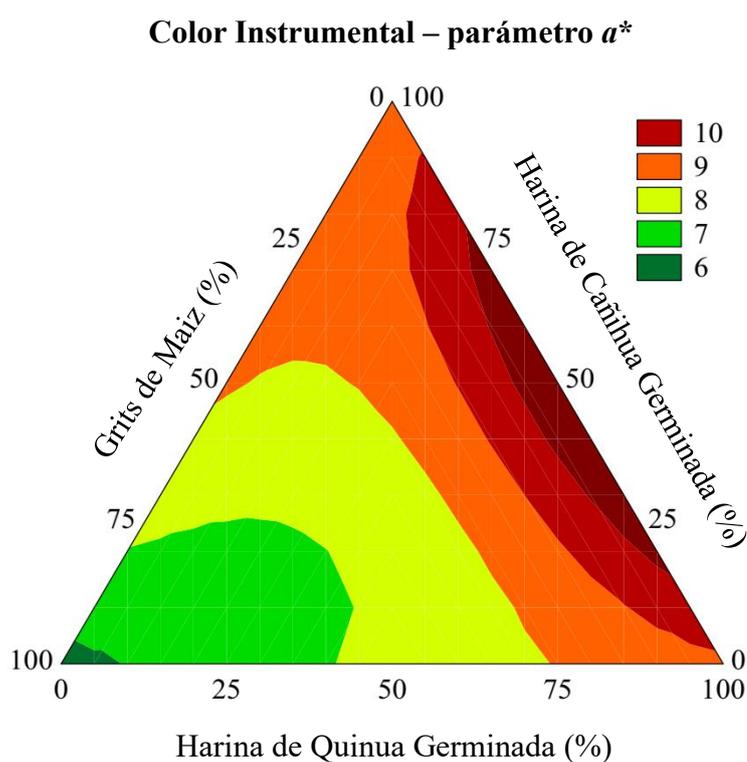
En el caso del parámetro a*, los valores de los 12 tratamientos oscilaron entre 5.99 ± 0.21 y 10.73 ± 0.37 , produciéndose extruidos con una tendencia a los tonos rojizos. El parámetro a* aumento al adicionarse harina de quinua germinada y cañihua germina en ausencia de grits de maíz (5.99) en los tratamientos T2 y T3 con valores de 8.80 y 8.03 respectivamente; sin embargo, la diferencia significativa se muestra en los tratamientos (T6> T8> T9), donde se observa que para la combinación binaria entre grits de maíz con harina de cañihua (50/0/50) la

cromaticidad a^* fue el doble en comparación con la formulación estándar (10.73) y así sucesivamente ocurre con los tratamiento T8 y T9. Pero al comparar con los valores de a^* de las materias primas antes de ingresar a la extrusión son valores inversamente proporcionales, porque para grits de maíz fue de $6,57 \pm 0,04$, para harina de quinua germinada de $2,47 \pm 0,03$ y $3,76 \pm 0,03$ para harina de cañihua germinada.

Al analizar la superficie de respuesta en la *figura 21*, se puede observar que los valores más altos de a^* se obtuvieron con la combinación binaria entre quinua germinada y harina de cañihua germinada ($\beta_{23} = 10,01$), seguida de los pseudocomponentes de harina de quinua germinada ($\beta_2 = 8,81$) y harina de cañihua germinada ($\beta_3 = 8,13$).

Figura 21

Curva de contorno para el parámetro a^ de color instrumental del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas*



Como se observa en la *Figura 21* los valores que tienen más contenido de grits de maíz son los que se encuentran en las regiones verdes y amarillas, siendo los extruidos con menores valores de a^* , mientras que los extruidos que contenían mayor contenido de harina de cañihua germinada son los de la zona guinda entre 25% y 75% proviniéndonos valores de a^* mayores y es lo que se busca más adelante en el extruido óptimo.

Para determinar la diferencia entre las medias de a^* de los tratamientos se realizó el análisis de Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación del modelo matemático. Y con los análisis estadísticos se obtuvo la ecuación 2, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es el de la ecuación cuadrática considerándose válido por tener un $R^2=95.62\%$ y un ($p<0.001$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes (grits de maíz, harina de quinua germinada y harina de cañihua germinada, respectivamente) y los componentes binario y ternario.

$$a^*=5.72x_1 + 8.81x_2 + 8.13x_3 - 4.76x_1x_3 - 10.01x_2x_3 - 40.49x_1x_2x_3 \dots (2)$$

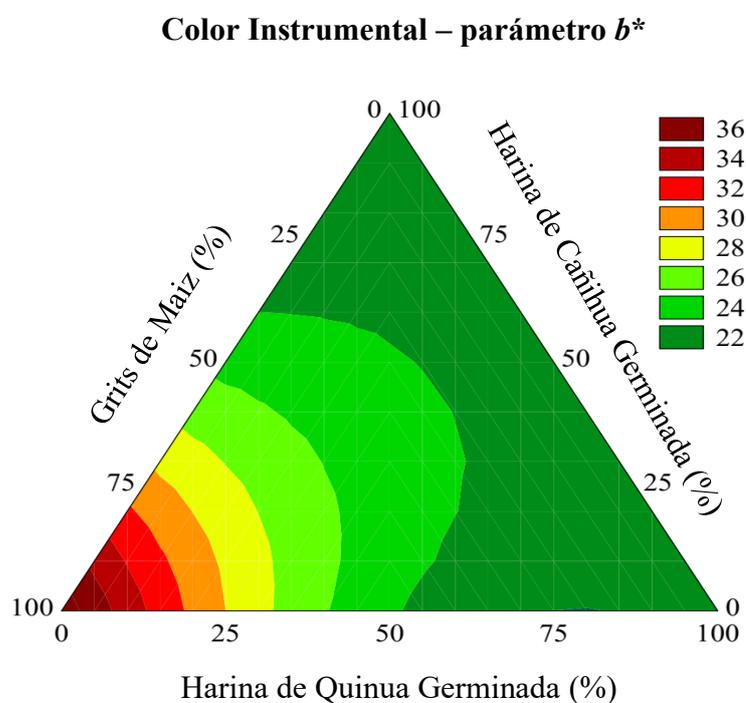
Por su parte Rolandelli *et al.* (2020) en su investigación obtuvieron valores del parámetro a^* de 4,6 y 7 para extruidos con sustitución parcial del 25% de harina de maíz por harinas de mijo, quinua y sorgo, respectivamente.

Y Alajil *et al.* (2020) elaboraron extruidos a base de harina de quinua, donde los valores de cronicidad a^* variaron de 4.64-6.43 cuando se aumentaba la temperatura de extrusión de 100° C a 150°C, valores que son inferiores a los resultados obtenidos de extruidos con solo harina de quinua germinada.

Y por último los valores para el parámetro b^* de los 12 tratamientos varió entre 20.52 ± 0.42 y 37.65 ± 0.55 , inclinándose a los tonos amarillos, además la harina de quinua germinada tuvo la mayor influencia en la reducción de los valores de b^* ($\beta_2=21,14$), seguida de la harina de cañihua germinada ($\beta_3=21.14$). Se verificaron reducciones más drásticas en la tonalidad amarillenta con la combinación binaria entre haría de maíz integral y harina de quinua germinada ($\beta_{12}=-27.49$).

Figura 22

Curva de contorno para el parámetro b^* de color instrumental del diseño de mezclas



Al analizar la superficie de respuesta en la *figura 22*, se puede observar que en la zona guinda se encuentran los valores más altos del parámetro b^* correspondiendo a la zona con más porcentaje de grits de maíz y menor nivel de harina de pseudocereales germinadas ligeramente tornándose extruidos más amarillos, en cambio los extruidos con más harina de cañihua germina tiende a disminuir los valores de b^* y obtener extruidos con tonos azules.

Para determinar la diferencia entre las medias de b^* de los tratamientos se realizó el análisis de Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación del modelo matemático. Y con los análisis estadísticos se obtuvo la ecuación 3, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta es el de la ecuación cuadrática considerándose válido por tener un $R^2=98.08\%$ y un ($p<0.001$).

$$b^*=37.16x_1 + 21.14x_2 + 20.98x_3 - 27.49x_1x_2 - 22.71x_1x_3 + 53.31x_1x_2x_3.(3)$$

4.2.1.2.Determinación de Compuestos Fenólicos

Se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales solubles (TPSC) de los 12 tratamientos elaborados a partir de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz, los datos se muestran en la Tabla 20.

Para empezar, se sabe que los compuestos fenólicos son antioxidantes naturales que reducen la oxidación de lípidos y aumentan la vida útil de los alimentos. Los cereales son una buena fuente de estos compuestos; pero el remojo, cocción o esterilización en autoclave reduce su contenido, debido a que los fenoles sufren una lixiviación en el agua de remojo y/o cocción; sin embargo, a diferencia del procesamiento tradicional, la cocción por extrusión se realiza sin efluentes, por lo que es importante estudiar el efecto de este método en el contenido fenólicos de los snacks expandidos (Arribas *et al.*,2019).

En la *tabla 20* se observa que el contenido de compuestos fenólicos totales de los extruidos osciló entre 169 ± 29 mg GAE/100 g y 1918 ± 122 mg GAE/100 g. Donde se vio que el tratamiento T1 tuvo el valor más bajo con respecto a las harinas germinadas (169 mg GAE/g), así mismo en cuanto a los germinados el extruido con solo harina de quinua germinada (T2) que tuvo un valor de 910

GAE/100g considerado un valor mayor al estándar, mientras el extruido con harina de cañihua germinada presenta un valor de 1918 GAE/100g el cual es muy superior a los demás tratamientos estudiados. Lo mismo sucedió en los compuestos fenólicos totales de un extruido al incorporar salvado de trigo por Ramos-Enríquez et al. (2018).

Tabla 19

Contenido de compuestos fenólicos totales solubles en los snacks extruidos

Tratamientos	Formulación de la masa			TPSC (mg GAE/g)
	Grits de Maíz (%)	Harina de Quinoa Germinada (%)	Harina de Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	169 ± 29
T2	0	100	0	910 ± 55
T3	0	0	100	1918 ± 12
T4	50	50	0	399 ± 9
T5	50	0	50	909 ± 52
T6	0	50	50	1378 ± 84
T7	66.67	16.67	16.67	237 ± 18
T8	16.67	66.67	16.67	840 ± 40
T9	16.67	16.67	66.67	1593 ± 12
T10	33.33	33.33	33.33	784 ± 29
T11	33.33	33.33	33.33	698 ± 35
T12	33.33	33.33	33.33	660 ± 26

La harina de cañihua germinada posee un alto contenido de compuestos fenólicos de 386.27 mg GAE/100g y después de emplearse la extrusión su contenido se elevó hasta 1918 mg GAE/100g, lo mismo sucedió con la harina de quinua germinada que su valor de compuestos fenólicos antes de ingresar al extrusor fue de 612.81 mg GAE/100g y después de extruirla se incrementó hasta 910 mg

GAE/100g, entonces se evidencia que si existe una influencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el proceso de extrusión sobre el contenido de compuestos fenólicos. En la investigación realizada por (Castillo, 2010) se evaluó el contenido de polifenoles en cañihua germinada extruida, evaluando la influencia del tiempo de germinación de la cañihua (48,72 y 96h de germinación) sobre el contenido compuestos bioactivos, se obtuvo como resultado un contenido de compuestos fenólicos entre 225.4 mg GAE/100g y 446.4 mg GAE/100g, los datos obtenidos en la investigación son similares a los obtenidos en la investigación.

Una investigación realizada por (Luna,2015), se estudiaron la influencia de la temperatura de cocción en los compuestos fenólicos de dos accesiones de cañihua germinadas, reportando que el comportamiento de los compuestos fenólicos disminuye ligeramente a medida que la temperatura de cocción aumenta (65-85°C), degradándose los compuestos fenólicos (45-80 mg GAE/100g), sin embargo, a realizarles extrusión mejora el contenido de compuestos fenólicos.

Para efectos de comparación de los 12 tratamientos sobre cómo influye la incorporación de harinas de pseudocereales germinadas sobre los polifenoles presentes en extruidos de maíz, se comparó el tratamiento T1 (100/0/0) que obtuvo un contenido de 169 mg GAE/100g con los tratamientos T7, T8, T9 y T10 que tuvieron valores de 237,840, 1593 y 784 mg GAE/100g respectivamente, señalando que hay incrementos entre el 40.2% y 842.6% del contenido de compuestos fenólicos totales solubles en extruidos con niveles altos de harina de quinua germinada y cañihua germinada.

Song et al. (2022) explica que hay un total de 17 compuestos fenólicos, tanto en estado libre como ligada en quinua roja extrusionada, entre ellos está la rutina, el ácido ferúlico y el ácido vanílicos, demostrando que la extrusión influye

significativamente en la liberación de fenoles ligados de la quinua y la mejor temperatura de extrusión es de 160°C. Bhat et al. (2019) evaluó el efecto de la extrusión sobre compuestos bioactivos en snack extruidos de arroz fortificados con caupí y suero de leche, encontrando que la suplementación con caupí y suero de leche en la harina de arroz aumentó después de la extrusión, este aumento dependió de las condiciones de extrusión, porque a temperaturas superiores a 80°C podría verse una reducción de TPC.

Por eso Arribas et al (2019) recomienda trabajar a temperaturas bajas (<140 °C) y humedades relativamente bajas (<14%) para retener mayores contenidos de fenoles y mejorar la actividad antioxidante.

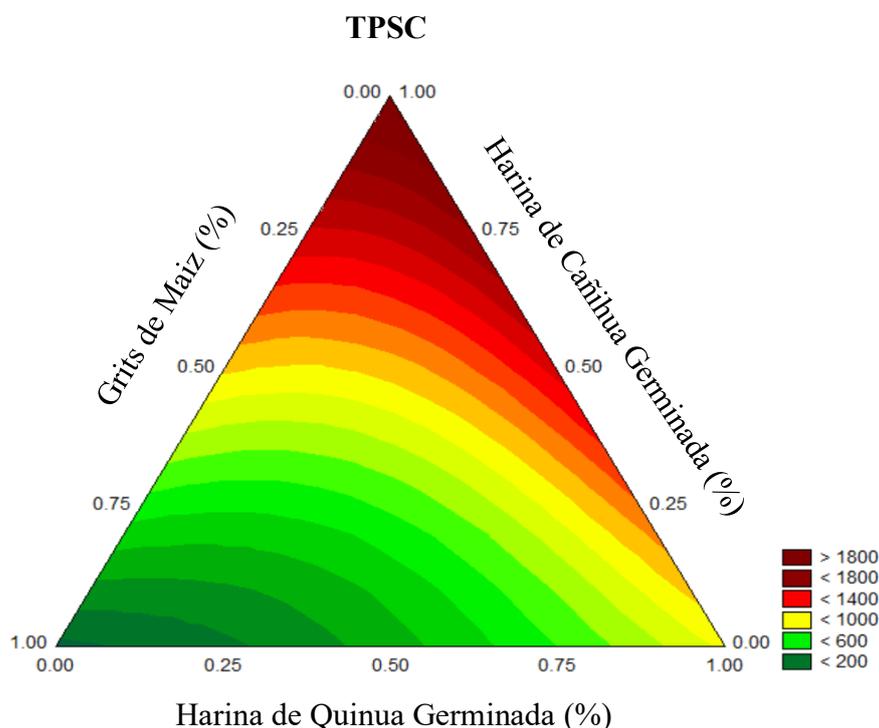
Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis de Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 4, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2=95.91\%$ y un ($p<0.001$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes y los componentes binario y ternario.

$$TPSC = 26x_1 + 77.76x_2 + 878x_3 + 1970x_1x_2 - 6007x_1x_2x_3 \dots\dots\dots(4)$$

Se realizó el análisis de varianza para el contenido de polifenoles totales solubles de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 13 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el contenido de TPSC resultando un valor ($p<0,05$), con un nivel del 95% de confianza.

Figura 23

Grafica de contorno para compuestos fenólicos solubles totales



Al analizar la superficie de respuesta en la *figura 23*, se puede observar que en la zona guinda se encuentran los valores más altos de compuestos fenólicos totales solubles (TPSC), correspondiendo a la zona con mayor porcentaje de harina de cañihua germinada (50%-100%) y menor nivel de grits de maíz (0%-25%), además se observa que la quinua germinada presenta mayores valores, lo cual complementará la deficiencia de los grits de maíz.

4.2.1.3. Determinación de Capacidad Antioxidante

La capacidad antioxidante determinada por el método ORAC expresada en $\mu\text{mol TE/g}$ de los 12 tratamientos estudiados se muestran en la Tabla 21.

Tabla 20*Capacidad antioxidante de los extruidos (ORAC)*

Tratamientos	Formulación de la masa			ORAC ($\mu\text{mol TE/g}$)
	Grits de Maíz (%)	Harina de Quinoa Germinada (%)	Harina de Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	19.10 \pm 1.48
T2	0	100	0	71.52 \pm 3.51
T3	0	0	100	115.32 \pm 5.70
T4	50	50	0	33.88 \pm 2.65
T5	50	0	50	75.27 \pm 1.65
T6	0	50	50	103.84 \pm 3.43
T7	66.67	16.67	16.67	32.60 \pm 0.80
T8	16.67	66.67	16.67	70.38 \pm 2.86
T9	16.67	16.67	66.67	81.79 \pm 3.70
T10	33.33	33.33	33.33	52.00 \pm 0.65
T11	33.33	33.33	33.33	48.19 \pm 0.05
T12	33.33	33.33	33.33	44.99 \pm 0.84

Las harinas de pseudocereales germinadas antes de ingresar a extrusión contenían entre 45.30 y 114.92 $\mu\text{mol TE/g}$ de muestra, este valor supera la capacidad antioxidante por el método de ORAC encontrado en grits de maíz y sus concesionarias sin germinar. Pero después de llevarlas a extrusión a ambas harinas germinadas puede verse que su capacidad antioxidante aumentó, la harina de cañihua germinada y extruida tuvo un valor de 115.32 $\mu\text{mol TE/g}$, igualmente la harina de quinua germinada y extruida que alcanzó un valor de 71.52 $\mu\text{mol TE/g}$, demostrando que la extrusión incrementó la capacidad antioxidante un 57.88%.

Por otro lado, las harinas germinadas adicionadas en los tratamientos obtuvieron valores de capacidad antioxidante entre 33.88 \pm 2.65 $\mu\text{mol TE/g}$ a 103.84 \pm 3.43 $\mu\text{mol TE/g}$, pertenecientes a los tratamientos T4 y T6 respectivamente. Por lo tanto, considerando los valores mencionados, la extrusión si influye en el

incremento de la capacidad antioxidante entre el 77,3% y el 443,6%. El aumento de la capacidad antioxidante podría deberse a la liberación de antioxidantes de la matriz alimentaria resultante de la extrusión, lo que aumenta su accesibilidad a la extracción química (Ramos et al.,2017)

En una investigación por (Castillo,2010), observa que la capacidad antioxidante es influenciada por el tiempo de germinación de la cañihua porque la cañihua germinada y extruida por 72h obtuvo un valor de 5237 $\mu\text{mol TE/g}$, en cambio la cañihua germinada y extruida a 48 y 96h solo tuvieron valores de 2133.1 y 4735.7 $\mu\text{mol TE/g}$. Este resultado explica que conforme se incrementa el tiempo de germinación la capacidad antioxidante aumenta y con la cocción extrusión se incrementa hasta lograr una estabilidad y luego disminuye con el tiempo de germinado.

(Gallido, 2018) en su investigación reporta valores de actividad antioxidante entre 908.40 a 15275.55 $\mu\text{mol TE/g}$ en extruidos de quinua con maíz morado, estableciendo que la formulación 70% quinua y 30% maíz morado incrementaron su capacidad antioxidante por la formación de productos de reacción de Maillard, que poseen propiedades prooxidante formados como consecuencia del tratamiento de calor intenso. En cambio (Basilio, 2020) menciona que la capacidad antioxidante aumentó de 287.5 a 343.0 $\mu\text{mol TE/g}$ para extruidos de kiwicha y fue influenciada por la humedad inicial (14-18%) y la temperatura de extrusión (160°C), y para la mezcla de amaranto con maíz también se reportó un aumento de capacidad antioxidante (Ramos *et al.*2017).

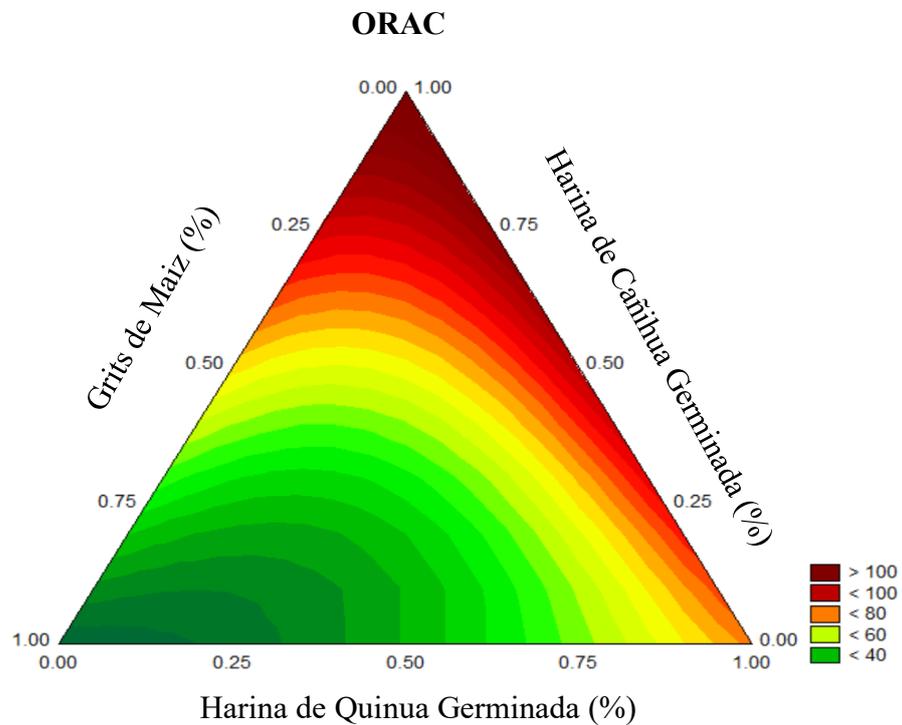
Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis de Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 5, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor

se ajusta por tener un $R^2=97.27\%$ y un ($p<0.001$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes y los componentes binario y ternario.

$$ORAC=20.69x_1 + 77.76x_2 + 118.91x_3 - 50.84x_1x_2 - 469.18x_1x_2x_3 \dots\dots(5)$$

Figura 24

Gráfico de contorno para ORAC del diseño de mezclas para uso de grits de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



En la *figura 24* se muestra el grafico de contorno para la capacidad antioxidante por el método ORAC, si bien las variables y su interacción son significativas por poseer un p-valor menor a 0.05, se observa que la interacción entre el % de harina de quinua germinada y el % de harina de cañihua germinada tiene una mayor importancia al presentar un mayor valor absoluto de los efectos.

4.2.1.4. Determinación de Ácido Fítico

Nikmaram *et al.* (2017) nos dice que la aplicación del proceso de extrusión tiene varios efectos beneficiosos como la gelatinización del almidón, la reducción de la oxidación de los lípidos, mejora las fibras dietéticas y reduce los factores anti nutrientes (saponinas, ácido fítico, taninos, lectina e inhibidores de enzimas).

La determinación del ácido fítico mediante el método de fotometría del fosforo expresada en g fósforo/100g muestra de los 12 tratamientos estudiados se muestran en la Tabla 22.

Tabla 21

Ácido Fítico de los extruidos (PA)

Tratamientos	Formulación de la masa			PA (g P/100 g)
	Grits de Maíz (%)	Harina de Quinoa Germinada (%)	Harina de Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	3.10 ± 0.20
T2	0	100	0	4.53 ± 0.24
T3	0	0	100	5.54 ± 0.06
T4	50	50	0	4.29 ± 0.04
T5	50	0	50	4.09 ± 0.08
T6	0	50	50	5.06 ± 0.06
T7	66.67	16.67	16.67	3.14 ± 0.20
T8	16.67	66.67	16.67	4.67 ± 0.02
T9	16.67	16.67	66.67	4.20 ± 0.15
T10	33.33	33.33	33.33	3.92 ± 0.11
T11	33.33	33.33	33.33	4.03 ± 0.11
T12	33.33	33.33	33.33	3.81 ± 0.11

En la *tabla 22* se muestra el contenido de ácido fítico de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones, donde los valores variaron de 3.10 ± 0.20 g P/100g a 5.54 ± 0.06 g P/100g. De acuerdo a los valores presentados, se observa un comportamiento de diferencia en el contenido de ácido fítico de los extruidos T1<T4<T5, dichos tratamientos contienen proporciones (100/0/0), (50/50/0) y (50/0/50) respectivamente, se puede apreciar que al incorporar harina de pseudocereales germinadas a la mezcla con maíz el valor de ácido fítico se incrementó entre 31.9% y 38.4%, esto se debe a la presencia de fitatos en mayor porcentaje en los granos de quinua y cañihua.

Además, como el ácido fítico actúa como quelante de micronutrientes, se busca una formulación con valor mínimo, el cual se obtuvo en los tratamientos T10, T11 y T12, que son puntos centrales con proporción (33.3/33.3/33.3) con un valor promedio de 3.92 g P/100g en ácido fítico.

Kaur et al. (2015) elaboró extruidos a partir de salvado de trigo, arroz, cebada y avena en un extrusor doble tornillo con temperaturas de 25 a 165°C y un contenido de humedad de alimentación de 14-20%, donde reportó que el contenido de ácido fítico, polifenoles, oxalatos y los inhibidores de tripsina fueron reducidos en 54, 51,38 y 72.39 % respectivamente

En otra investigación por Rathod &Annapure (2016) informaron que después de la extrusión de una mezcla de maíz y mijo africano el contenido de ácido fítico disminuyó un 20.9%. Evidentemente, estos hallazgos abordan importancia de la selección de la materia prima para extrusión con el fin de obtener productos que contengan una cantidad reducida de ácido fítico (Nikmaram et al.,2017).

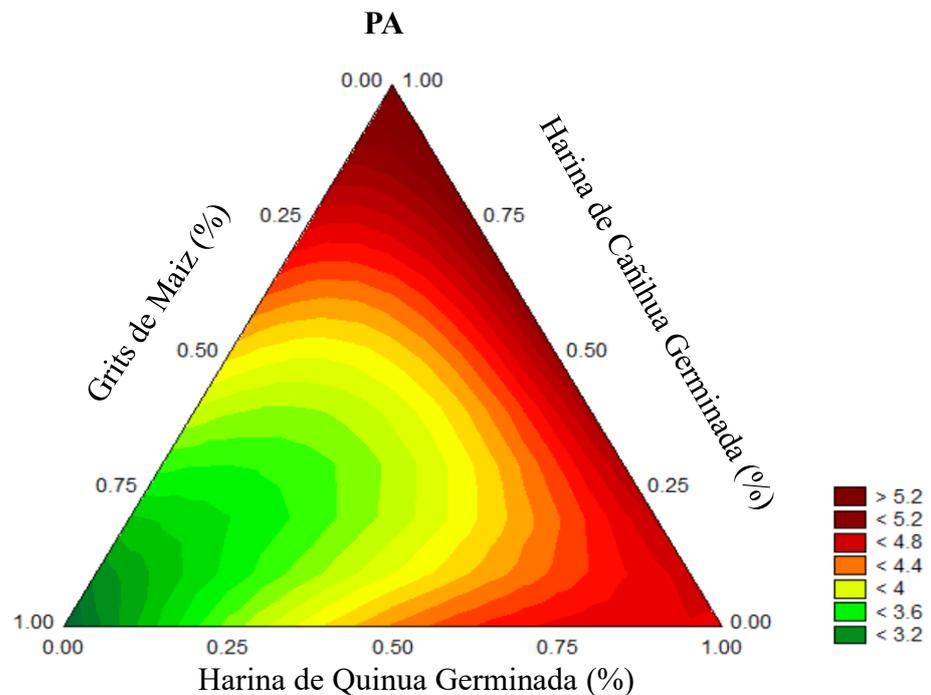
Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis de varianza (ANOVA), que se muestra en el anexo 13 y también se analizó

el Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 6, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2=91.43\%$ y un ($p<0.001$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes y los componentes binario y ternario.

$$PA=2.89x_1 + 4.68x_2 + 5.36x_3 + 2.11x_1x_2 - 18.73x_1x_2x_3 \dots\dots\dots(6)$$

Figura 25

Curva de contorno para PA del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



En la gráfica de contorno *figura 25* las zonas más claras (verdes) indican un menor contenido de ácido fítico, estas se encuentran en la zona inferior izquierda. Los valores mostrados en la parte céntrica de la gráfica, señalan un mayor incremento de ácido fítico al incorporar mayor nivel de harina de pseudocereales germinadas, finalmente en la parte derecha superior (mayor %

de harina de cañihua germinada), muestra una tendencia a un mayor incremento de ácido fítico (guinda).

4.2.2. Evaluación Tecnológica

4.2.2.1. Índice de Expansión

Los resultados de índice de expansión de los 12 experimentos se ven expresados en la Tabla 23, las pruebas variaron entre $0,88 \pm 0,11$ y $2,10 \pm 0,06$. El índice de expansión (IE) es un factor importante a monitorear porque afecta la densidad, fragilidad y suavidad de los extruidos. También es estrechamente relacionado con el incremento del tamaño del grano por efecto de la expansión. Había una diferencia significativa entre los experimentos de índice de expansión ($p > 0.05$), donde los valores máximos lo tuvieron los tratamientos T1 y T7, con 2.10% y 1.47% respectivamente, las cuales presentaron más contenido de grits de maíz.

Tratamiento	Grits de Maíz (%)	H. Quinoa Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	IE (%)
T1	100	0	0	2.10 ± 0.06
T2	0	100	0	1.00 ± 0.08
T3	0	0	100	0.94 ± 0.02
T4	50	50	0	1.41 ± 0.07
T5	50	0	50	1.04 ± 0.09
T6	0	50	50	0.88 ± 0.11
T7	66,67	16,67	16,67	1.47 ± 0.04
T8	16,67	66,67	16,67	1.00 ± 0.05
T9	16,67	16,67	66,67	1.11 ± 0.09
T10	33,33	33,33	33,33	1.09 ± 0.03
T11	33,33	33,33	33,33	1.05 ± 0.05
T12	33,33	33,33	33,33	1.05 ± 0.07

Tabla 22

Índice de Expansión de los extruidos (IE)

Las diferencias en expansión entre los tratamientos estudiados fueron evidentes ($p < 0.05$), estos resultados de la *tabla 23* describen el grado de hinchamiento de los extruidos cuando salen de la boquilla de la matriz. Los valores indican una reducción en el índice de expansión con incorporación de harina de pseudocereales germinadas en los tratamientos T8, T9, T10, T11 y T12 con proporciones del (33.3%-66.7%) como muestran los valores de 1.00, 1.11 y 1.05 %.

Generalmente, la fibra perjudica las características físicas de los extruidos porque provocan la ruptura prematura de las paredes celulares antes de que las burbujas de gas se hayan expandido en todo su potencial, lo que reduce la expansión general y resulta productos con estructuras menos porosas con mayor densidad (Oliveira et al., 2018). Puede ser una razón para obtener bajos porcentajes de índice expansión en los tratamientos, porque las harinas de quinua y cañihua germinadas tenían mayor contenido de fibra dietética total (18.84% y 22.16 % respectivamente) que los grits de maíz antes de ingresar al extrusor.

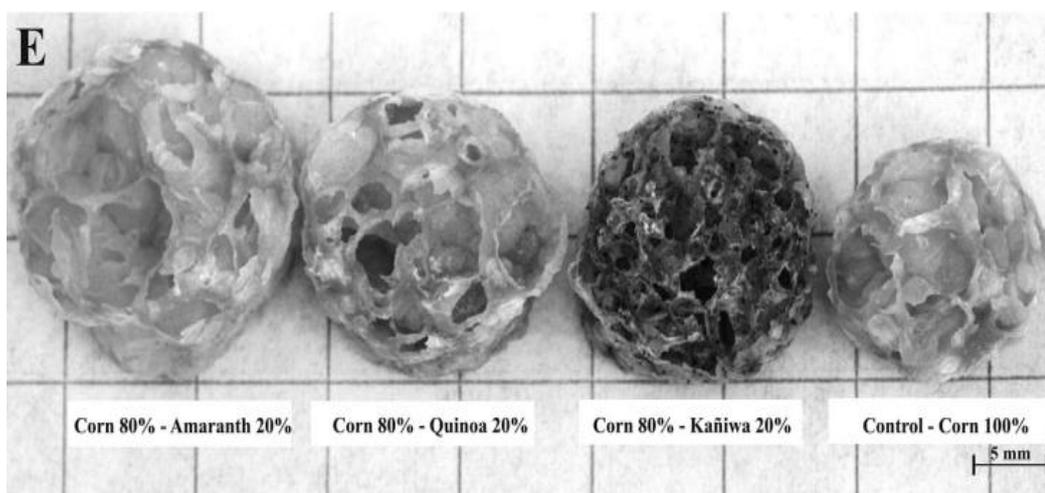
Otra razón también es la concentración de almidón disminuye con la sustitución de harina de maíz por harinas de pseudocereales germinadas y las interacciones de fibra-agua y fibra-almidón restringen la gelatinización del almidón (Lázaro & Sotelo, 2017). Por eso el índice de expansión máximo se observó en el tratamiento T1 (100/0/0), lo que indica que el mecanismo de expansión parece estar influenciado por el almidón del maíz (71.15% dw) que la composición de las harinas germinadas (41.21-55.84% dw), cuando se agrega a bajas concentraciones (16.67%).

En una investigación por Ramos-Díaz et al. (2013) elaboraron extruidos a base de amaranto, quinua y cañihua, donde sus valores de índices de expansión fueron de

7.6, 6.1 y 5.1 % respectivamente, mientras que los extruidos de maíz puro presento un índice de expansión de 4.4%, esto puede atribuirse al mayor efecto plastificante de los monosacáridos, oligosacáridos, aminos y agua de los cereales.

Figura 26

Área de sección transversal de extruidos a base de maíz, amaranto, quinua y cañihua



Nota: En la figura se muestra el área transversal de extruidos a base de maíz que contienen 20% de amaranto, 20% de quinua, 20% de cañihua y 100% de maíz a una humedad del 15%, temperatura de 160°C y velocidad de tornillo de 550 rpm. Adaptado de *Uso de amaranto, quinua y kañiwa en snacks extruidos a base de maíz* por Ramos-Díaz et al. (2013).

Según (Ekielski *et al.*,2020), el aumento de la humedad de la materia prima suele contribuir a reducir el índice de expansión del extruido, que en su mayoría es relacionado con el rápido vaciado del cilindro extrusor y por lo tanto una reducción del tiempo de la permanencia de la materia prima en el cilindro extrusor y un enfriamiento más rápido del extruido después de salir de la boquilla. Estos parámetros afectan los índices de expansión del extruido.

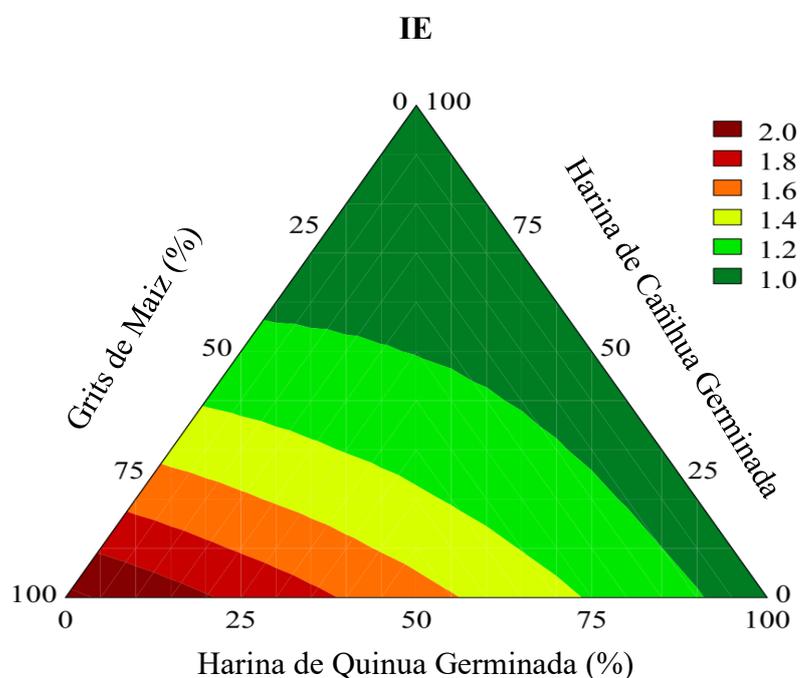
Sin embargo, las respuestas obtenidas de los 12 tratamientos con diferentes proporciones de harina pseudocereales germinadas, incluidos los ricos en alimón por los grits de maíz, mostraron valores aceptables de índice de expansión en comparación con los cereales de desayuno tradicionales.

Se realizó el análisis de varianza para el índice de expansión de los 12 tratamientos se muestran en el anexo 12. Para determinar la diferencia entre las medias se realizó el análisis del Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 7, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta tiene un $R^2=95.26\%$ y un $(p<0.001)$.

$$IE=2.04x_1 + 0.90x_2 + 20.98x_3 - 0.97x_1x_2 - 1.79x_1x_3 \dots\dots\dots(7)$$

Figura 27

Curva de contorno para el índice de expansión del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



En la *figura 27* se muestra la gráfica de contorno para el índice de expansión de los 12 tratamientos extruidos, se observa un patrón de cresta descendiente. El índice de expansión se conserva mejor en la esquina inferior izquierda (menor % de harinas germinadas y mayor % de grits de maíz), mientras que en la parte central y derecha (mayor % de harinas germinadas) es la que señala una mayor disminución de índice de expansión en la extrusión.

4.2.2.2. Densidad Aparente (DA)

En la *Tabla 24* se muestran los resultados para densidad aparente de los snacks extruidos en función al porcentaje de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz, los valores de las pruebas oscilaron entre $0,22 \pm 0,02$ y $0,73 \pm 0,09$ mg/cm³.

Tabla 23

Valores de Densidad Aparente de los Extruidos

Tratamiento	Formulación de la masa			Densidad Aparente (mg/cm ³)
	Grits de Maíz (%)	H. Quinua Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	0.22 ± 0.02
T2	0	100	0	0.46 ± 0.07
T3	0	0	100	0.73 ± 0.09
T4	50	50	0	0.19 ± 0.02
T5	50	0	50	0.72 ± 0.10
T6	0	50	50	0.60 ± 0.05
T7	66,67	16,67	16,67	0.32 ± 0.05
T8	16,67	66,67	16,67	0.40 ± 0.05
T9	16,67	16,67	66,67	0.56 ± 0.08
T10	33,33	33,33	33,33	0.66 ± 0.07
T11	33,33	33,33	33,33	0.66 ± 0.07
E12	33,33	33,33	33,33	0.67 ± 0.07

La densidad aparente de los extruidos es un parámetro de calidad importante de los productos extruidos expandidos, la densidad aparente es inversamente relacionado con el índice de expansión. Había una diferencia significativa entre los experimentos de DA ($p > 0.05$), donde los valores mínimos lo tuvieron los experimentos T1 y T4, con 0.22 ± 0.02 y 0.19 ± 0.02 respectivamente, mientras que los experimentos T3 y T5 las que tienen mayores valores porque tienen mayor contenido de harina de cañihua germinada.

Los valores de densidad aparente en los extruidos con solo presencia de grits de maíz (T1), 0.22 mg/cm^3 , es menor frente a T2 (0/100/0) y T3 (0/0/100) con valores de 0.46 y 0.73 mg/cm^3 , respectivamente, se puede apreciar que los extruidos con solo harina de pseudocereales germinada tienen valores de densidad mayores entre un 23.78% y 69.9%. Estos valores fueron similares para Pérez-Ramos *et al.* (2019), que tuvieron valores de densidad aparente de 0.199 y 0.427 g/cm^3 al extruir con harinas féculas de camote, harina de quinua y harina de tarwi. Kowalski *et al.* (2016) reportó en su investigación que el valor de densidad aparente para extruidos con quinua variedad Cherry varió de 0.45 a 1.02 g/cm^3 , donde los posibles causantes fueron la velocidad del tornillo, la humedad de la harina de quinua antes de entrar al extrusor y la temperatura de extrusión. En cambio, Dogan & Karwe (2014) reportaron menor densidad de extruidos de quinua (0.12 g/cm^3) con 17,1% de humedad de alimentación, a temperatura de 161°C y velocidad de tornillo de 392 rpm, mientras que los resultados obtenidos en el estudio actual muestran que la quinua Pasankalla demostró su densidad más baja de 0.46 g/cm^3 al 20% de humedad de alimentación y la temperatura máxima y velocidad de tornillo fue de 115°C y 1800 rpm.

La densidad del extruido dependía a gran medida de la cantidad de harina de pseudocereales germinadas añadidas y del contenido de humedad en la materia prima. Junto con la adición de harina de cañihua germinada, se observó un rápido aumento en la densidad del extruido en niveles iniciales de humedad de 100% a 20%. Sin embargo, el contenido de humedad causó solo un crecimiento menor en la densidad aparente con el contenido de harina de quinua germinada, como se observó en el tratamiento T8 (16.67/66.67/16.67) con un valor de 0.40 mg/cm³ en comparación con el tratamiento T7 (66.67/16.67/16.67) con un valor de 0.32 mg/cm³, siendo un incremento solo del 25% al nivel de significancia del 5%.

La humedad del material crudo es uno de los principales factores que afectan los cambios en la densidad de los extruidos, porque este parámetro afecta los cambios reológicos de la materia prima y la ruptura de las cadenas de amilopectina cuyo grado de degradación tiene un impacto significativo en el grado de densidad de los extruidos (Ekielski et al., 2020).

También, el calor durante la extrusión puede aumentar la temperatura del agua en el fundido dentro del extrusor por encima del punto de ebullición por lo que cuando el extruido sale de la matriz, una parte del agua se evapora rápidamente como vapor y da como resultado una estructura expandida con celular grandes y baja densidad (Oliveira et al., 2018).

La influencia de la harina de cañihua germinada en el aumento de la densidad aparente en los extruidos puede deberse al alto contenido de proteína y fibra cruda que presenta la cañihua en comparación con la quinua y los grits de maíz. De acuerdo con (Pérez-Ramos, 2019), a diferencia del almidón, las fibras por si solas no tienen la capacidad de formar estructuras porosas altamente expandidas, así el

aumento de su concentración aumenta la densidad del producto extruido, produciendo estructuras más pequeñas.

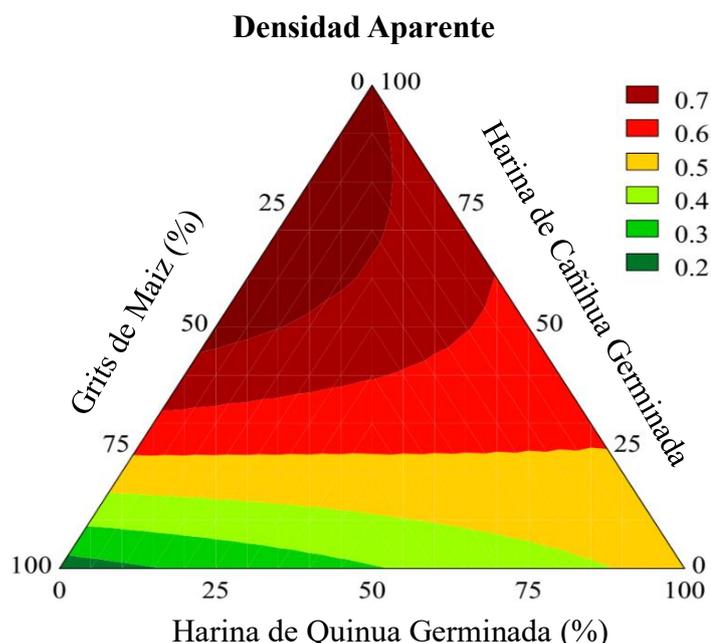
Se realizó el análisis de varianza para la densidad aparente de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 12 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el contenido de DA resultando un valor ($p < 0,05$), con un nivel del 95% de confianza.

Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis del Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 8, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2 = 80.16\%$ y un ($p < 0.003$). Donde los valores codificados x_1 , x_2 y x_3 , son los coeficientes de regresión para los pseudocomponentes y los componentes binario y ternario.

$$DA = 0.15x_1 + 0.43x_2 + 0.71x_3 - 0.97x_1x_2 + 1.21x_1x_3 \dots \dots \dots (8)$$

Figura 28

Curva de contorno para la densidad aparente del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



Como se puede apreciar en la *figura 28* las curvas del grafico de contorno, los valore más altos de densidad aparente están representados por el color verde y los valores más bajos por el color guinda. En este grafico se observa que el componente que tiene menor influencia sobre la densidad aparente es la harina de quinua germinada, ya que el área donde la proporción de harina de quinua germinada es mayor está representada por el color amarillo.

En cuanto al índice de expansión y la densidad aparente, los objetivos son inversamente proporcionales. Con la alta presión y temperatura del proceso de extrusión junto con la baja humedad de la mezcla de harina, se produce la gelatinización del almidón, acompañada de la termodextrinización, dando como resultado la formación de burbujas de aire. Este fenómeno da como resultado una mayor expansión de las muestras, dando como resultado un producto que tiene una baja densidad aparente

4.2.2.3. Textura Instrumental (FS y WS)

La evaluación de las propiedades de textura es de gran importancia para determinar la utilidad de los extruidos.

La primera evaluación fue la comparación de fuerza de corte en los extruidos de los 12 tratamientos, se demostró con el análisis de varianza en la *tabla 25* que, los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz no genera una diferencia estadísticamente significativa entre la media fuerza de corte entre un nivel de tratamiento y otro, resultando un valor ($p > 0.05$) con un nivel del 67.42% de confianza.

Tabla 24*ANOVA, Análisis de varianza para fuerza de corte (FS)*

Fuente	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	2723.813	6	453.9688	0.3454	3.7620	0.083728
Residual	603.367	5	120.6734			
Total	3327.180	11	302.4709			
Adjusted						
R ²	0.6742					

Los datos obtenidos en la fuerza de corte en los tratamientos están dentro del intervalo ($10,16 \pm 1,25$ N y $49,96 \pm 1,25$ N), como se observa en la tabla 26, por ser valores bajos no están dentro del rango de fuerza de corte para extruidos.

Tabla 25

Tratamientos	Formulación de la masa			Fuerza de Corte (N)
	Grits de Maíz (%)	H. Quinua Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	32.48 ± 3.17
T2	0	100	0	21.24 ± 2.56
T3	0	0	100	10.16 ± 1.25
T4	50	50	0	15.46 ± 1.69
T5	50	0	50	37.36 ± 4.00
T6	0	50	50	26.92 ± 5.78
T7	66,67	16,67	16,67	23.31 ± 2.59
T8	16,67	66,67	16,67	22.62 ± 1.89
T9	16,67	16,67	66,67	49.96 ± 6.97
T10	33,33	33,33	33,33	58.41 ± 8.13
T11	33,33	33,33	33,33	57.52 ± 5.41
T12	33,33	33,33	33,33	57.30 ± 7.35

Fuerza de Corte de los extruidos (FC)

Con respecto al trabajo de corte de los 12 tratamientos con diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz, se muestra en la *tabla 27*.

Tabla 26

Trabajo de Corte de los extruidos (WS)

Tratamientos	Formulación de la masa			Trabajo de Corte (N.s)
	Grits de Maíz (%)	H. Quinua Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	331.66 ± 27.53
T2	0	100	0	67.05 ± 10.24
T3	0	0	100	14.11 ± 2.25
T4	50	50	0	88.86 ± 13.24
T5	50	0	50	48.68 ± 5.96
T6	0	50	50	27.93 ± 5.43
T7	66,67	16,67	16,67	94.32 ± 16.85
T8	16,67	66,67	16,67	42.80 ± 27.53
T9	16,67	16,67	66,67	51.10 ± 5.73
T10	33,33	33,33	33,33	78.34 ± 10.56
T11	33,33	33,33	33,33	81.26 ± 8.72
T12	33,33	33,33	33,33	76.93 ± 7.51

Los valores de trabajo de corte de los 12 tratamientos varían desde 14.11 ± 2.25 N. s a 331.66 ± 27.53 N. s, según la *tabla 27*. El trabajo de corte disminuyó entre un 71.56 % a 87.09%, cuando se incrementó la cantidad de sustitución de harina de maíz por harina de pseudocereales germinadas (T4, T5, T7, T8 y T9), con valores de 88.86, 48.68, 94.32, 42.80, 51.10 N. s, respectivamente. El valor más bajo lo tuvo el tratamiento T3 (0/0/100), con solo harina de cañihua germinada con 14.11 N. s determinando que fue el extruido más suave y frágil de romper, en comparación de los demás tratamientos, el valor de trabajo de corte se vio

relacionado con su % de índice de expansión que fue de 0.94%. Con respecto al tratamiento T2 (0/100/0), con solo harina de quinua germinada, alcanzó un valor de 67.05 N. s, que es 5 veces más que el tratamiento 100% harina de cañihua germinada. Del mismo modos Wang et al. (2015) encontraron que la adición de hasta un 60% de harina de quinua disminuyó la dureza de los extruidos.

Además, el trabajo de corte de los extruidos disminuyó a medida que se aumentó el contenido de humedad (0%-20%). Bouasla et al. (2016) informaron que la dureza de extruidos disminuyó con un aumento en el contenido de humedad (28%) y los valores oscilaron ente 3 N y 7N. Sin embargo, para (Basilio, 2020) afirma que la dureza no fue influenciada por la humedad inicial para extruidos de kiwicha, sino fue influenciada por la temperatura de extrusión con valores de 20 y 37.72 N a medida que se aumentaba de 160 a 175°C, así mismo el autor encontró una correlación negativa entre la resistencia al corte y el índice de expansión y una correlación positiva entre la resistencia al corte y la densidad aparente. Hallazgo similar fue reportado para extruidos de trigo (Oliveira et al.,2017).

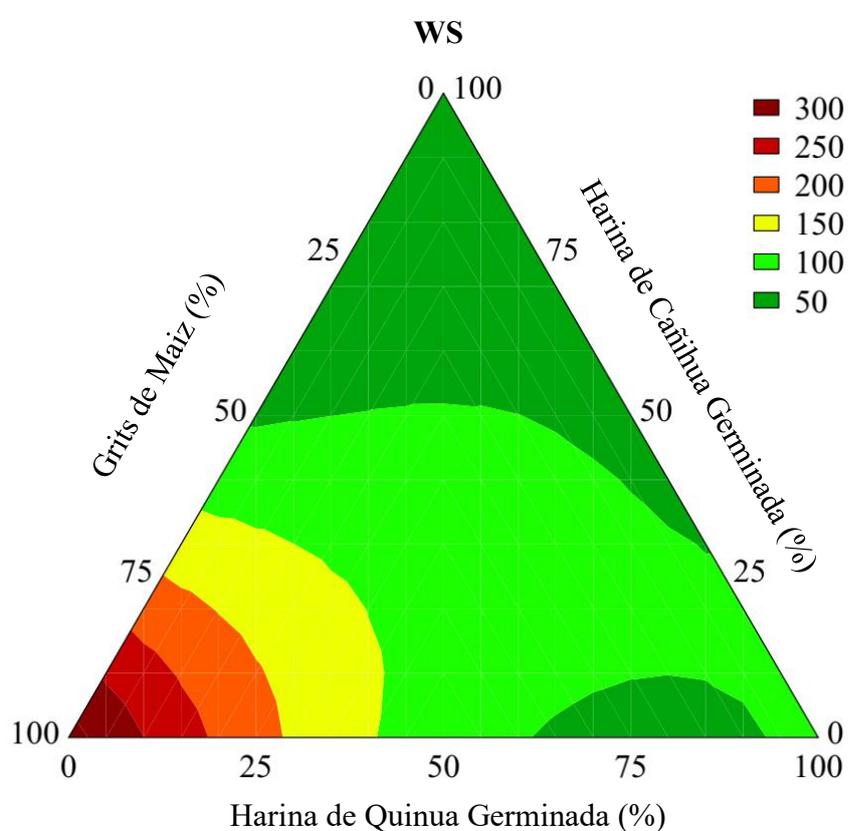
La textura del snack extruido principalmente depende de la interacción del corte, el calor y la humedad en proceso de extrusión. La humedad tiene una gran influencia en la calidad de los productos extruidos ya que afecta la estructura celular y la fragilidad de los productos expandidos, además de los cambios químicos y estructurales que sufren los alimentos durante la cocción por extrusión (Cuj-Laines *et al.*,2018).

En la *figura 29* se muestra la curva de contorno, en el que se observa que el componente con mayor efecto positivo sobre el trabajo de corte es la harina de maiz, ya que, al aumentar el porcentaje de este componente en la mezcla, el trabajo de corte se incrementó. Por el contrario, la harina de cañihua germinada produce

la disminución del trabajo de corte a medida que se incrementa el porcentaje de este componente en la mezcla. Respecto a la influencia de la harina de quinua germinada, se observa que a bajar concentraciones produce un ligero aumento en el trabajo de corte y a concentraciones más elevadas, el trabajo de corte disminuye.

Figura 29

Curva de contorno para el trabajo de corte del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



Los tratamientos T7, T10, T11 y T12 (66.67/16.67/16.67), (33.33/33.33/33.33) también presentaron valores bajos de trabajo de corte pese a presentar una alta proporción de harina de maíz. Los bajos valores de trabajo de corte en estos tratamientos pueden haberse dado porque la proporción de la harina de quinua fue mayor en comparación con las demás formulaciones.

Por su parte (Lázaro & Sotelo, 2017) informan que la textura se ve influenciada por la fibra y el contenido de proteína resultando productos con mayor densidad y

dureza por su efecto en la resistencia y el espesor de la pared de la burbuja de aire, por eso los grits de maíz tienen un alto contenido de fibra en comparación con las harinas de quinua y cañihua germinadas. (Aburto & Taboada, 2019) dice que la textura del snack también se ve afecta por el tipo, diseño del extrusor, de la boquilla, matriz y de las operaciones post extrusión como el secado del snack. Las propiedades reológicas de las mezclas también tienen efecto por eso debe controlarse el perfil de las mezclas.

Se realizó el análisis de varianza para el trabajo de corte de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 12 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el contenido de WS resultando un valor ($p < 0,05$), con un nivel del 95% de confianza.

Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis del Coeficiente de Regresión para encontrar la ecuación 9, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2 = 95.15\%$ y un ($p < 0.001$).

$$WS = 318x_1 + 62x_2 + 20x_3 - 467x_1x_2 - 500x_1x_3 + 1250x_1x_2x_3 \dots\dots\dots(9)$$

4.2.2.4. Índice de solubilidad de agua (ISA) e Índice de absorción de agua (IAA)

En la *tabla 28*, se observa los índices de absorción de agua obtenidos de los 12 tratamientos a diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz.

Tabla 27*Índice de Absorción de Agua de los extruidos*

Tratamientos	Formulación de la masa			IAA (%)
	Grits de Maíz (%)	H. Quinoa Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	4.48 ± 0.18
T2	0	100	0	5.96 ± 0.14
T3	0	0	100	4.06 ± 0.01
T4	50	50	0	5.30 ± 0.10
T5	50	0	50	4.01 ± 0.17
T6	0	50	50	4.55 ± 0.11
T7	66.67	16.67	16.67	4.77 ± 0.23
T8	16.67	66.67	16.67	4.89 ± 0.07
T9	16.67	16.67	66.67	3.07 ± 0.47
T10	33.33	33.33	33.33	3.76 ± 0.01
T11	33.33	33.33	33.33	3.76 ± 0.08
T12	33.33	33.33	33.33	3.74 ± 0.18

El índice de absorción de agua (IAA) es un indicador de cantidad de agua absorbida por el almidón en dispersión, que indica el grado de gelatinización del alimento. 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 las variables que influyen el IAA durante el proceso de extrusión (Tovar-Hernández *et al.*, 2017).

Los valores de índice de absorción de agua para cada experimento evaluado varían entre $3,07 \pm 0,47$ y $5,96 \pm 0,14$ %, notándose que los tratamientos T2, T4 y T8 (0/100/0), (50/50/0) y (16.67/66.67/16.67) son las que presentan mayor contenido de índice de absorción de agua con un valor de 5.96 ± 0.14 , 5.30 ± 0.10 y $4.89 \pm$

0.07% respectivamente, las cuales tienen mayor contenido de harina de quinua germinada mientras que los tratamientos T12, T10 y T9 presentan los valores relativamente bajos con un valor de 3.74 ± 0.01 , 3.76 ± 0.06 y 3.07 ± 0.47 respectivamente.

Aburto & Taboada (2019), obtuvo resultados de índice de absorción de agua entre 4.16 y 6.86 para un snack extruido de quinua, en el que el mayor IAA de 6.86 fue 100% de quinua, 22% de humedad y a una temperatura de 150°C, las características intrínsecas de los gránulos de almidón de la quinua los hacen más o menos susceptibles a la degradación durante el tratamiento térmico. Valores similares fueron reportados por (Alajil *et al.*, 2020) que variaron de 5.77 a 6.60 % para extruidos a base de quinua; y para (Kowalski *et al.*, 2016) variaron entre 2.33 y 3.05%.

Lázaro & Sotelo (2017) en su investigación reportaron valores de índices de absorción de agua entre 5.3 y 7.2% para extruidos de grits de maíz con harina de quinua y harina de garbanzo, notándose que la formulación con mayor porcentaje de harina de quinua influyó en el incremento del IAA, mientras su formulación 70% grits de maíz, 25% harina de quinua y 5% harina de garbanzo tuvo un IAA de 6.788 %, siendo mayor a nuestro valor obtenido en la investigación del tratamiento T7 (4.77%).

Los valores de índice de absorción de agua observados en el estudio fueron menores que los valores informados por estos autores.

Con respecto a la harina de cañihua, según la *tabla 28* podemos ver que el tratamiento T3 (0/0/100) es la que presenta el menor índice de absorción de agua (4.06%) en comparación con los tratamientos T1 y T2. Lo mismo se vio al sustituir el 50% de grits de maíz por harina de cañihua germinada (T5), que fue el valor

más bajo de IAA entre todos los demás tratamientos, demostrando que la harina de cañihua germinada influye en la disminución del contenido de IAA en los extruidos en un 10.49% y 31.47% con respecto a la formulación estándar.

La cañihua es un pseudocereal que contribuye a obtener un menor índice de absorción de agua, sustentado por tener propiedades particulares de su almidón, como son su pequeño tamaño de granulo (0.65 a 0.91 μm), contenido de amilosa (21%), grado de cristalización, así como su contenido de proteínas (Mera, 2018). Ante esto, se prefiere valores de índice de absorción de agua bajos ya que se correlaciona inversamente con la textura crujiente del producto final (Alajil *et al.*,2020).

Se realizó el análisis de varianza para el índice de absorción de agua de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 12 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el contenido de IAA resultando un valor ($p < 0,05$), con un nivel del 95% de confianza

Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis de Regresión para encontrar la ecuación 10, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2=85.79\%$ y un ($p < 0.001$).

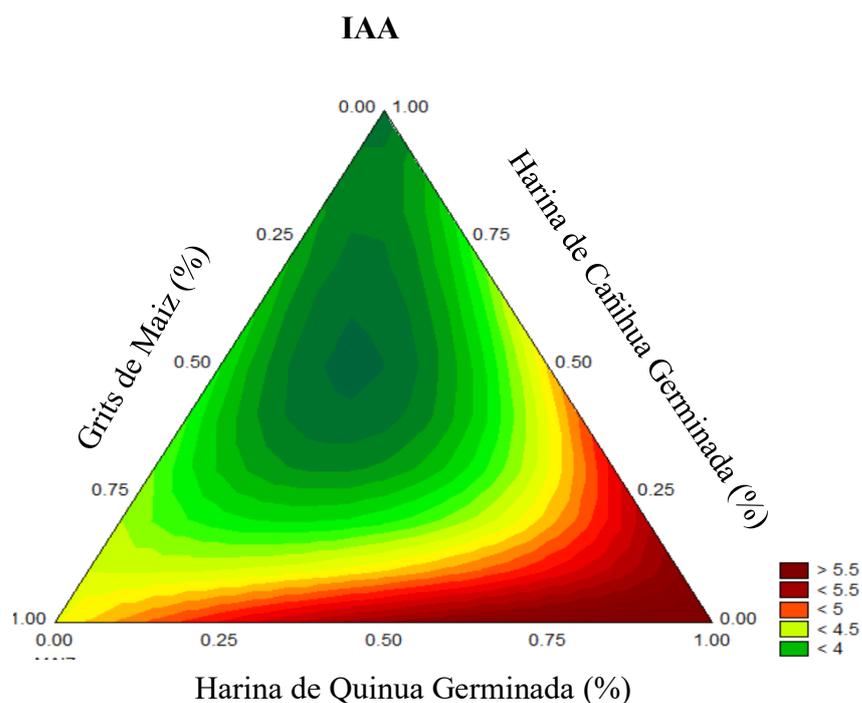
$$\text{IAA}=4.69x_1 + 5.90x_2 + 3.59x_3 - 26.27x_1x_2x_3 \dots\dots\dots(10)$$

En la *figura 30* se muestra la gráfica de contorno para el índice de absorción de agua de los 12 tratamientos. El índice de absorción de agua tiene valores más altos en la esquina inferior derecha (color guinda), con mayor contenido de harina de quinua germinada y menor contenido de grits de maíz, mientras que en la parte

central e izquierda (color verde) es la que señala un menor valor de índice de absorción de agua en la extrusión.

Figura 30

Curva de contorno para el índice de absorción de agua del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



Los resultados del índice de solubilidad de los 12 experimentos se ven expresados en la *Tabla 29*. Los valores de los tratamientos variaron entre $8,44 \pm 0,16$ y $24,85 \pm 0,09$ %. Teniendo como valores mayores de índice de solubilidad en agua los tratamientos T3, T2 y T6 con valores de 24.85 ± 0.09 %, 24.75 ± 1.46 % y 21.78 ± 0.74 % respectivamente. Y de valores bajos de índice los tratamientos T1, T4 y T7 con valores de 8.44 ± 0.16 %, 15.38 ± 0.07 % y 15.65 ± 1.65 % respectivamente.

Tabla 28*Índice de Solubilidad en Agua de los extruidos*

Tratamientos	Formulación de la masa			ISA (%)
	Grits de Maíz (%)	H. Quinoa Germinada (%)	H. Cañihua germinada (%)	
T1	100	0	0	8.44 ± 0.16
T2	0	100	0	24.75 ± 1.46
T3	0	0	100	24.85 ± 0.09
T4	50	50	0	15.38 ± 0.07
T5	50	0	50	17.63 ± 0.82
T6	0	50	50	21.78 ± 0.74
T7	66,67	16,67	16,67	15.65 ± 1.65
T8	16,67	66,67	16,67	17.83 ± 0.33
T9	16,67	16,67	66,67	20.27 ± 0.19
T10	33,33	33,33	33,33	16.55 ± 0.12
T11	33,33	33,33	33,33	16.42 ± 0.22
T12	33,33	33,33	33,33	16.50 ± 0.15

Para el índice de solubilidad en agua (ISA), hubo un incremento en la fracción soluble con niveles más altos de harina de cañihua y harina de quinua en la formulación, seguido de valores más bajos cuando se utilizó harina de maíz.

El índice de solubilidad en agua en el extruido con solo grits de maíz T1(100/0/0) tiene el valor más bajo de 8.44% y al sustituir el 50% de maíz por harina de pseudocereales germinadas el índice de solubilidad se dispara a valores de 15.38 y 17.63%, incrementos entre un 82.23% y un 108% respectivamente, demostrando que, si hay una influencia significativa en el ISA con los diferentes porcentajes de harina de quinua y cañihua germinada, con la estándar.

Con respecto a los valores de ISA con mayor contenido de harina de cañihua germinada (T9), 20.27 %, es mayor frente a los tratamientos T7, T8, T10, T11 y T12, que muestran valores menores de 15.65, 17.83, 16.55, 16.42 y 16,50 % de ISA. En el caso de la influencia de la harina de quinua germinada en los extruidos, se ve que también tienen un valor alto; pero inferior a la cañihua en un 0.40%, con valores de 24.75 % (T2), 17.83% (T8) y 16.55 % (T10). Valores similares reportaron (Alajil et al.,2020) entre 12.59-20.93% de ISA para extruidos a base de harina de quinua, y más altos que (Kowalski *et al.* 2016) entre 14.5 y 15.8%. Estos tratamientos fueron significativamente de ISA, que indicaron un grado de gelatinización similar pero diferentes grados de cocción o degradación del almidón.

Se sabe que el índice de solubilidad en agua (ISA) determina la cantidad de polisacárido soluble liberado de los gránulos de almidón después de la adición de un exceso de agua y se utiliza para indicar la degradación de los componentes moleculares. El ISA puede variar del 16% al 46% en extruidos ricos en almidón (por ejemplo, el maíz) y del 11.8% al 35% en extruidos bajos en almidón y ricos en proteínas. El ISA está directamente relacionado con el grado de gelatinización del almidón que se produce dentro del extrusor y al igual que el IAA se ve afectado negativamente por el contenido de grasa y proteína en el alimento extruido (Cuj-Laines *et al.*,2018).

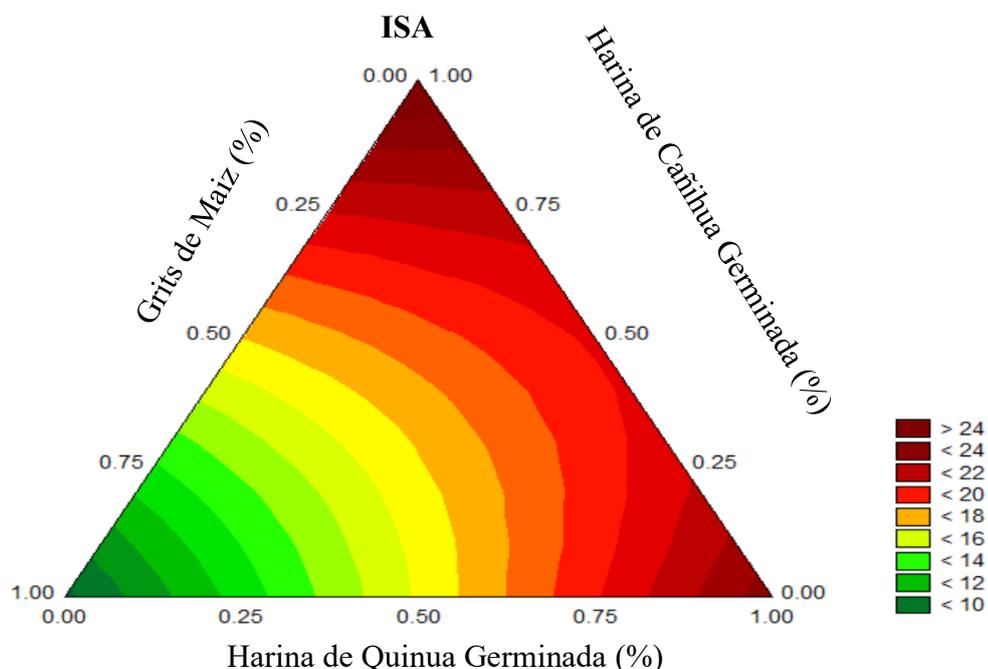
Se realizó el análisis de varianza para el índice de solubilidad de agua de los 12 tratamientos elaborados con 3 repeticiones; en el anexo 12 nos muestra que los diferentes porcentajes de harina de quinua germinada, de harina de cañihua germinada y grits de maíz si influyen significativamente en el contenido de IAA resultando un valor ($p < 0,05$), con un nivel del 95% de confianza

Para determinar la diferencia entre las medias de los tratamientos se realizó el análisis de Regresión para encontrar la ecuación 11, que describe el comportamiento de los resultados, siendo así que el modelo matemático que mejor se ajusta por tener un $R^2=93.42\%$ y un $(p<0.001)$.

$$ISA=8.73x_1 + 23.59x_2 + 25.22x_3 - 16.90x_2x_3 \dots\dots\dots(11)$$

Figura 31

Curva de contorno para el índice de solubilidad en agua del diseño de mezclas para uso de harina de maíz mezclada con harinas de quinua y cañihua germinadas



En la *figura 31* se muestra la gráfica de contorno para el índice de solubilidad de agua de los 12 tratamientos, las zonas más oscuras indican un mayor contenido de índices de solubilidad de agua, estas se encuentran en la zona inferior derecha y ligeramente en la zona superior. Los valores mostrados en la parte céntrica e izquierda de la gráfica, señalan menores valores de índice de solubilidad de agua (mayor contenido de grits de maíz y menor de harina de quinua germinada).

4.3. Optimización numérica y validación de modelos matemáticos del extruido

De acuerdo a las conclusiones de todos los análisis realizados a los extruidos como colorimetría (L^* , a^* y b^*), índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA), trabajo de corte (WS), compuestos fenólicos totales solubles (TPSC), capacidad antioxidante (ORAC) y ácido fítico (PA), se llevó a cabo la optimización de la formulación de extruidos de maíz para obtener mayor incorporación de harina de quinua y cañihua germinadas para mejorar las características nutricionales del producto final. Como las tres variables independientes presentaron resultados diferentes para todos los atributos, así que se decidió mantener estas variables en rango.

En primera instancia se optimizaron las variables respuesta por separado, para conocer como las combinaciones de las variables de % de harina de quinua germinada, % harina de cañihua germinada y % grits de maíz satisfacen las respuestas.

Luego para escoger los mejores tratamientos se realizó una ponderación entre 1 a 5, siendo 1 menos importante y 5 más importante y se establecieron las siguientes restricciones:

- Maximizar el índice de expansión
- Maximizar el parámetro a^*
- Maximizar el índice de solubilidad en agua
- Maximizar la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales solubles,
- Minimizar la densidad aparente
- Minimizar el trabajo de corte

- Minimizar el parámetro b*
- Minimizar el índice de absorción de agua
- Minimizar el ácido fítico

Las restricciones se introdujeron al software Design Expert® versión 7.0, en el cual se colocaron las restricciones en tabla y obtuvieron los valores experimentales, predictivos y desviación relativa respecto a la validación de cálculos de los modelos matemáticos.

El programa generó dos formulaciones óptimas que cumplieran las restricciones, es decir tuvieron la mayor ponderación cerca de la formulación factible. En la *tabla 30* se observa la composición y características fisicoquímicas como tecnológicas de las formulaciones obtenidas tras la optimización de múltiples respuestas.

Tabla 29

Formulaciones obtenidas tras la optimización de múltiples respuestas

N°	COMPOSICIÓN						CARACTERÍSTICAS								Deseabilidad
	Maíz	Quinoa	Cañihua	IE	DA	WS	L*	a*	b*	IAA	ISA	ORAC	TPSC	PA	
1	0	0.09	0.91	0.96	0.68	23.62	51.70	7.35	17.20	3.80	23.70	116.38	1873.06	5.30	0.75
2	0.24	0.17	0.59	0.95	0.70	38.28	53.64	7.41	19.41	3.62	19.32	74.34	1178.81	4.30	0.64

De acuerdo a los datos presentados en la *tabla 30*, se obtienen 2 formulaciones óptimas una con una deseabilidad de 0.75 y la segunda con una deseabilidad del 0.64. Para seleccionar la mejor formulación óptima se realizará la evaluación de aceptabilidad sensorial general de las mejores formulaciones y la intención de compra de las mismas.

4.3.1. Evaluación de la aceptabilidad general e intención de compra de las mejores formulaciones

A las dos mejores formulaciones se les sometió a 30 panelistas semientrenados para evaluar la aceptabilidad general e intención de compra del consumidor, para la aceptabilidad general sensorial se trabajó con una escala hedónica de 5 puntos (1= “Lo odié” y 5= “Me encantó”). En la sesión, el extruido fue ofrecido en vasos de plástico codificadas aleatoriamente y entregados de forma monódica. El análisis se realizó en cabinas individuales de degustación de la Planta Piloto de la UNS.

En la *tabla 31* se presenta la calificación de aceptabilidad general para las dos mejores formulaciones.

Tabla 30

Calificación promedio de la evaluación de aceptabilidad general para las mejores formulaciones de snacks

MUESTRA	Lo odié	No me gusto	Indiferente	Me gusto	Me encantó
	1	2	3	4	5
OPTIMO 1	1	6	12	7	4
OPTIMO 2	0	1	9	14	6

Realizando los análisis estadísticos de las calificaciones otorgadas por los panelistas para la evaluación de aceptabilidad, nos arrojó buenos resultados para la formulación **óptima 2**, donde el 67% de los panelistas calificaron en las categorías de “Me gusta” y “Me encanto”, mientras que para la formulación **óptima 1** solo el 37% de los panelistas votaron en esa categoría. El 33% restante comentaron que la razón principal de su decisión de no gustarle el extruido era porque el sabor de la cañihua era muy amargo.

Figura 32

Evaluación de la Aceptabilidad General de las mejores formulaciones de snacks



Para el análisis de intención de compra de las mejores formulaciones se trabajó con una escala hedónica de 5 puntos (1 = “Con certeza no lo compraría” y 5 = “Con certeza lo compraría. En la *tabla 32* se presenta la calificación de intención de compra para las dos mejores formulaciones.

Tabla 31

Calificación promedio de la evaluación de intención de compra para las mejores formulaciones de snacks

MUESTRA	Con certeza no lo compraría	Posiblemente no lo compraría	Tal vez lo comprara/ tal vez no	Posiblemente lo Compraría	Con certeza lo compraría
	1	2	3	4	5
OPTIMO 1	1	7	14	6	2
OPTIMO 2	0	4	9	13	4

Realizando los análisis estadísticos de la evaluación de intención de compra, nos arrojó buenos resultados para la formulación **óptima 2**, donde el 13% con certeza lo compraría, mientras que el 44% posiblemente lo compraría y el 43% restante comentaron que posiblemente no lo comprarían o tal vez lo comprarían, la razón principal de su decisión, es porque le falta adicionar un saborizante o edulcorante al extruido.

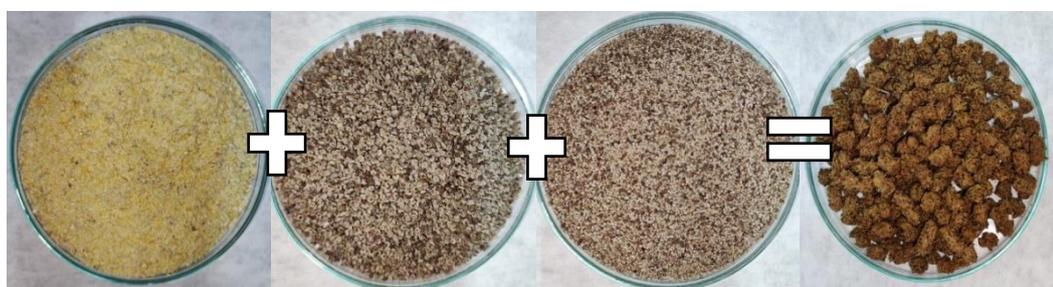
Tabla 32

Formulación óptima del snack final

Grits de Maíz	Harina de Quinoa germinada	Harina de Cañihua germinada
24%	17%	59%

Figura 33

Fotografía de la formulación óptima del snack



4.1.2. Análisis Químico Proximal del Snack Extruido Optimo

Se analizó la composición química del extruido optimo a partir de harinas de quinua y cañihua germinadas como adición de grits de maíz, como también del extruido control que es 100% grits de maíz, los datos se muestran en la *Tabla 34* en cuanto a su contenido de humedad, carbohidratos, fibra dietética total, fibra dietética insoluble, fibra dietética soluble, proteína, grasas y cenizas.

Table 33

Composición Proximal del Extruido Optimo Final

Parametros	Control	OPM2
Humedad (g/100 g)	3.33±0.04	4.50±0.32
Carbohidratos (g/100 g dw)	71.14±0.12	33.93±0.20
Fibra Dietética Total (%)	9.88±0.14	32.95±1.71
Fibra Dietética Insoluble (g/100 g dw)	6.87±0.18	24.35±2.41
Fibra Dietética Soluble (g/100 g dw)	3.02±0.04	8.59±0.69
Proteina (g/100 g dw)	7.22±0.05	16.28±0.19
Grasa (g/100 g dw)	3.95±0.02	6.69±0.02
Ceniza (g/100 g dw)	0.85±0.09	3.64±1.23
PA (g/100 g dw)	0.36±0.03	0.17±0.01
TSPC (mg GAE/100 g)	196.29±4.97	1455.97±67.49
ORAC (μmol TE/g)	19.85±2.60	96.5±7.43
GABA (mg/100 g)	5.19±0.18	37.10±0.40

V. CONCLUSIONES

- La hipótesis que se planteó al iniciar esta investigación es que las diferentes proporciones de harina de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz maximicen los parámetros tecnológicos, el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante y minimicen el ácido fítico de los extruidos, ha sido confirmada por la investigación realizada.
- La calidad tecnológica de los extruidos se ve influenciada por la temperatura de extrusión, el contenido de almidón y la concentración de la mezcla de harina de quinua y cañihua germinadas. Se demostró que al sustituir el maíz con harina de pseudocereales germinadas en la extrusión, se incrementó positivamente la capacidad antioxidante, el contenido de compuestos fenólicos, el índice de solubilidad en agua y el índice de expansión; mientras que las curvas de densidad aparente, índice absorción de agua y la luminosidad de los extruidos disminuyeron, indicando que las dos harinas son adecuadas para el desarrollo de productos instantáneos, siendo excepción la fuerza de trabajo corte debido a que no presento comportamiento diferente en los extruidos.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios añadiendo edulcorantes naturales a los extruidos con quinua germinada y cañihua germinada para lograr la aceptabilidad de los niños; tales como: stevia en spray/polvo, azúcar impalpable, jarabe de sacarosa, miel de abeja, aceite o añadir nuevos sabores en polvo a la superficie.
- Investigar de manera comparativa extruidos formulados con pseudocereales de diferentes variedades de semillas para comparar sus características.
- Realizar la evaluación de vida útil de los extruidos obtenidos y la mezcla de harinas.
- Realizar un estudio de factibilidad para la producción y comercialización de los extruidos a base de quinua germinada y cañihua germinada en sus diferentes presentaciones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S. M., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 56(2), 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Aburto-Rodriguez, R.N., & Taboada-Rosales, J.M. (2019). Efecto del proceso de extrusión en la calidad proteica de un snack, utilizando quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de habas (*Vicia faba*) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Santa.
- Aguilar, J.; Miano, A.C.; Obregón, J.; Soriano-Colchado, J.; Barraza-Jáuregui, G. (2016). Malting process as an alternative to obtain high nutritional quality quinoa flour. *Cereal Science*, 90, 102858.
- Ahmad, N., Ahmed, I., Mumtaz, A., & Gani, A. (2019). Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. *Food Chemistry*, 276, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.170>
- Alajil, O., Hymavathi, T., Maheswari, K., & Rudra, S. (2020). Nutritional, physico-chemical and sensory attributes of quinoa based extrudates. *Vegetos*, 33,390-400. <https://doi.org/10.1007/s42535-020-00119-4>
- Alam, M. S., & Aslam, R. (2021). Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 22–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23041-2>
- Alandia, G., Rodriguez, J.P., Jacobsen, S.E., Bazile, D., & Condori, B.(2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>
- Alvarez, L., & Avalo, Y. (2019). Elaboración y evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la pasta enriquecida con harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y harina de chía semidesgrasada (*Salvia hispanica* L.).

- Angeli, V., Silva, P., Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., and Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An Overview of the Potentials of the “Golden Grain” and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9(2), 216. [10.3390/foods9020216](https://doi.org/10.3390/foods9020216)
- Apaza Ahumada, Moisés Guillermo. (2019). Efecto del consumo de cultivos andinos quinua, cañahua y tarwi sobre el incremento de peso y nitrógeno retenido en ratas Distar. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 194-204. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.477>
- Aranda, J.J., & Bocanegra, G.I. (2018). Evaluación de parámetros durante la extrusión de una mezcla de harinas de tarwi (*lupinus mutabilis*) y arroz (*oryza sativa*) para la producción de un snack [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Santa.
- Arora, B., Yoon, A., Sriram, M., Singha, P., & Rizvi, S. S. H. (2020). Reactive extrusion: A review of the physicochemical changes in food systems. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 64). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102429>
- Arija, V., López-Toledo, S., & Canals, J. (2017). Consumo alimentario en el Desayuno de Escolares de Perú. Comparación entre zona rural y urbana. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 23, 22-26. [10.14642/RENC.2017.23.sup2.5174](https://doi.org/10.14642/RENC.2017.23.sup2.5174)
- Arribas, C., Pereira, E., Barros, L., Alves, M., Calhelha, R. (2019). Healthy novel gluten-free formulations based on beans, carob fruit and rice: Extrusion effect on organic acids, tocopherols, phenolic compounds and bioactivity. *Food Chemistry*, 292, 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.074>
- Basilio-Atencio, J. E. (2020). Obtención de una mezcla alimenticia a partir de quinua (*chenopodium quinoa*) y kiwicha (*amaranthus caudatus*) extruidas, y tarwi (*lupinus mutabilis*) [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4498>
- Bhinder, S., Kumari, S., Singh, B., Kaur, A., & Singh, N. (2021). Impact of germination on phenolic composition, antioxidant properties, antinutritional factors, mineral content and Maillard reaction products of malted quinoa flour. *Food Chemistry*, 346, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128915>

- Bravo, E., & Ortega, J. (2017). Efecto de la granulometría y formulación en la calidad de un snack extruido a base de arroz, quinua y torta desgrasado de chia. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Santa.
- Castillo, E.J. (2010). Determinación de la estabilidad de los compuestos antioxidantes durante la germinación y extrusión en la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3538>
- Ceyhun Sezgin, Aybuke; Sanlier, Nevin (2019). Una planta de nueva generación para la cocina convencional: la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos*, 86(), 51–58. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.039
- Cicero, A.F.G. & Colletti, A. (2015). Nutraceuticals and blood pressure control: results from clinical trials and meta-analyses. *High Blood Pressure and Cardiovascular Prevention*, 22, 203–213
- Chahua, J. (2020). Comportamiento agro morfológico de diez accesiones de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en el centro experimental camacani puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/11294>
- Cheng, W., Gao, L., Wu, D., Gao, C., Meng, L., Feng, X., & Tang, X. (2020). Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients. *LWT*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109872>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Leguía-Damiano, S., Calla-Flórez, M., Zamalloa-Puma, L. M., and ColqueCondeña, L. (2021). Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity, and Protein Content of Three Varieties of Germinated Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ingeniería e Investigación*, 41(2), e89831. 10.15446/ing.investig.v41n2.89831
- Coila-Lasteros, R.A. (2019). Optimización en la elaboración de galletas utilizando harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13419>

- Cuj-Laines, R., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C., Juárez-Barrientos, J., Torruco-Uco, J. & Rodríguez-Miranda, J. (2018). Aspectos relevantes del desarrollo de snacks ricos en proteínas extruidos: una alternativa para reducir la desnutrición global. *Alimentos alternativos y de reemplazo*, 141–166. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00005-8>
- Darwish, M.G., Al-Jumayi, A.O., & Elhendy, H.A. (2020). Efecto de la germinación sobre el perfil nutricional de semillas de quinoa (*Cheopodium quinoa* Willd.) y su potencial antianémico en ratas albinas macho Sprague-Dawley. *Química de cereales*. doi: 10.1002/CCHE.10366
- Demir, B., & Bilgiçli, N. (2020). Changes in chemical and anti-nutritional properties of pasta enriched with raw and germinated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 1–9.
- Ekielski, A., Zelazinski, T., Siwek, A., Sharma, V., & Kumar, P. (2020). Formulation and Characterization of Corn Grits- Propylene Glycol Extrudates. *Materials Today: Prodeedings*, 21, 1772-1780.
- Espinoza-Cordova, K.M. (2017). Desarrollo de un snack extruído a base de maíz enriquecido con harina de pota (*dosidicus gigas*) precocida y determinación de su vida útil [Tesis de preedo, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3992>
- Fayet-Moore, F., McConnell, A., Tuck, K., & Petocz, P. (2017). Desayuno y elección de cereales para el desayuno y su impacto en la ingesta de nutrientes y azúcar y medidas antropométricas entre una muestra representativa a nivel nacional de niños y adolescentes australianos. *Nutrientes*, 9, 1045. [10.3390/nu9101045](https://doi.org/10.3390/nu9101045)
- Fernández Mejía, J., & Guivar Delgado, C. (2016). Formulación de harina proteica y extruida a base de harina de: arveja (*Pisum sativum*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y tarwi (*Lupinus Mutabilis*). UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
- Filho, A., Pirozi, M. R., Borges, J. T. D. S., Pinheiro, S., H. M. (2017). Quinoa: Nutritional, functional, and antinutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(8), 1618–1630. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001811>

- Flores, S.E. (2021). Estudio de las propiedades químicas, mecánicas y termales de los granos de tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) cultivadas en la región puno [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16707>
- Galindo-Lujan, R. (2018). Nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua con maíz morado como una alternativa de alimentación saludable [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3767>
- Gan, R.Y., Lui, W.Y., Wu, K. et al. (2017). Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: an updated review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1–14
- García, M., Condori, B., Castillo, C.D., (2015). Quinoa: Improvement and Sustainable Production (Murphy/Quinoa: Improvement and Sustainable Production. *Agroecological and Agronomic Cultural Practices of Quinoa in South America*, 25–46. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch3>.
- García-Lara, S. (2019). Corn: Development and Structure of the Corn Kernel, 147–163. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00006-1
- Gordillo-Bastidas, E., Díaz-Rizzolo, D., Roura, E., Massanes, T. & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *J. Nutr. Food Sci.* 6, 497. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000497>
- Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., Gulli, M., Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review, *Trends in Food Science & Technology* (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.007>.
- Hamaker, R. (2019). Corn: Carbohydrates of the Kernel., 305–318. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00011-5
- Hinostroza-Cordova, M. B. (2020). Efecto de la Germinación de Quinoa y Kiwicha en el contenido de fenolicos totales, betalainas, vitamina C y actividad antioxidante [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

- Huanatico, E. (2018). Efecto del germinado y extrusión sobre el contenido de aminoácidos de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y Elaboración de Donas [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/630>
- Kowalski, R., Medina-Meza, I., Thapa, B., Murphy, K., & Ganjyal, G. (2016). Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of cereal science*, 70, 91-98, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.024>
- Larkins, B. (2019). Corn: Proteins of the Kernel, 319–336. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00012-7
- Laureano, L., & Avellaneda, M. (2018). “INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE EXTRUSIÓN EN LA CALIDAD DE UN SNACK ELABORADO A BASE DE PALLAR (*Phaseolus lunatus*) Y ARROZ (*Oryza sativa*) [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Santa.
- Lázaro, J., & Sotelo, M. (2017). Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo, harina de quinua y harina de garbanzo obtenido mediante extrusión [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Santa.
- Lemmens, E.; Moroni, A.V.; Pagand, J.; Heirbaut, P. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 18, 305–328
- Loy, D. (2019). Corn: Nutritional Properties and Feeding Value of Corn and Its Coproducts, 633–659. doi:10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1
- Luna, E. (2015). Influencia del germinado y cocción húmeda en compuestos bioactivos de dos accesiones de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2816>
- Luo, X., Du, Z., Yang, K., Wang, J., Zhou, J., Liu, J., & Chen, Z. (2021). Effect of electron beam irradiation on phytochemical composition, lipase activity and fatty

acid of quinoa. *Journal of Cereal Science*, 98, 103161. doi: 10.1016/j.jcs.2021.103161

Mangelson, Hayley; Jarvis, David E; Mollinedo, Patricia; Rollano-Penalzoza, Oscar M; Palma-Encinas, Valeria D; Gomez-Pando, Luz Rayda; Jellen, Eric N; Maughan, Peter J;. (2019). The genome of *Chenopodium pallidicaule*: An emerging Andean super grain. *Applications in Plant Sciences*, 7(11):e11300.

Markttest. (2015). Metade dos portugueses consome cereais de pequeno almoço. Consumo/Utilização de Bens/Serviços/Produtos. Retrieved from: <https://www.markttest.com/wap/a/n/id~1f49.aspx>

Mera, L. (2018). Optimización de la extracción de proteína de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* aellen) utilizando la metodología de superficie de respuesta [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3710>

Morantes, G., Ek, P., & Ganjyal, G. M. (2020). Food safety in extrusion processing. In *Extrusion Cooking*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815360-4.00016-x>

Motta, Carla; Delgado, Inês; Matos, Ana Sofia; Gonzales, Gerard Bryan; Torres, Duarte; Santos, Mariana; Chandra-Hioe, Maria V.; Arcot, Jayashree; Castanheira, Isabel (2017). Foliates in quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*): Influence of cooking and malting. *Journal of Food Composition and Analysis*, (), S0889157517302223-. doi: 10.1016/j.jfca.2017.09.003

Nikmaram, N., Ying, S., et al. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 63-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>

Oliveira, L. C., Alencar, N. & Steel, C. J. (2018). Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. *Food Science and Technology*, 90,207–214. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.017>

Oliveira, L. C., Schmiele, M., & Steel, C. J. (2017). Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT-Food Science and Technology*, 75, 261–270.

- Organización para la Agricultura y la Alimentación (2018). FAOSTAT, Bases de datos estadísticos de la FAO. Disponible en <http://apps.fao.org/>
- Ortiz-Cruz, R.A., Ramirez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A., Torres-Chávez P., Sánchez-Machado, D., Montaña-Leyva, B., López-Cervantes, J., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Efecto de las condiciones de procesamiento de extrusión en el Contenido compuesto fenólico y Capacidad Antioxidante del salvado de Sorgo (*Sorghum bicolor* Moench). *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 252-257. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00810-6>
- Padmashree, N. N., Handu, S., Khan, M. A., Semwal, A. D., & Sharma, G. K. (2019). Effect of germination on nutritional, antinutritional and rheological characteristics of *Chenopodium quinoa*. *Energy*, 375, 353.02.
- Pajuelo Ramírez, Jaime, Torres Aparcana, Lizardo, Agüero Zamora, Rosa, & Bernui Leo, Ivonne. (2019). El sobrepeso, la obesidad y la obesidad abdominal en la población adulta del Perú. *Anales de la Facultad de Medicina*, 80(1), 21-27. <https://dx.doi.org/10.15381/anales.v80i1.15863>
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2017). Optimización de la superficie de respuesta de las condiciones de germinación para mejorar la acumulación de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en quinua. *International Journal of Food Science and Technology*, 53, 516 – 524. doi:10.1111/ijfs.13623 }
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J., & 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. *Food Science and Technology*, 76, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.038>
- Paucar-Menacho, L.M.; Simpalo-López, W.D.; Castillo-Martínez, W.E.; Esquivel-Paredes, L.J.; Martínez-Villaluenga, C. (2022). Improving Nutritional and Health Benefits of Biscuits by Optimizing Formulations Based on Sprouted Pseudocereal Grains. *Foods*, 11, 1533. <https://doi.org/10.3390/foods11111533>
- Pauro, T. (2017). Evaluación del comportamiento de almidones y harinas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) procesada para la

preparación de harinas precocidas [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6147>

- Peña, A. (2020). Influencia de la germinación sobre los azúcares reductores en quinua y su efecto en los atributos tecnológicos del pan [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4426>
- Pereira, E. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd. (quinua) grains: a good alternative to nutritious food. *Food Chem.* 280,110–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>.
- Pérez, K., Elías, C., & Delgado, V. (2017). Bocado con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 377-388. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>
- Perez-Ramos, K. P. (2019). Elaboración de un bocadito extruido de quinua, tarwi y fecula de camote para niños escolares [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3894>
- Pérez-Rea, Daysi (2018). Almidón en Alimentos || La funcionalidad de los almidones de pseudocereales, 509–542. doi:10.1016/B978-0-08-100868-3.00012-3
- Pico, J., Pismag, Laudouze, M., Martínez, M. (2020). Evaluación sistemática de las reacciones de Folin-Ciocalteu y Fast Blue BB durante el análisis de fenoles totales en leguminosas, frutos secos y semillas vegetales. *Alimentos y funciones*, 11, 9868 – 9880. 0.1039/D0FO01857K
- Pilco-Quesada, S., Tian, Y., Yang, B., Repo-Carrasco-Valencia, R., & Suomela, J.-P. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Priyanka Thakur, Krishan Kumar, Naseer Ahmed. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>

- Ramos Diaz, J.M., Kirjoranta, A., Tenitz, S., Penttila, P., Lampi, A., & Jouppila, K. (2013). Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks, *Journal of Cereal Science*, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2013.04.003>
- Robin, F., & Palzer, S. (2015). Texture of breakfast cereals and extruded products. *Modifying Food Texture*, 1, 203-235. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00010-3>
- Rochetti, G., (2019). Gluten-free flours from cereals, pseudocereals and legumes: phenolic fingerprints and in vitro antioxidant properties. *Food Chem.* 271, 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.176>.
- Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2014). *Experimental design and process optimization*. CRC Press.
- Rojas, A.C. (2021). Caracterización fenotípica de 402 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) en condiciones de la Molina-Lima [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4804>
- Rojas, W., Pinto, M., Alanoca, C., Gomez-Pando, L., Leon-Lobos, P., Alercia, A., Diulgheroff, S., Padulosi, S., Bazile, D. (2015). Quinoa genetic resources and ex situ conservation. In: Bazile, D., et al. (Eds.), *State of the Art Report on Quinoa Around the World in 2013*. 56–82. <http://www.fao.org/3/a-i4042e.pdf>.
- Rolandelli, G., Garcia-Navarro, et al. (2020). Microstructural characteristics and physical properties of corn-based extrudates affected by the addition of millet, sorghum, quinoa and canary seed flour. *Food Structure*, 25, 1001. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2020.100140>
- Romero, M. (2018). *Proceso de extrusión y Pelletización de alimentos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3134>
- Santos, D., Lopez da Silva, J.A., & Pintado, M. (2022). Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. *Food Science and Technology*, 154, 112707, [10.1016/j.lwt.2021.112707](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112707)

- Serva-Saldivar, S. (2015). Propiedades físicas, clasificación y granos especiales Granos de cereales: propiedades, procesamiento y atributos nutricionales. Boca Raton, 43-81.
- Sharma, S.; Saxena, D.; Riar, C. (2016). Analysing the effect of germination on phenolics, dietary fibres, minerals and γ -amino butyric acid contents of barnyard millet (*Echinochloa frumentaceae*). *Food Bioscience*, 13, 60-68. doi: 10.1016/j.fbio.2015.12.007
- Smith, J.D., Zhu, Y., Vanage, V., Jain, N., Holschuh, A., & Hermetet, A. (2019). Association between ready-to-eat cereal consumption and nutrient intake, nutritional adequacy, and diet quality among infants, toddlers, and children in the national health and nutrition examination survey 2015-2016. *Nutrients*, 11, 1989. 10.3390/nu11091989
- Song, J., Shao, Y., Chen, X., & Li, X. (2022). Release of characteristic phenolics of quinoa based on extrusion technique. *Food Chemistry*, 374, 128780. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128780>
- Suárez-Estrella, D., Cardone, G., Buratti, S., Pagani, M. A., & Marti, A. (2020). Sprouting a processing for producing quinoa-enriched bread. *Journal of Cereal Science*, 96, 103111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103111>
- Tang, Y. and Tsao, R. (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition and Food Research*, 61(7), 1600767. 10.1002/mnfr.201600767
- Torres, A., Cova, A., and Valera, D. (2018). Efecto del proceso de germinación de granos de *Cajanus cajan* en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Revista chilena de nutrición*, 45(4), 323-330. 10.4067/S0717-75182018000500323
- Tovar-Hernandez, C. E., Perafán-Gil, E. A., Enriquez-Collazos, M.G., Pismag-Portilla, Y., & Ceron-Fernandez, L. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua normal y germinada. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15, 30-38. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(15\)30-38](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(15)30-38)
- Valdez-Arana, J.-C., Steffolani, M. E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Pérez, G. T., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Physicochemical and functional properties of isolated

starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 997–1007.

Vermote, M., Bonnewyn, S., Matthys, C., & Vandevijvere, S. (2020). Nutritional content, labelling and marketing of breakfast cereals on the Belgian market and their reformulation in anticipation of the implementation of the Nutri-Score front-of-pack labelling system. *Nutrients*, 12 (4), 10.3390/nu12040884

Vilcacundo, R., Hernandez-Ledesma, B. (2016). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 16, 2-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>

Vincez, R., & Zavala, V. (2020). Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (*zea mays* l.) por extrusión [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/handle/usil/11294>

Watanabe, K., Kawanishi-Asaoka, M., Myojin, C., Awata, S., Ofusa, K., & Kodama, K. (2014). Amino acid composition, oxidative stability, and consumer acceptance of cookies made with quinoa flour. *Food Science and Technology Research*, 20(3), 687–691.

Yıldız, M., Tansı, S., & Sezen, S. M. (2014). New plants with commercial potent. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1, 1036–1042 Special Issue

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. CERTIFICADO DE CALIDAD DEL GRANO DE QUINUA Y CAÑIHUA



FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGRARIO

Jr. Camilo Carrillo N° 325 -Jesús María - Lima - Lima

Punto de emisión : Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Lima

RUC: 20101259014
FACTURA ELECTRÓNICA
F228 - 00000224

Fecha :	04/06/2021
Señor(es):	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
RUC:	20148309109
Dirección:	AV. UNIVERSITARIA S/N. URB. BELLAMAR-NUEVO CHIMBOTE-SANTA-ANCASH
Referencia:	

DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	IMPORTE
SEMILLA QUINUA PASANKALLA	KILOGRAMO	15.00	15.00	225.00
SEMILLA DE KIWICHA CENTENARIO	KILOGRAMO	15.00	15.00	225.00

SON: CUATROCIENTOS CINCUENTA Y 00/100 SOLES						
TOTAL GRAVADA	TOTAL EXONERADA	TOTAL DSCTO.	VALOR VENTA	IMPUESTO	ISC	IMPORTE TOTAL
S/ 0.00	S/ 450.00	S/ 0.00	S/ 450.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 450.00

Autorizado mediante resolución N° 0320050000973 /SUNAT

R8JkQONh/4OgF5bm/3qHhS3wABo Puede descargar su comprobante desde el sitio: <http://consulta.fdaweb.com.pe>

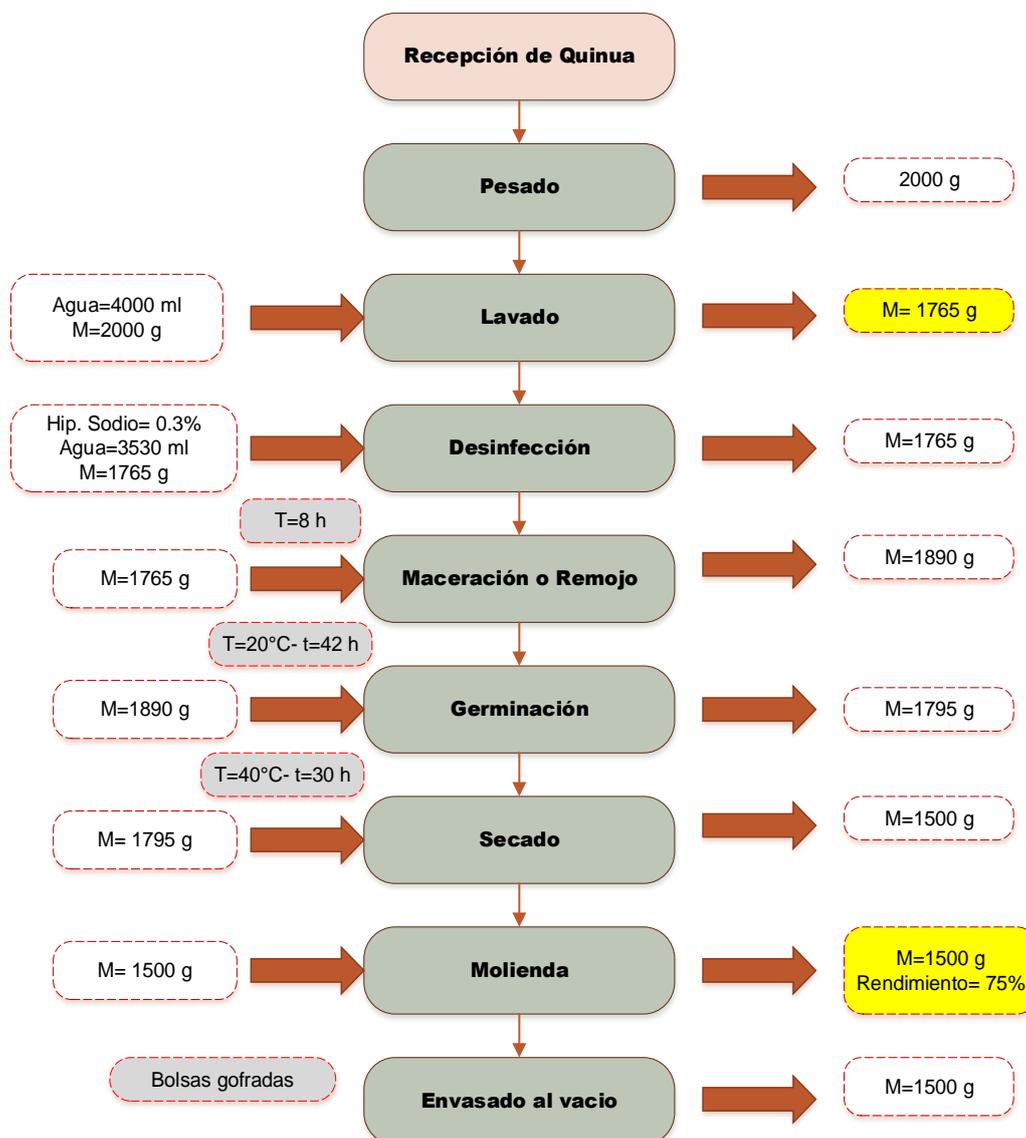


ANEXO 2. BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE QUINUA GERMINADA

El proceso de germinación a la semilla de Quinoa var. Pasankalla Roja se desarrolló siguiendo los parámetros óptimos, con mayor desarrollo de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante indicados por Paucar-Menacho y sus colegas (2018). Donde se obtuvo un rendimiento de 75% como se observa en la *Figura 34*, este rendimiento viene afectado por el proceso de lavado que hay una pérdida del al momento de lavar y separar la cascara del grano.

Figura 34

Balance de Materia de la Obtención de Harina de Quinoa Germinada



ANEXO 3. PROCESO DE GERMINACIÓN DE LA QUINUA PASANKALLA

Figura 35



Recepción de la Quinoa Pasankalla



Figura 36



Lavado y Desinfección de la Quinoa Pasankalla



Figura 37

Remojo o Hidratación de la Quinoa Pasankalla



Figura 38

Germinación de la Quinoa Pasankalla



Figura 39

Germinación de la Quinoa Pasankalla



Figura 40

Quinoa Pasankalla Germinada



Figura 41

Secado de la Quinoa Pasankalla



Figura 42

Molienda de la Quinoa Pasankalla



Figura 43

Envasado al vacío y almacenamiento

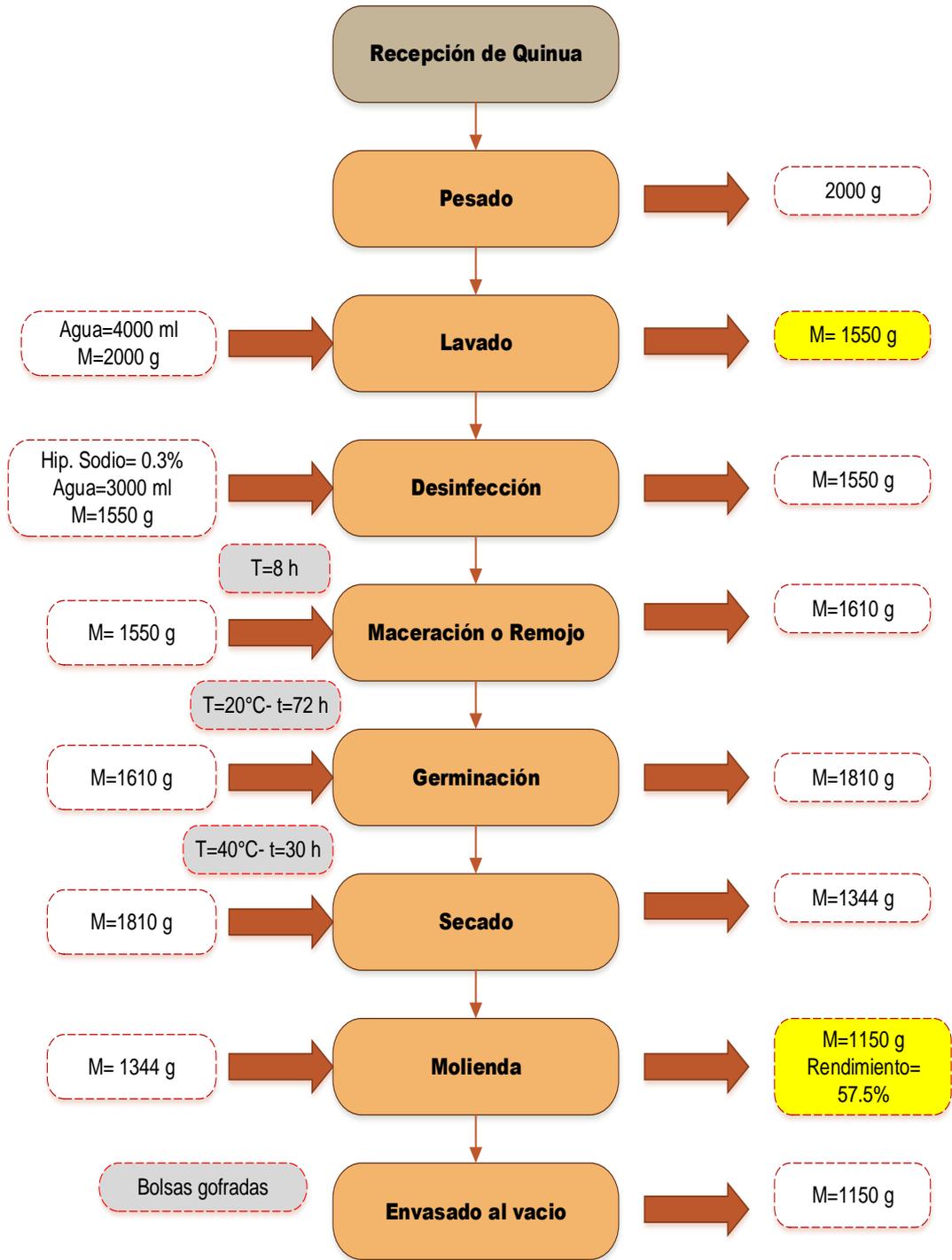


ANEXO 4. BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE CAÑIHUA GERMINADA

El proceso de germinación a la semilla de Cañihua var. Illpa INIA se desarrolló siguiendo los parámetros óptimos, con mayor desarrollo de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante indicados por Abderrahim y sus colegas (2012). Del cual se obtuvo un rendimiento de 57.5 % como se observa en la *figura 44* y se ve que en la etapa de lavado hay una pérdida del 12% porque al momento de lavar se desprende la cascara del grano de cañihua y la mayor parte que se retira es la cascara y el grano queda al fondo.

Figura 44

Balace de Materia de la Obtención de Harina de Cañihua Germinada



ANEXO 5. PROCESO DE LA GERMINACIÓN DE LA CAÑIHUA ILLPA INIA

Figura 45

Recepción de la Cañihua Illpa INIA



Figura 46

Lavado y Desinfección de la Cañihua Illpa INIA



Figura 47

Remojo o Hidratación de la Cañihua Illpa INIA



Figura 48

Germinación de la Cañihua Illpa INIA



Figura 49

Cañihua Illpa INIA Germinada



Figura 50

Secado de la Cañihua Illpa



Figura 51

Molienda de la Cañihua Illpa INIA



Figura 52

Almacenamiento

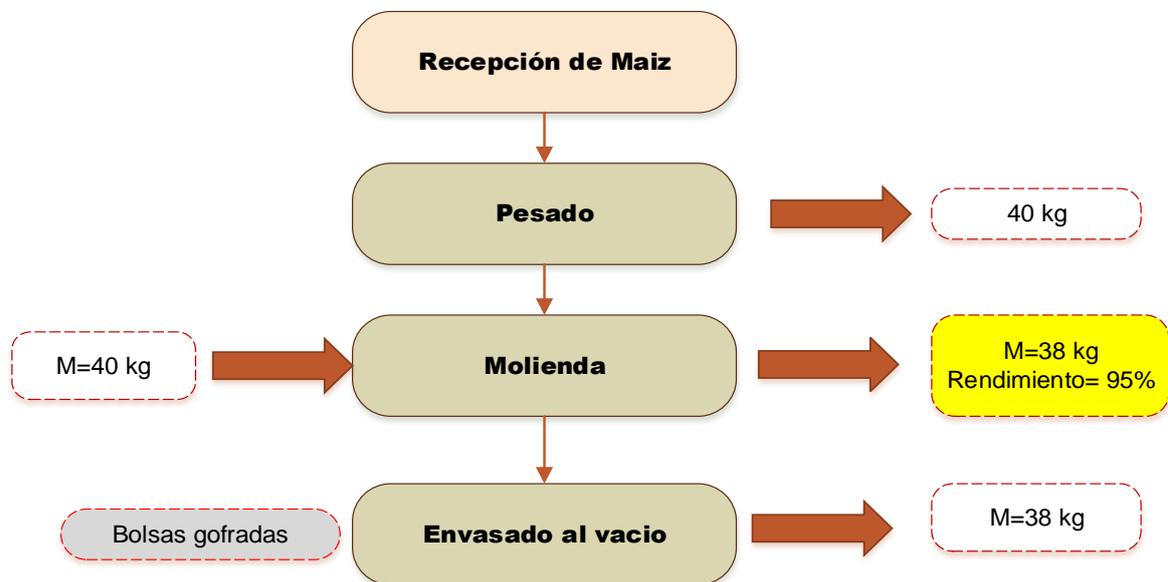


ANEXO 6. BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE GRITS DE MAÍZ

El proceso de obtención de grits de Maíz var. Morocho se desarrolló siguiendo los parámetros de Lázaro & Sotelo (2017). Del cual se obtuvo un rendimiento de 95% como se observa en la *figura 53* y ese 5% de pérdida de materia prima se debe por quedar restos en las paredes internas del equipo de Molienda y Tamizado.

Figura 53

Balance de Materia de la Obtención de Grits de Maíz



ANEXO 7. PROCESO DE OBTENCIÓN DE GRITS DE MAÍZ

Figura 54

Recepción de Maíz Morocho



Figura 55

Molienda del Maíz Morocho para obtención de grits



Figura 56

Envasado y almacenamiento



ANEXO 8. PROCESO DE EXTRUSIÓN DE LOS SNACKS A BASE DE QUINUA PASANKALLA, CAÑIHUA ILLPA INIA

Figura 57

Recepción de la Quinua Pasankalla, Cañihua Illpa y los grits de maíz



Figura 58

Pesado de las harinas germinadas y los grits de maíz



Figura 59

Acondicionamiento del extrusor doble tornillo



Figura 60

Extrusión del extruido



Figura 61

Secado de los extruidos obtenidos



Figura 62

Envasado al vacío y almacenamiento



ANEXO 9. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS HARINAS

9.1. Determinación de Humedad

Para la determinación del porcentaje de humedad en las harinas de quinua germinada, cañihua germinada y grits de maíz se sigue el Método de la AOAZ. 925.10, ya que dicho método se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento en una estufa hasta obtener el peso constante. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\%Humedad = \frac{(M - m) \times 100}{M}$$

Donde:

M= Peso inicial en gramos de la muestra

m= Peso en gramos del producto seco



9.2. Determinación de Cenizas

La determinación de cenizas de quinua germinada, cañihua germinada y grits de maíz se realizó mediante el Método de la AOAC 923.03, este método se basa en la incineración de la muestra a 600°C x 3h en una mufla para quemar todo el material orgánico, entonces al material inorgánico no destruido se le llama ceniza.

Previamente, se quema la materia en una cocina eléctrica. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\%Ceniza = \frac{(P1 - P2) \times 100}{P}$$

Donde:

P= Peso inicial en gramos de la muestra

P1= Peso en de la cápsula con las cenizas en gramos

P2= Peso de la cápsula vacía en gramos



9.3. Determinación de Grasas

Las grasas de las harinas germinadas de quinua y cañihua y los grits de maíz fueron determinadas según el Método de la AOAC 945.16, este método se basa en la extracción de la grasa con un solvente orgánico (Éter de petróleo) en el equipo extractor Soxhlet por 90 minutos. Previamente se seca la muestra en una estufa. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\%Grasa = \frac{(P1 - P2) \times 100}{P}$$

Donde:

P1= Peso del matraz con el extracto etéreo en gramos

P2= Peso del matraz vacío en gramos

P= Peso de la muestra empleada en gramos

9.4. Determinación de Proteínas

El alto contenido de proteínas de la harina de quinua germinada, cañihua germinada y grits de maíz se puede determinar usando el Método de la AOAC 960.52, o más conocido como el método de Miro-Kjeldahl, este método se basa en la destrucción orgánica por acción del ácido sulfúrico, obteniéndose así sulfato de amonio, el cual después es destilado a amoniaco. Los cálculos se realizan con un blanco o patrón y se cuantifica la diferencia gastada del titulante en la muestra. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\%Proteínas = \frac{(Gb - G) \times 0.014 \times N \times f \times 100}{m}$$

Donde:

Gb= Gasto en la muestra en blanco

G= Gasto en la muestra analizada

F= Factor de conversión (6.25)

N= Normalidad del hidróxido de titulación



9.5. Determinación de Fibra Dietaria Total e Insoluble en las Harinas

La determinación de Fibra total, fibra soluble e insoluble se realiza siguiendo el Método de la AOAC (2005), este método se basa que las muestras en duplicado secas y desgrasados son gelatinizadas con α -amilasa térmicamente estable y luego son digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidas para remover la proteína y el almidón. La fibra dietaria soluble es precipitada por la adición de etanol, entonces el residuo total se filtra, luego se lava, se seca y por último se pesa. Este residuo en duplicado se determina su proteína y en el otro, cenizas. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$\text{Fibra Total} = \text{Peso del residuo} - \text{Peso de la muestra (Proteína + cenizas)}$$



10. Determinación de Colorimetría

Se determinó la colorimetría las harinas de quinua germinada, harina de cañihua germinada y grits de maíz usando un espectrofotómetro Konica CM-5 evaluando el sistema CIE-L*a*b* y la variación de color ΔE se obtuvo de la siguiente ecuación:

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

Donde:

L= Luminosidad

a*= Cromasidad

b*= Angulo de Tonalidad

9.6. Determinación de Granulometría en las Harinas

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.

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

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



9.7. Determinación de Compuestos Fenólicos Solubles Totales

- **Fundamento**

Los TSPC se analizaron mediante la reacción Fast Blue BB (FBBB) según (Pico *et al.*, 2020) con ligeras modificaciones. 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 electrofilia aromática, se forma un azo complejo.

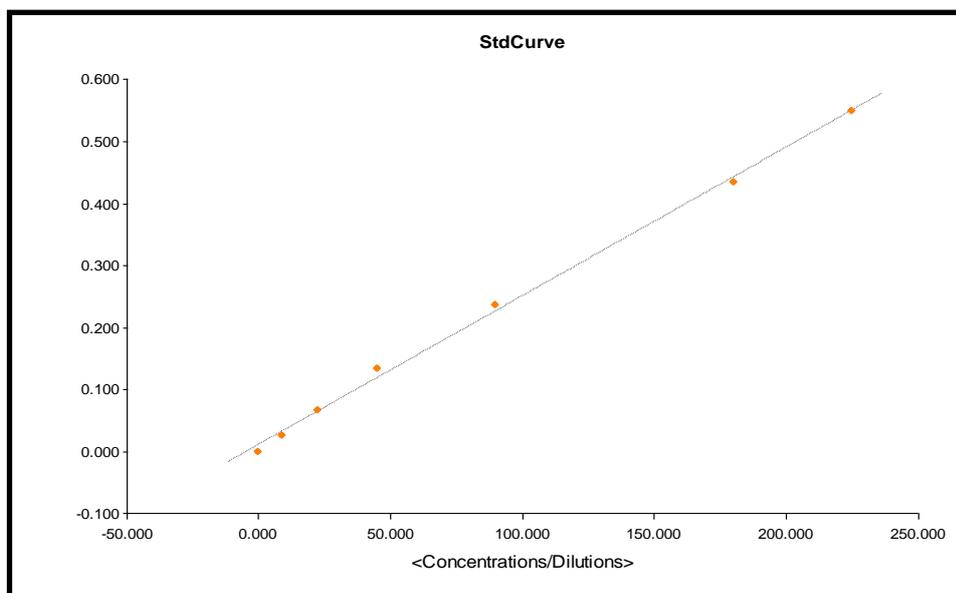
- **Procedimiento**

- 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).
- 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).

- 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 TPSC 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.

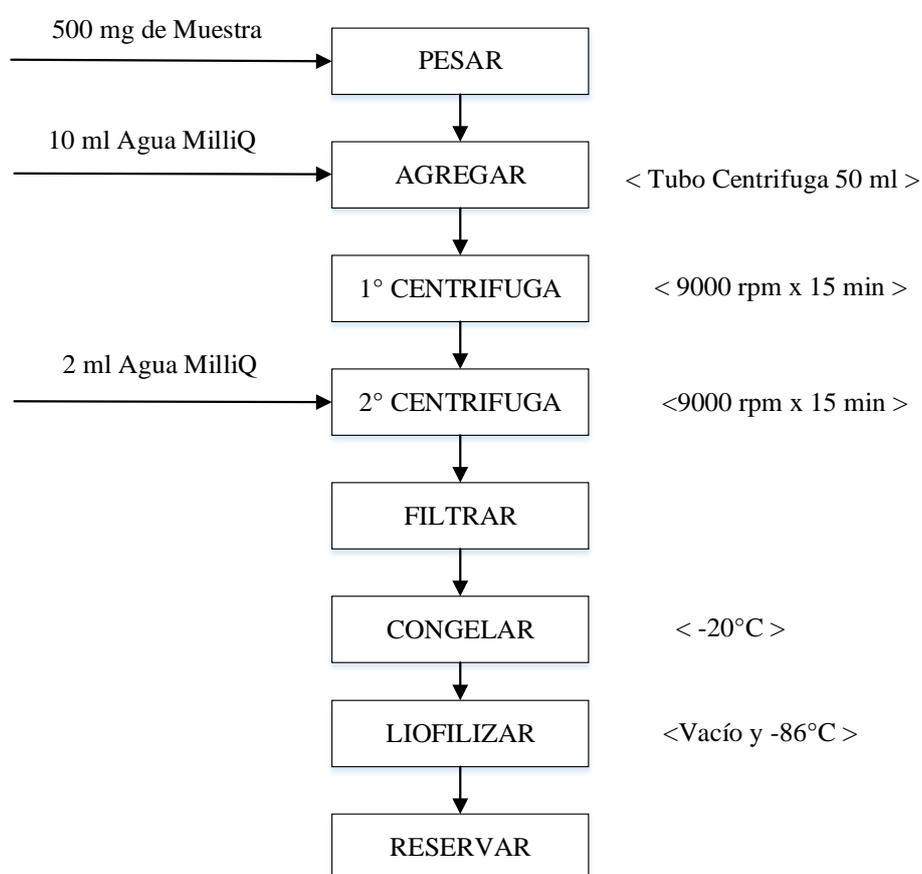
- **Curva de calibrado**



Nombre de la Curva	Formula de la Curva	A	B	R2
TPSC Curve	$Y=A*X+B$	0.0024	0.0111	0.998

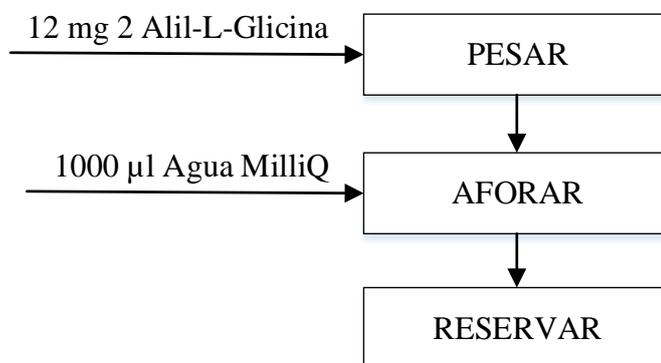
9.8.Determinación de Contenido de Ácido γ -aminobutírico (GABA)

- Preparación del extracto de la muestra

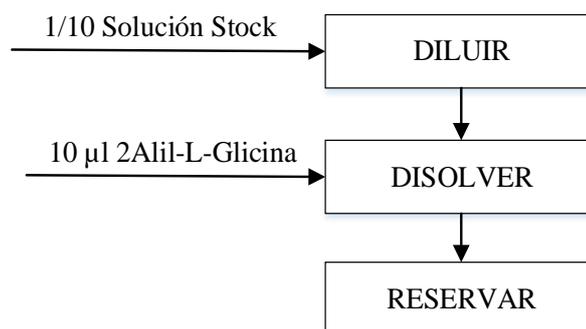


- **PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PARA LA DERIVATIZACION**

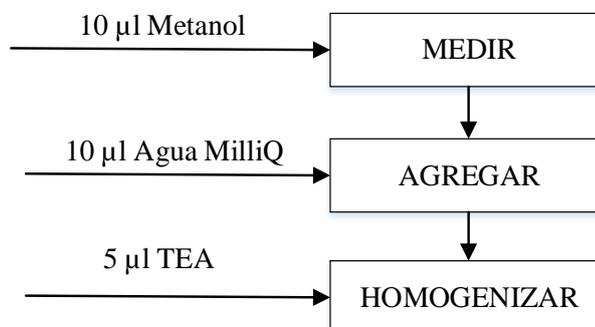
- **Solución stock de 2 Alil-L-Glicina**



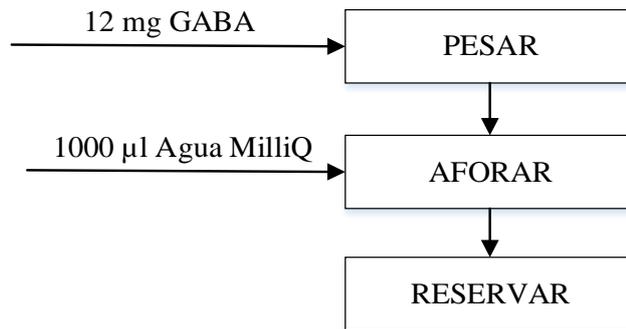
- **Solución de trabajo de 2 Alil-L-Glicina**



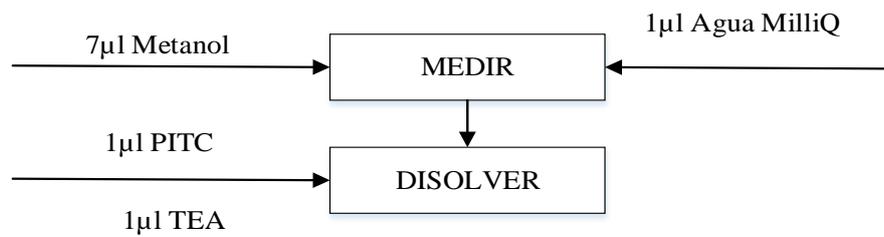
- **Reactivo Trietilamina (TEA)**



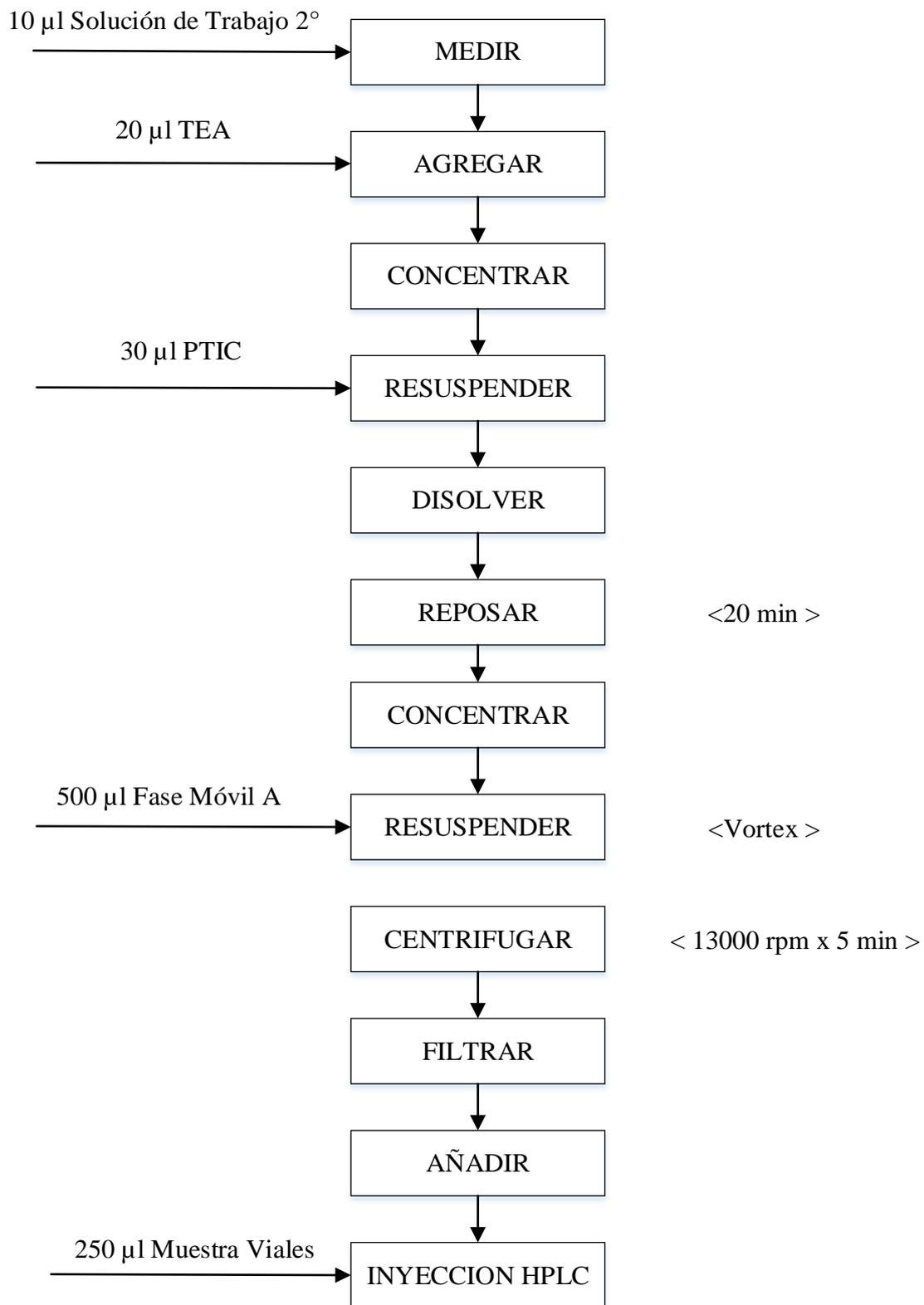
- **Solución stock de GABA**



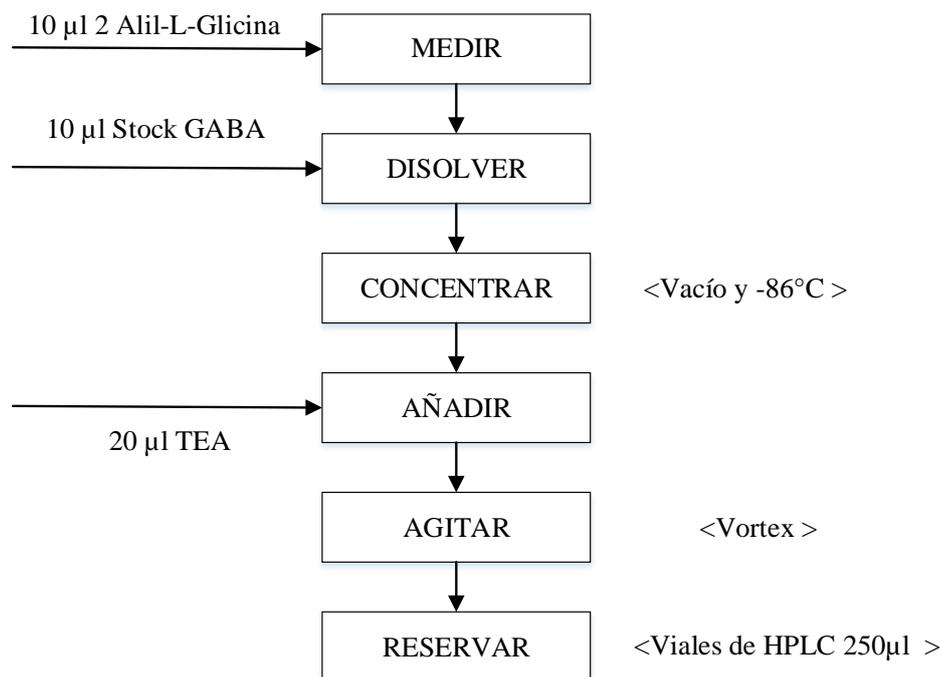
- **Preparación del reactivo de Fenilisotiocianato (PITC)**



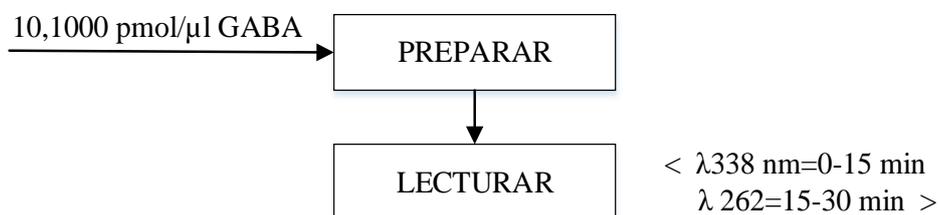
• **DERIVATIZACION DE LAS MUESTRAS de GABA**



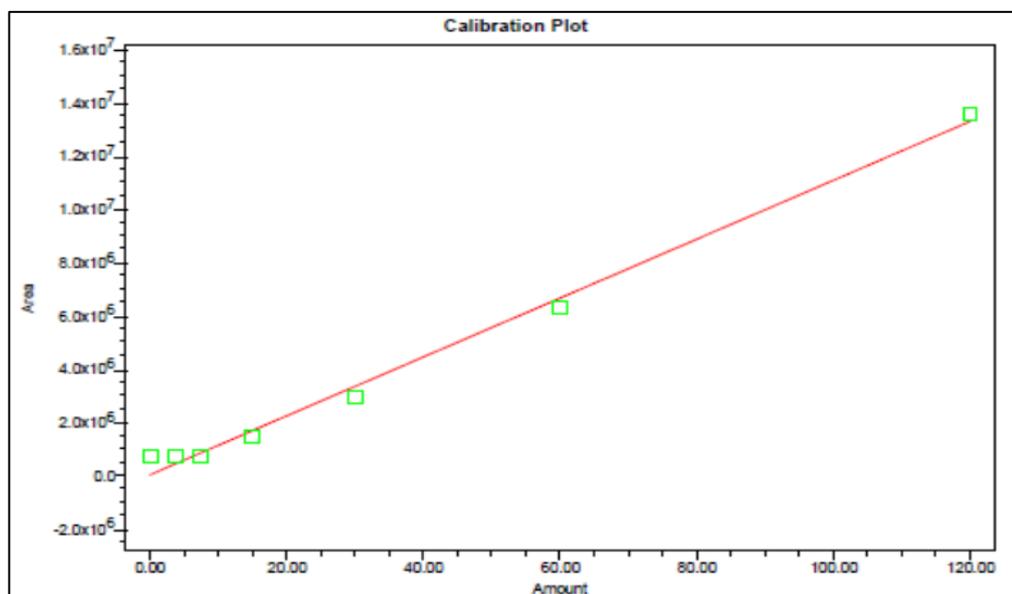
- **Derivatización de los patrones de GABA**



- **Curva de calibrado**



- **Curva de calibrado Trolox para la determinación de capacidad antioxidante**



9.9. Determinación de Capacidad Atrapadora de Radicales de Oxígeno (ORAC)

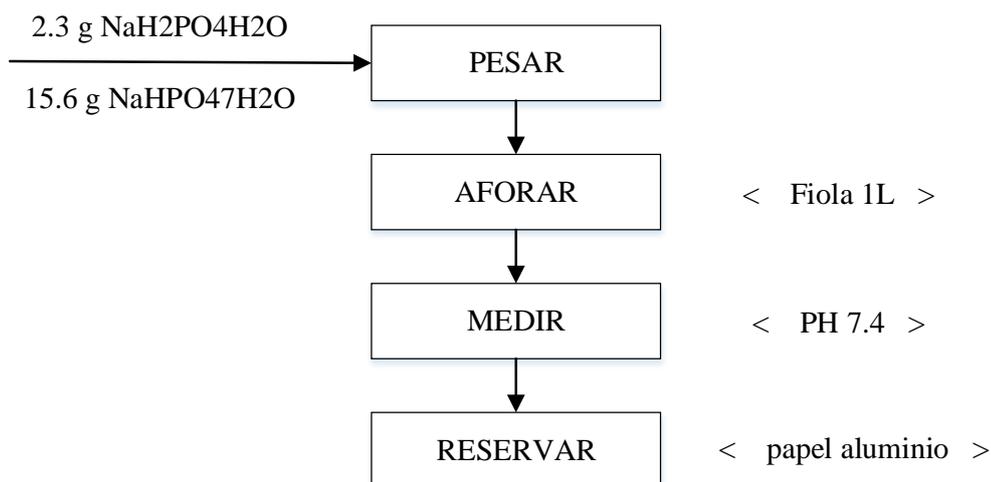
• Fundamento

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.

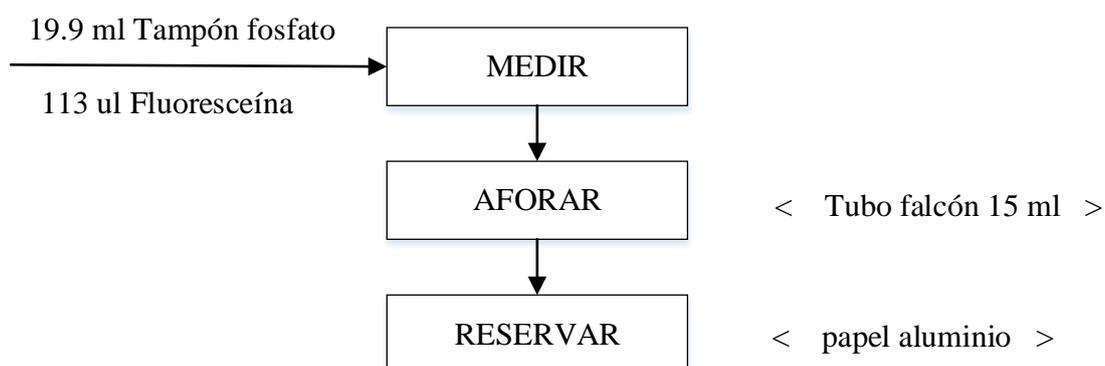
Se mide a partir del área de fluorescencia bajo la curva de la muestra en comparación del blanco, donde no hay presencia de antioxidante.

• Preparación de reactivos

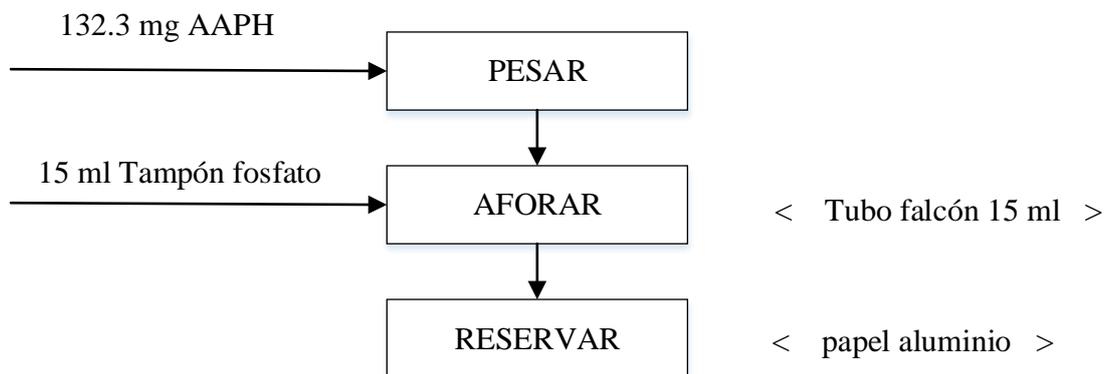
• Solución de Tampón Fosfato Sódico



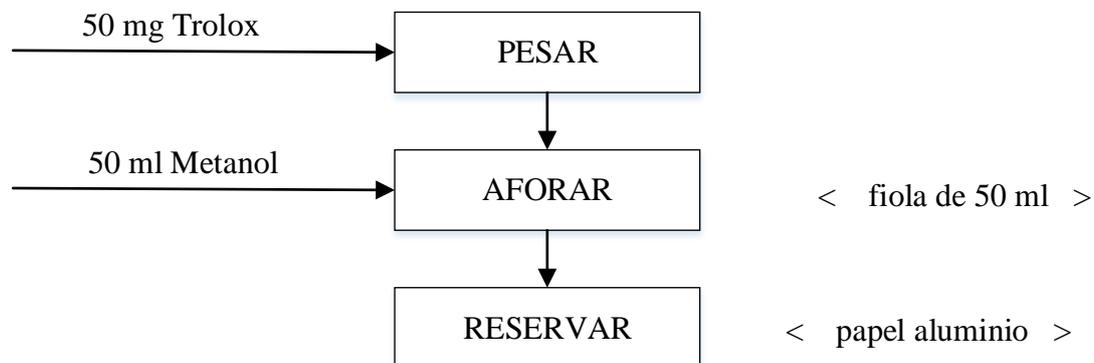
• Solución Fluoresceína



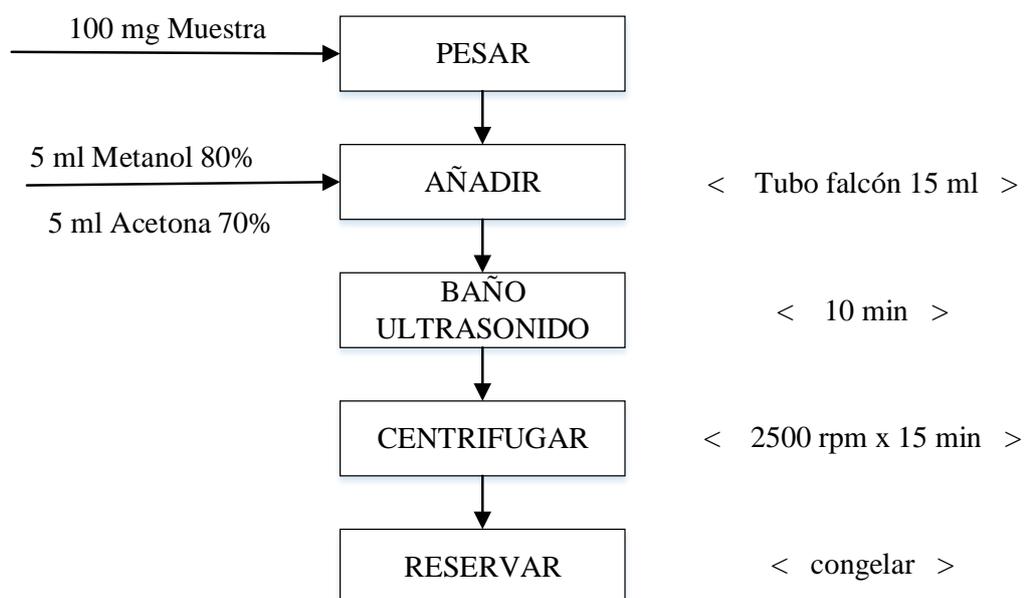
- **Solución AAPH**



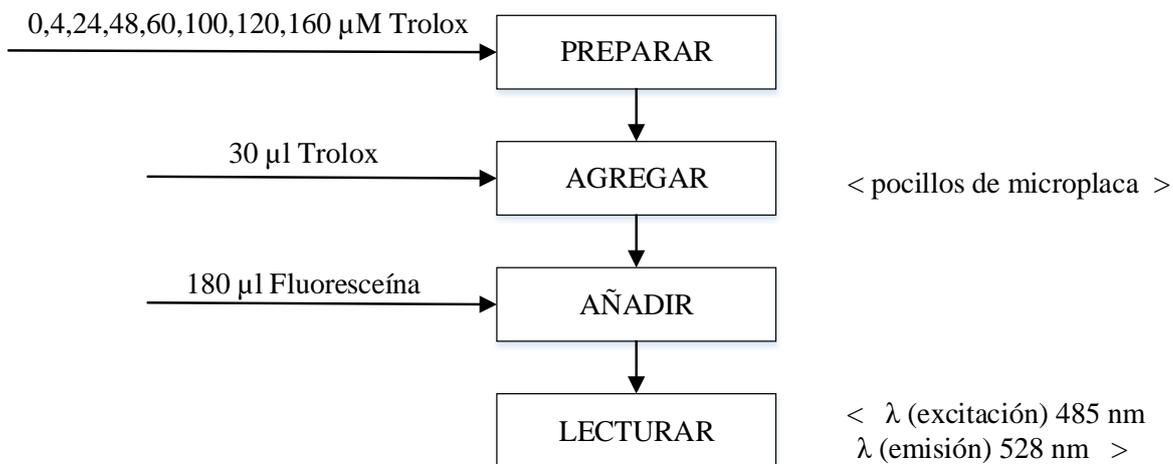
- **Solución Trolox**



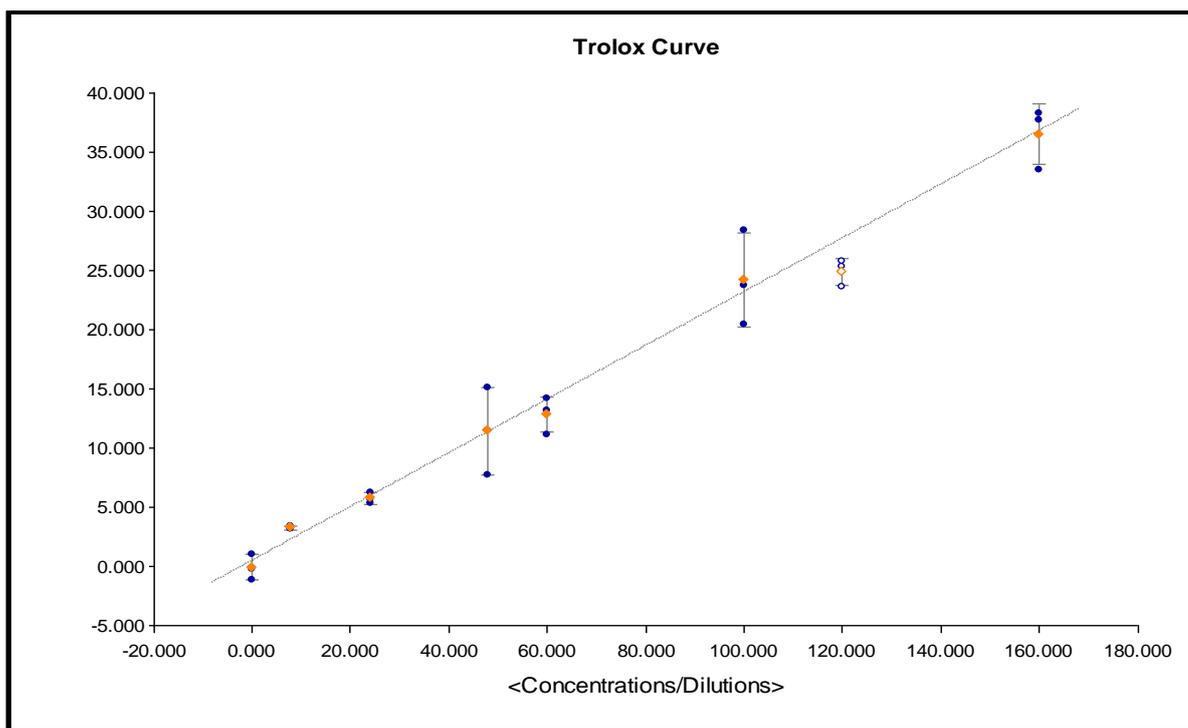
- **Preparación de muestras**



- **Preparación de Curva de Calibrado**

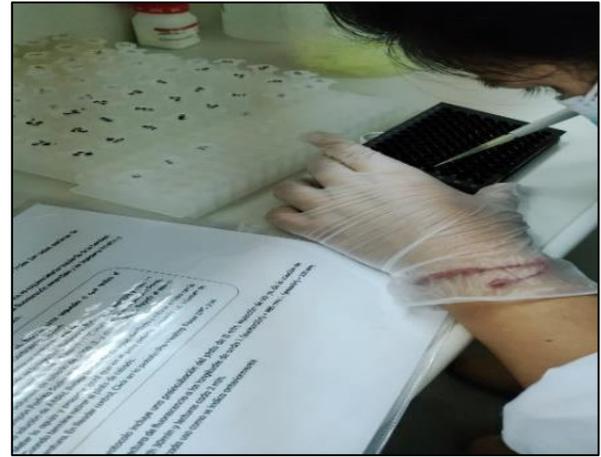
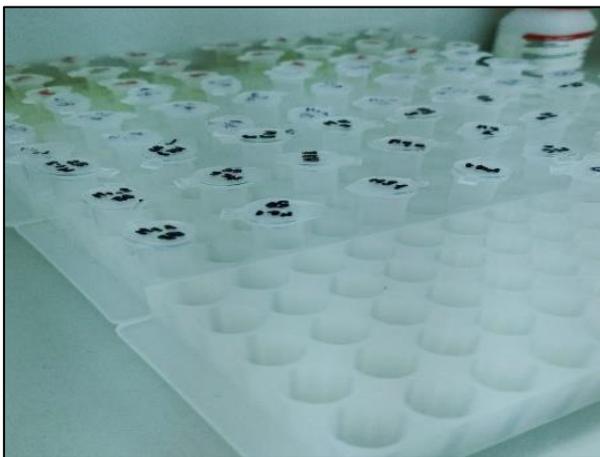
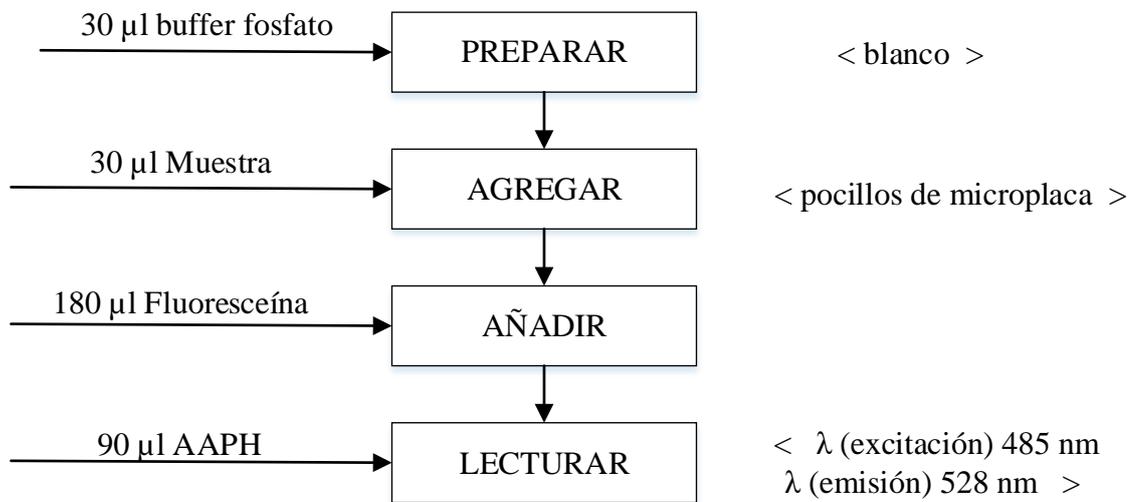


- **Curva de calibrado Trolox para la determinación de capacidad antioxidante**



Nombre de la Curva	Formula de la Curva	A	B	R2
Trolox Curve	$Y=A*X+B$	0.227	0.499	0.996

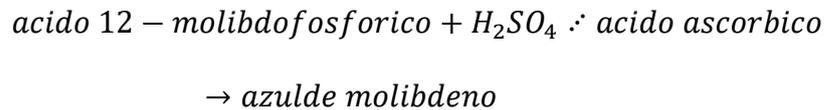
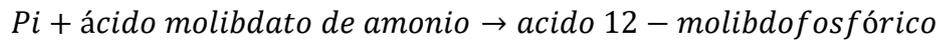
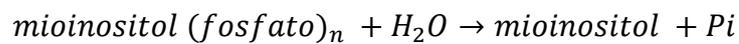
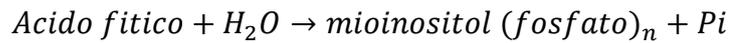
- **Lectura de muestras**



9.10. Determinación del Contenido de Ácido Fítico

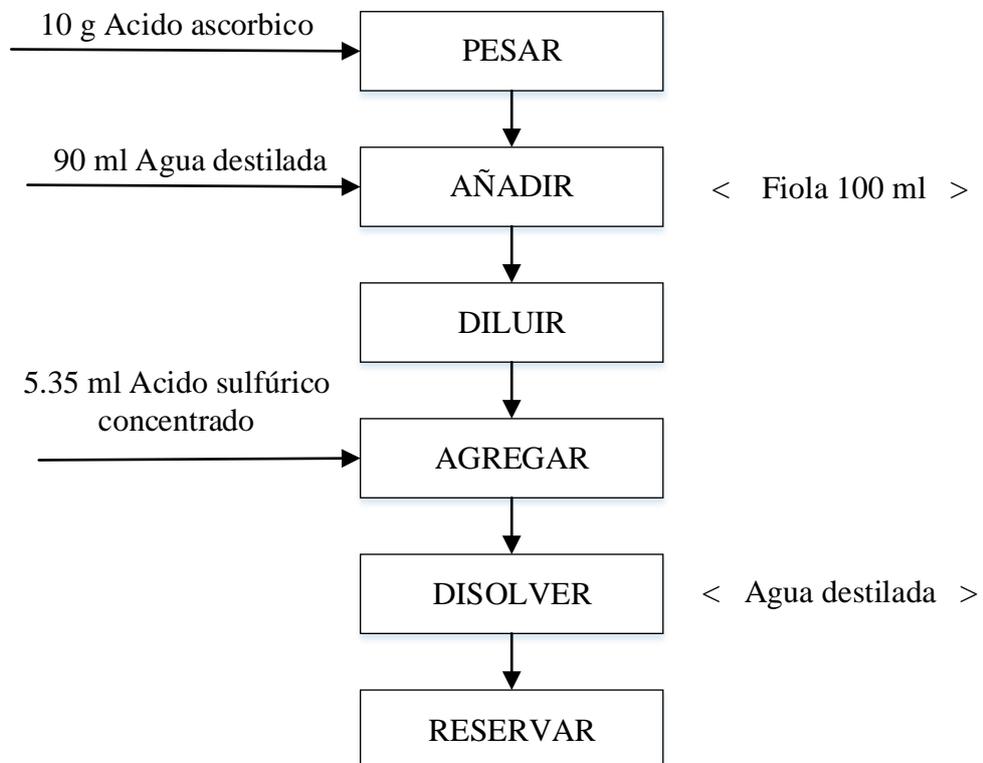
- **Fundamento**

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:

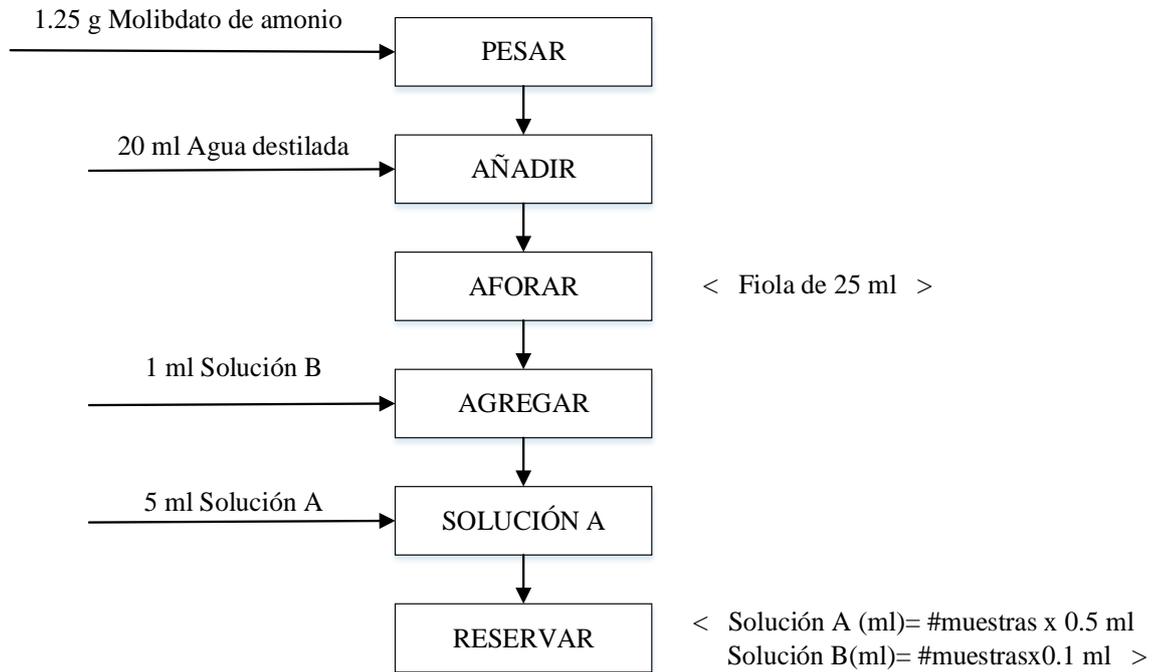


- **Preparación de reactivos**

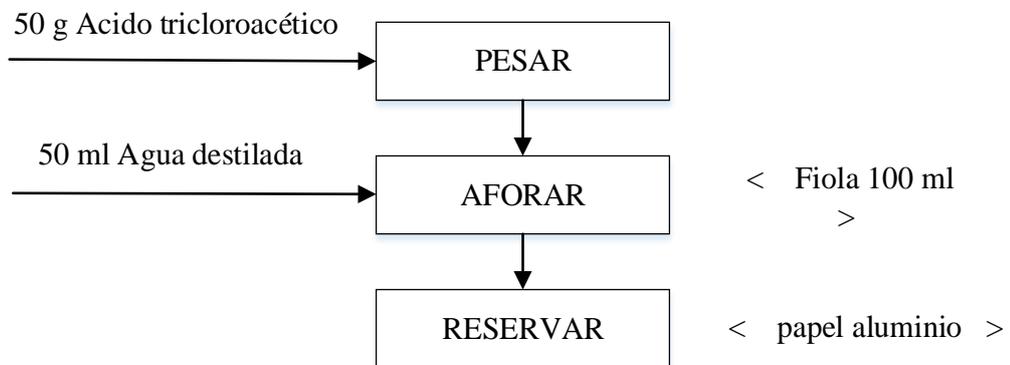
- **Solución de Ácido Ascórbico**



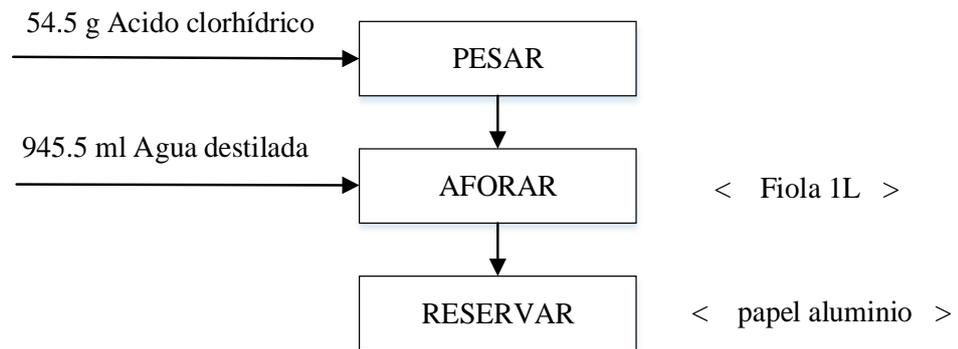
- **Solución de Molibdato de amonio**



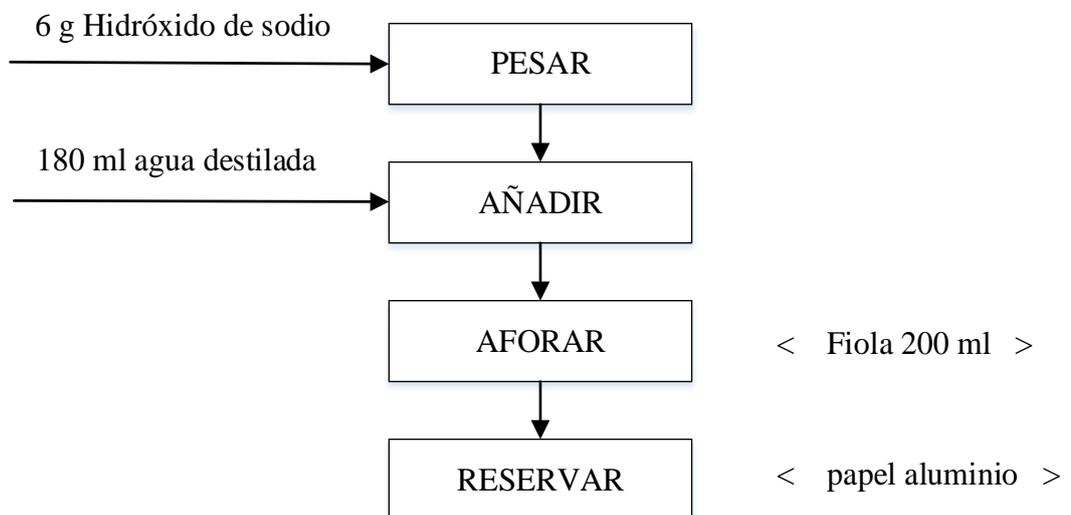
- **Solución Acido Tricloroacético**



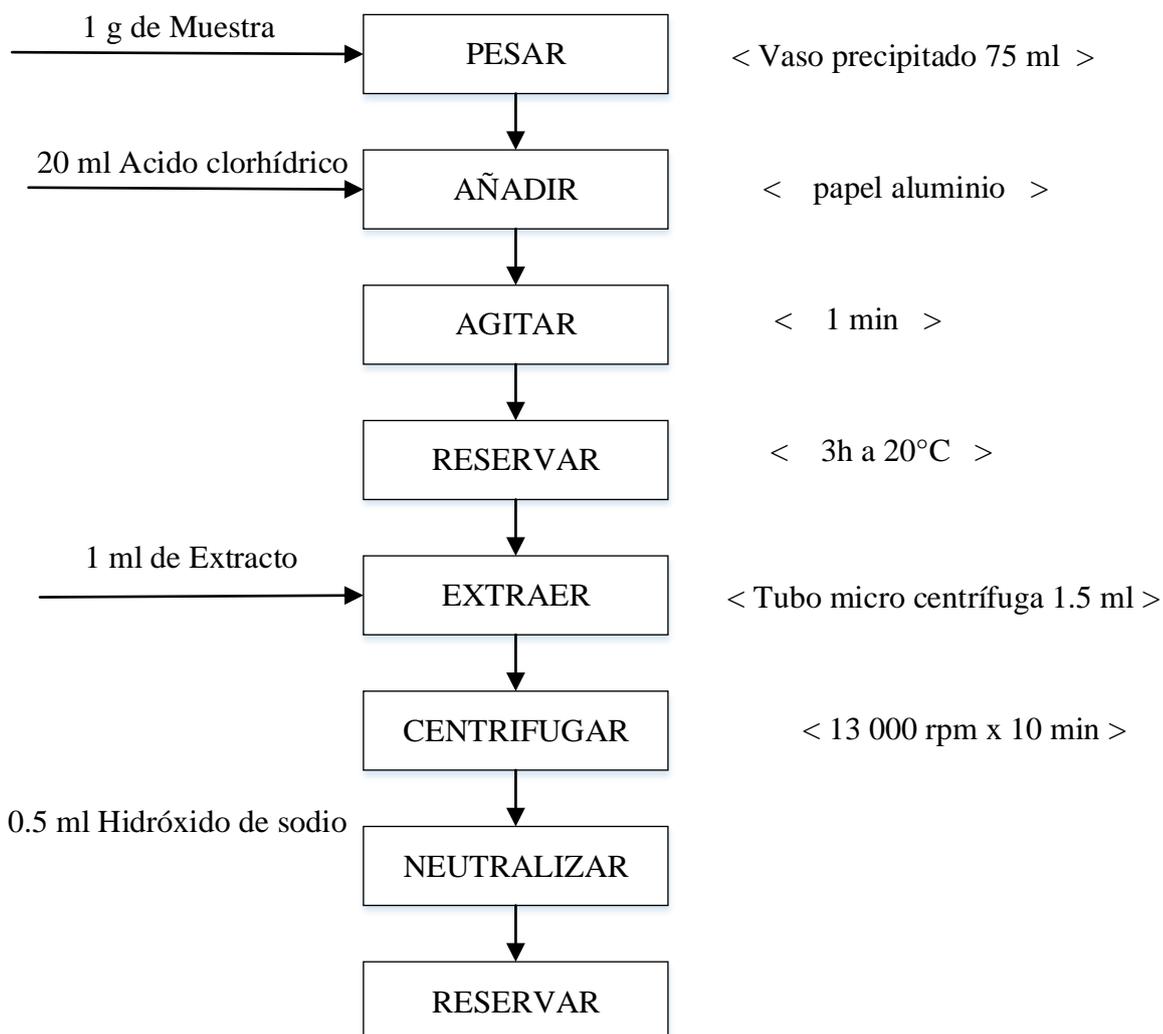
- **Solución Ácido Clorhídrico**



- **Solución Hidróxido de sodio**



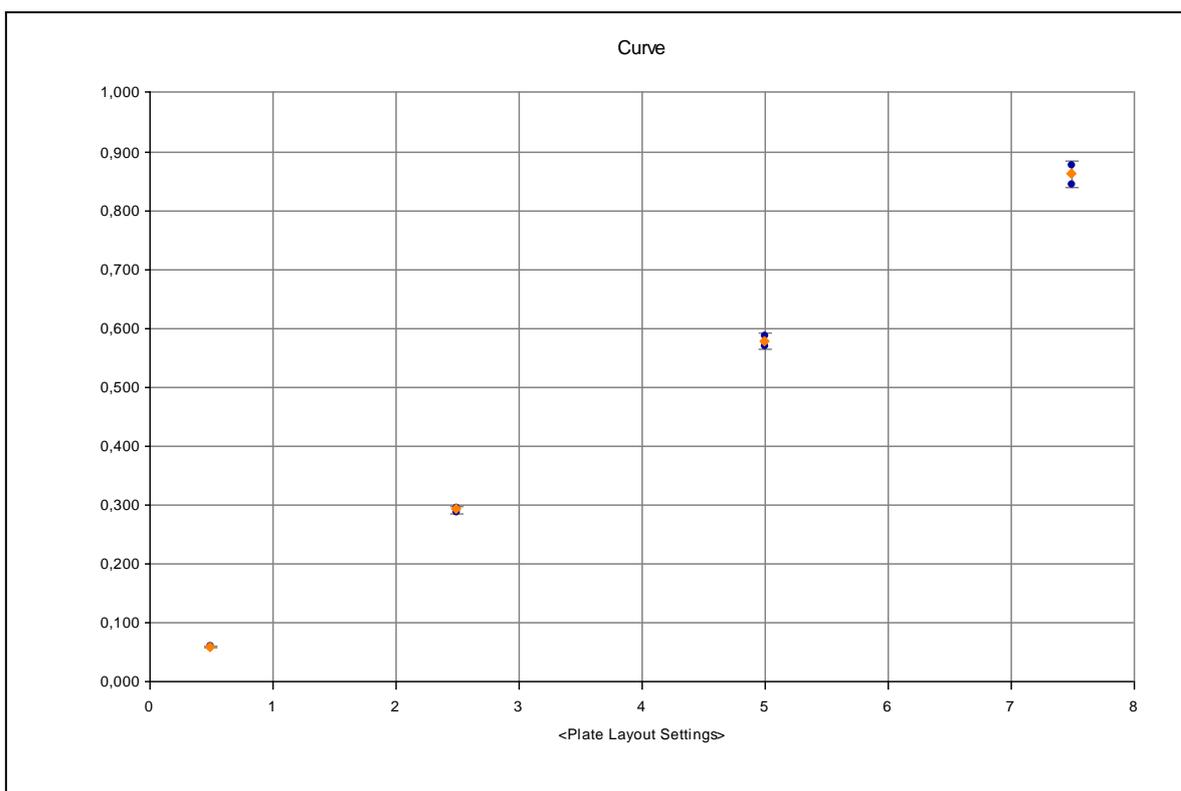
- **Preparación de Muestras**



- **Preparación de Curva de Calibrado de Fósforo**

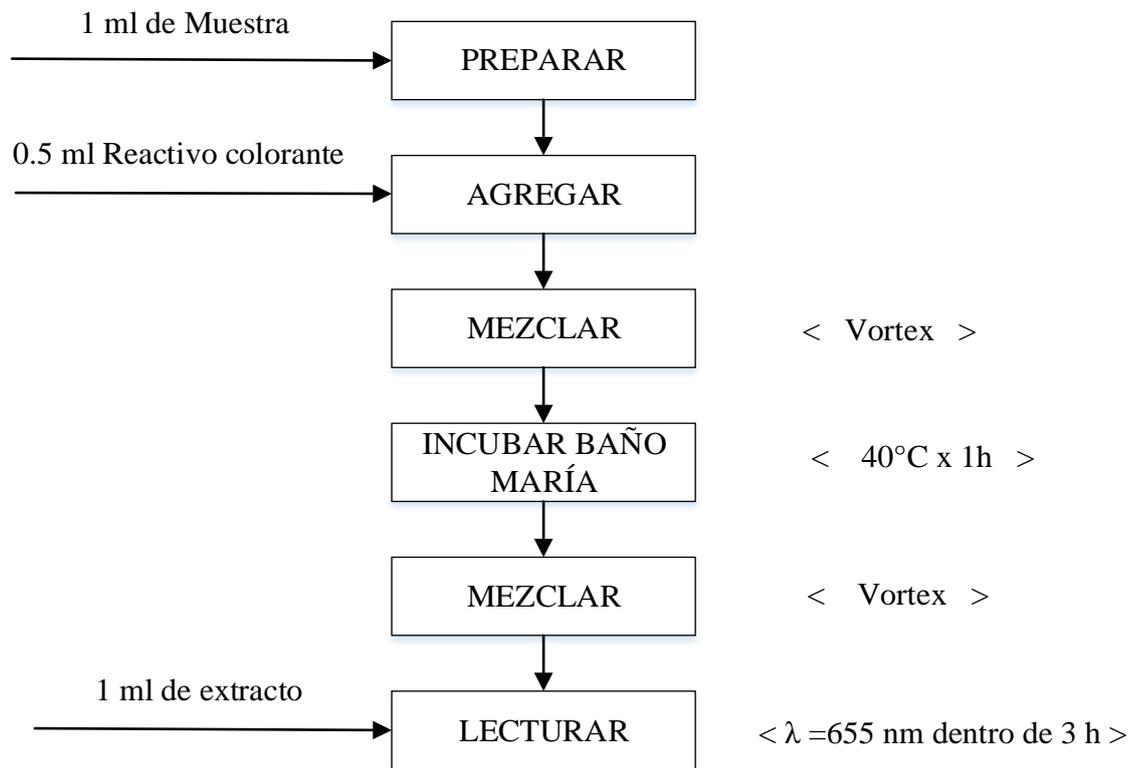
CONCENTRACIONES	STD 0 (0 MG)	STD 1 (0.5 MG)	STD 2 (2.5 MG)	STD 3 (5 MG)	STD 4 (7.5 MG)
Agua destilada	5.00 mL	4.95 mL	4.75 mL	4.50 mL	4.25 mL
Solución estandar de fosforo (Solución total de 5 mL)	-	0.05 mL	0.25 mL	0.50 mL	0.75 mL
	5.00 mL	5.00 mL	5.00 mL	5.00 mL	5.00 mL

- **Curva de calibrado de Fósforo para la determinación de Ácido Fítico**



Nombre de la Curva	Formula de la Curva	A	B	R2
Fosforo Curve	$Y=A*X+B$	0.115	0.00378	1

- **Lectura de muestras**



ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DEL EXTRUIDO ÓPTIMO

NOMBRE: _____ EDAD: _____

FECHA: _____

INSTRUCCIONES: Ud. Está recibiendo 2 muestras de SNACK. Por favor indique en base a la escala siguiente si le gustó o disgustó el producto; escriba el código y el puntaje de evaluación correspondiente en el cuadro de la parte inferior.

PUNTAJE	CATEGORÍA	PUNTAJE	CATEGORÍA
1	Odié	4	Me gustó
2	No me gusto	5	Me encantó
3	Indiferente		

MUESTRA	PUNTAJE PARA ACEPTACIÓN GENERAL

EVALUACIÓN DE ÍNDICE DE COMPRA DEL EXTRUIDO ÓPTIMO

NOMBRE: _____ EDAD: _____

FECHA: _____

INSTRUCCIONES: Ud. Está recibiendo 2 muestras de SNACK. Por favor indique en base a la escala siguiente si lo compraría o no lo compraría; escriba el código y el puntaje de evaluación correspondiente en el cuadro de la parte inferior.

PUNTAJE	CATEGORÍA	PUNTAJE	CATEGORÍA
1	Con certeza no lo compraría	4	Posiblemente lo compraría
2	Posiblemente no lo compraría	5	Con certeza lo compraría
3	Talvez compraria / talvez no compraria		

MUESTRA	PUNTAJE PARA INTENCIÓN DE COMPRA

ANEXO 10. 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	(R² 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)	1.92521	0.137947	13.95618	0.000001	1.66869	2.181728
(B)	0.94427	0.116958	8.08214	0.000041	0.72778	1.162763
(C)	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	(R2 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 Maíz	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. Cañihua 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	980.2324	11	89.1120			
Adjusted						
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 Maíz	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. Cañihua 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

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	73048.61	11	6640.78			
Adjusted						
R ²	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 Maíz	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. Cañihua 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. Cañihua 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			
R ²	0.9152	(R ² 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. Cañihua 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			
R ²	0.9837	(R ² 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 Maíz	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. Cañihua 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			
R ²	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. Cañihua 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			
R²	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 maíz	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. Cañihua 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 11. 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	9139.541	4	2284.885	62.42026	3.76098	0.000015
Residual	231.602	5	11.0258			
Total Adjusted	9395.775	11	854.1614			
R²	0.9727	(R ² ajustado = 95.71)				

- Coeficiente de regresión para Capacidad antioxidante (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	20.696	5.2037	3.97723	0.005343	8.391	33.001
(B)H. Quinoa germinada	77.760	5.2037	14.94317	0.000001	65.455	90.064
(C)H. Cañihua germinada	118.911	4.7554	25.00565	0.000000	107.666	130.155
AB	-50.839	28.6895	-1.77205	0.119677	-118.679	17.001
ABC	-469.321	126.2458	-3.71752	0.007480	-767.845	-170.797

B) COMPUESTOS BIOACTIVOS (TPSC)

- Análisis de varianza para compuestos bioactivos en extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	2951906	3	983968.8	62.48878	4.8686	0.000007
Residual	117899	6	19649.8			
Total						
Adjusted	3077877	11	279807.0			
R ²	0.9591	(R ² ajustado = 9437)				

- Coeficiente de regresión para compuestos bioactivos (con exclusión)

	Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	26.08	96.872	0.26923	0.794566	-197.3	249.468
(B)H. Quinoa germinada	877.41	96.872	9.05746	0.000018	654.0	1100.801
(C)H. Cañihua germinada	1970.41	96.872	20.34040	0.000000	1747.0	2193.801
ABC	-6003.82	2359.155	-2.54490	0.034447	-11444.0	-563.598

C) CONTENIDO DE ÁCIDO FITICO

- Análisis de varianza para contenido de ácido fítico en extruidos

	SS	df	MS	Fcal	Ftab	p
Regresión	5.013651	4	1.253413	18.88824	7.27795	0.00074
Residual	0.440316	5	0.088063			
Total	5.478167	11	0.498015			
Adjusted						
R ²	0.9152	(R ² ajustado = 86.68)				

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

	Coeff.	Std.Err.	t(8)	p	-95.% - Cnf.Limt	+95.% - Cnf.Limt
(A)Grits de Maiz	2.8932	0.221561	13.05841	0.000004	2.3693	3.41714
(B)H. Quinoa germinada	4.6799	0.221561	21.12241	0.000000	4.1560	5.20381
(C)H. Cañihua germinada	5.3647	0.202472	26.49604	0.000000	4.8859	5.84348
ABC	2.1132	1.221534	1.73000	0.127251	-0.7752	5.00172



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:

“DESARROLLO DE UN EXTRUIDO SALUDABLE A PARTIR DE HARINAS DE QUINUA Y CAÑIHUA GERMINADAS CON ADICIÓN DE MAIZ”

De la estudiante: Lavado Cruz Alicia Anais

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. Lavado Cruz Alicia Anais, 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:

“DESARROLLO DE UN EXTRUIDO SALUDABLE A PARTIR DE HARINAS DE QUINUA Y CAÑIHUA GERMINADAS CON ADICIÓN DE MAIZ”

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: Lavado Cruz Alicia Anais

DNI: 71397624

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.