

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**EVALUACION DEL GRANO PERLADO EN SECO-HUMEDO Y EXPANDIDO
POR EXPLOSION EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES, FISICO Y
QUIMICO PROXIMAL DE DOS VARIEDADES DE QUINUA ORGANICA**
(Chenopodium quinoa Willd)

PRESENTADO POR:

Br. MELANIA CHOQUEHUANCA CCAPATINTA

Br. EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ASESORA:

Dra. MIRIAM CALLA FLOREZ

CUSCO - PERÚ

2025

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por resolución NroCU-321-2025 UNSAAC)

El que suscribe, la Asesora MIRIAM CALLA FLOREZ
..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de
investigación/tesis titulada: EVALUACION DEL GRANO PERLADO EN SECO: HORNEADO Y EXPANDIDO
POR EXPLOSION EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES, FISICO Y QUIMICO PROXIMAL DE DOS
VARIETADES DE QUINUA ORGANICA (Chenopodium quinoa Willd.)
Presentado por: Bach. MELANJA CHOQUEHUANCA CAPATINTA DNI N° 47121858
Presentado por: Bach. EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI DNI N° 47438530
Para optar el título Profesional /Grado académico de INGENIERO AGROINDUSTRIAL

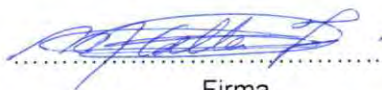
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el software de similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para el Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (x)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de investigación para que tome las acciones correspondientes; sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de Febrero de 2026



Firma

Post firma Miriam Calla Florez

Nro. De DNI 24714509

ORCID del Asesor 000-0003-0592-6454

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el Sistema de Antiplagio.
2. Enlace de Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud:
oid: 2725955368374

MELANIA CHOQUEHUANCA CCAPATINTA Y EDITH ... EVALUACION DEL GRANO PERLADO EN SECO-HUMEDO Y EXPANDIDO POR EXPLOSION EN LAS PROPIEDADES FUNCIO...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:556368374

Fecha de entrega

12 feb 2026, 5:39 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 feb 2026, 5:43 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACION DEL GRANO PERLADO SECO-HUMEDO Y EXPANDIDO POR EXPLOSION EN LAS PROPI....pdf

Tamaño del archivo

6.3 MB

153 páginas

31.763 palabras

184.670 caracteres




7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
DEDICATORIA	9
AGRADECIMIENTO	11
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
I PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción de la realidad Problemática	15
1.1.1 <i>Formulación de Problema</i>	17
1.1.2 <i>Objetivos de la Investigación</i>	18
1.2. Justificación del Estudio	19
II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	21
2.1 Antecedentes de la Investigación: Internacionales, Nacionales y Locales.....	21
2.2 Base Teórica	25
2.2.1 <i>Quinua</i>	25
2.2.2 <i>Taxonomía de la Quinua (chenopodium quinua willd)</i>	26
2.2.3 <i>Variedades de Quinua</i>	27
2.2.4 <i>Composición Nutricional de la Quinua</i>	28
2.2.5 <i>Propiedades Funcionales de la Quinua</i>	29
2.2.6 <i>Perlado de Quinua</i>	37
2.2.7 <i>Expansión por Explosión</i>	39
2.2.8 <i>Descripción de la Operatividad del Equipo Cañón Manual de Disparo Simple</i> 48	49
2.2.9 <i>Proceso Tecnológico de Expansión de la Quinua</i>	49
2.3 Marco Conceptual.....	50
III HIPÓTESIS Y VARIABLES	52
3.1 Hipótesis de la Investigación.....	52
3.2 Identificación de Variables e Indicadores	53

IV	MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	55
4.1	Lugar de Investigación.	55
4.1.1	<i>Análisis de Laboratorio</i>	55
4.2	Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación	56
4.3	Unidad de Estudio	58
4.4	Unidad experimental.....	58
4.5	Materiales, Equipos e Instrumentos.....	58
4.5.1	<i>Proceso del grano perlado Seco-Húmedo</i>	60
4.5.2	<i>Obtención del Grano Expandido por Explosión</i>	61
4.6	Determinación de la Capacidad Antioxidante	64
4.7	Determinación de Compuestos Fenólicos	64
4.7.1	<i>Procedimiento:</i>	65
4.8	Propiedades Físicas.....	65
4.8.1	<i>Determinación de la Gravedad Específica.</i>	66
4.8.2	<i>Determinación de la Densidad Aparente</i>	66
4.8.3	<i>Determinación de la Porosidad</i>	66
4.9	Propiedades Químicas Proximales	67
4.9.1	<i>Determinación de Humedad</i>	67
4.9.2	<i>Determinación de Proteína</i>	67
4.9.3	<i>Determinación de Grasa</i>	67
4.9.4	<i>Determinación de Ceniza</i>	68
4.9.5	<i>Determinación de Fibra</i>	68
4.9.6	<i>Determinación de Carbohidratos</i>	68
4.10	Técnicas de Procesamiento de Información	69
4.11	Diseño Experimental	69
4.12	Matriz Experimental	70
V	RESULTADOS Y DISCUSIONES	71
5.1	Evaluación y comparación del proceso de perlado seco húmedo en las propiedades funcionales y químico proximal(<i>chenopodium quinoa willd</i>).....	71
5.1.1	<i>Propiedad Funcional de la Quinoa Perlada (chenopodium quinoa willd).</i>	71
5.1.2	<i>Propiedad Químico Proximal de la Quinoa Perlada (chenopodium quinoa willd)</i>	

5.2	Propiedades Funcionales del Expandido de Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.....	72
5.2.1	<i>Compuesto Fenólico del expandido de la quinua orgánica</i>	72
5.2.2	<i>Análisis de Varianza para Compuestos Fenólicos - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	73
5.2.3	<i>Capacidad Antioxidante de la quinua orgánica</i>	74
5.2.4	<i>Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	75
5.2.5	<i>Discusión de los Resultados de las Propiedades Funcionales de la Quinua Expandida</i>	75
5.3	Propiedades Físicas del Expandido de Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.....	77
5.3.1	<i>Porosidad del Expandido de Quinua Orgánica</i>	77
5.3.2	<i>Análisis de Varianza para Porosidad (ANOVA)</i>	78
5.3.3	<i>Densidad Aparente del expandido de quinua orgánica</i>	78
5.3.4	<i>Análisis de Varianza para Densidad Aparente (ANOVA)</i>	79
5.3.5	<i>Gravedad Específica del Expandido de Quinua Orgánica</i>	80
5.3.6	<i>Análisis de Varianza para Gravedad Específica (ANOVA)</i>	81
5.3.7	<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Gravedad por Variedad de Quinua</i>	82
5.3.8	<i>Discusión de las Propiedades Físicas de la Quinua Expandidas</i>	83
5.4	Propiedad Químico Proximal del Expandido de Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.....	85
5.4.1	<i>Humedad del Expandido de la quinua orgánica</i>	85
5.4.2	<i>Análisis de Varianza para Humedad (ANOVA)</i>	86
5.4.3	<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Presión</i>	87
5.4.4	<i>Proteína del expandido de quinua orgánica</i>	88
5.4.5	<i>Grasa del expandido de quinua orgánica</i>	91
5.4.6	<i>Ceniza del expandido de quinua orgánica</i>	93
5.4.7	<i>Análisis de Varianza para Ceniza (ANOVA)</i>	93
5.4.8	<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Ceniza por Presión</i>	94
5.4.9	<i>Resultados y discusión para la fibra de la quinua expandida</i>	95
5.4.10	<i>Análisis de Varianza para Fibra - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	96
5.4.11	<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra por Presión</i>	97
5.4.12	<i>Carbohidratos de la expandida quinua orgánica</i>	98

5.4.13	<i>Análisis de Varianza para Carbohidratos - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	99
5.4.14	<i>Pruebas de Múltiple Rangos para Carbohidratos por Variedad de Quinoa</i> ...	100
5.4.15	<i>Discusión sobre las propiedades químico proximal de la quinua expandido</i> .	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACION		103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		105
ANEXOS		109
Anexo 1: Matriz de consistencia.....		109
Anexo2: Panel Fotográfico		111
Anexo 3.-Certificados.....		118
Anexo 4: Otros.....		127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición Físico Químico de la Quinua Amarilla</i>	27
Tabla 2 <i>Composición Físico Químico de la Quinua Negra Collana</i>	28
Tabla 3 <i>Composición Químico Proximal de la Quinua</i>	29
Tabla 4 <i>Contenido de Fenoles Totales en dos Variedades de Grano de Chenopodium Quinoa Willd (Quinua) Ayacucho.</i>	30
Tabla 5 <i>Capacidad Antioxidante de las Dos Variedades de Grano de Chenopodium quinoa Willd. “quinua” según los métodos DPPH. Ayacucho</i>	32
Tabla 6 <i>Propiedades Físicas de la Quinua Expandidas</i>	34
Tabla 7 <i>Propiedades Químico Proximal</i>	35
Tabla 8 <i>Contenido de Saponina en Distintas Variedades de Quinua</i>	38
Tabla 9 <i>Condiciones del Expandido de Materias Primas a 3200 m.s.n.m.</i>	40
Tabla 10 <i>Propiedad Químico Proximal del Expandido de Quinua (%H15y 160psi)</i>	45
Tabla 11 <i>Requisitos Químico Proximal del Expandido de Quinua</i>	45
Tabla 12 <i>Operacionalizacion de Variables</i>	54
Tabla 13 <i>Análisis Experimental de la Investigación</i>	57
Tabla 14 <i>Condiciones del expandido de la quinua orgánica</i>	63
Tabla 15 <i>Matriz Experimental</i>	70
Tabla 16 <i>Propiedad Funcional de los Grano de la Quinua orgánica</i>	71
Tabla 17 <i>Propiedad Químico Proximal de la quinua</i>	72
Tabla 18 <i>Compuestos Fenoles (mg ácido gálico/g)</i>	72
Tabla 19 <i>Análisis de Varianza para Compuestos Fenólicos - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	73
Tabla 20 <i>Capacidad Antioxidante</i>	74
Tabla 21 <i>Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	75
Tabla 22 <i>Porosidad</i>	77
Tabla 23 <i>Análisis de varianza para porosidad - suma de cuadrados tipo III</i>	78
Tabla 24 <i>Densidad Aparente</i>	78
Tabla 25 <i>Análisis de varianza para densidad-suma de cuadrados tipo III</i>	79
Tabla 26 <i>Gravedad Especifica</i>	80
Tabla 27 <i>Análisis de Varianza para Gravedad - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	81
Tabla 28 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	82
Tabla 29 <i>Humedad</i>	85
Tabla 30 <i>Análisis de Varianza para Humedad - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	86

Tabla 31 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	87
Tabla 32 <i>Proteína</i>	88
Tabla 33 <i>Análisis de Varianza para Proteína</i>	89
Tabla 34 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	90
Tabla 35 <i>Grasa</i>	91
Tabla 36 <i>Análisis de varianza para grasa ANOVA</i>	92
Tabla37 <i>Ceniza</i>	93
Tabla 38 <i>Análisis de Varianza para Ceniza - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	93
Tabla 39 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	94
Tabla 40 <i>Fibra</i>	95
Tabla 41 <i>Análisis de Varianza para Fibra-Suma de Cuadrados Tipo III</i>	96
Tabla 42 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	97
Tabla 43 <i>Carbohidrato</i>	98
Tabla 44 <i>Análisis de Varianza para Carbohidratos - Suma de Cuadrados Tipo III</i>	99
Tabla 45 <i>Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD</i>	100
Tabla 46 <i>Relación de humedad y tiempo de expandido segun antecedentes</i>	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Morfología del grano</i>	26
Figura 2 <i>Compuestos Fenólicos de la Quinua Blanca, Roja y Negra Collana</i>	31
Figura 3 <i>Proceso de Expansión de Granos y Cereales</i>	39
Figura 4 <i>Equipo de Expandido por Explosión</i>	48
Figura 5 <i>Identificación de Variables e Indicadores</i>	53
Figura 6 <i>Ubicación del Lugar de Ejecución</i>	55
Figura 7 <i>Diagrama del Flujo del Perlado de Quinua Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana</i>	60
Figura 8 <i>Diagrama de Flujo de Expandido por Explosión de Quinua Orgánica Perlado</i>	62
Figura 9 <i>Interacción de tukey</i>	74
Figura 10 <i>Medias y 95% de Tukey</i>	82
Figura 11 <i>Medias y 95% de Tukey</i>	87
Figura 12 <i>Media y 95% de Tukey Proteína y Variedad de Quinua</i>	91
Figura 13 <i>Media y 95% de tukey</i>	95
Figura 14 <i>Media y 95% de Tukey</i>	97
Figura 15 <i>Balance de Masa del Expandido por Explosión de la Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana</i>	128
Figura 16 <i>Curva de Calibración Para La Determinación De Antioxidantes</i>	132
Figura 17 <i>Porosidad del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$.)</i>	133
Figura 18 <i>Efecto de la presión de explosión (180 y 200 psi) sobre la densidad aparente de dos variedades de quinua (Amarilla Marangani y Negra Collana)</i>	133
Figura 19 <i>Gravedad específica del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$).</i>	134
Figura 20 <i>Contenido de humedad del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$.)</i>	135
Figura 21 <i>Efecto de la presión de explosión (180 y 200 psi) sobre el contenido de proteína de las variedades de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana</i>	135
Figura 22 <i>Contenido de grasa (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi</i>	136
Figura 23 <i>Contenido de ceniza (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi.</i>	137

Figura 24 <i>Contenido de fibra (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi.</i>	137
Figura 25 <i>Contenido de carbohidratos en variedades de quinua según presión de explosión</i>	138

DEDICATORIA

Con profunda humildad, ofrendo este trabajo a Dios, por otorgarme existencia, vigor y templanza requeridos para concluir este proceso.

A mis padres, Sr. Agapito Choquehuanca y Teófila Ccapatinta, cuyo esfuerzo constante, compromiso, valores transmitidos y la sencillez que les caracteriza han guiado mi formación personal y profesional. Agradezco profundamente su Amor, dedicación, su ejemplo y el apoyo incondicional que siempre me brindan.

A mi compañero de vida y padre de mi hijo, Franklin Quispe Quispe, por tu amor, tu paciencia y tu apoyo permanente, que han sido la base de nuestro hogar. Esta tesis es también un reflejo de la colaboración, la comprensión y la fortaleza que me has brindado a lo largo de este viaje académico. Gracias por ser un pilar firme y un modelo para nuestro hijo.

A mi amado hijo, Benjamín Alexander, cuya ternura, sonrisa y alegría han sido la luz que me impulsó a seguir adelante cada día. Este logro está dedicado con todo mi amor para ti.

Finalmente, extendiendo esta dedicatoria a mis queridos hermanos Liberata, Héctor, Iván, Gilmar, Yolanda y Yuly, por acompañarme siempre con su cariño, respaldo y motivación en este arduo pero gratificante camino. Cada uno de ustedes ha sido parte esencial de este logro.

Gracias

Att.Melania Choquehuanca Ccapatinta

DEDICATORIA

Quisiera expresar mi gratitud, respeto y admiración a aquellos que me respaldaron en la implementación de esta investigación.

A Dios. Por brindarme salud, claridad y perseverancia en los momentos difíciles. Por cada oportunidad, cada lección, cada persona que pusiste en mi vida para apoyarme en este logro.

A mis queridos padres. Sr. Bernabé Quispe Chullo, Dionicia Huayllani Pucho. Por su amor incondicional, su apoyo y sus sacrificios, que han sido la base de cada uno de mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia, humildad durante mi formación profesional.

A mi pareja y compañero de vida Orlando Diaz Checcori por su apoyo incondicional brindado en los momentos alegres y difíciles que se presentaron durante la investigación realizada de igual manera a mi Pequeña Ashly Abigail Diaz Quispe, que ha sido mi mayor inspiración la motivación para seguir adelante y no darme por vencida.

A mi hermano, Claudio por sus palabras de aliento y por estar siempre a mi lado en cada desafío y en cada logro realizado.

Gracias

Att. Edith Rosario Quispe Huayllani

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a Dios por concedernos salud, fortaleza y perseverancia, permitiéndonos culminar una etapa trascendental de nuestra formación profesional.

Expresamos nuestro sincero y especial agradecimiento a la asesora de tesis, Dra. Miriam Calla Flórez, gracias a su orientación constante, acompañamiento académico y valiosas sugerencias, fueron importes para el despliegue y terminación de la presente investigación.

Asimismo, manifestamos nuestro reconocimiento a nuestros guidores de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial que, a través de sus enseñanzas, experiencia científica apoyaron significativamente al fortalecimiento de nuestros conocimientos y al desarrollo de nuestras capacidades profesionales.

Agradecemos de manera especial a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, así como laboratorios donde se realizaron los análisis experimentales de cromatografía, Investigación de Físicoquímica por facilitarnos equipos como materiales indispensables para el desarrollo del actual estudio.

Finalmente, agradecemos a nuestras familias y amistades por confianza, los cuales hicieron posible la culminación de este importante logro académico.

.

RESUMEN

La tesis evaluó el efecto del perlado seco-húmedo y del expandido por explosión sobre las propiedades funcionales, físicas y químico-proximal de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana (INIA-PUNO-025), utilizando presiones de 180 y 200 psi, y variedades de quinua Orgánica.

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental multifactorial 2×2 , con cuatro tratamientos y tres repeticiones ($n = 12$). La variedad Negra Collana a 180 psi demostró el mayor potencial funcional, con un contenido fenólico de 494.20 mg EAG/100 g y una capacidad antioxidante de 1958 $\mu\text{mol TE/g}$. En cuanto a las propiedades físicas, se obtuvo una porosidad de 0.92-0.98 y densidades aparentes entre 3.109 y 3.161 g/cm^3 . A 200psi se redujo significativamente la humedad a 6.76% en la variedad Negra Collana demostrado en la metodología del análisis proximal. Asimismo, el contenido proteico se incrementó sustancialmente en Negra Collana hasta 15.80%, superando los valores de Amarilla Marangani máximo 13.18%. Los carbohidratos, grasas 4.5%-5.4%, fibra y cenizas no presentaron variaciones significativas, evidenciando estabilidad composicional.

La variedad Negra Collana, especialmente bajo condiciones de 180psi, presentó el mejor desempeño funcional, físico y químico-proximal, consolidándose como una alternativa promisoría para la obtención de quinua expandida orgánica de alta calidad, con potencial aplicación en la agroindustria de alimentos funcionales.

Palabras claves: Quinua, Expandido, Antioxidante y Fenólico.

ABSTRACT

The thesis evaluated the effect of dry–wet pearling and explosion puffing on the functional, physical, and proximate chemical properties of yellow Marangani and black Collana quinoa (INIA-PUNO-025), using pressures of 180 and 200 psi and organic quinoa varieties.

The research was conducted under a 2×2 multifactorial experimental design, with four treatments and three replicates ($n = 12$). The black Collana variety at 180 psi demonstrated the highest functional potential, with a total phenolic content of 494.20 mg GAE/100 g and an antioxidant capacity of 1958 $\mu\text{mol TE/g}$. Regarding physical properties, porosity values ranged from 0.92 to 0.98, and bulk densities ranged between 3.109 and 3.161 g/cm^3 . At 200 psi, moisture content was significantly reduced to 6.76% in the black Collana variety, as determined by proximate analysis methodology. Likewise, protein content increased substantially in black Collana up to 15.80%, exceeding the maximum value observed in yellow Marangani (13.18%). Carbohydrates, lipids (4.5%–5.4%), fiber, and ash showed no significant variations, indicating compositional stability.

The black Collana variety, particularly under 180 psi conditions, exhibited the best functional, physical, and proximate chemical performance, establishing itself as a promising alternative for the production of high-quality organic expanded quinoa, with potential application in the functional food agroindustry.

Keywords: quinoa, puffing, antioxidant, phenolic.

INTRODUCCIÓN

Los granos procesados mediante expansión por explosión presentan una creciente aceptación en el consumo alimentario, debido a su practicidad, textura ligera, adecuada conservación en almacenamiento y su contribución nutricional favorable (Sandhu, 2022).

Este proceso genera productos crujientes, de rápida digestión y bajo peso, características que los posicionan como alternativas atractivas dentro de la industria de snacks saludables. La creciente demanda de alimentos naturales y funcionales ha impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de transformar cereales y pseudocereales en alimento de mayor valor agregado.

En los últimos años, diversas investigaciones han empleado condiciones controladas de expansión para obtener granos expandidos de maíz, amaranto, kiwicha y quinua. El calentamiento súbito provoca una rápida vaporización interna que induce la expansión del grano, modificando su estructura y mejorando propiedades como el volumen, la textura y la crocancia. En este contexto, la quinua destaca por su elevado contenido proteico, su fibra dietaria y la presencia de compuestos bioactivos, lo que la convierte en un ingrediente idóneo para la elaboración de snacks nutritivos. No obstante, el comportamiento de la quinua durante la expansión térmica está vinculado estrechamente a elementos como la variedad y las condiciones del proceso. Diferentes eco tipos presentan variaciones en su composición de almidón, proteínas, pigmentos y humedad, lo que influye específicamente en la excelencia y propiedades del artículo definitivo. A pesar de ello, existe limitada información comparativa sobre la respuesta de variedades específicas, como Amarilla Maranganí y Negra Collana, sometidas a diferentes condiciones de expansión.

Las presiones aplicadas durante el proceso pueden generar cambios importantes en las propiedades físicas, funcionales y químico-proximales. Por ello, evaluar estos cambios resulta fundamental para estandarizar los valores del proceso y asegurar productos expandidos con composición nutricional adecuadas.

El estudio se orienta a analizar el efecto de diferentes niveles de presión y variedades de quinua, sometidas previamente a un proceso de perlado seco-húmedo y a la expansión por explosión, sobre sus propiedades funcionales como; compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, porosidad, gravedad específica y densidad aparente y humedad, proteínas, fibra, grasa, cenizas y carbohidratos, evaluadas en ambas variedades bajo dos condiciones de presión. Los hallazgos permiten comprender el impacto tecnológico del proceso y evidencian su potencial para la obtención de productos alimentarios nutritivos, estables y con mayor valor agregado para la industria alimentaria.

I PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.

1.1.Descripción de la realidad Problemática

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal andino de elevado valor nutricional y funcional, caracterizado debido a su elevado tenor de proteínas de excelente calidad biológica, fibra dietaria, compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Estas propiedades han impulsado su creciente demanda como alimento funcional de los ámbitos comercial interno y externo.

En este escenario, la transformación de la quinua mediante tecnologías térmicas, como el proceso de expandido por explosión, se muestra como una opción agroindustrial factible para la creación de artículos innovadores con mayor valor agregado. Sin embargo, este tipo de procesamiento puede generar modificaciones estructurales en el grano y provocar pérdidas de componentes nutricionales y bioactivos sensibles al calor, tales como proteínas y compuestos fenólicos, dependiendo de las condiciones operativas aplicadas (Huamani Valenzuela, 2019).

El expandido por explosión es un proceso que combina el calentamiento rápido del grano con una liberación súbita de presión, lo que da lugar a estructuras porosas, baja densidad aparente y mejoras en atributos tecnológicos como el volumen y la textura del producto final. No obstante, la calidad del producto expandido está directamente condicionada por las variables de proceso y por el pretratamiento del grano, en particular el perlado, la presión de expansión y el contenido de humedad inicial. La interacción entre estos factores puede influir de manera significativa sobre las propiedades físicas, químico-proximales y funcionales de la quinua; sin embargo, el efecto conjunto de dichas variables aún no ha sido suficientemente explicado mediante estudios experimentales aplicados.

Las variedades nativas de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana presentan diferencias relevantes en su composición química y funcional, especialmente dentro del porcentaje de aminoácidos, almidón, fibra y compuestos fenólicos, lo que determina su comportamiento tecnológico durante el proceso de expandido por explosión. A pesar de esta variabilidad varietal, existe una limitada evidencia científica que evalúe de manera comparativa y simultánea el efecto del perlado y de distintos niveles de presión y humedad sobre las propiedades físicas, químico-proximales y funcionales de estas variedades orgánicas, bajo un enfoque experimental multifactorial que permita establecer relaciones de causa–efecto.

Si bien la variedad Amarilla Marangani ha sido objeto de múltiples investigaciones desarrolladas por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), dichos estudios se han enfocado principalmente en la caracterización agronómica, genética y composicional del grano

como semilla. En contraste, el comportamiento de esta variedad, así como de la Negra Collana, cuando es sometida a procesos de transformación térmica encaminados a la consecución de artículos con plus valía, como el expandido por explosión, no ha sido abordado de manera sistemática. Esta carencia de estudios aplicados en productos transformados limita la generación de conocimiento tecnológico necesario para la estandarización de parámetros de proceso y el desarrollo de productos expandidos con calidad nutricional y funcional homogénea.

Asimismo, la escasa investigación sobre la interacción entre el perlado y el proceso de expandido por explosión, junto con la ausencia de parámetros estandarizados de presión y humedad para el procesamiento de quinua orgánica, ha originado vacíos técnicos en la agroindustria de granos andinos. Este escenario podría generar mermas en elementos bioactivos, disminución del potencial antioxidante y variabilidad en la calidad tecnológica del producto final, afectando su competitividad frente a otros cereales expandidos ya posicionados en el mercado.

Este escenario podría generar mermas en elementos bioactivos, disminución del potencial antioxidante, que permita determinar y explicar cómo influyen el perlado y el proceso de expandido por explosión, a diferentes niveles de presión y humedad, sobre las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de las variedades orgánicas de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana. La generación de este conocimiento científico es fundamental para optimizar los procesos tecnológicos, estandarizar las condiciones operativas y promover el desarrollo de productos expandidos de quinua con alto valor nutricional, funcional y mayor competitividad en la industria alimentaria.

1.1.1 Formulación de Problema

Problema General

¿Cómo afecta el grano perlado seco-húmedo y expandido por explosión, bajo dos niveles de presión, en las propiedades funcionales, físico y químico proximal de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana?

Problema Específico

1 ¿Cómo influye el procesamiento del grano perlado seco-húmedo sobre la propiedad funcional y químico proximal de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana?

2 ¿Cómo afecta el proceso perlado seco-húmedo y expandido por explosión, a dos presiones 180psi y 200psi, en las propiedades funcionales de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de dos variedades de quinua orgánicas (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana?

3 ¿Cómo afecta el proceso de perlado seco-húmedo y expandido por explosión a dos presiones 180psi y 200psi, en las propiedades físicas de porosidad, gravedad específica y densidad aparente de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana?

4 ¿Cómo afecta el proceso de perlado seco-húmedo y expandido por explosión a dos presiones 180psi y 200psi, en las propiedades químico proximal de humedad, proteína, fibra y carbohidratos de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana?

1.1.2 Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Evaluar el grano perlado seco-húmedo y expandido por explosión sobre las propiedades funcionales, físicas y químicas proximales de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana.

Objetivos Específicos

1.-Evaluar el procedimiento de perlado seco-húmedo sobre la propiedades funcionales y químico proximal de dos variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana.

2.-Evaluar y comparar el efecto del perlado seco-húmedo y expansión por explosión a dos niveles de presión a 180psi y 200 psi sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de las variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana.

3.- Evaluar y establecer el proceso de perlado seco-húmedo y la expansión por explosión a 180 psi y 200 psi sobre las propiedades físicas porosidad, densidad aparente y gravedad específica de ambas variedades de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*)).

4.- Evaluar y comparar el grano perlado seco-húmedo y el expandido por explosión en las propiedades químico-proximales (humedad, proteína, fibra, grasa, carbohidratos y ceniza) de quinua orgánica (*chenopodium quinoa willd*) Amarilla Marangani y Negra Collana.

1.2. Justificación del Estudio

En esta investigación la quinua orgánica expandida mediante perlado seco-húmedo y expandido por explosión a dos presiones representa un avance significativo en la creación de suministros nutritivos de raíz serrana., al integrar procesos tecnológicos que optimizan su calidad nutricional, funcional y estructural.

Desde el enfoque científico y experimental, la presente investigación busca responder a una brecha en el conocimiento detectada en los antecedentes. Estudios previos, como los de Zapana Yucra (2019), Huamani Valenzuela (2019) e Ibáñez Béjar (2021), han evaluado por separado los efectos del perlado y del inflado por estallido acerca de las cualidades físico-químicas del pseudocereal, identificando modificaciones en la humedad, la densidad, las proteínas y los compuestos fenólicos. Sin embargo, no existe evidencia que analice de forma integrada la interacción entre ambos procesos el perlado seco-húmedo y el expandido por explosión, ni su influencia acerca de las facultades operativas, físicas y químico-proximales del grano.

Este vacío limita la comprensión científica sobre cómo el grado de perlado y las condiciones de expansión (180 psi y 200 psi) afectan la retención de compuestos bioactivos especialmente tenores fenólicos y potencial antirradicalario y la microestructura del grano expandido, parámetros esenciales para determinar la calidad nutricional y tecnológica del componente final. La presente investigación aborda precisamente esta interacción, aportando una visión experimental integral que permitirá establecer relaciones causa-efecto entre los factores de proceso y las respuestas del producto.

En el plano teórico, el estudio se sustenta en principios de la ingeniería de alimentos y la ciencia de materiales biológicos, donde las condiciones de presión y humedad influyen en fenómenos como la desnaturalización proteica y la porosidad estructural del grano expandido. Comprender cómo estos mecanismos interactúan con el grado de perlado para optimizar la retención de nutrientes y compuestos antioxidantes, fortaleciendo así el valor funcional del producto.

Desde una perspectiva industrial, la generación de una quinua expandida orgánica estandarizada ofrece una alternativa innovadora para la agroindustria andina, al establecer parámetros reproducibles de procesamiento que aseguren calidad constante, buena textura, y alta capacidad antioxidante. Esto permitirá escalar el proceso hacia una producción sostenible y competitiva, incorporando tecnologías adaptadas a las condiciones de las zonas alto andinas.

Finalmente, en la parte económico y social, el desarrollo de este producto contribuye a diversificar la oferta agroindustrial basada en cultivos nativos, promoviendo la revalorización de las variedades estudiadas, fortaleciendo la economía de los productores orgánicos. El conocimiento generado servirá como base para impulsar alimentos funcionales con identidad andina, saludables y de alto valor agregado, destinados a mercados nacionales e internacionales.

El producto final de la investigación no solo busca mejorar la calidad de la quinua expandida, sino también llenar un vacío científico y tecnológico existente sobre la interacción entre el perlado y el expandido por explosión, contribuyendo al avance del conocimiento en el procesamiento de granos andinos y a la consolidación de la quinua expandida orgánica como un alimento innovador, sostenible y de relevancia industrial.

II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes de la Investigación: Internacionales, Nacionales y Locales

Antecedente Internacional

Zapana yucra(2019) "En su estudio, analizó las características físicas, químicas y nutricionales de los insuflados elaborados con quinua roja INIA.". La investigación contempló tres métodos de estudio una esta es expandido por explosión, sobre recubrimientos de base de quitosano, derivados de yuca, almidón de maíz, gelatina y sorbitol. Las condiciones óptimas fueron: Expansor de cañón: presión de 191PSI por 780 s.

Se evaluaron las propiedades químico proximal y propiedades físicas del expandido del insuflado del grano de quinua obteniendo valores de humedad 6.99 g, ceniza 2.21g, grasa 6.03 g proteína 12.07 g y carbohidratos 79.66 g. Donde concluye que el expandido por explosión obtuvo menores valores debido al desprendimiento del pericarpio de los granos, respecto en las características físicas la densidad aparente es $9,8\text{kg}/\text{m}^3$ y porosidad 0.56 5.

Huang(2018) La investigación evaluó cómo la tecnología de explosión puffing afecta la composición nutricional, propiedades físicas de granos como mijo, cebada, arroz negro, arroz, arroz glutinoso y trigo. El proceso, realizado a aproximadamente 200°C aun presión de 217.56 psi durante 15-20 segundos, causó un aumento en el contenido de azúcar (10-20%), y redujo humedad 14% al 8% obtenido los siguientes resultados; ceniza (3.59-0.57%), fibra (11.82-6.82%) y carbohidrato (56,85-38,21%) y proteína (8.95-6.37%) y Grasa (4%-2%) reduciendo la proteína de un 80% a 50%. En conjunto, la explosión puffing mejora las propiedades físicas y nutricionales de los cereales, ofreciendo potenciales beneficios para su industrialización y consumo saludable.

Antecedente Nacional

Misaraim Tacuri(2023) en su investigación estudio la potencia antioxidante, fenoles totales y flavonoides de veinte estirpes de fruto de quinua este trabajo revela la importancia debido a sus destacadas propiedades nutricionales, como su alto porcentaje de proteínas, ácidos fenólicos, fitoesteroles y flavonoides. El propósito radicó en tasar el potencial antirradicalario de los concentrados metanólicos obtenidos de 20 clases de quinua. Se efectuaron mediciones de los compuestos fenólicos mediante la técnica (Folin-Ciocalteu), y la facultad antioxidante se determinó con los protocolos (DPPH, ABTS y FRAP). Los hallazgos sobresalientes incluyen un incremento en el contenido total de fenoles en la variedad negra qoito de $287,60 \pm 1,55$ mg GAE/ g. capacidad antioxidante máxima de DPPH en Blanca Choclito de $468,50 \pm 3,33$ μmol

ET/ g, por ABTS en negra quito de $231,11 \pm 4,82 \mu\text{mol ET/g}$ y en roja pasankalla de $275,65 \pm 2,74 \mu\text{mol ET/g}$, mediante FRAP.

Quispe Boza (2022), en su estudio sobre este seudocereal, implementó un diseño factorial con niveles de humedad entre 15 % y 20 %, así como presiones de expandido de 140 y 160 psi. Si bien las dimensiones de estudio no obtuvieron un rendimiento relevante de alguna en forma independiente, su interrelación sí alteró la agradabilidad del producto final. En la prueba de Tukey, el tercer tratamiento se presentó con un 15 % de humedad y una presión de 160 psi, luego se estableció el perfil químico por 100 g de material, en hidratación (9,9), residuo (1,9), albúmina (14), lípido (5,3) y celulosa (2,05).

Ibañez Bejar(2021) La investigación analizó la influencia del escarificado seco-húmedo y del inflado por estallido acerca de los fenoles totales (CFT), la potencia antirradicalaria (AA) y las cualidades físico-químicas de las clases Cupi y Ramis. Se emplearon los métodos Folin-Ciocalteu (CFT), DPPH (AA) y protocolos de la AOAC para la composición proximal. Los resultados mostraron que el perlado disminuyó el potencial antirradicalario en ambas clases, mientras que el inflado lo aumentó significativamente, siendo mayor en Ramis expandida ($2129.67 \mu\text{M Trolox eq/gr m.s.}$). En cuanto a CFT, el perlado conservó los valores en Ramis, pero redujo en Cupi, mientras que el expandido mantuvo los CFT en Cupi e incrementó en Ramis ($245.33 \text{ mg ácido gálico/100 g m.s.}$). El perlado mantuvo similares niveles de humedad, grasa y fibra entre variedades, con diferencias en cenizas y carbohidratos bajo. El expandido, grasa, fibra y carbohidratos permanecieron constantes, pero variaron cenizas y humedad. Las proteínas se conservaron con el proceso de perlado, pero disminuyeron hasta en un 33.99 % con el expandido. En cuanto a propiedades físicas, la densidad real ($0.3264\text{-}0.3236\text{kg/m}^3$) y porosidad (0.21-0.55) y gravedad específica 0.32 (fueron similares tras el expandido, mientras que el perlado generó diferencias entre variedades).

Huamani Valenzuela, (2019) En su indagación analizó la influencia de la hidratación del fruto y la carga de la dilatación durante el ciclo de la quinua clara (variedad Junín) y roja (variedad Pasankalla) que se cultivan en Ayacucho. Usando un diseño experimental de Superficie de Respuesta, se analizaron presiones entre 190 y 260 psi y humedades entre 9% y 16%. Los resultados indicaron que la quinua roja obtuvo un índice de tamaño nueve veces mayor, mientras que la blanca lo hizo seis veces. La humedad final se redujo al 6%, con un rendimiento del 66%. La variedad roja mostró mejores características físicas y mayor aceptación con un procedimiento de 16% de humedad y 225 psi.

Paucar. et al(2018) La investigación analizó el efecto del proceso de puffing en granos de kiwicha y quinoa, tasando factores de ingreso y egreso. Como registros de

introducción, se consideraron las condiciones de proceso como la humedad (porcentaje de humedad en estado seco, por ejemplo, kiwicha de 9.39% en crudo y 4.38% en popada, y quinua de 9.54% en crudo y 5.11% en popada). También se aplicaron parámetros de temperatura y tiempo de puffing,

Las variables de salida incluyeron cambios en la composición proximal: el contenido de proteínas aumentó en kiwicha de 10.30 g en crudo a 11.81 g en popada (incremento del 14.5%) y en quinua disminuyó de 13.40 g a 12.69 g (reducción del 5.2%). La humedad disminuyó en kiwicha de 9.39% a 4.38% (reducción del 53.4%) y en quinua de 9.54% a 5.11% (reducción del 46.4%). La cantidad de lípidos en kiwicha aumentó ligeramente de 7.00 g a 8.17 g (17%), mientras que en quinua la variación fue mínima, de 5.67 g a 5.97.g

El proceso de puffing modificó la humedad, aumento la concentración de proteínas en kiwicha, alteró la composición fenólica y no provocó cambios significativos en las proporciones de ácido graso omega, con variaciones en las variables químicas y nutricionales de los granos analizados.

Quispe Colquehuanca(2016) El estudio contrastó quinua ecológica (Puno) y común (Arequipa) en dos clases (Salcedo INIA y Pasankalla), tasando el nivel proteico, elementos fenólicos y potencial antirradicalario en semilla cruda escarificada y en polvo extruido. Los resultados mostraron que la quinua orgánica presentó mayores niveles de proteína (12.9–13.7% en grano; 11.8–13.2% en harina), compuestos fenólicos (67.46–76.43 mg ácido gálico/100 g en grano; 83.52–96.60 mg/100 gr en harina) y capacidad antioxidante (5.97–12.67 uMol Trolox eq./gr en grano; 11.79–24.51 uMol Trolox eq./gren harina) frente a la convencional. Se concluye que la producción orgánica conserva mejor el contenido proteico e incrementa la carga de componentes fenólicos y la potencia antioxidante, particularmente tras el extrusionado.

Del mismo modo, en la indagación de Mamani Coaquira (2015) se propuso como meta tasar la influencia del ciclo de inflado, hojuelado y extrusión acerca de los elementos fenólicos, el potencial antirradicalario y el perfil proximal de las clases de quinua Pasankalla y Negra collana. Los descubrimientos probaron que el método de expandido aumentó la potencia de la facultad antioxidante y los tenores fenólicos en ambas variedades. La Negra collana presentó mayor actividad antioxidante (34.55 μ mol Trolox/g ms) en comparación con Pasankalla (24.41 μ mol Trolox/g ms). En cuanto a compuestos fenólicos totales, la Negra collana mostró 83.42 mg EAG/100 gr ms, mientras que Pasankalla alcanzó 65.37 mg EAG/100 g ms. Sin embargo, el proceso de expandido generó una ligera disminución en la composición proximal en ambas variedades. En resumen, la técnica de inflado potenció la facultad antirradicalaria y el tenor

fenólico en la quinua, resultando la clase Negra collana la que obtuvo los registros más elevados.

Chagua y Palomino Villaizan (2014) ejecutan una investigación en la cual emplearon tres clases de quinua originarias de la región de Junín. La Blanca de Junín, Huancayo y Rosada de Junín fueron expuestas a un ciclo de higienizado, triaje y ordenamiento que siguiera un protocolo estandarizado conforme con la normativa técnica vigente en Perú. Paralelamente, los granos fueron acondicionados con humedad relativa del 30 % para poder proceder a su procesamiento mediante expansión térmica previo a análisis de variables fisicoquímicas, proximales, compuestos fenólicos y de capacidad antioxidante.

Los descubrimientos, conforme se reportó, expusieron disparidades entre las clases, lo cual condujo al empleo de un examen de cotejo múltiple de Tukey con un rango de importancia de 0,05. Dichas diferencias se debieron a los altos niveles de compuestos fenólicos; Blanca y Huancayo tuvieron 9.199 y 10.107 mg AGE/100 g, respectivamente, mientras que Rosada tuvo 27.248 mg AGE/100 g. Estos hallazgos sugieren que los factores genéticos del mamón de cada variedad afectaron directamente a la acumulación de metabolitos secundarios, en particular fenólicos reconocidos por su alta bioactividad.

2.2 Base Teórica

2.2.1 Quinoa

La quinoa, *Chenopodium quinoa willd*, es una planta herbácea del linaje *Chenopodiaceae*, pseudo-cereal que ha sido cultivado por siglos en las naciones de Perú y Bolivia. La quinoa se caracteriza por tener un elevado valor nutricional, posee 20 aminoácidos, incluidos los 10 principales, y un 40 % más de lisina que la leche, siendo una fuente proteica de calidad y el cereal más completo en la escala nutricional. Es rica en macronutrientes y minerales, constituye uno de los insumos primordiales dentro de la nutrición en las zonas andinas del antiguo Perú por más de 5000 años, territorios en la actualidad corresponde a Bolivia, parte de Ecuador, Chile y Argentina (MINAGRI 2017; (Paredes del Castillo, Regalado Gamonal, & Arse Serpa, 2023))

Comparación entre Quinoa Convencional y Quinoa Orgánica

- **Manejo agrícola:** la quinoa convencional puede emplear agroquímicos, mientras que la orgánica se basa en abonos naturales y control biológico.
- **Impacto ambiental:** la producción convencional tiende a reducir la biodiversidad y degradar suelos a largo plazo; la orgánica preserva los ecosistemas y promueve la sostenibilidad.
- **Valor nutricional:** ambas mantienen un perfil rico en proteínas, fibra y minerales; sin embargo, la orgánica suele presentar mayor concentración de compuestos bioactivos.
- **Mercado y valorización:** la quinoa convencional se orienta principalmente al consumo local por su menor costo; la orgánica tiene mayor demanda en mercados internacionales y un precio de venta más alto.
- **Aspecto socioeconómico:** la producción convencional es más accesible para el agricultor, mientras que la orgánica genera mejores ingresos, pero requiere certificación y mayores cuidados en el cultivo. (Quispe Colquehuanca, 2016)

2.2.2 Taxonomía de la Quinua (*Chenopodium quinua* Willd)

El científico Alemán Luis Christian Willdnow describió el grano de quinua por primera vez. (Yana, 2015).

Reino: Vegetal

División: *Fanerógamas*

Clase: *Dicotiledóneas*

Sub-clase: *Angiospermales*

Orden: *Centrospermales*

Familia: *Chenopodiceas*

Género: *Chenopodium*

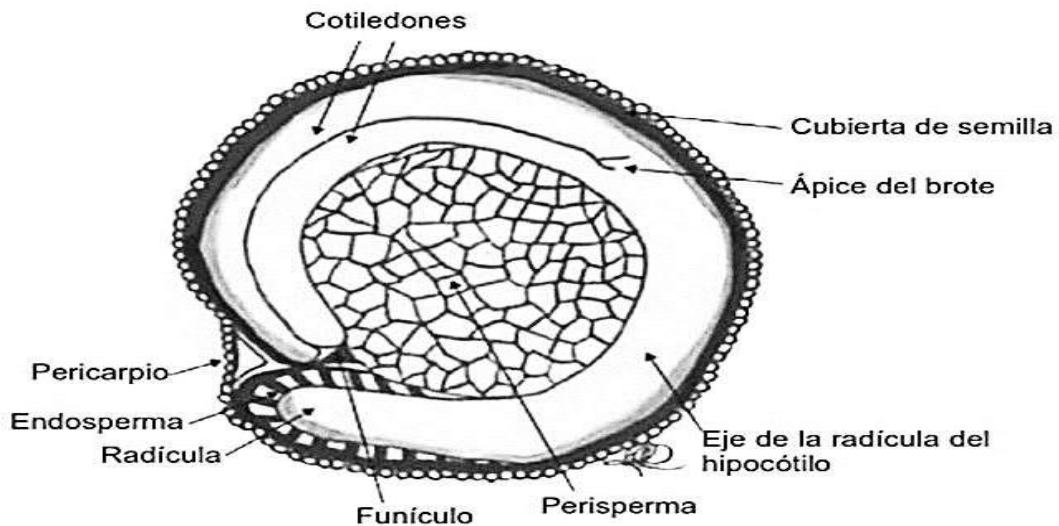
Sección: *Chenopodia*

Subsección: *Cellulata*

Especie: *Chenopodium quinua* Willd

Figura 1

Morfología del grano



Nota. Corte transversal del grano de quinua y reconocimiento de su estructura.

Fuente: Adaptado de Perdon y Holopainen-Mantila (2020), Ramos-Pacheco (2024, p. 21).

2.2.3 Variedades de Quinua

2.2.3.1 Amarilla Marangani

El grano de quinua Amarilla Marangani tiene un aspecto opaco. El perigonio y el pericarpio tienen un color amarillo, mientras que la cubierta de la semilla es blanca. Su borde es afilado y su forma general es cilíndrica, y su color es uniforme. Tiene un diámetro promedio de 2,0 mm y rinde entre 85 y 97 g de semilla/planta y una masa de 1000 granos oscilando entre 2,7 y 3,10 g. La utilidad en grano es de 3,5 toneladas por hectárea. La panoja es de color anaranjado y tiene una longitud de 40 a 65 cm. Su diámetro se encuentra dentro de los 10 a 13 cm. (Montañas A, 2020)

Tabla 1

Composición Físico Químico de la Quinua Amarilla

Valor Nutricional	
Análisis físico/químico (g/100 g, de muestra)	
Humedad (%)	8.72
Proteínas (%)	13.85
Fibra (%)	2.56
Cenizas (%)	2
Grasa (%)	9.78
Carbohidratos (%)	68.4
Energía (%)	383,84

Nota. Información sobre la propiedad químico proximal sobre 100 g (Paredes . et al, 2023)

2.2.3.2 Variedad Negra Collana.

En este contexto, la variedad INIA 420 – Negra Collana, se caracteriza por su alta diversidad genética, compuesta por un conjunto de 13 consentimientos recogidas de 12 parajes, reconocidos tradicionalmente como “qutyujiwras”. En el ámbito mercantil se le conoce INIA 420 – Negra Collana, producto de métodos colaborativos de reconocimiento, adecuación y examen del rendimiento, efectuados con el apoyo de los cultivadores de distintas poblaciones rurales de la zona Puno

La zona de recomendación es la subzona agroecológica Suni del Altiplano, con un rango altitudinal de 3,815 a 3,900 msnm. El área se caracteriza por un clima gelido y seco, con registros anuales de 400 a 550 mm y temperaturas medias anuales de 4.00 a 15.00 °C. La estatura de la planta varía entre 94 y 110 cm; el ciclo vegetativo tarda entre 136 y 140 días. El

pericarpo de la semilla es de color plomizo; el epispermo es negro, con un rendimiento de alrededor de 3,000 kg/ha (Mamani Coaquira, 2015).

Tabla 2

Composición Físico Químico de la Quinua Negra Collana

Componente	Negra collana
Humedad	10
Proteína	17.85
Grasa	9.82
Ceniza	2.2
Fibra cruda	1.89
Carbohidratos	58.24

Nota. INÍA (2012) citado por (Mamani Coaquira, 2015)

2.2.4 Composición Nutricional de la Quinua

Además de la calidad de su aporte proteico, la quinua se caracteriza por presentar un amino grama balanceado, ya que supera en contenido y variedad de aminoácidos a cereales convencionales tales como el trigo, la cebada y la avena. Sin embargo, la capacidad de digestión y absorción de dichos elementos en crudo y mal estado es limitada, dado a que las saponinas poseen actividad antinutritiva (Tapia, 1997). Además, su elevado contenido de fibra dietética influye a prolongar la sensación de saciedad, mejorar la función digestiva y apoyar los procesos de depuración del organismo.

En particular, la variedad Negra Collana destaca por su aporte de aminoácidos esenciales como la lisina, así como por su contenido de minerales relevantes para la salud ósea y grasas beneficiosas. Al no contener gluten, resulta adecuada para personas con enfermedad celíaca. Su bajo índice glucémico, junto con su efecto favorable en el control del colesterol y la digestión, refuerza su valor nutricional y funcional, siendo especialmente recomendada para personas con diabetes y deportistas. (Garay R, 2016)

Tabla 3*Composición Químico Proximal de la Quinua*

Quinua	Referencia			
	Blanca	Cusco	Roja, Blanca y Negra collana	Rojas
Componente	<i>Li.et al., (2021)</i>	<i>ponce de Leon et al(2021)</i>	<i>pereira et al (2019)</i>	<i>Nowak etal., (2016)</i>
Humedad(%B.H)	10.86	9.79	9.53	10.1
Cenizas(%B.S)	2.44	3.07	2.7	3.3
Proteinas(%B.S)	13.51	17.27	14.87	13.1
Grasa(%B.S)	6.48	6.76	6.4	5.7
Carbohidratos(%B.S)	57.19	70.81	76.13	59.9

Nota. En la tabla mostrada el investigador muestra por autores la estructura nutricional del fruto de la quinua (*Chinopodium quinoa willd*) (Ramos Pacheco, 2024)

2.2.5 *Propiedades Funcionales de la Quinua*

2.2.5.1 **Compuestos Fenólicos.**

Las sustancias metabólicas secundarias constituyen elementos de vasta repartición en el mundo botánico. Logran ubicarse en cada sección del vegetal y su densidad oscila durante el periodo de crecimiento. Ejercen diversas tareas, abarcando la fotosíntesis, la captación de sustancias, la labor catalítica, la creación de albúminas, la edificación de piezas anatómicas y, asimismo, resguardan ante agentes hostiles del medio. Orgánicamente, los elementos fenólicos poseen uno o varios núcleos bencénicos que presentan uno o varios radicales hidroxilos. Se fraccionan en cinco categorías: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, cumarinas y taninos.

Los flavonoides, los taninos y los ácidos fenólicos son los principales antioxidantes naturales in vitro. Su consumo beneficia mucho al cuerpo, reduciendo la probabilidad de enfermedades como neurodegenerativas, cardiovasculares, cáncer, osteoporosis y diabetes (Misaraime Tacuri, 2023)

Los compuestos fenólicos pueden interactuar con proteínas, afectando la actividad enzimática y el aislamiento proteico, e incluso inhibir el crecimiento de tejidos vegetales in vitro. En general, son hidrosolubles debido a su estructura polar, aunque existen excepciones como los fenilpropenos (solubles en solventes no polares) y la lignina, que es insoluble. Se

localizan principalmente en las vacuolas celulares, y su presencia puede detectarse por la reacción con FeCl_3 , que genera coloraciones verdes, azul según el tipo de fenol. (Viña Z & Ringuelet)

2.2.5.2 Clasificación del Compuesto Fenólico.

Funciones Biológicas del Compuesto Fenólico.

Gracias a sus facultades como dadores electrónicos, la totalidad de elementos fenólicos logran suprimir radicales libres y entes oxidantes con la consecuente generación de un radical fenoxilo bastante equilibrado. Consiguen acoplarse a biopolímeros, tales como catalizadores, vehículos hormonales y ADN, además de cationes metálicos de transición, como Fe^{+2} , Cu^{+2} , Zn . Dicho enlace bloquea la labor catalítica causante de la oxidación, propicia la transferencia electrónica y disminuye hidropéroxidos y péroxidos de hidrógeno, aparte de incentivar la captura de superóxidos y oxígeno singlete, transformándose en enérgicos captosres de radicales libres. Se ha investigado su papel en la prevención y, posiblemente, su uso en el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares, ya que se meten en vías metabólicas y pueden proteger los lípidos séricos, en particular lipoproteínas LDL, de oxidación. Este es un aspecto crítico, ya que la oxidación de los lípidos desempeña un rol clave en la aparición de la aterosclerosis (Gutierrez Cuadros, 2019).

Tabla 4

Contenido de Fenoles Totales en dos Variedades de Grano de Chenopodium Quinoa Willd (Quinoa) Ayacucho.

Variedad	Contenido de FT (mgGAE/gr)
Amarilla Marangani	222,48 ± 1,55
Negra qoito	287,60 ± 1,55

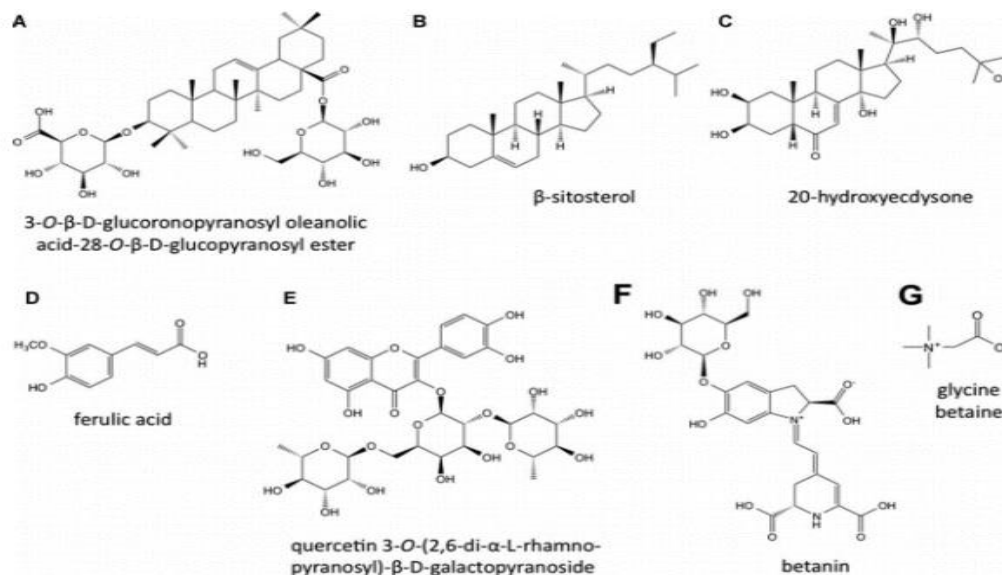
Nota. Se estudió 20 variedades por tres métodos de las cuales solo se extrajo dos resultados de quinua amarilla Marangani y Negra Coito (Misaraime Tacuri, 2023)

2.2.5.3 Compuestos Fenólicos y Actividad Antioxidante de Quinoa

Tang et al. (2015) en un estudio se determinó la constitución de varios tipos de agregados fenólicos extraíbles, así como betacianinas en su variedades en términos de contribución a la actividad antioxidante. Los resultados indican la presencia como mínimo 23 compuestos fenólicos en forma libre y unificada, los cuales fueron solubilizados por hidrólisis ácida o alcalina (Ibañez Bejar, 2021)

Figura 2

Compuestos Fenólicos de la Quinoa Blanca, Roja y Negra Collana



Nota. Figura 7. Configuraciones atómicas ejemplares de los primordiales metabolitos secundarios medicinalmente activos hallados en la semilla de quinoa. A: saponina triterpénica, B: fitoesterol, C: fitoecdisteroide, D: ácido fenólico, E: flavonol glucosídico, F: betalaína, G: glicina betaína, G: glicina betaína. (Graf et al. (2015). (Ibañez Bejar, 2021)

2.2.5.4 Antioxidantes

2.2.5.4.1 Clasificación de Antioxidante

Antioxidantes Sintéticos

En la actualidad, se han utilizado varios antioxidantes sintéticos, que esencialmente pertenecen a la división de compuestos fenólicos. Entre los antioxidantes, se utilizan hidroxianisol butilado y hidroxitolueno butilado butilhidroquinona terciaria. Se utilizan ésteres del ácido gálico. Sin embargo, los aditivos alimentarios nos hacen daño debido a la seguridad alimentaria (Ito et al., 1996, citado en Calsin, 2007). En este contexto, la normativa establece que su uso no tiene que exceder el 0,02 % del tenor lipídico o aceite del alimento, con el propósito de limitar la formación de peróxidos durante el periodo de almacenamiento. (Ibañez Bejar, 2021)

Antioxidantes Naturales

Los antioxidantes naturales comprenden un conjunto diverso de sustancias presentes de forma inherente en tejidos vegetales y animales, o bien obtenidas a partir de ellos, así como aquellas que se originan durante los técnicos de cocinado y transformación de provisiones de

origen vegetal y animal. Principalmente, dichos antioxidantes constituyen elementos fenólicos, cuya eficacia reside en su facultad para inactivar radicales libres a través de la entrega de hidrógeno fenólico, sumado al equilibrio de los radicales protectores creados y a las variaciones químicas existentes en su configuración atómica. (Pokorny et al., 2005)

Según López et al. (2013), los compuestos bioactivos e hipoglucemiantes recientes surgen como un tema atractivo en la alimentación del mundo moderno porque “los hallazgos recientes han demostrado que, al inhibir la actividad de la enzima α -amylase” compuestos bioactivos tales como ácido gálico y los ácidos clorogénicos están entre ellos. Hoy en día, la diabetes tipo 2 continúa representando una de las afecciones sanitarias más habituales y repercute en las juventudes durante 2021 (Coronado–Olano et al., 2021). citado por (Ibañez Bejar, 2021) p.28 y 29

2.2.5.4.2 Capacidad Antioxidante

Tabla 5

Capacidad Antioxidante de las Dos Variedades de Grano de Chenopodium quinoa Willd. “quinua” según los métodos DPPH. Ayacucho

Variedad	Capacidad antioxidante según DPPH μmol TE/mg
Amarilla Marangani	137,39 \pm 0,96
Negra qoito	415,17 \pm 7,64

Nota. Se estudió 20 variedades por tres métodos de las cuales solo se extrajo dos resultados de quinua amarilla Marangani y Negra Qoito (Misaraime Tacuri, 2023).

2.2.5.4.3 Capacidad Antioxidante de los Compuestos Fenólicos

El consumo de productos de origen vegetal, en particular frutas y hortalizas, aporta compuestos bioactivos con funciones biológicas que ayudan a contrarrestar procesos asociados al desarrollo de padecimientos degenerativos, tales como la neoplasia y las dolencias cardiovasculares. Este efecto protector se atribuye principalmente a la presencia de componentes fenólicos, cuya potencia antioxidante depende de la configuración química de sus moléculas.

Los antioxidantes actúan neutralizando o estabilizando las especies reactivas de oxígeno, las cuales pueden originarse tanto a partir del metabolismo normal del organismo como por la acción de factores externos. Estas especies, conocidas como radicales libres, tienen

la capacidad de dañar componentes celulares esenciales, favoreciendo el desarrollo de enfermedades degenerativas. La actividad antioxidante de los alimentos se asocia con su contenido de vitaminas como la C y la E, carotenoides y compuestos fenólicos, y se evalúa mediante métodos que miden su capacidad para captar radicales sintéticos.

Desde una perspectiva funcional, el antioxidante se define como la aptitud de un componente para limitar o impedir la oxidación de biomoléculas como lípidos, proteínas y ADN. En este contexto, la quinua destaca por su elevado contenido de antioxidantes naturales, entre ellos carotenoides, vitamina C y flavonoides, los cuales contribuyen a minimizar el riesgo de procesos inflamatorios, dolencias cardiovasculares y determinados tipos de cáncer. Asimismo, su potencial antioxidante está estrechamente relacionado con el contenido de compuestos fenólicos, el cual logra oscilar de acuerdo a la diversidad genómica y al entorno ecológico de siembra. (Mamani Coaquira, 2015)

2.2.5.5 Propiedades Físicas de la Quinua

a) Densidad

Se conceptualiza como la masa de una sustancia por unidad de volumen (Alvarado y Aguilera, 2001). Dos clases de densidades se pueden identificar en el ámbito alimentario (Lewis, 1993). La primera es la densidad real. Tal término implica la medición en condiciones de vacío donde se elimina el efecto de flotación del aire. (Alvarado &, Aguilera, 2001) (Ibañez Bejar, 2021)

b) Densidad Aparente

La rectificación requiere efectuarse si la medición ocurrió bajo atmósfera para considerar el impacto del calor, la fuerza y del vapor específico del ambiente al manifestar el cálculo como densidad total (Alvarado &, Aguilera, 2001). La densidad es un concepto de fácil comprensión en los líquidos; no obstante, en el caso de los sólidos, especialmente los exhibidos mediante semillas o polvillo, es preciso diferenciar entre la densidad volumétrica y la densidad verdadera del insumo. En cambio, los gases y emanaciones se apartan de los fluidos y macizos por su carácter compresible. En este sentido, el estudio de la densidad constituye un aspecto fundamental en el procesamiento y la manipulación de alimentos. (Lewis, 1993). (Ibañez Bejar, 2021)

c) Densidad de los sólidos

Es posible determinar la densidad en alimentos granulados, como granos y guisantes, harina y polvos y productos terminados como leche, café y almidón., tanto de cada unidad como la densidad del conjunto de alimento, pero con el espacio del hueco entre las piezas

singulares; la mayor parte de estos macizos secos o polvillos carentes de poros íntimos poseen espesores que oscilan entre 1400 y 1500 kg/m³, ya que la densidad de los componentes suele ser lo suficientemente similar (Lewis, 1993). (Mohsenin, 1986, (Ibañez Bejar, 2021)

d) Gravedad específica

Particularmente, el peso específico de un objeto definido constituye la proporción de su densidad ante la densidad del líquido a una temperatura determinada, 4°C. Así, la gravedad específica es el peso específico relativo de una sustancia en relación con el agua.

El valor de esta cantidad es puramente numérico y adimensional: es igual a la densidad de la sustancia, medida en gramos por centímetro cúbico (Biatt, 1994). (Ramires, 2012)

e) Porosidad

El índice de porosidad el conjunto de granos de quinua inflada se estableció mediante el vínculo descrito por Lewis (1993), empleando los registros de densidad verdadera y densidad masiva calculados previamente.. (Ramires, 2012)

Tabla 6

Propiedades Físicas de la Quinua Expandidas

Propiedades Físicas de la Quinua Expandida			
Variedades	Densidad Aparente kg/m ³	Porosidad	Gravedades Específica
Pasankalla	68.95	0.93	1.028
Blanca de Juli	82.01	0.92	1.03

Nota. Respecto a la tabla 6 se evidencia los hallazgos de la propiedad física de la quinua expandida de la quinua variedad Pasankalla y blanca de Junín (Ramires, 2012).

2.2.5.6 Propiedades Químico Proximal de la Quinua

La quinua se considera un pseudocereal debido a su perfil de aminoácidos, el cual es semejante al de las leguminosas.

Asimismo, este grano destaca por presentar contenidos de proteínas y lípidos superiores a los observados en los cereales convencionales. La constitución orgánica cercana de la semilla de quinua se precisa en la Tabla 7.

Tabla 7*Propiedades Químico Proximal*

Componente	Contenido
Humedad	10.00 %
Proteína	17,85 N x 6,25 %
Fibra	1.89 %
Cenizas	2.20 %
Grasa	9.82 %
Energía	385,46 kcal/100 g
Acidez	0.0%
Saponina	0,015 %

Nota. En la presente tabla 7 se muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas de la quinua según (INIA, 2015).

a) Humedad

La hidratación óptima oscila entre 9 – 12 % pues los granos muy acuosos resultan vulnerables ante hongos bajo el depósito; si las semillas están bastante secas suelen fracturarse durante el ciclo (Yana Quispe, 2015).

b) Proteína

La quinua es reconocida por su elevado aporte proteico, que puede oscilar entre 12 y 23%, además de presentar un perfil de aminoácidos adecuado para la nutrición humana (Abugoch et al., 2008). Según Huamani Valenzuela (2019), este cultivo destaca por su valor nutricional, registrando contenidos proteicos entre 13.81% y 21.9%, variación asociada principalmente a las diferencias variedades y al aporte casi completo de aminoácidos esenciales, tal como lo señala la FAO y lo confirma Risi (1991). La mayor proporción de proteínas se localiza en las zonas externas del grano, especialmente en la aleurona y el germen; mientras que composicionalmente, las prolaminas y glutelinas predominan dentro del endospermo, y las albúminas junto a globulinas se agrupan en las túnicas superficiales (Primo, 1979, citado por Rivera y Mónica, 2006). Asimismo, el acopio proteínico en la simiente resulta intensamente afectado por la disposición de nitrógeno en el vegetal. (Hayati et al., citado por Thanapornpoonpong et al., 2008). Este nutriente se moviliza principalmente vía floema en forma de aminoácidos, y sus niveles definen tanto el volumen como la excelencia de la proteína almacenada en la semilla, como se evidencia en estudios realizados en soja (Lohaus & Moellers, 2000, citado por (Quispe Colquehuanca, 2016)

c) Grasas

Indagaciones efectuadas en el Perú al establecer la escala de ácidos grasos hallaron que el superior tenor de grasas en este zumo es el Omega 6 (ácido linoleico), con 50,24 % para quinua, registros muy parecidos a los consignados en el óleo de germen de maíz, que posee un margen de 45 a 65 %.

El ácido oleico (omega 9) se posiciona como el ácido graso de mayor presencia en el aceite de quinua, alcanzando aproximadamente el 26,04 %. En menor proporción se encuentra el ácido linoleico (omega 3), con un contenido de 4,77 %, seguido del ácido palmítico, que representa alrededor del 9,59 %. Adicionalmente, se han identificado otros ácidos grasos en concentraciones reducidas, tales como el ácido octadecanoico y el ácido eicosapentaenoico. La distribución de estos componentes lipídicos muestra similitudes con la composición del aceite de germen de maíz.

Consumir quinua. En este sentido, ayudaría a reducir los niveles de colesterol LDL y a acrecentar el colesterol HDL. Se propone esta afirmación debido a su alto adjunto de ácidos grasos omega 3 y omega 6. En determinados casos, los ácidos grasos insaturados representan hasta el 82,71 % del total de lípidos presentes en el aceite de quinua, los cuales han cobrado especial importancia en las últimas décadas debido a sus efectos positivos sobre la salud, especialmente por su contribución a la preservación de la movilidad de las láminas citoplasmáticas. (Wood et al., 1993, citado por (Huamani Valenzuela, 2019)

d) Carbohidratos

Los carbohidratos de los granos de quinua incluyen en un 58 % y un 68 % de almidón y alrededor del 5 % de azúcares. Esta constitución hace de la quinua la fuente perfectamente equilibrada de energía debido a la liberación del azúcar, que cae en el cuerpo lentamente, debido al alto contenido de fibra de este producto (Llorente J.R., 2008).

El almidón constituye el carbohidrato predominante en los cereales, representando cerca del 60 al 70 % del elemento seco. En la quinua, su contenido varía entre 58,1 y 64,2 % (Bruin, 1964). En los tejidos vegetales, el almidón se encuentra organizado en gránulos cuyas características de tamaño y forma son propias de cada especie. Presentan una dimensión aproximado de 2 μ m, lo que los hace más pequeños en comparación con los de otros cereales tradicionales.

Por todo lo dicho anteriormente y sobre todo debido a su importancia nutricional y tecnológica, el almidón de quinua es un material que hasta el momento ha sido poco estudiado y, por tanto, es necesario profundizar en la evaluación de sus propiedades funcionales. En este sentido, indican que el amilo de quinua exhibe una gran firmeza ante el gélido y la

reestructuración. Asimismo, la variabilidad genética en el tamaño de los gránulos de almidón, que oscila entre 1 y 28 μm , ofrece una importante referencia para su aplicación agroindustrial, facilitando su incorporación en mezclas con cereales y leguminosas y la determinación de su comportamiento funcional. (Rojas et al., 2010). (Huamani Valenzuela, 2019)

e) Fibra

Macromoléculas de glúcidos no asimilables integradas por sobre tres piezas monoméricas que se hallan de forma intrínseca en los víveres. Según su disolución en líquido, la FDA contempla sendas clases: fibra dietética hidrosoluble, como inulina, β -glucanos y diversos polisacáridos no amiláceos, y fibra dietética hidrofóbica, que prevalecen en la lignina, celulosa y ciertas hemicelulosas (Zhang, 2018).

f) Cenizas

El componente con mayor disminución debido al proceso de expansión en el subtotal, que pasó de 2,51 a 2,14 %, fue. Lo anterior permite suponer que en la corteza de la semilla se albergan minerales trascendentales, los que, de la mano de las fibras enteras, también se pierden con el proceso (Ramos Pacheco, 2024)

2.2.6 *Perlado de Quinua*

(Fuentes Carmona & Figueroa Donoso, 2017) La quinua perlada es el grano que ha sido seleccionado y desaponificado mediante mecanismos fisicoquímicos y mecánicos, lo que lo convierten en un ingrediente apto, sin impurezas y libre de factores antinutricionales. El salvado o envuelta de las simientes, por ejemplo, posee 86% cercanamente del total de saponina que se ubica en el grano integral (Fuentes Carmona & Figueroa Donoso, 2017). Entre diversidades y ecotipos de quinua y tipos de categorización, se diferencian las quinuas dulces (con escaso nivel de saponina) y las amargas.

2.2.6.1 Saponina

Las saponinas son compuestos responsables del sabor amargo característico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), desde la perspectiva de la industria alimentaria, constituyen un subproducto o residuo generado durante el procesamiento de las semillas para su consumo. No obstante, este residuo posee un alto potencial de valorización debido a sus propiedades bioactivas. En este contexto, el presente documento aborda una revisión sobre las saponinas de quinua, destacando sus propiedades biológicas ventajosas, las cuales han sido poco exploradas hasta la fecha y representan importantes retos y oportunidades de investigación para su futuro aprovechamientos. (Ahumada, 2016).

Tabla 8*Contenido de Saponina en Distintas Variedades de Quinua*

Origen	Variedad	Contenido	Genotipo
	Hualhuas	Bajo	Amargo
	Amarilla de Marangani	Alto	Amargo
	Witulla	Medio /Alto	Amargo
	Tahuaco	Alto	Amargo
Peru	blanca de juli	Medio /Alto	Amargo
	blanca y rosada de Junín	Bajo	Amargo
	Cheweka	Bajo	Amorgo
	Kancolla	Alto	Amargo
	Kancolla	5,6-7,5	Amargo

Nota. Pauta de categorización del genoma: Amarga si el contenido de saponinas es > 0,11% o dulce (Ortega, 2016).

Mujica et al, (2006). Es el proceso mediante el cual la quinua es liberada de impurezas y compuestos indeseables, principalmente la saponina, para hacerla apta para el consumo humano. Este procedimiento, conocido como desaponificación, consiste en un proceso mecánico de limpieza y descascarado que integra etapas secas y húmedas, orientadas a la remoción eficiente de la saponina, sustancia responsable del sabor amargo que recubre la superficie del grano de quinua.

2.2.6.2 Clases de Perlado de Quinua

Perlado seco, elimina la saponina mediante fricción mecánica de la capa externa del grano sin adición de agua. Perlado húmedo, que combina la abrasión con lavado para facilitar la remoción de residuos de saponina.

Perlado seco–húmedo, (mixta) que integra ambas etapas para lograr una mayor eficiencia en la eliminación de saponinas, reduciendo pérdidas nutricionales y mejorando la calidad del grano. En términos tecnológicos, el perlado influye directamente en las propiedades físicas, químicas y funcionales de la quinua, ya que puede afectar la composición proximal, la integridad del grano y la retención de compuestos bioactivos. Por ello, el control del grado de perlado es un factor clave en el procesamiento industrial de la quinua. (Nieto & Vimos, 1992). El escarificado elimina aproximadamente el 65 % de las saponinas; posteriormente se realiza

el lavado y secado, controlando las condiciones para evitar la germinación del grano. Esta técnica combinada reduce el consumo de agua y minimiza la ruptura de los granos. (Prado, 2018)p25.

2.2.7 *Expansión por Explosión*

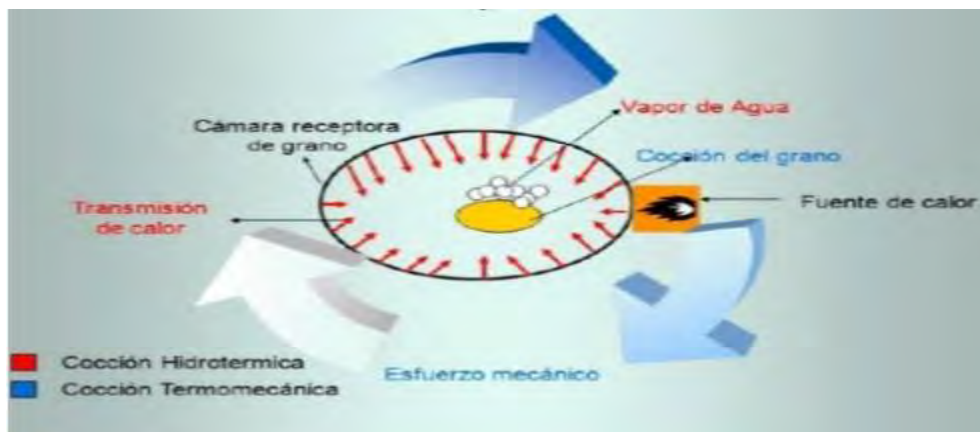
El expandido por explosión o “puffing” es una técnica tradicional de expansión de granos. Se basa en aplicar alta presión como también a temperaturas, seguida de una liberación rápida de presión, lo que transforma el agua interna en vapor, rompiendo la estructura del endospermo y generando un grano expandido, ligero y crocante (Rathore et al., 2019). (Campos-Rodriguez).

Los granos expandidos se utilizan ampliamente como productos listos para el consumo o como ingredientes en formulaciones de snacks. (Paucar-Menacho, y otros, 2018).

Batch, pues es un proceso tipo que arroja un producto tostado-crocante, ya que el volumen se incrementa y la humedad del grano varía de 17% a 5% humedad aproximadamente de entrada (Egas et al., 2010, p. 10). En la Figura 3, se expone someramente el fundamento funcional de la técnica de inflado en semillas y gramíneas.

Figura 3

Proceso de Expansión de Granos y Cereales



Nota. La figura 3 demuestra el proceso de expansión de granos y cereales (Cueva, 2012) (Villacres, 2013)

Tabla 9

Condiciones del Expandido de Materias Primas a 3200 m.s.n.m.

Materia prima	Casa por tanda (kg)	Humedad adecuada (%)	Presión de retiro quemador (lb/pulg ²)=psi	Explosión descarga (lb/pulg ²)=psi
Maiz duro	1	10	160	180
Arroz	1	10	160	180
Fideo	0.8	10	140	160
Trigo	1	15	180	200
Cebada	1	15	180	200
Quinoa	1	15	160	180
Kiwicha	1.5	10	140	160
Habas	1,5	15	80	100

Nota. Muestra valores de las condiciones para realizar el expandido de quinua, Montero (2011).

En tal escenario, si ocurre un descenso brusco de tensión por la potente descarga del insumo hacia el ambiente, el fluido remanente se transforma en gas y proyecta el material. En sí, el producto adquiere un tamaño varias-veces más grande y adopta una estructura porosa. (Hoseney,1991). (Chagua & Palomino Villaizan, 2014).

2.2.7.1 Etapas del Proceso de Expansión por Explosión

Acondicionamiento del grano.

La etapa concluyente en el procesamiento de los granos de cereal destinados al expandido es la etapa previa, o mencionado. El propósito de este esfuerzo es ajustar el contenido en humedad del grano y lograr su homogeneización. Esto se hace a temperatura ambiente 18-20 °C. La humedad inicial de la quinua saponizada y libre de saponina es de alrededor del 13 %. La quinua debía ser expandida al 17 % y esto necesitaba 30 mL de agua/kg.(Villacres, 2013)

La quinua exenta de saponina se deposita en un envase plástico, cuyos rasgos de trazo se citan en la sección "Diseño del tanque de acondicionamiento", se sumará el volumen de líquido respectivo y se permitirá que la semilla absorba el fluido en pausa por un lapso entre 15 a 20 min. (Cueva, 2012).

La preparación del grano constituye una fase previa en el computo de cereales destinados al expandido, cuyo propósito es ajustar y homogenizar el contenido de humedad del grano para favorecer un tratamiento adecuado.

Equipo utilizado cañón manual de disparo simple. En el mortero de descarga única, los granos se cargan a través de la abertura del cañón, la cual se cierra y sella posteriormente mediante un mecanismo de ajuste. Durante el funcionamiento del equipo, se aplica calor en uno de sus laterales, lo que ocasiona la transformación de la humedad interna del grano en vapor y da lugar al fenómeno de expansión.

El equipo presenta un peso aproximado de 200 kg, proporcionando la inercia necesaria para resistir la elevada fuerza generada en el instante del despliegue del producto expandido. Sus dimensiones corresponden a 0,60 m de largo, 0,40 m de ancho y 0,76 m de alto. Asimismo, dispone de un recubrimiento duro a temperaturas perenes de hasta 538 °C y a temperaturas intermitentes de 649 °C, lo que lo hace apto para su operación en sistemas de vapor. La capacidad de procesamiento es de 1 kg de producto por cada ocho minutos, con una presión de operación recomendada de 220 psi (Huamani Valenzuela, 2019)

2.2.7.2 Efectos de la Presión en el Expandido de Quinua

Huamani Valenzuela (2019) evidenció que la presión (190–260 psi) y la humedad del grano (9–16%) fueron determinantes en la expansión, destacando que la quinua roja Pasankalla alcanzó un índice de tamaño nueve veces mayor al original.

Quispe Boza (2022) demostró que la interacción entre humedad (15–20%) y presión (140–160 psi) influye en la aceptabilidad del producto expandido, seleccionando como óptimo 15% de humedad y 160 psi.

Zapana Yucra (2019) describió los rasgos corporales y orgánicos de quinua roja expandida con cañón, señalando condiciones óptimas a 1,31 MPa (~190 psi) y 780 segundos, comparando además la eficiencia energética frente a otros métodos como microondas y extrusión.

Condori Gonzales (2022) utilizó el cañón manual a 180 psi y 17% de humedad, obteniendo quinua expandida con buen rendimiento (71,42%) y alta aceptación, destacando su potencial en el desarrollo de productos funcionales.

2.2.7.3 Reacción Maillard en el Grano Expandido

La reacción de Maillard es un fenómeno químico no enzimático que ocurre entre azúcares reductores y grupos amino libres de proteínas o aminoácidos, favorecida por entornos de elevada calidez y escasa humedad. En el proceso de expandido por explosión en cañón

manual, las temperaturas internas pueden superar los 180–220 °C, generando un entorno propicio para el desarrollo de esta reacción.

2.2.7.4 Evidencia Desde los Antecedentes Nacionales

Huamani Valenzuela (2019) observó que la variación de humedad (9–16%) y presión (190–260 psi) influyó no solo en la expansión física, sino también en las características sensoriales. Este efecto puede estar asociado a compuestos de pardeamiento no enzimático derivados de la reacción de Maillard, responsables de cambios en el color, aroma y sabor tostado de la quinua expandida.

Quispe Boza (2022) reportó que la interacción de humedad (15–20%) y presión (140–160 psi) afectó la aceptabilidad de la quinua expandida. La formación de compuestos aromáticos derivados de Maillard probablemente mejoró el perfil sensorial, aunque un exceso de reacción podría comprometer el color o generar compuestos indeseables.

Zapana Yucra (2019) al caracterizar insuflados de quinua roja, describió cambios en color y microestructura tras la expansión, lo que sugiere la ocurrencia de reacciones de Maillard ligadas a la caramelización parcial de azúcares y la interacción proteína-carbohidrato durante el choque térmico.

Condori Gonzales (2022) encontró que la expansión a 180 psi con harina de moringa y jarabe de agave mejoró la presentación del producto. En este caso, el aporte extra de azúcares por el jarabe puede intensificar la reacción de Maillard, generando tonalidades doradas y mayor complejidad aromática.

2.2.7.5 Efecto del Contenido Fenólico y Capacidad Antioxidante en el Expandido de Quinua

El proceso de expandido por explosión tiene un impacto positivo, lo cual se atribuye a la generación de bienes de la reacción de Maillard como consecuencia de la aplicación de tratamientos térmicos intensos o del almacenamiento prolongado. Dichos compuestos poseen una elevada actividad antioxidante, relacionada con su capacidad para inhibir reacciones en cadena y ejercer una acción de oxígeno. De acuerdo (Kaur and Kapoor 2001 citado por Tacora et al., 2010).

Asimismo, la potencia antioxidante de los frutos del proceso de Maillard es imputable mayormente al elevado peso corporal de los componentes oscuros formados a medida que avanza la reacción. Se ha informado que el potencial antioxidante registra un decrecimiento

para los tratamientos de calor corto, sin embargo, se señalaron mejoras significativas en estas propiedades para los tratamientos de calor largo (Kaur et al., 2001, p. 94).

Las diversidades Amarilla Marangani y Negra collana presentan particularidades bioquímicas de interés:

- La Amarilla Marangani mostró, en germinados, el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (2.78 mg EAG/g), flavonoles (0.33 mg EQ/g) y elevada capacidad antioxidante en pruebas DPPH y ABTS.
- La Negra Collana, por su parte, destacó en contenido de flavonoides (1.96 mg EQ/g) y mayor capacidad antioxidante medida por FRAP (Gutiérrez Cuadros, 2019). Estas diferencias varietales justifican su comparación bajo tratamientos tecnológicos como el perlado y el expandido por explosión.

2.2.7.6 Efectos en las Propiedades Físicas de la Quinua Expandida

Las principales propiedades físicas que permiten evaluar el efecto del expandido son:

- Gravedad específica: refleja el nivel de dilatación y la relación entre masa y volumen desplazado.
- Densidad aparente: disminuye con la expansión, indicando mayor volumen específico.
- Porosidad: grado de cavidades internas creadas por la vaporización del agua.

Encontró que la quinua roja obtuvo un índice de expansión nueve veces mayor que la blanca bajo 225 PSI y 16 % de humedad, confirmando la influencia de la presión y variedad en las características físicas del producto. Huamani Valenzuela (2019)

Asimismo, Zapana Yucra (2019) evaluó insuflados de quinua roja INIA, encontrando que la presión, la humedad y la técnica de expansión (cañón, microondas o extrusión) afectan la densidad, el color, la microestructura y la absorción de agua.

2.2.7.7 Efectos en la Composición Químico-Proximal de la Quinua del Expandido

El proceso de expandido por explosión constituye una de las tecnologías térmicas más empleadas para modificar la estructura, composición y valor nutricional de granos andinos como la quinua. Este tratamiento implica una rápida transferencia de calor y presión que genera la expansión súbita del endospermo, provocando transformaciones significativas en las propiedades físicas, químicas y proximales del grano (Zapana Yucra, 2019; Huang, 2018).

El expandido por explosión es una tecnología térmica ampliamente utilizada para transformar granos como la quinua, generando cambios estructurales, físicos, químicos y funcionales debido a la rápida aplicación de calor y presión. Este proceso provoca la expansión instantánea del endospermo y altera la composición proximal y bioactivo del grano.

De acuerdo con diferentes autores, las condiciones de presión, humedad y tiempo son determinantes para el rendimiento y las propiedades nutrimentales y funcionales del producto expandido. Zapana Yucra (2019) señala que presiones cercanas a 1,31 MPa y humedades entre 18–20 % afectan principalmente la humedad y el contenido lipídico, mientras que proteínas y carbohidratos tienden a mantenerse estables. De forma concordante, estudios en otros cereales indican reducción de almidón y grasas, mayor gelatinización (>80 %) y mejora en la digestibilidad de proteínas y carbohidratos debido a desnaturalización y liberación de nutrientes (Huang, 2018)

Investigaciones en Perú corroboran estos efectos. Ibañez Béjar (2021) y Mamani Coaquira (2015) destacan un incremento notable de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante tras la expansión, atribuible a la ruptura de matrices celulares y mayor extractabilidad de bioactivos. No obstante, se reportan disminuciones de proteína asociadas a desnaturalización y reacciones de Maillard. Estudios como los de Quispe Boza (2022), Condori Gonzales (2022) y Huamani Valenzuela (2019) confirman que la presión y humedad inicial condicionan la expansión, textura, digestibilidad y composición proximal final, demostrando una mejora en la asimilación de nutrientes bajo condiciones óptimas.

Asimismo, la variedad del grano influye en la respuesta al tratamiento. Gutiérrez Cuadros (2019) y Misaraime Tacuri (2023) evidencian que variedades oscuras o pigmentadas poseen mayor contenido fenólico y capacidad antioxidante, conservando mejor estos compuestos después del proceso. Del mismo modo, Quispe Colquehuanca (2016) sugiere que el cultivo orgánico puede favorecer la estabilidad proteica y la actividad antioxidante frente al tratamiento térmico.

Tabla 10

Propiedad Químico Proximal del Expandido de Quinua (%H15y 160psi)

Análisis	Resultado (en 100 g de muestra)
Humedad	9,9g
Ceniza	1,9g
Grasa	5,3g
Proteína(f=6,25)	14,0g
Carbohidratos	68,9 g
Energía total	379,3kcal
digestibilidad de proteína in vitro	94,4g

Nota. En la tabla 10 se muestra los valores en gr sobre la composición química del insuflado de quinua (Quispe Boza, 2022).

Tabla 11

Requisitos Químico Proximal del Expandido de Quinua

Requisitos	Unidades	Valores		Metodos de ensayo
		Minimo	Maximo	
Humedad	%	-	8.5	AOC945.15
Proteína	%	4.5	-	ISO187,AOAC992,23
Cenizas	%	-	1.2	ISO2171,AOAC923,03
Grasa	%	-	2.5	AOAC945,38

Nota. NTP 011.459 (2016) citado por (Huamani Valenzuela, 2019)

No obstante, en las pautas técnicas de víveres que integran la provisión de asistencia alimentaria 2022 PNAEQW nos menciona el requisito como mínimo es 8.5% de proteína y humedad como máximo de 5%. (D0002332021-MIDIS/PNAEQWDE, 2022)

2.2.7.8 Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante de la Quinua Expandida

Los agregados fenólicos son metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y protectoras frente al daño oxidativo. La quinua, especialmente las variedades de color oscuro, presenta altos contenidos de polifenoles, flavonoides y antocianinas (Misaraime Tacuri, 2023)

El proceso de expansión por explosión puede tener efectos duales:

Reducción de fenólicos sensibles al calor.

Liberación de fenólicos ligados a la matriz, lo que puede incrementar la fracción disponible.

Esto se refleja en la propiedad antioxidante medida por técnicas como DPPH, ABTS y FRAP. Por ejemplo, Gutiérrez Cuadros (2019) reportó que la Amarilla Marangani presentó la

mayor actividad antioxidante en DPPH y ABTS, mientras que la Negra Collana destacó en FRAP.

(Misaraime Tacuri, 2023) al evaluar 20 variedades de quinua, evidenció altos valores de fenoles totales y capacidad antioxidante en variedades Negra Coito y rojas, confirmando el rol del color del grano en la bioactividad.

2.2.7.9 Análisis científico de la influencia de la presión y la humedad en la quinua expandida.

El comportamiento del grano de quinua durante el proceso de expandido por explosión (puffing) depende esencialmente de dos variables críticas del proceso: el contenido de humedad del grano y la presión ejercida en el equipo expensor. La interacción de estos parámetros condiciona el grado de expansión, el desarrollo de la estructura porosa y las modificaciones en las cualidades corporales, orgánicas y funcionales del producto obtenido.

- Efecto de la humedad del grano

La humedad actúa como el motor termodinámico del expandido. El agua contenida en el endospermo se transforma rápidamente en vapor al exponerse al calor, generando una presión interna que fractura la matriz del grano.

a) Humedades bajas (9–12%)

Insuficiente vapor interno para provocar una expansión adecuada, Producen granos duros, poco expandidos y con menor porosidad en la estructura interna permanece compacta debido a la falta de presión interna ocasionando un menor volumen de expansión y mayor densidad real.

Estudios relacionados según Huamani (2019) reporta que humedades cercanas al 9% producen menor índice de expansión en quinua blanca y roja.

b) Humedades intermedias (14–16%) – Rango óptimo

Niveles ideales para expansión en quinua a su vez promueven una rápida gelatinización del almidón, facilitando la formación de una matriz expandida. Por consecuencia generan mayor porosidad y una estructura ligera favorece una expansión homogénea y controlada.

Según las investigaciones de Ibáñez (2021) y Quispe Boza (2022) utilizaron humedades de 15–20%, encontrando que 15% permite mejor expansión y aceptabilidad.

Huamani (2019) encontró mejores resultados a 16% de humedad en variedades rojas.

- Efecto de la presión aplicada

La presión del sistema determina la velocidad y magnitud con la que se libera el vapor comprimido al momento de la explosión.

a) Presiones bajas (140–160 psi)

La fuerza de expansión es limitada.

Generan expansión moderada, poros pequeños y productos con mayor densidad aparente.

Estructura menos abierta.

Quispe Boza (2022) evaluó 140–160 psi, encontrando que 160 psi mejora ligeramente la expansión.

b) Presiones medias–altas (180–210 psi)

Son las más adecuadas para expandido de quinua, Permiten una liberación súbita de energía que forma cavidades internas estables y esto Aumentan significativamente el volumen, porosidad y crocancia.

Obteniendo así una densidad aparente y mejora la textura según la investigación de Zapana Yucra (2019) empleó 191 psi con resultados óptimos de porosidad (0.56).

Huang (2018) trabajó con 217 psi en cereales y logró aumentos en la porosidad y cambios químicos importantes.

c) Presiones demasiado altas (>220 psi)

Pueden generar rupturas excesivas, quemado o deformación del grano.

Riesgo de que el grano se quiebre completamente sin lograr una estructura alveolar uniforme.

- Interacción presión–humedad

La relación entre presión y humedad es no lineal y ambas variables interactúan fuertemente:

a) Humedad adecuada sometida presión adecuada sucede una expansión óptima

Humedad 14–16% sometida una presión 180–210 psi, Permiten gelatinización completa del almidón y Favorecen explosión instantánea → mayor volumen, poros grandes, textura ligera.

b) Baja humedad sometida a alta presión provoca una expansión limitada

El grano no tiene suficiente vapor interno, la presión externa no genera expansión, sino fracturas superficiales.

c) Alta humedad sometida a baja presión suele suceder un colapso

El grano no alcanza presión interna suficiente para expandirse y la humedad excesiva ablanda demasiado la matriz.

- Implicancias en las propiedades físico-químicas

a) Composición proximal

Los procesos de expansión suelen generar:

Disminución de humedad por evaporación súbita, ligera reducción de proteína y grasa por degradación térmica (Huang, 2018) y Aumento aparente de carbohidratos, al reducirse las fracciones anteriores.

b) Propiedades físicas

A mayor presión y humedad óptima mayor porosidad y menor densidad. Así como la investigación de Zapana Yucra: porosidad 0.56 a 191 psi y, Ibáñez (2021): porosidad 0.21–0.55

c) Propiedades funcionales

La mayor porosidad incrementa la asimilación de fluido y aceite y se modifica la funcionalidad antioxidante debido a la ruptura de matrices celulares.

En síntesis, se puede decir que la presión y la humedad son variables críticas que determinan el comportamiento del grano de quinua durante la expansión por explosión. Una humedad intermedia ($\approx 15\%$) junto con presiones entre 180–210 psi favorecen una expansión eficiente, mayor porosidad, menor densidad aparente y una mejora en las propiedades funcionales. Cuando estos parámetros se desbalancean, la expansión se ve comprometida, afectando directamente la calidad del producto final tanto en estructura como en composición proximal.

2.2.8 Descripción de la Operatividad del Equipo Cañón Manual de Disparo Simple

Es un equipo utilizado para el expandido por explosión (“popping”) de granos como la quinua. Su funcionamiento se basa en el calentamiento y presurización del grano dentro de una cámara metálica herméticamente sellada; una vez alcanzada la presión y temperatura deseadas, la liberación súbita de la válvula de disparo genera un choque de presión que provoca la expansión instantánea del grano. Este mecanismo ha sido empleado ampliamente en estudios experimentales en Perú y otros países, demostrando su eficacia en la transformación de la quinua en un producto de mayor volumen, porosidad y mejor aceptación sensorial.

Figura 4

Equipo de Expandido por Explosión



Nota. Equipo de expansión está constituido por una cámara cilíndrica metálica, un sistema de cierre hermético con seguro, un quemador externo a gas como fuente de calor, un manómetro que permite monitorear la presión (habitualmente entre 140 y 225 psi), y una palanca de disparo que libera de manera súbita la presión interna.

2.2.9 Proceso Tecnológico de Expansión de la Quinua

Comprende una secuencia de operaciones unitarias que incluyen hidratación, precalentamiento, alimentación, calentamiento, expansión, recepción, selección y envasado. En la etapa de hidratación, el grano debe alcanzar un contenido de humedad comprendido entre 10 y 15 %. Algunos autores recomiendan lograr aproximadamente 13 % de humedad con un tiempo de reposo de 30 minutos, mientras que otros señalan que un contenido cercano al 14 % se obtiene tras un periodo de oreo de 24 horas.

El equipo es precalentado mediante fuego a gas durante aproximadamente 20 minutos, con el fin de uniformizar la temperatura de la cámara de expansión. Posteriormente, el grano se alimenta al equipo de acuerdo con su capacidad de carga mediante un embudo metálico, cerrándose herméticamente el sistema. El calentamiento se lleva a cabo durante un lapso aproximado de 8 minutos, hasta alcanzar una presión de 165 lb/pulg² registrada en el manómetro. La etapa de expansión se inicia al apagar la fuente de calor y abrir la tapa del alimentador del expansor, permitiendo la liberación súbita de la presión.

El producto expandido es recibido en una cámara de recepción y sometido a una etapa de selección, en la cual se separan los granos defectuosos (derrengados, carbonizados) mediante tamizado en mallas metálicas de diferente diámetro. Finalmente, el producto se envasa y sella manualmente en bolsas de polietileno transparente (Montero, 2011).

2.2.9.1 La operatividad sigue las siguientes etapas:

Preparación y carga: los granos de quinua perlada son acondicionados con niveles de humedad entre 9% y 20% dependiendo del diseño experimental (Huamaní Valenzuela, 2019; Quispe Boza, 2022; Zapana Yucra, 2019). Posteriormente se introducen en la cámara del cañón en cargas de 200–500 g.

Cierre y calentamiento: la cámara se sella y se expone al origen de calor externa. En este proceso, la calentura interna incrementa la presión hasta los valores programados (180–225 psi en la mayoría de las investigaciones).

Acumulación de presión: el agua contenida en los granos se vaporiza, generando presión interna que plastifica la matriz de almidón y proteínas.

Disparo y expansión: al accionar la palanca, la presión se libera de forma instantánea. Esta liberación súbita produce la expansión volumétrica del grano, generando quinua con textura ligera, mayor índice de expansión y mejor digestibilidad (Condori Gonzales, 2022; Quispe Boza, 2022).

Recolección y enfriamiento: el producto expandido se recibe en una tolva o superficie de recolección y se enfría rápidamente a temperatura ambiente, evitando el colapso estructural del grano.

2.3 Marco Conceptual

Quinua Convencional: Se denomina quinua convencional a aquella producida mediante sistemas agrícolas tradicionales, los cuales suelen incorporar el uso de insumos agroquímicos, tales como fertilizantes sintéticos, plaguicidas y herbicidas, con la finalidad de incrementar la productividad del cultivo y controlar plagas y enfermedades (Jacobsen, 2003).

Quinua Orgánica: La quinua orgánica es producida bajo sistemas agrícolas que prescinden del uso de insumos químicos sintéticos y se fundamentan en prácticas sostenibles orientadas a la conservación de la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Su producción se rige por las normas establecidas por la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica) y la FAO (2015). Para su comercialización como producto orgánico, debe contar con certificaciones internacionalmente reconocidas, como USDA Organic o el sello europeo de producción ecológica.

Antioxidante: Los antioxidantes son compuestos capaces de retardar o inhibir las reacciones de oxidación. Su importancia radica en que, al estar presentes en los alimentos, contribuyen a su conservación al disminuir el deterioro oxidativo y, tras su ingesta, aportan sustancias esenciales que ejercen efectos beneficiosos en el organismo. (Pokorny & Gordon, 2005).

Expandido: Constituye un proceso que ocurre por la vaporización estallante del líquido alojado en el interior de la semilla, como consecuencia de una reducción abrupta de la presión, lo que ocasiona su hinchamiento hasta alcanzar un tamaño superior al original. Este procedimiento permite obtener un producto con adecuada calidad nutricional, condiciones

sanitarias seguras y buena estabilidad durante el almacenamiento. (Chagua & Palomino Villaizan, 2014).

Capacidad Antioxidante: La funcionalidad antioxidante es el “poder innato de una sustancia que se encuentra en las situaciones fisiológicas y biológicas erráticas, de impedir o ralentizar la reacción en cadena inducida por los radicales libres y otros peroxídicos de lípidos, proteínas o materia orgánica y no permitirles actuar sobre otros sustratos” (Chagua & Palomino Villaizan, 2014)

Compuestos Fenólicos: Los compuestos fenólicos están vinculados al color, las propiedades sensoriales, el valor nutritivo y la actividad antioxidante de los alimentos. Estas características se atribuyen principalmente a la elevada reactividad del grupo fenol presente en su estructura química (. (Chagua & Palomino Villaizan, 2014).

Radicales Libres: Los radicales libres son moléculas orgánicas o inorgánicas altamente inestables y de elevada reactividad. Pueden formarse en el laboratorio, en el ambiente por acción de la irradiación o en los organismos vivos, incluido el cuerpo humano, principalmente por interacción con el oxígeno. Estas especies pueden provocar daños en las membranas celulares y alterar el material genético, como el ADN. (Chagua & Palomino Villaizan, 2014).

Alimento Funcional: Un alimento funcional es aquel que contiene uno o más componentes, nutrientes o no nutrientes, capaces de ejercer efectos específicos sobre determinadas funciones del organismo, proporcionando beneficios adicionales más allá de su valor nutricional básico, lo que justifica la atribución de propiedades funcionales o saludables. (Chagua & Palomino Villaizan, 2014).

III HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis de la Investigación

Hipótesis General

El proceso de perlado seco-húmedo y el expandido por explosión, bajo dos niveles de presión (180 y 200 psi), afecta significativamente las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de las variedades de quinua orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana.

Hipótesis Específicos.

1.-En el proceso perlado seco-húmedo afecta significativamente en las propiedades funcionales y químico-proximales de dos variedades quinua orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana.

2.-El proceso perlado seco-húmedo y expansión por explosión a dos niveles de presión (180 y 200 psi) afecta significativamente el contenido de los compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidantes de las variedades de Quinua Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana.

3.-El proceso de perlado seco-húmedo y el expandido por explosión, a dos niveles de presión (180 y 200 psi) afecta significativamente la porosidad, densidad aparente y la gravedad específica de las variedades de Quinua Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana.

4.-El proceso de perlado seco-húmedo y expandido por explosión afecta significativamente las propiedades químico proximal (humedad, proteína, fibra, grasa, carbohidrato y ceniza de las variedades de Quinua Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana.

Tabla 12

Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicador	Instrumento de medición	Unidad	Tipo de Variable
Varietades de quinua <i>(Chenopodium quinoa Willd)</i> perlada seco-húmedo: Amarilla Marangani Negra Collana	<ul style="list-style-type: none"> Son granos orgánicos de quinua perlada que presentan ausencia de saponina diferencias genéticas, morfológicas y de composición nutricional. 	Se evaluó el perlado mediante la coloración y pérdida de pigmento en Amarilla M. y conservando en Negra Collana	Varietades de quinua orgánica perlada (Amarilla Marangani / Negra Collana)	Perlado: Observación directa y registro en ficha técnica experimental Expandido:	-	Independiente Cualidad nominal
Presión de expansión	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de presión aplicada en el equipo 	Se evalúa dos presiones durante el proceso	180PSI 200PSI	Equipo de expandido Manómetro	$PSI = \frac{lbf}{plg^2}$	Independiente
Propiedades funcionales	<ul style="list-style-type: none"> Características bioactivos del grano asociadas a compuestos fenólicos y capacidad antioxidantes. 	Se midió la capacidad funcional del grano (perlado y expandido) según los parámetros DPPH y Ácido Gálico.	Compuesto fenólico y capacidad antioxidante	Equipo Espectrofotómetro génesis 20thermo electros Método: DPPH Folin Ciocalteu	Equivalentes en Acido gálico mg/100 g TEAC g/100 g	Dependiente, cuantitativa continua
Propiedades físicas	<ul style="list-style-type: none"> Características físicas del grano expandido relacionadas con su estructura . 	Se midió mediante pruebas físicas realizadas en laboratorio a las muestras tratadas.	Densidad aparente Gravedad específica porosidad	Balanza analítica, Picnómetro Probeta	$\frac{g}{cm^3gr}$ %	Dependiente, cuantitativa continua
Propiedades químicas	<ul style="list-style-type: none"> Composición nutricional básica del grano. 	Se determinó mediante análisis bromatológico de las muestras tratadas.	proteína, grasa, fibra, humedad, ceniza, carbohidratos	Métodos AOAC: 964.22, 955.04, 942.09, 962.05	%	Dependiente, Analítica

Nota. En la tabla se exhibe la estructuración de factores de la indagación.

IV MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Lugar de Investigación.

Tuvo lugar en la ALTIPLANICA S.A.C., una organización que se relaciona al tratamiento de semillas andinas y está ubicada en el distrito de Yunguyo, provincia de Collao, departamento de Puno, a 3,839 msnm. El propósito general era encontrar áreas de oportunidad para mejorar la excelencia del artículo y la destreza de los métodos en las áreas directamente relacionadas con la operación. Además, se realizó un levantamiento general en Sicuani, Canchis, Cusco.

Figura 6

Ubicación del Lugar de Ejecución



Nota: Ubicación de la elaboración del expandido por explosión de la quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.

4.1.1 *Análisis de Laboratorio*

Las evaluaciones de las propiedades funcionales se desarrollaron en el Laboratorio de Cromatografía y Espectrometría

Las evaluaciones de las propiedades fisicoquímicas se realizaron, en los laboratorios de investigación de fisicoquímica.

La precisión de los rasgos corporales se ejecutó en el taller de indagación de Estudio víveres de la facultad técnica ingeniería agroindustrial de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

4.2 Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación

Tipo de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque de tipo aplicado, debido a que está orientada a la generación de conocimiento científico con una finalidad práctica. En este marco, el estudio busca optimizar el procesamiento agroindustrial de la quinua orgánica mediante la aplicación de técnicas de descascarado seco-húmedo e inflado por estallido, con el objetivo de mejorar sus propiedades funcionales, físicas y químico-proximales. Este tipo de enfoque es característico de la ingeniería agroindustrial, ya que los resultados obtenidos permiten dar respuesta a problemáticas tecnológicas concretas y aportar valor agregado a los productos alimentarios. (Bernal, 2010; Hernández et al., 2014).

Nivel de investigación

Con respecto al nivel es explicativo, dado que tiene como objetivo identificar y explicar las relaciones de causalidad de las variables independientes, como la variedad de quinua y la presión aplicada durante el proceso de expandido, y las variables dependientes, representadas por las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales del grano perlado y expandido. Este nivel de análisis permite evaluar de manera rigurosa la influencia de las condiciones en materia de calidad tecnológica y nutricional del producto final, superando un enfoque estrictamente descriptivo (Tamayo y Tamayo, 2012).

Diseño de la investigación

Se optó por un diseño experimental, dado que las variables independientes fueron manipuladas de manera intencional bajo condiciones controladas de laboratorio, lo que permitió evaluar y cuantificar su influencia sobre las variables. El estudio se desarrolló por medio de un diseño multifactorial de carácter categórico, en el cual se consideraron dos factores con dos niveles cada uno, dando lugar a cuatro tratamientos experimentales. Cada tratamiento fue ejecutado con tres duplicaciones, conformando un total de 12 unidades experimentales. Este tipo de diseño es ampliamente utilizado en investigaciones de ciencia y tecnología de alimentos, ya que posibilita el análisis simultáneo de los efectos principales de los componentes y de sus reciprocidades. (Montgomery, 2017).

Tabla 13*Análisis Experimental de la Investigación*

Quinoa Perlada	Humificación	Expandido (Presión Manométrica)	Producto REPETICIONES
Amarilla Marangani	Humedad %=15 Θ =20min	180psi	1964 _(R1)
			1964 _(R2)
			1964 _(R3)
Amarilla Marangani	Humedad %=15 Θ =20min	200psi	1216 _(R1)
			1216 _(R2)
			1216 _(R3)
Negra Collana	Humedad %=15 Θ =20min	180psi	0478 _(R1)
			0478 _(R2)
			0478 _(R2)
Negra Collana	Humedad %=15 Θ =20min	200psi	1613 _(R1)
			1613 _(R2)
			1613 _(R3)
Propiedades		Métodos	
Propiedades Funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad antioxidante (μmol Trolox g/100g) • Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/100 g) 	Espectofotometria uv-vis (DPPH, Folin–Ciocalteu)	
Propiedades Físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Porocidad • Densidad aparente • Gravedad específica 	AOAC (2019) g/cm ³ ,%	
Propiedades Químico Proximal	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Proteína • Grasa • Ceniza • Fibra, • Carbohidratos 	AOAC 964.22 AOAC 955.04 AOAC.942.09 AOAC 962.05 %	

Nota. Proceso Del Análisis Experimental

4.3 Unidad de Estudio

La unidad de estudio estuvo conformada por granos de quinua perlada de diversidades Amarilla Maranganí y Negra Collana, los cuales fueron sometidos inicialmente al proceso de perlado y posteriormente al proceso de expandido por explosión.

4.4 Unidad experimental

La unidad experimental correspondió a cada muestra individual de quinua orgánica, perteneciente a una variedad determinada y sometida a un tratamiento específico, bajo niveles de presión de 180 y 200 psi. Cada muestra fue analizada de manera independiente para la evaluación de sus propiedades funcionales, físicas y químico-proximales.

Población

Granos de quinua orgánica de las variedades Amarilla Maranganí, procedente del departamento de Cusco, y Negra Collana, originaria del departamento de Puno, ambas representativas de la región sur del Perú.

Muestra

La muestra estuvo integrada por 12 unidades experimentales, obtenidas a partir de dos variedades de quinua (Amarilla Maranganí y Negra Collana), con tres repeticiones por cada tratamiento experimental. En conjunto, se obtuvieron 24 muestras para su análisis, empleándose 1 kg de materia prima como base del estudio.

4.5 Materiales, Equipos e Instrumentos

Materiales

Probetas de 10, 20 y 100 ml

Pipetas volumétricas de 1,5 y 10ml

Vasos precipitados de 50ml, 800ml y 250 ml

Micropipetas de 100 μ l y 500 μ l

Tubos de ensayo de 20ml

Placas Petri

Fiola de pirex de 10ml

Gradillas de plástico

Mesa de trabajo

Pinza

Luna reloj

Equipo de Laboratorio

Balanza analítica 120VAC/12VAC.

Balanza Electrónica Henkel Serie KG 25550.

Termómetro

Estufa

Henkel Serie KG 25550.

Equipo de destilación kjeldahl.

Espectrofotómetro 4802- UV/VIS DOUBLE BEAM

Agitador vortex mezclador 230VAC DAIHAN SCIENTIFIC velocidad de hasta 3.300rpm.

Analizador de humedad delver modelo HD-1021-USB serie 212 203 094 Industria argentina Mercosur.

CENTRIFUGE GREETMED 4000r/min, CC

Zaranda de pre limpieza, marca INNOVA, cap. 600kg/hr, mallas (>2.00mm;<1.00mm)

Reactivos.

Folin Ciocalteu's (HC69144001)

Carbonato de sodio Na_2CO_3 .

Metanol CH_3OH 99.8%

Ácido gálico (ácido 3,4,5- trihidroxibenzoico).

DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

Agua destilada (MERCK).

Maquinarias

Escarificadora de fricción, tipo seco de acero inox, marca INNOVA, cap. 500kg/hr.

Cañón expansor cap. de 1kg, acero inox, modelo boliviano marca JAPAN

Centrifuga DYNAC 420101, USA.

Otros Materiales

Bata de laboratorio

Guantes de nitrilo

Sacos polietileno

Bol inoxidable

Escoba

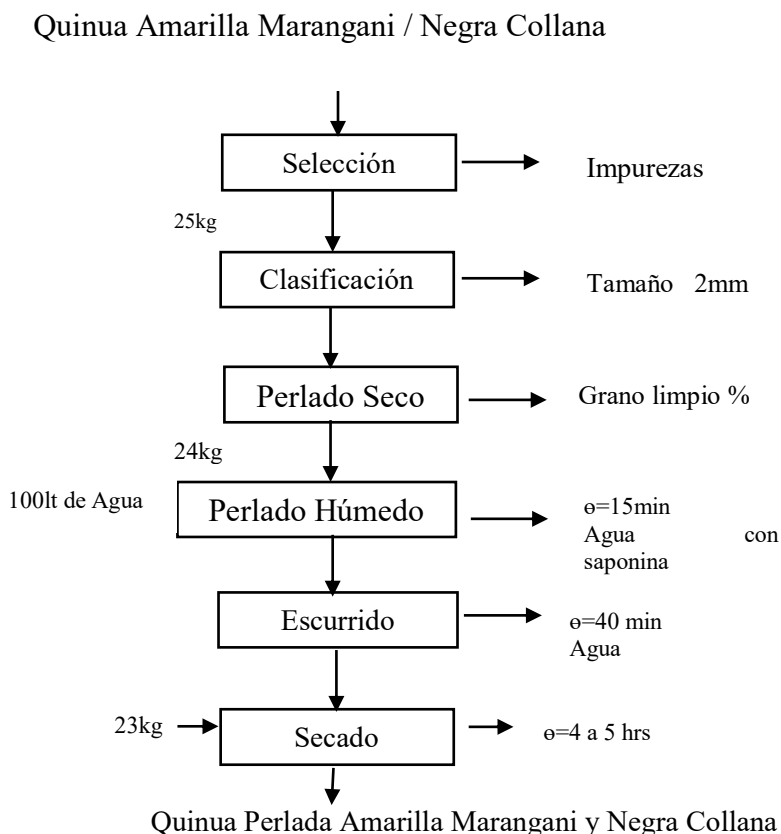
Removedor de madera

4.5.1 Proceso del grano perlado Seco-Húmedo

4.5.1.1 Descripción del Proceso de Quinoa Perlado por el Método Seco-Húmedo:

Figura 7

Diagrama del Flujo del Perlado de Quinoa Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana



Nota. Diagrama de perlado de quinoa orgánica

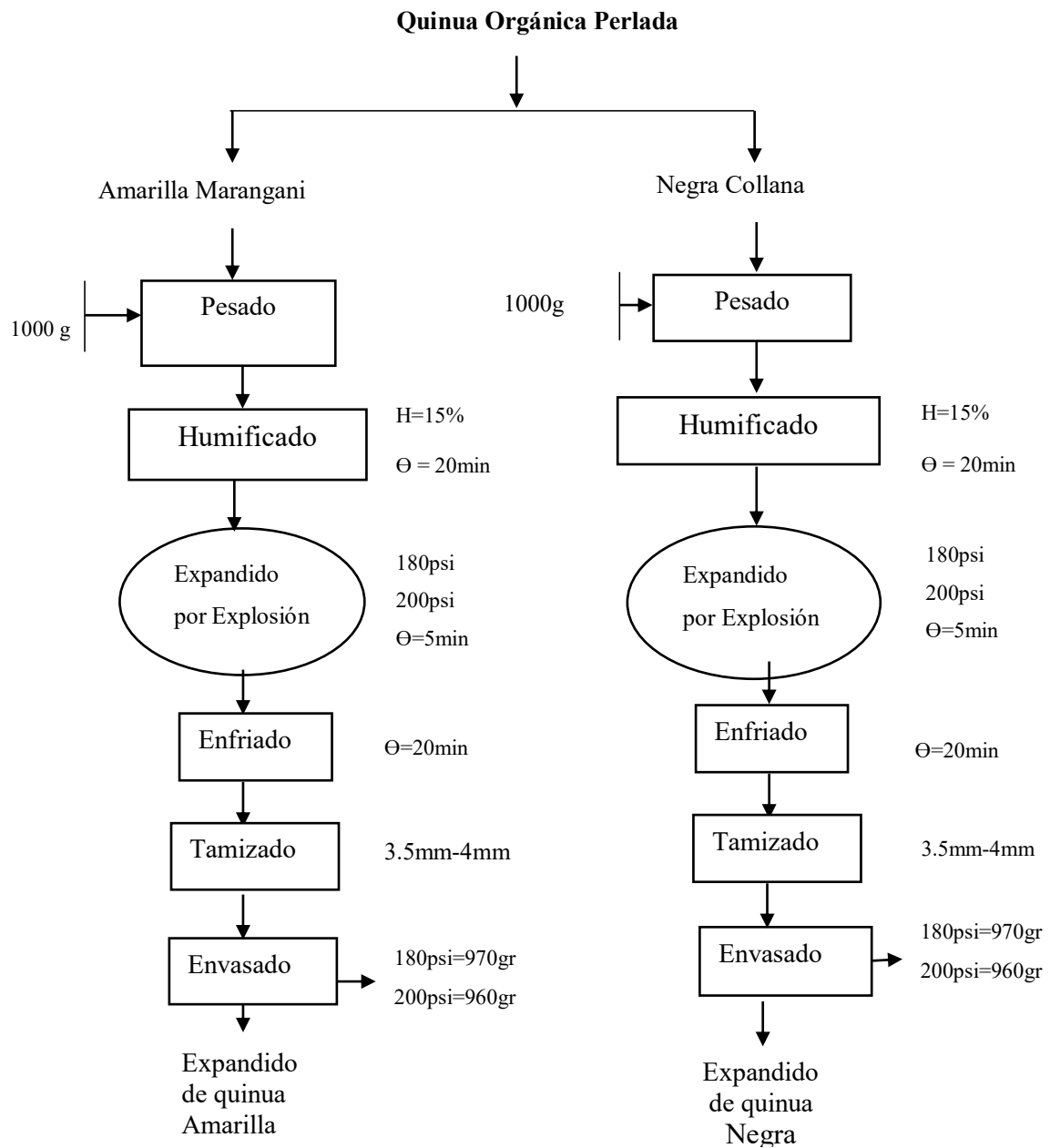
- **Recepción de la quinoa orgánica:** Consiste en la adquisición y recepción de la quinoa, se controla el peso de 25kg de variedad Negra Collana y Amarilla Marangani para verificar de la calidad del grano perlado
- **Selección:** Se realiza mediante un proceso de zarandeo del grano, con el objetivo de eliminar impurezas gruesas y finas. Para ello, se utilizan mallas de diferentes aperturas (**>2 mm y <1 mm**), lo que permite uniformizar el tamaño de la materia prima y facilitar las etapas posteriores del procesamiento.
- **Perlado Seco:** En esta etapa el grano perlado es escarificado se procede a remover el perigonio (capa externa que recubre la semilla) y una fracción superficial del

endospermo adherido al pericarpio. El objetivo principal es reducir la presencia de saponinas compuestos con propiedades amargas y potencialmente tóxicas, mejorando así su inocuidad y calidad sensorial controlando el tiempo de 5min a una temperatura ambiental y humedad ambiental.

- **Perlado Húmedo:** El lavado se lleva a cabo en tres etapas sucesivas, utilizando agua templada en agitación constante.
 - En el primer lavado, el grano se mezcla en agua templada durante 10 minutos a temperatura 20°C, con máxima velocidad de agitación para eliminar la mayor cantidad posible de saponina.
 - Los segundos y terceros lavados se realizan durante 5 minutos cada uno, manteniendo las mismas condiciones de temperatura ambiente 20°C y agitación, asegurando una limpieza homogénea y completa del grano.
- **Ecurrido:** Después del lavado, la quinua se coloca en mallas de 0.01mm para permitir el escurrido del agua residual durante un tiempo aproximado de 40 minutos, facilitando la eliminación del exceso de humedad.
- **Secado:** aproximadamente 3 a 4 horas, realizando remociones periódicas para garantizar un secado uniforme obteniendo una cantidad de 23kg de quinua. Antes de finalizar esta etapa, se verifica el contenido de humedad de 10 % a 11% para asegurar que el grano se encuentre dentro del rango adecuado para su almacenamiento y posterior procedimiento.

4.5.2 Obtención del Grano Expandido por Explosión

La quinua perlada fue sometida al proceso de expandido por explosión bajo dos niveles de presión, 180 y 200 psi, manteniendo una humedad constante del 15 % y un tiempo de tratamiento de 5 minutos, con el objetivo de evaluar el influjo de dichos estados sobre los rasgos prácticos, corporales y orgánico-proximales del artículo definitivo. Los resultados obtenidos fueron comparados entre ambas variedades para identificar diferencias en su respuesta al tratamiento térmico aplicado.

Figura 8*Diagrama de Flujo de Expandido por Explosión de Quinoa Orgánica Perlado*

Leyenda: H=humedad y Θ =tiempo

Nota. Diagrama del proceso del expandido por explosión de ambas variedades de quinoa orgánica.

- **Pesado:** se realiza un control de peso exacto de las diferente estirpes, con el fin de asegurar de 1000gr de quinua colocándola en bandejas de acero inoxidable de la balanza analítica el grano para su procesamiento, garantizando uniformidad.
- **Humificación:** Es una operación de acondicionamiento del grano en la que se adiciona una cantidad controlada de agua a la quinua perlada, elevando su contenido de humedad hasta aproximadamente 15 % equivalente a un 150ml de agua. La homogenización y el tiempo de 20min reposo permiten una absorción hídrica uniforme, lo cual mejora la eficiencia del expandido por explosión durante el tratamiento térmico.

Tabla 14

Condiciones del expandido de la quinua orgánica

Quinua	Cantidad (kg)	Humedad adecuada (%)	Temperatura de calentamiento °C	Presión de retiro quemador (lb/pulg ²) =psi	Explosión de descarga (lb/pulg ²) =psi	Temperatura del expandido °C
Amarilla marangani	1	15	182	160	180	195
Negra collana	1	15	195	180	200	203

Nota. Tabla de descripción sobre los parámetros del proceso de expandido por explosión (Montero, 2011).

- **Expansión por explosión:** Es una operación unitaria de tratamiento térmico de alta intensidad y corta duración, en la que los granos de quinua son sometidos a elevadas presiones 180–200 psi durante aproximadamente 5 minutos. La liberación súbita de la presión provoca la vaporización instantánea de la humedad interna, generando una expansión manométrica rápida del endospermo y produciendo el “popping” característico de las variedades estudiadas.
 - El calor sensible calienta el grano de quinua y su contenido de agua hasta temperaturas elevadas bajo presión.
 - A medida que el grano se calienta, su agua interna absorbe calor latente para vaporizarse sin elevar su temperatura.
 - La liberación repentina de presión provoca que ese vapor interno se expanda de forma muy rápida (casi adiabática), rompiendo el grano y produciendo la expansión característica

- **Enfriado:** El grano expandido sale disparado y caliente debido a la presión del expansor. Por ello, es necesario dejarla enfriar antes de manipularla, lo que facilita su adaptación al medio ambiente durante 10 minutos.
- **Tamizado:** Una vez enfriada, la quinua expandida se somete a un proceso de pulido en una máquina escarificadora, con el fin de eliminar restos de cáscara superficial y mejorar su apariencia. Simultáneamente, para el tamizado utilizamos una malla de 2,00 mm, para separar granos enteros de los fragmentados partidos o de menor tamaño.
- **Envasado:** El producto expandido se coloca en envases adecuados, diseñados para preservar su frescura, sabor y textura, evitando la absorción de humedad, contaminación externa y pérdidas organolépticas.

4.6 Determinación de la Capacidad Antioxidante

Se emplea la técnica DPPH, planteada por Brand-Williams et al. (1995), la cual se fundamenta en la interacción del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) disuelto en una solución de metanol al 80%. Las mediciones se realizaron empleando un espectrofotómetro.

Preparación de la solución stock de Trolox:

Pesar una cantidad conocida de Trolox (generalmente 10 mg).

Disolverlo en etanol para obtener una solución y/o patrón

Registrar los valores y graficar la disminución de absorbancia en función de la concentración de Trolox.

Condiciones de Análisis para Antioxidantes

Equipo: Espectrofotómetro Génesis 20 Thermo Electrón

Longitud de Onda: 517 nm

Celda de Lectura: Cubetas de Vidrio de 1cm

Ecuación de la curva patrón: $y = 0.0516x + 0.0173$, $R^2 = 0.9988$ ecuación 1

4.7 Determinación de Compuestos Fenólicos

Se ejecutó por el procedimiento aplicado por (Singleton et al., 1999), estudiada por Mamani (2015), corresponde a un análisis espectrofotométrico en el que los compuestos fenólicos se determinan con el reactivo Folin-Ciocalteu (una mezcla de ácidos fosfomolibdico y fosfotúngstico. La técnica genera la creación de un conjunto de tono azul, cuya absorción se define de un espectrofotómetro a una extensión de onda puntual, usualmente de 765 nm. La severidad del tono generado es acorde a la carga de componentes fenólicos en la prueba, lo que

posibilita su cuantificación mediante una curva de calibración empleando un estándar, generalmente ácido gálico.

4.7.1 Procedimiento:

Se mezcla una pequeña cantidad de la muestra o un estándar de ácido gálico con una solución acuosa de Folin-Ciocalteu.

Tras un lapso de pausa, se suma una mezcla de carbonato de sodio.

Por un periodo, en el que el batido se mantiene a la sombra, se estima la absorción a una fija extensión de onda, usualmente 765 nm.

Para tasar la carga global de componentes fenólicos simples se traza una ruta de cotejo a partir de densidades sabidas de ácido gálico. utilizando una ecuación lineal de la curva obtenida.

La ecuación para cuantificar los compuestos fenólicos es el siguiente:

$$Y = 0.045X_{Abs} - 0.012 \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde

Y, es el contenido de mg ácido gálico/ML.

Para Y entonces:

$$m. g = \frac{Ac.galico}{100 g} = ((0.0345 * abs) - 0.0018) * Fd * Ax * 100 \dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Abs: Absorbancia de la muestra medidas a 765nm

Fd: Factor de dilución

A: Volumen (ml) de solvente utilizado + peso de la muestra (g)/peso de la muestra.

4.8 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas se evaluarán mediante la determinación de porosidad, densidad aparente y gravedad específica, aplicando los procedimientos establecidos del método experimental estandarizados por la AOAC (2019) y las metodologías de investigaciones previas en granos andinos (Huang, 2018).

4.8.1 *Determinación de la Gravedad Específica.*

Las semillas de quinua dilatada se definieron mediante la báscula integral, previamente calibrada. Están directamente relacionadas por Mohsenin (1986) y estudiada para el análisis de quinua expandida por Ramírez (2012).

$$G_{muestra} = \frac{(W_a)_{muestra}}{(W_a - W_w)_{Hundidor} y muestra - (W_a - W_w)_{Hundidor}} * G_{Agua} \dots \text{Ecuacion 4}$$

Donde:

Ge = Gravedad específica.

Wa = peso en el aire.

Ww = peso en el agua.

4.8.2 *Determinación de la Densidad Aparente*

Se expresa la asociación de la masa de un material granular y el volumen total que ocupa, considerando tanto el volumen de los sólidos como el volumen fuerza y vapor relativo del gas para verterla como espesura absoluta ocupado por los espacios o poros se hará uso de la metodología estudiada por (Ramírez, 2012).

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

ρ = Densidad

M = masa

V = volumen

4.8.3 *Determinación de la Porosidad*

Se estableció con la proporción citada por Lewis (1993), empleando los datos de espesura real y espesura aparente logradas con la siguiente formulación:

$$G_e = \frac{\rho_{muestra}}{\rho_{agua}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

$$e = \left[1 - \frac{\rho_{aparente}}{\rho_{agua}} \right] \dots \dots \dots \text{Ecuacion 7}$$

Donde:

Ge = Gravedad específica.

e = Porosidad.

4.9 Propiedades Químicas Proximales

Para la presente investigación se utilizó los métodos citados por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales - AOAC (1995) organización reconocida mundialmente por definir metodologías oficiales en análisis químico y alimentario AOAC (organización internación sin fines de lucros) International. (2019).

4.9.1 Determinación de Humedad

Se utilizó el uso 925.23 donde se halla el porcentaje de humedad restando el peso inicial con el peso final, fue establecido y estandarizado por la AOAC, y se utiliza la siguiente formula:

$$\%de\ humedad = \frac{(M1-M2)}{M1} * 100 \dots\dots\dots Ecuación\ 8$$

Donde:

M1= peso inicial de muestra

M2= peso final

Este método ha sido reproducido y adaptado en manuales de bromatología y análisis de alimentos en América Latina y Europa.

4.9.2 Determinación de Proteína

Para determinar la Proteína se utilizó la metodología clásica de Kjeldahl, desarrollada por el químico danés Johan Gustav Kjeldahl en (1883), y la ISO para la determinación del contenido de nitrógeno y, por extensión, del contenido de proteína en alimentos que consta de los siguientes procedimientos: digestión, destilación y valoración. Su fórmula se expresa en:

$$\%proteina = \frac{(V*N*meqN*100)}{(\text{peso de la muestra})*6.25} \dots\dots\dots Ecuación\ 9$$

Donde:

V: volumen de ácido clorhídrico consumido en la titulación

N: normalidad del ácido

meq N (14 mg): equivalente químico del nitrógeno (14 g/mol), expresado como 14/1000 para convertir a miligramos por mili equivalente.

Factor 6.25: factor de conversión nitrógeno-proteína (100/16).

Peso de la muestra: masa (g) del alimento previamente digerido.

4.9.3 Determinación de Grasa

Para determinar la **Grasa** se usa el método de extracción desarrollado por Franz von Soxhlet químico alemán en (1879), posteriormente estandarizado por AOAC internacional a través del método oficial 961.15, donde se hidroliza la muestra con ácido clorhídrico diluido,

la masa obtenida se retira con éter, el disolvente se disipó y el resto se midió, cuya expresión es:

$$\%grasa = \frac{(\text{peso de materia con grasa})}{(\text{peso de matraz vacío})} * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

4.9.4 Determinación de Ceniza

Para determinar las Cenizas corresponde al método gravimétrico oficializado por la AOAC mediante el método 945.05. La expresión matemática, es una fórmula general del análisis gravimétrico utilizada desde los inicios de la química analítica cimentado en la calcinación de la sustancia biológica y logro de restos, cuya fórmula es:

$$\%ceniza = \frac{(P3-P2)}{(P1-P2)} * 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

Donde:

P1 = peso de la muestra + peso de crisol

P2 = peso de crisol

P3 = peso de ceniza + peso de crisol

Incinerar la muestra en mufla (500–600 °C), obtener el residuo mineral (ceniza), calcular el porcentaje respecto al peso inicial.

4.9.5 Determinación de Fibra

En determinar la Fibra cruda se utilizó la expresión gravimétrica del método Weende (Henneberg y Stohmann, 1860), posteriormente estandarizado como método AOAC 962.09. La AOAC es la institución responsable de la versión oficial y del cálculo actualmente aplicado el método 962.09, de acuerdo a la pérdida de masa por calcinación, su fórmula es:

$$\%fibra = \frac{((M1-Mf)-M2)}{2M*100} \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

Donde:

M1= peso del crisol + residuo seco

Mf = peso del crisol + ceniza después de incineración

M2 = peso del crisol vacío

M = masa de la muestra inicial

4.9.6 Determinación de Carbohidratos

Se realiza por análisis proximal clásico utilizado en investigaciones sobre quinua, kiwicha, cereales y derivados sumando los componentes descritos anteriormente y restando de 100%.

$$\%carbohidrat = 100 - (\%humedad + \%proteina + \%grasa + \%ceniza + \%fibra) \dots \text{Ec.13}$$

4.10 Técnicas de Procesamiento de Información

Un conjunto de métodos aplicados para organizar, analizar e interpretar los datos experimentales obtenidos en la investigación. Los frutos del test de potencia antioxidante para componentes fenólicos globales en las estirpes de quinua amarilla y negra Collana, sujetas a diferentes niveles de presión (180 y 200 psi) se anotaron en cuadros estadísticos.

A continuación, dichos datos se sometieron a un tratamiento estadístico con el objetivo de evaluar el impacto de las variables de estudio. Promedio aritmético (\bar{x}), desviación estándar y coeficiente de variación (CV %); por lo tanto, se implicó la dispersión y homogeneidad de los datos: se encontró que las mediciones eran consistentes, y los resultados eran reproducibles y científicamente confiables.

Análisis Comparativo Descriptivo

Representados gráficamente mediante barras y diagramas.

4.11 Diseño Experimental

Se empleó un diseño que requirió experimentación multifactorial categórico con dos factores a dos niveles, lo que generó un total de cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones.

El modelo matemático aplicado se expresa como:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots \dots \dots \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$i = 1, 2$ niveles de variedades (amarillo y negro)

$j = 1$ (Tipo de proceso: expandido)

$l = 1, 2$ (Repeticiones)

Donde.

μ = es la media general

α_i = es el efecto debido al i -ésimo nivel del factor A. (Amarilla y negra collana)

β_j = es el efecto del j -ésimo nivel del factor B (presión)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = representa el efecto de la interacción en la combinación i, j , y ε_{ijk} es el error Aleatorio que, se supone, sigue una distribución normal con media cero y varianza constante σ^2 ($N(0, \sigma^2)$) y son independientes entre sí.

Al objeto de precisar las disparidades tras los manejos, se aplicó un estudio de variabilidad (ANOVA) con total certidumbre y la prueba de Tukey ($P > 0.05$).

Para determinar las diferencias entre los tratamientos y su interacción. Se trabajó Prueba de Comparación Múltiple de Tukey, permite comparar las medias de los tratamientos, (Ibáñez, 2003).

$$w = (t \cdot glee \cdot \alpha) \times \sqrt{CMee/r} \dots \dots \dots \text{ecuación 15}$$

Siendo:

q: amplitud total estudiada. Valor encontrado en tablas y que está en función.

α : nivel de significancia.

t: número de tratamiento.

Glee: grados de libertad del error experimental.

CMee: cuadrado medio del error experimental.

r: número de repeticiones de las medias de los tratamientos a ser comparados

4.12 Matriz Experimental

Se hará uso de un modelo multifactorial categórico con dos factores a dos niveles haciendo cuatro tratamientos con tres repeticiones siendo en total 12 unidades experimentales (Montgomery, 2017)

Tabla 15

Matriz Experimental

Variedades De Quinoa	Presión	Nº Repetición	Capacidad Antioxidante	Compuesto Fenólico	Propiedades Físicas	Propiedad Químico Proximal
Amarilla M.	180	R1				
Amarilla M.	180	R2				
Amarilla M.	180	R3				
Amarilla M.	200	R1				
Amarilla M.	200	R2				
Amarilla M.	200	R3				
Negra C.	180	R1				
Negra C.	180	R2				
Negra C.	180	R3				
Negra C.	200	R1				
Negra C.	200	R2				
Negra C.	200	R3				

Nota. Matriz experimental de la quinua expandida sometida dos presiones con tres repeticiones elaboración propia.

V RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Evaluación y comparación del proceso de perlado seco húmedo en las propiedades funcionales y químico proximal (*Chenopodium quinoa willd.*).

5.1.1 Propiedad Funcional de la Quinoa Perlada (*Chenopodium quinoa willd.*).

Tabla 16

Propiedad Funcional de los Grano de la Quinoa orgánica

Variedad de Quinoa	Compuesto Fenólico(mg ácido gálico/g)	Capacidad Antioxidante(TEAC g/ 100 g)
Amarilla Marangani	167	1.1
Negra Collana	257.1	1.6

Con el procedimiento de perlado se pudo observar que la estirpe de quinoa Negra Collana poseyó una carga notablemente superior de componentes fenólicos globales, alcanzando los 257,1 mg de ácido gálico por gramo, en contraste con la quinoa Amarilla Marangani, que obtuvo el valor de 86,3 mg de ag bajo el mismo tratamiento. Este hallazgo indica que la Negra Collana concentra una proporción más elevada de metabolitos antioxidantes naturales, lo cual se relaciona estrechamente con su pigmentación oscura, asociada a una mayor capacidad biosintética de polifenoles.

Al mismo tiempo, la capacidad antioxidante de Negra Collana fue significativamente más alta: 1,6 TEAC g/100 g contra 1,1 TEAC g/100 g en Amarilla Marangani. Por lo tanto, existe una dependencia proporcional de carga de componentes fenólicos y actividad antioxidantes, confirmando su eficiencia para neutralizar radicales libres.

5.1.2 Propiedad Químico Proximal de la Quinoa Perlada (*chenopodium quinoa willd*)

Tabla 17

Propiedad Químico Proximal de la quinoa

Propiedad Químico Proximal	Q.Amarilla Marangani	Q.Negra Collana
Humedad%	10.80	10.05
Proteína %	13.34	17.53
Grasa%	6.18	5.36
Ceniza%	2.41	2.45
Fibra%	2.27	3.0
Carbohidratos%	65.0	62.61

Las diferencias observadas evidencian que la variedad Negra Collana posee un perfil nutricional más completo, destacándose por su mayor contenido de proteína y fibra, mientras que la Amarilla Marangani presenta un aporte energético superior debido a su mayor concentración de carbohidratos. Estas variaciones deben ser consideradas al interpretar el efecto del proceso de expandido por explosión sobre cada uno de los componentes proximales.

5.2 Propiedades Funcionales del Expandido de Quinoa Amarilla Marangani y Negra Collana.

5.2.1 Compuesto Fenólico del expandido de la quinoa orgánica

Tabla 18

Compuestos Fenoles (mg ácido gálico/g)

Variedad	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla	180	435.50	494.30	452.60	460.80 \pm 30.24	6.56
Amarilla	200	462.80	452.40	481.70	465.63 \pm 14.85	3.19
Negra collana	180	484.20	492.00	506.40	494.20 \pm 11.26	2.28
Negra collana	200	447.70	454.40	431.10	444.40 \pm 11.99	2.70

Los resultados muestran que la carga de componentes fenólicos en la quinoa expandida varía según la variedad y la presión aplicada. En la variedad Amarilla Marangani, el contenido fenólico fue ligeramente mayor a 200 psi (465.63 mg EAG/100 g) que a 180 psi (460.80 mg EAG/100 g), indicando que una mayor presión favoreció su liberación. En cambio, en la

variedad Negra Collana, el valor más alto se obtuvo a 180 psi (494.20 mg EAG/100 g), disminuyendo a 200 psi (444.40 mg EAG/100 g), lo que sugiere que mayor presión puede generar degradación de compuestos fenólicos en esta variedad. En general, la quinua Negra Collana presentó mayores niveles fenólicos que la Amarilla Marangani, especialmente a 180 psi, confirmando su mayor potencial antioxidante natural donde podemos interpretar que se admite la hipótesis alterna puesto que hay una oscilación entre la presión y estirpes de quinua frente al componente fenólico.

5.2.2 *Análisis de Varianza para Compuestos Fenólicos - Suma de Cuadrados Tipo III*

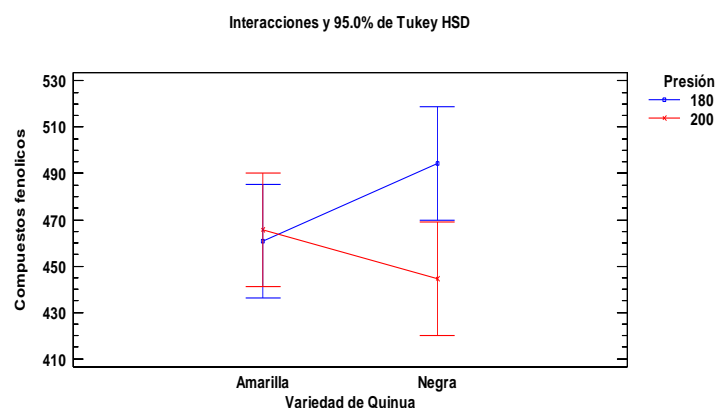
Tabla 19

Análisis de Varianza para Compuestos Fenólicos - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A: Variedad de Quinua	111.021	1	111.021	0.32	0.5895
B: Presión	1516.5	1	1516.5	4.31	0.0714
INTERACCIONES					
AB	2238.6	1	2238.6	6.37	0.0356
RESIDUOS	2812.33	8	351.541		
TOTAL	6678.45	11			
(CORREGIDO)					

Todas las proporciones-F se fundamentan en la media cuadrática del yerro residual

El estudio de variabilidad indica que la estirpe de quinua no ejerce un efecto significativo sobre el adjunto de compuestos fenólicos ($p = 0.5895 > 0.05$). De igual modo, la presión de expansión tampoco presenta un efecto significativo de manera individual ($p = 0.0714 > 0.05$), aunque se observa una tendencia cercana a significancia. Sin embargo, la interacción entre variedad y presión sí resulta significativa ($p = 0.0356 < 0.05$), lo que indica que el efecto de la presión sobre los componentes fenólicos depende de la variedad de quinua. En otras palabras, cada variedad responde de manera diferente al cambio de presión durante el proceso de expansión también podemos interpretar que se confirma la hipótesis alterna porque eviencia una variación entre la variedad de quinua a presión con respecto al compuesto fenólico.

Figura 9*Interacción de tukey*

La figura de interacción muestra que la influencia de la presión sobre los componentes fenólicos depende de la variedad de quinua. El contenido fenólico aumenta ligeramente cuando la presión pasa de 180 psi a 200 psi. Sin embargo, en la variedad Negra Collana ocurre lo contrario: a 180 psi se observa el valor más alto, mientras que a 200 psi el contenido fenólico disminuye un 49.8 mg EAG/100 g.

Las líneas que se cruzan indican una interacción significativa entre variedad y presión, lo que significa que cada variedad responde de manera diferente al cambio de presión durante el proceso de expansión. En términos generales, la quinua Negra Collana presenta mayor contenido fenólico a 180 psi, mientras que la quinua Amarilla Marangani muestra un comportamiento más estable y ligeramente favorecido a mayor presión.

5.2.3 Capacidad Antioxidante de la quinua orgánica

Tabla 20*Capacidad Antioxidante*

Variedad	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	45	51	47	47.67 ± 3.06	6.41
Amarilla Marangani	200	48	50	46	48.00 ± 2.00	4.17
Negra Collana	180	47	49	51	49.00 ± 2.00	4.08
Negra Collana	200	46	47	46	46.33 ± 0.58	1.25

Los resultados muestran que la variedad Negra Collana bajo 180 psi obtuvo el promedio más alto (49.00 TEAC g/100 gr), seguida de la Amarilla Marangani a 200 psi (48.00 TEAC g/100 gr). Esto indica que ambas variedades responden de manera diferente a la presión

aplicada, pero no existe un cambio drástico entre 180 y 200 psi en términos de capacidad antioxidante. Asimismo, los valores de desviación estándar son bajos, lo que refleja poca variabilidad entre repeticiones y una medición consistente

5.2.4 *Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante - Suma de Cuadrados Tipo III*

Tabla 21

Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	0.48	1	0.48	0.04	0.8495
B:Presión	21.3333	1	21.3333	1.71	0.2275
INTERACCIONES					
AB	21.87	1	21.87	1.75	0.2223
RESIDUOS	99.9133	8	12.4892		
TOTAL	143.597				
(CORREGIDO)		11			

Todas las proporciones-F se sustentan en la media cuadrática del yerro residual.

Los valores p-valor (>0.05) indican que ningún factor ni su reciprocidad causaron un influjo matemáticamente relevante en la potencia antioxidante de la quinua: en las Variedades ($p = 0.8495$): No hubo diferencias significativas entre la quinua Amarilla Marangani y Negra Collana en capacidad antioxidante, Presión de expansión ($p = 0.2275$): Cambiar la presión de 180 a 200 psi no generó un cambio significativo y la Interacción Variedad \times Presión ($p = 0.2223$): La respuesta de cada variedad frente a la presión no fue significativamente diferente por ende se afirma la hipótesis nula donde no existe discrepancia significativa en la las presiones y variedades de quinua respecto al capacidad antioxidantes.

5.2.5 *Discusión de los Resultados de las Propiedades Funcionales de la Quinua Expandida*

En la actual investigación se tasó la influencia del perlado seco-húmedo y del expandido por explosión (180psi y 200 psi) sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de dos variedades de quinua orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana. Los resultados mostraron que la presión de expansión y la variedad influyeron de manera diferenciada sobre los compuestos funcionales, aunque sin generar cambios estadísticamente

significativos en la capacidad antioxidante ($p > 0.05$), lo cual concuerda parcialmente con estudios previos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que ni la presión de expansión (180psi y 200 psi) ni la variedad ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la capacidad antioxidante de la quinua expandida ($p > 0.05$), evidenciándose valores cercanos entre Amarilla Marangani (48.00 TEAC/100 g \approx 1918 μ mol TE/g) y Negra Collana (49.00 TEAC/100 g \approx 1958 μ mol TE/g). Estos valores indican que ambas variedades presentan una estabilidad antioxidante similar frente al tratamiento térmico menos de 5 min característico del expandido por explosión, lo que sugiere que el proceso no afecta de manera decisiva a los componentes responsables de la actividad antioxidante.

Sin embargo, al analizar el contenido de compuestos fenólicos, sí se observó una ligera variabilidad entre presiones dentro de cada variedad. En la variedad Amarilla Marangani, el contenido fenólico fue marginalmente superior a 200 psi (465.63 mg EAG/100 g), lo cual sugiere que una presión más alta favoreció una mayor liberación o transformación de metabolitos fenólicos, posiblemente debido a la ruptura estructural de matrices celulares. Por el contrario, la variedad Negra Collana presentó su valor máximo a 180 psi (494.20 mg EAG/100 g), disminuyendo a 200 psi, lo que evidencia que la respuesta al tratamiento térmico es dependiente del genotipo, un fenómeno ampliamente reportado en pseudocereales.

Estos hallazgos son coherentes con los resultados de Chagua & Palomino (2014), quienes reportaron que las diferencias en compuestos fenólicos entre quinua Blanca, Huancayo y Rosada de Junín responden principalmente a factores genéticos. En su estudio, la quinua Rosada mostró valores significativamente superiores (27.248 mg EAG/100 g) respecto a las otras variedades, dejando claro que los perfiles fenólicos están fuertemente asociados a la composición bioquímica inherente a cada variedad, más que al tratamiento térmico en sí.

El comportamiento encontrado también presenta puntos de coincidencia y contraste con Mamani Coaquira (2015). Este autor documentó que el expandido incrementó tanto los compuestos fenólicos como la capacidad antioxidante en Pasankalla y Negra Collana, siendo esta última la más sobresaliente (83.42 mg EAG/100 g ms y 34.55 μ mol Trolox/g). En comparación, en nuestro estudio los compuestos fenólicos fueron notablemente mayores (hasta 494.20 mg EAG/100 g)

Estos resultados son coherentes con lo planteado por Quispe Boza (2022), quien señaló que el expandido por explosión afecta de forma diferenciada las propiedades químicas y funcionales, sin eliminar totalmente los compuestos bioactivos, sino modificando su forma y biodisponibilidad.

Finalmente, se puede concluir que la quinua Negra Collana mantiene su superioridad funcional frente a la Amarilla Marangani, especialmente cuando se expande a 180 psi, ya que en esas condiciones se maximiza la liberación de compuestos fenólicos sin afectar su estabilidad antioxidante. Por lo tanto, la presión moderada y la selección de variedades pigmentadas representan una estrategia tecnológica efectiva para preservar y potenciar las propiedades funcionales de la quinua expandida.

5.3 Propiedades Físicas del Expandido de Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.

5.3.1 Porosidad del Expandido de Quinua Orgánica

Tabla 22

Porosidad

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	0.98	0.96	0.95	0.96 ± 0.02	1.58
Amarilla Marangani	200	0.98	0.92	0.93	0.94 ± 0.04	3.74
Negra ccollana	180	0.96	0.92	0.92	0.94 ± 0.02	2.40
Negra ccollana	200	0.92	0.92	0.96	0.93 ± 0.02	1.95

Los resultados en porosidad de la variedad amarilla marangani a presión de 180 psi mejoró la porosidad (0.96 a 0.02), superando al 200 psi (0.94 a 0.04). Esta tendencia sugiere que el genotipo a una presión moderada favorece una expansión más uniforme al evitar el posible colapso de las cavidades por un gradiente de presión excesivo. Y en la variedad negra collana presentó una notable estabilidad, con valores de porosidad consistentes entre 180 psi (0.94 a 0.02) y 200 psi (0.93 a 0.02). Esto indica que la estructura del endospermo es menos sensible a las fluctuaciones de presión, manteniendo una capacidad de expansión constante. Coeficientes de variación ($cv < 4\%$) corroboran la estabilidad tecnológica del proceso de expansión, garantizando una textura homogénea en el producto final.

5.3.2 Análisis de Varianza para Porosidad (ANOVA)

Tabla 23

Análisis de varianza para porosidad - suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	0.0012	1	0.0012	2.06	0.1894
B:Presión	0.0003	1	0.0003	0.51	0.4937
INTERACCIONES					
AB	0.0003	1	0.0003	0.51	0.4937
RESIDUOS	0.00466667	8	0.000583333		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00646667	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante

El (ANOVA) demostró que el genotipo de la quinua ($p = 0.1894$), la presión de expansión ($p = 0.4937$) y la interacción entre ambos factores ($p = 0.4937$) carecen de efectos estadísticamente significativos sobre la porosidad ($p > 0.05$). Estos resultados confirman que la estructura macroscópica y el grado de aireación del grano expandido permanecen invariantes ante las dudas de las variables evaluadas bajo las condiciones del estudio. Para la aplicación industrial, este comportamiento es altamente favorable, ya que asegura que ligeras variaciones en la materia prima o ajustes operativos no comprometerán la calidad estructural ni la textura del producto expandido.

5.3.3 Densidad Aparente del expandido de quinua orgánica

Tabla 24

Densidad Aparente

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{X} \pm S$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	3.12	3.11	3.13	3.12 ± 0.01	0.41
Amarilla Marangani	200	3.16	3.11	3.10	3.12 ± 0.03	1.05
Negra Collana	180	3.13	3.11	3.13	3.12 ± 0.01	0.32
Negra Collana	200	3.13	3.11	3.14	3.12 ± 0.01	0.43

Los resultados muestran que la densidad aparente se mantuvo prácticamente constante en todas las condiciones evaluadas, con valores promedio alrededor de 3.12 g/mL tanto para la variedad Amarilla como para la Negra collana, y para ambas presiones (180 psi y 200 psi). Esto indica que ni la variedad ni el nivel de presión aplicada durante el expandido por explosión generan cambios relevantes en la densidad del producto final.

Los coeficientes de variación muy bajos ($CV < 1.1\%$) reflejan además una alta uniformidad y repetitividad del proceso, lo que sugiere una buena estabilidad en la formación de la estructura del grano expandido.

5.3.4 *Análisis de Varianza para Densidad Aparente (ANOVA)*

Tabla 25

Análisis de varianza para densidad-suma de cuadrados tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<i>EFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:Variedad de Quinua	0.0000333333	1	0.0000333333	0.09	0.7732
B:Presión	0.0000333333	1	0.0000333333	0.09	0.7732
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	0	1	0	0.00	1.0000
RESIDUOS	0.003	8	0.000375		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00306667	11			

Todas las proporciones-F se sustentan en la media cuadrática del yerro residual.

El análisis de varianza sugiere que, en el contexto no se identificaron efectos estadísticamente significativos en la variable de densidad. Específicamente, los factores principales analizados (la variedad de quinua y la presión) y su interacción no presentaron un impacto relevante sobre la densidad, ya que los valores de probabilidad (P) son superiores a 0.05.

Esto indica que, al 95% de confianza, ni la variedad de quinua ni la presión influyen significativamente en la densidad del grano, sugiriendo que esta propiedad puede ser menos sensible a las condiciones evaluadas en el estudio.

5.3.5 Gravedad Específica del Expandido de Quinua Orgánica

Tabla 26

Gravedad Específica

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	2.72	2.72	2.69	2.71 \pm 0.02	0.62
Amarilla Marangani	200	2.74	2.67	2.65	2.68 \pm 0.05	1.77
Negra Collana	180	1.99	2.04	2.46	2.16 \pm 0.26	11.95
Negra Collana	200	2.07	2.44	2.76	2.42 \pm 0.35	14.34

Los resultados revelan diferencias sustanciales en la gravedad específica (GE) entre las variedades evaluadas, lo que refleja comportamientos contrastantes durante la expansión. La variedad Amarilla Marangani presentó los valores más elevados y estables (2.68– 2.71) con una dispersión mínima (CV < 1.77%), lo que evidencia una similitud estructural superior tras el procesamiento.

Por el contrario, la variedad Negra Collana mostró valores inferiores y una marcada (2.16 – 2.42), con coeficientes de variación significativos (CV > 11.9%). Esta fluctuación sugiere que este genotipo posee una respuesta menos predecible al proceso de expansión. Dicha variabilidad puede atribuirse a factores intrínsecos como la dureza del endospermo, la composición del almidón o la resistencia de las capas externas del grano, los cuales condicionan una formación de poros menos uniforme en las variedades pigmentadas.

En síntesis, mientras que la variedad Amarilla destaca por su consistencia arquitectónica y estabilidad, la Negra Collana manifiesta una estructura interna con mayor dispersión y menor control sobre la densidad de la matriz expandida.

5.3.6 Análisis de Varianza para Gravedad Específica (ANOVA)

Tabla 27

Análisis de Varianza para Gravedad - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	0.496418	1	0.496418	10.45	0.0120
B:Presión	0.0398707	1	0.0398707	0.84	0.3863
INTERACCIONES					
AB	0.0611041	1	0.0611041	1.29	0.2895
RESIDUOS	0.379921	8	0.0474901		
TOTAL (CORREGIDO)	0.977313	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante

El (ANOVA) confirma que el factor variedad ejerce una influencia estadísticamente significativa sobre la gravedad específica del producto expandido ($p = 0.0120 < 0.05$). Este resultado evidencia que las discrepancias genotípicas y los cambios propios en la estructura bioquímica (tales como la relación amilosa amilopectina o el contenido proteico) actúan como determinantes críticos en la conformación de la matriz sólida del grano tras la expansión

En contraste, la presión de expandido no reportó un impacto analíticamente trascendente ($p = 0.3863 > 0.05$), lo que demuestra que el incremento de 180 a 200 psi no induce cambios sustanciales en la gravedad específica. De igual manera, la interacción variedad y presión resultó no significativa ($p = 0.2895 > 0.05$), indicando que la respuesta estructural de ambas variedades.

En síntesis, los resultados establecen que la variedad del grano es el determinante crítico de la densidad interna, mientras que el parámetro de presión, dentro del rango operativo estudiado, se comporta como una variable neutra. Esto sugiere que la estructura celular de la quinua expandida posee una estabilidad inherente que no se ve alterada por ajustes menores en la carga de presión, lo que facilita la estandarización del proceso industrial.

5.3.7 Pruebas de Múltiple Rangos para Gravedad por Variedad de Quinua

Tabla 28

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad de Quinua	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Negra collana		2.2925	0.0889664	X
Amarilla		2.69928	0.0889664	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Amarilla - Negra collana	*	0.406783	0.290136

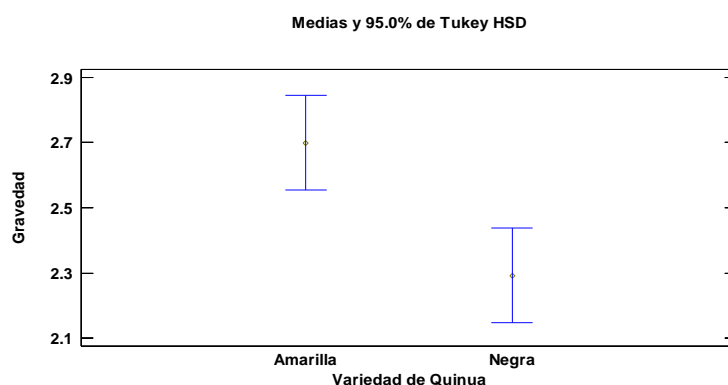
* señala una disparidad sustancial.

La evaluación de contrastes múltiples de Tukey (95% de seguridad) reveló variaciones trascendentes entre las clases de quinua analizadas respecto a la densidad relativa. La variedad Amarilla Amarilla presentó un valor promedio significativamente mayor (2.6993) en comparación con la variedad Negra Collana (2.2925). El contraste Amarilla Marangani – Negra Collana resultó significativo ($p < 0.05$), indicando que la diferencia observada entre ambas medias (0.4068) excede los límites de variación establecidos por el método (± 0.2901).

Además, los grupos homogéneos muestran que cada variedad formó un grupo diferente, lo cual confirma que no comparten niveles estadísticamente similares de gravedad específica.

Figura 10

Medias y 95% de Tukey



La figura ilustra las medianas de la gravedad específica (GE) para los cultivares Amarilla Marangani y Negra Collana, con intervalos de confianza al 95 %. El registro visual y

estadístico confirma que poseen una gravedad específica significativamente superior, dado que su intervalo de confianza se desplaza hacia valores más elevados del eje y presenta una disyunción total (falta de traslape) respecto al intervalo de la Negra Collana.

Esta ausencia de superposición entre los intervalos ratifica, con un nivel de relevancia de $p = 0.05$, la existencia de discrepancias poblacionales auténticas entre ambos genotipos. En términos físicos, estos resultados demuestran que la Amarilla Marangani desarrolla una matriz sólida más densa por unidad de volumen tras la expansión.

5.3.8 Discusión de las Propiedades Físicas de la Quinua Expandidas

La técnica de inflado por detonación cambia la morfología externa del cereal de quinua mediante el uso de fuerte compresión, seguida de una descarga rápida de fluido que origina el hinchamiento del tejido interno. Estos cambios influyen directamente en la porosidad, densidad aparente y gravedad específica, propiedades clave para evaluar la calidad y estabilidad del producto expandido (Ibañez Béjar, 2021; Zapana Yucra, 2019).

Los valores de porosidad obtenidos (0.92–0.98) reflejan una alta aireación en todos los tratamientos, lo que indica una buena expansión y formación de estructura porosa en ambos tipos de quinua. En la variedad Amarilla Marangani, la presión de 180 psi generó la mayor porosidad promedio (0.96 ± 0.02), mientras que en la Negra Collana, las variaciones entre 180 y 200 psi fueron mínimas. Este comportamiento sugiere que la estructura interna del grano de quinua tiene una respuesta estable frente al cambio de presión, manteniendo una porosidad adecuada en todas las condiciones ($CV < 4\%$).

Desde un punto de vista físico, la porosidad depende de la cantidad de vapor generado y retenido durante la expansión. A presiones moderadas (180 psi), la liberación de vapor es más controlada, lo que produce una expansión uniforme y estable, evitando colapsos estructurales. A presiones mayores (200 psi), la expansión puede ser más violenta, ocasionando una leve compactación del grano y disminuyendo ligeramente la porosidad (Quispe Boza, 2022).

Estos resultados coinciden con los reportes de Zapana Yucra (2019), quien observó que, en la quinua insuflada, la presión del cañón expansor entre 180 y 190 psi no modifica significativamente la porosidad, lo que indica un comportamiento estable del material. De igual modo, Ibañez Béjar (2021) concluyó que el proceso de expansión en quinua orgánica mantiene una estructura aireada uniforme, lo cual es favorable para su posterior rehidratación y uso industrial.

Densidad Aparente

Los registros de densidad masiva resultaron casi inalterados (3.12 g/mL) en todas las condiciones evaluadas, tanto para la variedad Amarilla Marangani como para la Negra Collana, y para ambas presiones (180 y 200 psi). Esto indica que ni la presión aplicada ni la variedad influyen significativamente en la densidad del grano expandido ($p > 0.05$).

La baja variabilidad observada ($CV < 1.1\%$) confirma la homogeneidad del proceso y la repetitividad de los resultados, lo cual es un indicador de control térmico y de humedad adecuado durante la expansión.

Científicamente, la densidad aparente se relaciona con el grado de expansión y la cantidad de aire atrapado dentro del grano. Cuando la porosidad se mantiene estable, la densidad tiende a conservarse, lo que concuerda con el comportamiento observado. Resultados similares fueron reportados por Ibañez Béjar (2021) y Quispe Boza (2022), quienes señalaron que, dentro de un rango de 180–200 psi, la densidad aparente de la quinua expandida no presenta variaciones significativas debido a que el equilibrio térmico del sistema impide el colapso del grano.

Desde el punto de vista tecnológico, esta estabilidad es positiva, ya que permite mantener un volumen y masa uniforme en los productos expandidos, lo cual es fundamental para su comercialización.

Gravedad Específica

La gravedad específica mostró diferencias notables entre variedades. La quinua Amarilla Marangani presentó valores más altos y estables (2.68–2.71), mientras que la Negra Collana mostró valores menores y más variables (2.16–2.42), con CV superiores al 11%. Esto indica que la Amarilla Marangani posee una estructura más compacta y uniforme tras el expandido, mientras que la Negra Collana desarrolla una estructura interna más heterogénea, probablemente asociada a diferencias en su composición química y morfología del grano (Mamani Coaquira, 2015).

El análisis de varianza ($p = 0.012$) confirma que la variedad de quinua es el único factor con efecto significativo sobre la gravedad específica, mientras que la presión y la interacción variedad \times presión no presentaron diferencias relevantes ($p > 0.05$). La prueba de Tukey HSD corroboró que la quinua Amarilla Marangani (2.6993) tiene una gravedad específica significativamente mayor que la Negra Collana (2.2925).

Este resultado puede explicarse por las diferencias genéticas y composicionales entre variedades. La quinua Amarilla Marangani contiene un mayor porcentaje de almidón y menor contenido de pigmentos fenólicos, lo cual promueve la creación de una malla interior más densa

durante la extrusión (Gutiérrez Cuadros, 2019). En cambio, la quinua Negra Collana, al poseer una mayor concentración de compuestos fenólicos y pigmentos, presenta un pericarpio más rígido y menos homogéneo, lo que dificulta una expansión equilibrada y reduce su densidad interna (Mamani Coaquira, 2015; Ibañez Béjar, 2021).

Estos resultados coinciden con los hallazgos de Zapana Yucra (2019), quien observó que las diferencias varietales influyen directamente en la estructura física de los granos insuflados, siendo la composición del almidón y la rigidez de la pared celular los principales determinantes de la expansión. Asimismo, Quispe Boza (2022) reportó que la presión de 180 psi favorece la expansión uniforme en variedades claras de quinua, mientras que las variedades pigmentadas muestran menor homogeneidad por diferencias en su composición bioquímica.

5.4 Propiedad Químico Proximal del Expandido de Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.

5.4.1 Humedad del Expandido de la quinua orgánica

Tabla 29

Humedad

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	8.20	9.02	8.76	8.66 \pm 0.42	4.84
Amarilla Marangani	200	6.70	7.37	7.03	7.03 \pm 0.34	4.76
Negra Collana	180	8.10	8.91	8.29	8.43 \pm 0.42	5.02
Negra Collana	200	6.10	6.70	7.49	6.76 \pm 0.70	10.31

Se notó un patrón descendente en el nivel de hidratación a medida que creció la carga de extrusión. A 180 psi, los valores fueron similares entre la variedad Amarilla Marangani (8.66 %) y Negra Collana (8.43 %), con una diferencia de apenas 0.23 % y una alta repetitividad (CV < 5.02 %).

Al incrementar la presión a 200 psi, la humedad se redujo a 7.03 % y 6.76 % respectivamente. Sin embargo, en la variedad Negra Collana se detectó una pérdida de homogeneidad, reflejada en un incremento del coeficiente de variación (CV > 10.31 %). Esta mayor dispersión sugiere que, ante un mayor estrés térmico, la estructura de la quinua negra responde de manera menos uniforme, afectando la eficiencia de la deshidratación durante el proceso de expansión.

5.4.2 Análisis de Varianza para Humedad (ANOVA)

Tabla 30

Análisis de Varianza para Humedad - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	0.185008	1	0.185008	0.78	0.4040
B:Presión	8.15101	1	8.15101	34.20	0.0004
INTERACCIONES					
AB	0.00140833	1	0.00140833	0.01	0.9406
RESIDUOS	1.9066	8	0.238325		
TOTAL (CORREGIDO)	10.244	11			

Todas las proporciones-F se sustentan en la media cuadrática del yerro residual.

El examen analítico muestra que la clase de quinua carece de impacto relevante hacia la humedad del artículo extruido ($p = 0.4040 > 0.05$). El rango-p supera el umbral de importancia, por lo cual falta prueba analíticamente trascendente. Ello conlleva que las estirpes Amarilla Marangani y Negra Collana exhiben registros parecidos ante el ciclo de extracción en la merma de hidratación.

Este valor-p es altamente relevante ($p = 0.0004 < 0.05$), lo que indica que la presión de expansión influye de manera determinante en la humedad final del producto. El incremento de presión de 180 psi a 200 psi produce una reducción significativa de la humedad, coherente con lo observado en los promedios experimentales.

La interacción no es significativa ($p=0.9406 > 0.05$), lo que indica que el efecto de la presión sobre la humedad es similar en ambas variedades, sin que la combinación Variedad-Presión genere un comportamiento diferencial

Dado que el valor-P resulta inferior a 0.05, dicho factor ejerce un impacto analíticamente relevante hacia Humedad bajo un 95.0% de nivel de seguridad

5.4.3 Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Presión

Tabla 31

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Presión</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
200	6	6.89833	0.199301	X
180	6	8.54667	0.199301	X

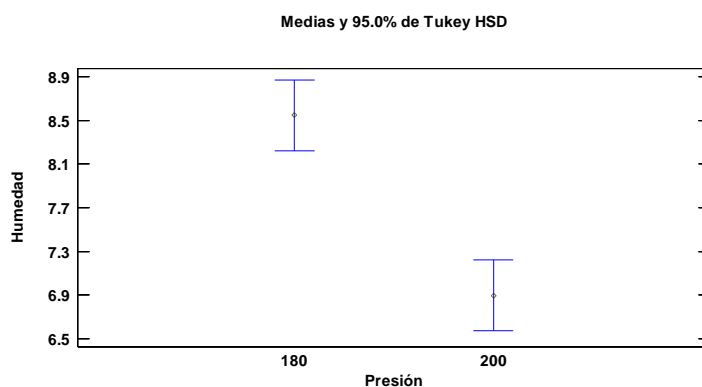
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
180 – 200	*	1.64833	0.649958

*señala una disparidad relevante.

La prueba de comparaciones variadas de Tukey (95% de confianza) mostró diferencias significativas en las presiones de quinas evaluadas en relación con la humedad. La presión más baja (180 psi) presento un valor promedio de (8.54667) lo que indica a menor presión mantiene una mayor cantidad de humedad residual, a diferencia la presión más alta (200 psi) se observa la diferencia de un valor promedio (6.89833) y se reduce de manera consistente la humedad del producto expandido. Señalando que dicho dúo exhibe variaciones analíticamente trascendentes bajo un umbral del 95.0% de seguridad.

Figura 11

Medias y 95% de Tukey



La figura muestra presiones de 180 psi y 200 psi no se superponen, con sus respectivos intervalos de confianza al 95% según la prueba de tukey. es un indicador visual de que las

oposiciones entre ambas presiones son estadísticamente relevantes, A 180 psi, la humedad se sitúa aproximadamente en 8.5 %, con un intervalo de confianza que oscila alrededor de este valor a 200 psi, la humedad desciende a un valor cercano a 6.9 %, con su respectivo intervalo de confianza más bajo.

5.4.4 *Proteína del expandido de quinua orgánica*

Tabla 32

Proteína

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	12.30	13.53	12.65	12.83 \pm 0.63	4.94
Amarilla Marangani	200	12.70	13.97	12.86	13.18 \pm 0.69	5.25
Negra Collana	180	14.20	15.62	15.78	15.20 \pm 0.87	5.72
Negra Collana	200	15.40	15.94	16.07	15.80 \pm 0.36	2.25

Los valores muestran que la variedad Negra Collana presenta mayores promedios respecto a la variable evaluada en comparación con la variedad Amarilla, tanto a 180 psi como a 200 psi, evidenciando que esta variedad posee características intrínsecas que favorecen un mayor valor del parámetro medido. Dentro de cada variedad, el aumento de presión de 180 a 200 psi produjo un incremento en el valor promedio. En la variedad Amarilla Marangani, el valor aumentó de 12.83 a 13.18, mientras que en la Negra Collana pasó de 15.20 a 15.80, lo que sugiere que la mayor presión favoreció el incremento del parámetro evaluado.

En cuanto a la variabilidad, los coeficientes de variación ($CV > 10\%$) se encuentran por debajo del 10, indicando buena repetitividad y consistencia experimental. La variedad Negra Collana a 200 psi mostró la menor variabilidad (2.25%), lo que evidencia mayor estabilidad en las mediciones bajo esa condición.

5.4.4.1 Análisis de Varianza para Proteína - Suma de Cuadrados Tipo III(ANOVA)

Tabla 33

Análisis de Varianza para Proteína

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A: Variedad de Quinua	18.75	1	18.75	42.55	0.0002
B: Presión	0.681633	1	0.681633	1.55	0.2488
INTERACCIONES					
AB	0.0481333	1	0.0481333	0.11	0.7495
RESIDUOS	3.5254	8	0.440675		
TOTAL (CORREGIDO)	23.0052	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante

El examen de varianza indica que la variable clase de quinua presentó un impacto sumamente trascendente hacia el nivel de proteína ($F = 42.55$; $p = 0.0002$), indicando que existe una diferencia marcada en los niveles proteicos entre las variedades evaluadas. Esto evidencia que las características genéticas y composicionales propias de cada variedad influyen directamente en su concentración proteica.

Por otro lado, el factor presión de expansión no mostró un efecto significativo sobre la proteína ($F = 1.55$; $p = 0.2488$), lo que indica que los niveles de presión aplicados en el proceso no modificaron de manera estadísticamente relevante el contenido proteico del grano.

Asimismo, la interacción Variedad \times Presión tampoco fue significativa ($F = 0.11$; $p = 0.7495$), demostrando que la respuesta de la proteína no depende de la combinación entre variedad y presión, sino principalmente del tipo de quinua utilizado.

5.4.4.2 Pruebas de Múltiple Rangos para Proteína por Variedad de Quinua

Tabla 34

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Variedad de Quinua</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Amarilla	6	13.0017	0.271009	X
Negra collana	6	15.5017	0.271009	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Amarilla - Negra collana	*	-2.5	0.883812

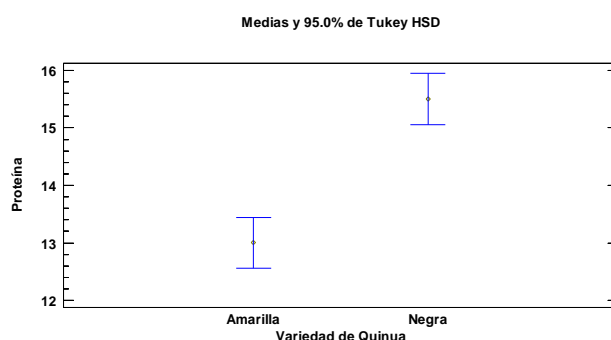
* indica una diferencia significativa.

La evaluación de Tukey HSD al 95% de seguridad revela que hay una distinción trascendente en el nivel de proteína entre las clases de quinua analizadas. La variedad Negra Collana presenta una media significativamente mayor (15.50) en comparación con la variedad Amarilla (13.00). El contraste entre ambas variedades es significativo ($p < 0.05$), observándose una diferencia de -2.5 , lo que confirma que la variedad Negra Collana aporta aproximadamente 2.5 unidades más de proteína que la Amarilla Marangani. Dado que los límites del intervalo de Tukey (± 0.8838) no incluyen el valor cero, esto respalda la existencia de una diferencia real entre los tratamientos.

Además, aunque ambas variedades aparecen en grupos homogéneos separados, su clasificación independiente refuerza la conclusión de que no comparten niveles estadísticamente similares de proteína.

Figura 12

Media y 95% de Tukey Proteína y Variedad de Quinua



La figura muestra las medias del inculso de proteína para las variedades de quinua, junto con sus intervalos de confianza al 95%. Se nota que la estirpe Negra Collana presenta valores de proteína notablemente superiores en comparación con la variedad Amarilla.

Los rangos de seguridad no se cruzan, lo que señala una distinción analítica relevante entre las dos clases. Ello ratifica que la estirpe Negra Collana mantiene un nivel proteínico superior regularmente, entretanto la opción Amarilla exhibe registros menores.

En términos prácticos y biológicos, este comportamiento sugiere que la composición genética de la quinua Negra Collana favorece una mayor concentración de proteína, lo que respalda su ventaja nutricional frente a la variedad Amarilla.

5.4.5 Grasa del expandido de quinua orgánica

Tabla 35

Grasa

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	4.70	5.17	4.63	4.83 ± 0.29	6.08
Amarilla Marangani	200	5.40	5.94	4.86	5.40 ± 0.54	10.00
Negra Collana	180	5.10	5.43	5.59	5.37 ± 0.25	4.65
Negra Collana	200	5.70	5.05	5.13	5.29 ± 0.35	6.70

El adjunto de grasa en la estirpe Amarilla Marangani incrementó de 4.83 a 5.40 al elevar la presión a 200 psi. Este aumento, junto a una mayor dispersión de datos (CV 10%), sugiere una mayor extractabilidad de lípidos debido a que la ruptura intensiva de la matriz de almidón y facilita la liberación de triglicéridos.

Por el contrario, la Negra Collana mostró una estabilidad superior, manteniendo sus niveles de grasa constantes (5.30%) y con una alta repetitividad ($CV < 6.70\%$). Esto indica que la estructura celular de la variedad negra protege de forma más eficiente la fracción lipídica frente al estrés termomecánico del proceso de expansión

5.4.5.1 Análisis de Varianza para Grasa - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 36

Análisis de varianza para grasa ANOVA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad de Quinua	0.140833	1	0.140833	1.00	0.3476
B: Presión	0.177633	1	0.177633	1.26	0.2950
INTERACCIONES					
AB	0.313633	1	0.313633	2.22	0.1748
RESIDUOS	1.1318	8	0.141475		
TOTAL (CORREGIDO)	1.7639	11			

Todas las proporciones-F se sustentan en la media cuadrática del yerro residual

La evaluación de varianza señala que no existieron impactos relevantes de las variables analizadas hacia el indicador de medición. La variedad de quinua no mostró discrepancias estadísticas ($F = 1.00$; $p = 0.3476$), lo que sugiere que ambas variedades presentan comportamientos similares. Asimismo, la presión aplicada tampoco tuvo un efecto significativo ($F = 1.26$; $p = 0.2950$), indicando que los niveles de presión utilizados no generaron cambios relevantes en la variable.

De igual manera, la interacción Variedad \times Presión no resultó significativa ($F = 2.22$; $p = 0.1748$), lo que demuestra que la combinación de variedad y presión no influyó de forma conjunta en la respuesta medida.

5.4.6 Ceniza del expandido de quinua orgánica

Tabla 37

Ceniza

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	1.55	1.71	1.77	1.68 ± 0.11	6.78
Amarilla Marangani	200	1.90	2.09	2.12	2.04 ± 0.12	5.86
Negra Collana	180	1.65	1.94	1.86	1.82 ± 0.15	8.24
Negra Collana	200	1.95	2.15	1.76	1.95 ± 0.20	9.98

Los resultados muestran que el contenido de ceniza aumenta tanto con la variedad como con la presión aplicada. En ambos niveles de presión, la variedad Negra Collana presenta valores ligeramente superiores respecto a la variedad Amarilla Marangani, donde se menciona que ciertas variedades de quinua tienden a conservar mejor sus componentes minerales tras el procesamiento. Asimismo, el incremento de presión de 180 psi a 200 psi genera un aumento del contenido de ceniza en ambas variedades. En la quinua Amarilla, el valor promedio pasa de 1.68% a 2.04%, mientras que en la Negra Collana aumenta de 1.82% a 1.95%.

Los coeficientes de variación (CV%) se mantienen dentro de rangos aceptables (<10%), lo que indica buena precisión en las mediciones. En general, la variedad Amarilla muestra menor variabilidad que la Negra Collana.

5.4.7 Análisis de Varianza para Ceniza (ANOVA)

Tabla 38

Análisis de Varianza para Ceniza - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Sumade Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Variedad de Quinua	0.00240833	1	0.00240833	0.11	0.7487
B: Presión	0.185008	1	0.185008	8.44	0.0197
INTERACCIONES					
AB	0.0374083	1	0.0374083	1.71	0.2276
RESIDUOS	0.175267	8	0.0219083		
TOTAL (CORREGIDO)	0.400092	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante.

El examen de varianza indica que la variable clase de quinua presentó un impacto estadísticamente trascendente sobre la variable evaluada ($F = 0,11$; $p = 0.7487$) No existe evidencia estadística significativo sobre la variable y El valor-p es muy alto, lo que indica que las diferencias entre variedades probablemente se deben al azar.

Por otra parte, la variable presión realmente ejerce un impacto determinante hacia el resultado bajo estudio ($F = 8.44$, $p < 0.05$). Es decir, los niveles de presión producen diferencias reales es el único factor significativo en el cuadro de análisis.

Igualmente, por otro lado, la interacción de entre variedad y presión nos dan los resultados de ($F = 1.71$, $P = 0.2276$) Esto indica que el efecto de la presión no depende de la variedad y viceversa

5.4.8 Pruebas de Múltiple Rangos para Ceniza por Presión

Tabla 39

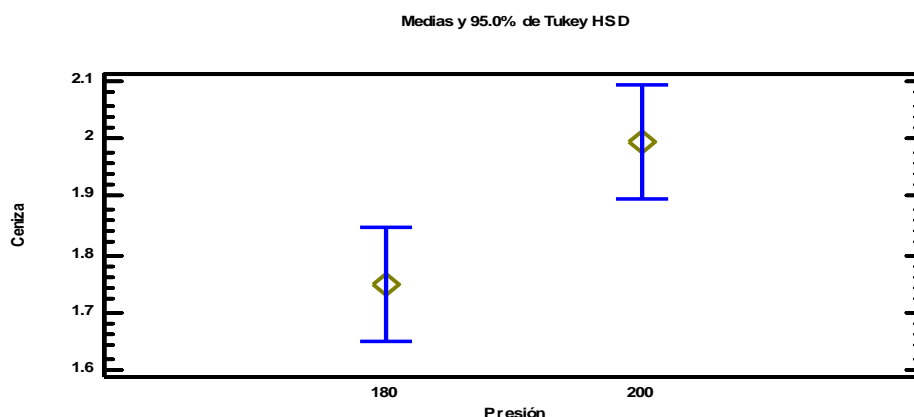
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Presión</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
180	6	1.74667	0.0604267	X
200	6	1.995	0.0604267	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/-Límites</i>
180 – 200	*	-0.248333	0.197063

* indica una discrepancia relevante.

Conforme a los datos, el test de contrastes múltiples de Tukey ($p > 0.05$) indica que no existen variaciones estadísticamente relevantes en el contenido de ceniza entre los tratamientos de expansión por explosión a 180 y 200 PSI. Aunque el valor promedio de ceniza fue ligeramente mayor a 200 PSI (1.995%) que a 180 PSI (1.7467%), ambos pertenecen al mismo grupo homogéneo, indicando que la presión de expansión no influyó significativamente en el contenido de ceniza de las variedades este comportamiento puede atribuirse a que los minerales responsables del contenido de ceniza son termoestables, por lo que no se degradan ni volatilizan fácilmente bajo condiciones del proceso térmico de expansión afecta mínimamente la fracción mineral del grano.

Figura 13*Media y 95% de tukey*

El gráfico expone promedios estadísticos con rangos de seguridad al 95%. (Tukey HSD) para la variable Ceniza en función de la Presión a presión más baja la cual es 180 la media de la ceniza se aproxima a 1.75 con un intervalo de 1.65 a una presión de 200 la media de la ceniza se aproxima a 2.0 con intervalo de 1.9.

Debido a que los rangos de seguridad resultan independientes, es posible afirmar que hay una distinción analítica relevante en el nivel de Ceniza bajo las cargas de 180 y 200. En efecto, al incrementar presión, aumenta el residuo mineral.

5.4.9 Resultados y discusión para la fibra de la quinua expandida

Tabla 40*Fibra*

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	2.80	3.08	2.58	2.82 ± 0.25	8.89
Amarilla Marangani	200	3.40	3.74	3.80	3.65 ± 0.22	5.92
Negra ccollana	180	2.80	3.06	3.52	3.13 ± 0.36	11.66
Negra ccollana	200	3.60	3.96	3.24	3.60 ± 0.36	10.00

En la tabla se considera que la variable evaluada es el contenido de fibra (%) en dos variedades de quinua orgánica (Amarilla Marangani y Negra Collana) tratadas con dos presiones (180 y 200 PSI): En la quinua Amarilla Marangani, el incremento de fibra con la presión de (2.82 a 3.65 %) equivale a un aumento del 29.4 %. Esto podría deberse a que la expansión a mayor presión rompe la matriz del grano,

facilitando la liberación de fibra insoluble o la medición de compuestos no digeribles. En la quinua Negra Collana, el aumento es de aproximadamente 15 % de (3.13 a 3.60 %), mostrando un comportamiento similar, aunque menos pronunciado.

5.4.10 Análisis de Varianza para Fibra - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 41

Análisis de Varianza para Fibra-Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	0.0507	1	0.0507	0.55	0.4813
B:Presión	1.2675	1	1.2675	13.63	0.0061
INTERACCIONES					
AB	0.0936333	1	0.093633	1.01	0.3450
RESIDUOS	0.743733	8	0.0929667		
TOTAL (CORREGIDO)	2.15557	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante

La evaluación estadística evidencia que la presión de expansión posee una influencia considerable en el nivel de fibra de la quinua extrusionada ($F = 13.63$; $p = 0.0061$). Esto indica que al incrementar la presión de 180 a 200 psi se produce un cambio real en la cantidad de fibra, evidenciando que el proceso térmico-mecánico del puffing afecta esta fracción nutricional.

Por el contrario, la variedad de quinua no presenta un efecto significativo ($F = 0.55$; $p = 0.4813$), lo que significa que las variedades Amarilla Marangani y Negra collana mantienen un comportamiento similar respecto al contenido de fibra después de la expansión. Asimismo, la interacción variedad \times presión no fue significativa ($F = 1.01$; $p = 0.3450$), lo que confirma que ambas variedades responden de manera semejante al cambio de presión.

En conjunto, el ANOVA demuestra que el único factor que realmente influye en la fibra es la presión, mientras que la variedad y la interacción no generan diferencias estadísticamente detectables.

5.4.11 Pruebas de Múltiple Rangos para Fibra por Presión

Tabla 42

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Presión	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
180	6	2.97333	0.124477	X
200	6	3.62333	0.124477	X

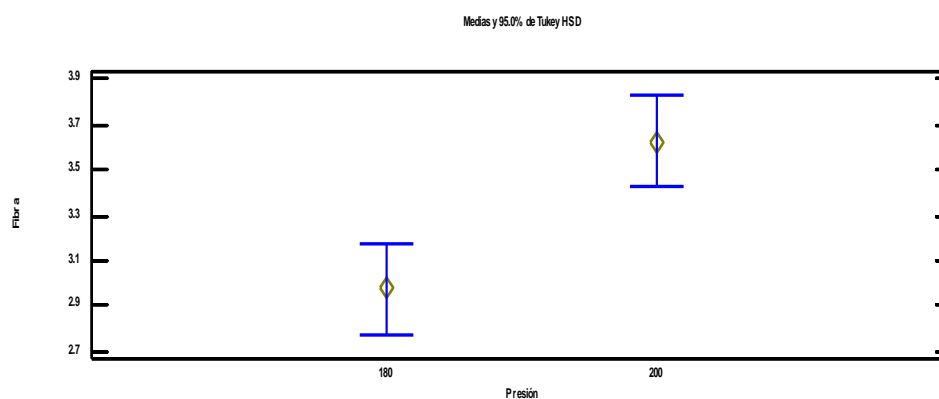
Contraste	Si g.	Diferencia	+/- Límites
180 – 200	*	-0.65	0.405942

* señala una disparidad sustancial.

Bajo el test de comparación múltiple ($p < 0.05$), se detectó una discrepancia relevante en los niveles de fibra entre los tratamientos de expansión a 180 y 200 PSI. El contenido promedio de fibra fue mayor en las muestras tratadas a 200 PSI (3.62 %) en comparación con las tratadas a 180 PSI (2.97 %), mostrando un incremento significativo de aproximadamente 0.65 %. Este resultado sugiere que una mayor presión de expansión favorece la concentración o liberación de fracciones fibrosas en el grano de quinua, posiblemente debido a la disrupción estructural causada por la energía térmica y mecánica del proceso.

Figura 14

Media y 95% de Tukey



En la imagen se aprecia que el nivel de fibra crece considerablemente con la presión de expansión ($p < 0.05$). Las muestras tratadas a 200 PSI presentan un valor promedio de fibra superior al obtenido a 180 PSI, sin superposición de los intervalos de

confianza al 95 %. Este resultado indica que la mayor presión de expansión favorece la concentración o liberación de compuestos fibrosos en el grano de quinua, probablemente debido a la ruptura de estructuras celulares y a la pérdida de fracciones solubles durante el proceso térmico.

5.4.12 Carbohidratos de la expandida quinua orgánica

Tabla 43

Carbohidrato

Variedad Quinua	Presión	R1	R2	R3	$\bar{x} \pm s$	CV (%)
Amarilla Marangani	180	70.45	67.49	69.61	69.18 \pm 1.53	2.20
Amarilla Marangani	200	69.90	66.89	69.33	68.71 \pm 1.60	2.33
Negra Collana	180	68.15	65.04	64.96	66.05 \pm 1.82	2.75
Negra Collana	200	67.25	66.20	66.31	66.59 \pm 0.58	0.87

Los valores muestran que la variedad Amarilla Marangani presenta promedios ligeramente más altos que la variedad Negra Collana en ambos niveles de presión, indicando que esta variedad mantiene un mayor valor en el parámetro evaluado bajo las condiciones del estudio.

En la variedad Amarilla Marangani, los valores promedio son 69.18 a 180 psi y 68.71 a 200 psi, mientras que en la variedad Negra Collana son 66.05 a 180 psi y 66.59 a 200 psi. Esto sugiere que la presión aplicada no genera cambios marcados en la respuesta, ya que las variaciones entre 180 y 200 psi son mínimas en ambas variedades.

Los coeficientes de variación (CV%) son bajos (0.87–2.75%), lo que indica alta precisión y buena repetitividad experimental. Destaca la variedad Negra Collana a 200 psi, con el menor CV (0.87%), reflejando mayor estabilidad de la respuesta bajo esa condición.

5.4.13 Análisis de Varianza para Carbohidratos - Suma de Cuadrados Tipo III

Tabla 44

Análisis de Varianza para Carbohidratos - Suma de Cuadrados Tipo III

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Variedad de Quinua	20.6981	1	20.6981	9.71	0.0143
B:Presión	0.0027	1	0.0027	0.00	0.9725
INTERACCIONES					
AB	0.770133	1	0.770133	0.36	0.5644
RESIDUOS	17.051	8	2.13138		
TOTAL (CORREGIDO)	38.522	11			

Todas las proporciones-F se cimientan en el promedio cuadrático del fallo restante.

El examen de varianza indica que el factor tipo de quinua ejerció un impacto relevante sobre la medida analizada ($F = 9.71$; $p = 0.0143$). Esto señala que hay una discrepancia estadísticamente verificable entre las dos clases analizadas, lo cual sugiere que sus características biológicas y composicionales influyen directamente en el parámetro analizado.

Por otro lado, el factor presión aplicada no presentó efecto significativo ($F = 0.00$; $p = 0.9725$), lo que evidencia que los niveles de presión utilizados en el proceso no generaron cambios relevantes en el valor de la variable.

Asimismo, la interacción entre variedad y presión no fue significativa ($F = 0.36$; $p = 0.5644$), indicando que el comportamiento de la variable no depende de la combinación de ambos factores, sino principalmente de la variedad de quinua.

5.4.14 Pruebas de Múltiple Rangos para Carbohidratos por Variedad de Quinua

Tabla 45

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Variedad de Quinua</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Negra collana	6	66.3183	0.596011	X
Amarilla		68.945	0.596011	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Amarilla Negra ccollana	- *	2.62667	1.94371

* indica una diferencia significativa.

El test de Tukey al 95% revela una disparidad relevante entre los tipos de quinua analizados. La variedad Amarilla Marangani presentó un valor promedio mayor (68.95) en comparación con la variedad Negra Collana (66.32), lo que indica que esta variedad mantiene un nivel superior en la variable medida.

El contraste entre ambas variedades resultó significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de 2.63 unidades, superior al límite crítico (± 1.94). Esto confirma que dicha diferencia no es producto del azar, sino que responde a características propias de cada variedad.

Los grupos homogéneos muestran que ambas variedades se ubican en grupos distintos, reforzando que no comparten valores estadísticamente similares.

5.4.15 Discusión sobre las propiedades químico proximal de la quinua expandido

Humedad

Los resultados obtenidos muestran una tendencia decreciente del contenido de humedad al aumentar la presión durante la expansión. En la variedad Amarilla Marangani se registraron valores de 8.66 % a 180 psi y 7.03 % a 200 psi, mientras que en la Negra Collana los valores fueron de 8.43 % y 6.76 % respectivamente. Esta reducción puede atribuirse a la pérdida de agua libre durante el proceso de expansión, debido al súbito aumento de temperatura y presión. Estos resultados concuerdan con

los reportes de Zapana Yucra (2019), quien observó una disminución de humedad (6.99 g) en quinua expandida por explosión, y con los hallazgos de Huang (2018), que reportó una reducción del 14 % al 8 % tras el puffing. En ambos casos, la disminución se relaciona con la rápida evaporación interna del agua durante la expansión. El bajo coeficiente de variación ($CV < 5 \%$) en la mayoría de los tratamientos indica alta receptibilidad experimental y control adecuado del proceso.

Proteína

En ambas variedades se observó una disminución ligera del contenido proteico al incrementar la presión, aunque la Negra Collana presentó valores superiores (15.20 % a 180 psi y 15.80 % a 200 psi) en comparación con la Amarilla Marangani (12.83 % y 13.18 % respectivamente). Esto sugiere que la composición genética influye en la retención proteica. De manera similar a lo reportado por Paucar et al. (2018), se detectaron variaciones en el perfil proteico. Aquellos autores registraron un descenso del 5.2 % en quinua tras el tratamiento térmico, debido a que las altas temperaturas provocan una desnaturalización parcial de las proteínas. No obstante, en este estudio la ligera elevación en la Negra Collana podría deberse a una concentración aparente causada por pérdida de humedad. Los bajos coeficientes de variación ($CV < 6 \%$) confirman la estabilidad experimental de los resultados.

Grasa

Los valores obtenidos de grasa en el grano expandido de quinua variaron entre 4.50 y 5.37%, observándose diferencias entre variedades y niveles de presión. La variedad Negra Collana presentó un ligero predominio en el contenido graso promedio (5.37% a 180 psi y 5.29% a 200 psi) frente a la variedad Amarilla (4.50% a 180 psi y 5.40% a 200 psi). Este comportamiento sugiere que la composición lipídica depende principalmente del factor varietal, lo cual coincide con lo reportado por Paredes (2023) e INIA (2012), quienes indicaron que las variedades de quinua de pericarpio oscuro presentan mayor concentración de aceite y ácidos grasos insaturados, debido a diferencias genéticas y metabólicas.

Al comparar con los antecedentes bibliográficos, los datos computados se encuentran dentro del rango reportado por Zapana Yucra (2019) (5.22%) y Quispe Boza (2022) (4.68%), confirmando que el proceso de expansión térmica no ocasiona pérdidas significativas de grasa. Por el contrario, en algunos casos se evidencia un leve incremento aparente, atribuible a la reducción del contenido de humedad durante la

expansión, lo que provoca una concentración relativa de la fracción lipídica (Huamani Valenzuela, 2019).

Ceniza

El contenido de ceniza aumentó ligeramente con el incremento de presión. En Amarilla Marangani se registró de 1.68 % a 2.04 %, y en Negra Collana de 1.82 % a 1.95 %. Este aumento puede deberse a la concentración de minerales tras la pérdida de humedad. Resultados similares fueron obtenidos por Huang (2018), quien reportó reducciones leves de cenizas (3.59–0.57 %) dependiendo del tiempo de exposición térmica. Las discrepancias pueden relacionarse con la composición mineral inicial y la intensidad del proceso. Los CV inferiores al 10 % confirman la precisión de las mediciones.

Fibra

El contenido de fibra presentó un incremento con la presión aplicada, especialmente en Amarilla Marangani, que pasó de 2.82 % a 3.65 % (aumento del 29.4 %), mientras que Negra Collana aumentó de 3.13 % a 3.60 % (incremento del 15 %). Este aumento puede explicarse por la disrupción de la matriz del grano durante la expansión, lo cual libera fracciones insolubles o incrementa la accesibilidad analítica de la fibra. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Paucar et al. (2018) y Zapana Yucra (2019), quienes observaron aumentos en fibra total tras el puffing, atribuidos a la gelatinización del almidón y redistribución estructural del grano. Los valores bajos de CV (0.87–2.75 %) reflejan excelente reproducibilidad experimental.

Carbohidratos

Los hallazgos demuestran que la técnica de expansión por explosión no generó alteraciones significativas en los niveles de carbohidratos totales, manteniéndose dentro del rango reportado por diversos autores (58–68 %) de (Huamani Valenzuela, 2019). Comparando con los antecedentes, Huang (2018) reportó que el proceso de “puffing” en cereales como arroz, mijo y trigo redujo el contenido de carbohidratos en un rango de 56.85 % a 38.21 %, debido a la degradación térmica parcial del almidón y la formación de azúcares simples. Sin embargo, en este estudio, la disminución fue mínima, posiblemente porque el tiempo de exposición fue menor o las presiones empleadas (180–200 psi) no alcanzaron niveles críticos de despolimerización del almidón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACION

1.-El perlado seco-húmedo influyó de forma diferenciada en las propiedades funcionales y químico-proximales de las estirpes de quinua analizadas. La Negra Collana presentó superiores cargas de componentes fenólicos, potencia antioxidante, proteína y fibra, mientras que la Amarilla Marangani destacó por su mayor contenido de carbohidratos. Estas diferencias, atribuidas al genotipo y a la pigmentación del grano, condicionaron el comportamiento tecnológico durante la expansión, evidenciando la mayor calidad funcional y nutricional de la quinua Negra Collana.

2.-El proceso de expandido por explosión a 180 y 200 psi influyeron en la carga de componentes fenólicos de manera dependiente del genotipo y del nivel de presión. La Negra Collana alcanzó su mayor concentración a 180 psi, mientras que la Amarilla Marangani mostró un incremento moderado a 200 psi. La capacidad antioxidante no presentó diferencias significativas, lo que indica que el proceso de expansión no afecta de manera relevante esta propiedad funcional.

3.-El expandido por explosión permitieron obtener productos con alta porosidad en ambas variedades de quinua. La Amarilla Marangani presentó mayor porosidad a 180 psi, con una ligera disminución a 200 psi. La densidad aparente se mantuvo estable, mientras que la gravedad específica fue superior en la Amarilla Marangani en comparación con la Negra Collana el aumento de la presión de expansión redujo la carga de humedad en ambas variedades de quinua, favoreciendo la firmeza del artículo definitivo

4.- El contenido de proteína se mantuvo estable y fue mayor en la Negra Collana, mientras que la fibra y las cenizas mostraron ligeros incrementos. Los carbohidratos permanecieron prácticamente constantes, evidenciando que el proceso de expandido por explosión conserva adecuadamente la composición nutricional del grano.

RECOMENDACIONES

1.-Se recomienda efectuar un balance de masa integral del proceso productivo, abarcando desde la etapa de perlado seco-húmedo hasta la técnica de dilatación por estallido, con el propósito de identificar y cuantificar las mermas y subproductos generados, tales como el polvillo de quinua y las fracciones de pericarpio. Dado el elevado valor comercial de las variedades orgánicas, se sugiere evaluar la extracción de saponinas y la consecución de harinas pigmentadas ricas en antocianinas a partir de la quinua Negra Collana, como estrategias de aprovechamiento integral y valorización industrial.

2.-Se recomienda establecer condiciones óptimas de almacenamiento, conservando el expandido un contenido de humedad entre 7%-8 %, con el propósito de eludir la reproducción de mohos y preservar la calidad del producto. Esta recomendación resulta especialmente importante para la variedad Negra Collana, debido a su mayor valorización comercial asociada a su coloración característica.

3.-Se recomienda impulsar el desarrollo de una línea diversificada de productos de quinua expandida, incorporando diversas formas de jarabes naturales, con el fin de mejorar las propiedades sensoriales, principalmente el sabor, lo que permitiría incrementar el valor agregado y promover un mayor consumo del producto en el mercado.

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 cañihua (Chenopodium Pallidicaule)*. Journal of Cereal Science. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Ahumada, A. o. (2016). Saponina de Quinoa. (*Artículo de Revisión*). Ciencias Químicas y Farmacia, Colombia.
- Alcázar del Castillo, J. (2002). *Diccionario técnico de industrias alimentarias*. Perú: ISBN 9972-9639-0X.
- Angela, R. Y. (2012). *Evaluación de las propiedades físicas y químicas en dos variedades de quinoa expandida (Chenopodium quinoa Willd)*. Universidad Nacional del Altiplano Escuela de pos grado de Maestría, Puno, Puno.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis*. Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemistry.
- Arnao, H. (2001). *Some Methodological problems in the Determination of Antioxidant Activity using Chromogenic Radicals: a practical case*. *Trends in Food Science and Technology*.
- Bernal Gonzales , C. (2010). *Metodología de la investigación*. Pearson Educación.
- Campos-Rodríguez, J. A.-C.-M. (s.f.). *Quinoa 8*.
- Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, E. (2003). Valor Nutricional y Uso de los Cultivos Andinos Quinoa (*Chenopodium quinoa*) y Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 213-218. doi:10.1081/FRI-120018884
- Chagua, L. G., & Palomino Villaizan, L. (2014). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS FENOLICOS EN QUINUA (Chenopodium quinoa) expandida de tres variedades provenientes del departamento de Junín*. UNIVERSIDAD DEL CENTRO DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS APLICADAS ,ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL, Tarma -Peru.
- Condori Gonzales, E. A. (2022). *Efecto de la harina de moringa (moringa oleifera) y jarabe de agave (agave americana) en las características físicas y sensoriales de quinoa (Chenopodium quinoa Willd) expandida*. UNIVERSIDAD DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS,
Ayacucho.

- D0002332021-MIDIS/PNAEQWDE, R. D. (2022). *Especificaciones tecnicas de cereal expandidos*.
- Febres, M. (2004). Informe de Consultoria. *Proyecto regional DESK de la red de transferencia tecnológica*, 15-18.
- Fuentes Carmona, f. f., & figueroa Donoso, c. s. (2017). *Potencial competitivo de la quinua chilena*. Pontificie Universidad Catolica de Chile, Santiago Chile.
- Garay R, M. (2016). “*ELABORACIÓN DE COMPOTA DE MANGO CON QUINUA NEGRA COMO COMPLEMENTO NUTRICIONAL PARA NIÑOS DE 3 A 5 AÑOS*”. UAP.
- Gómez, P. L. (2016). *GUÍA DE CULTIVO DE LA QUINUA*. lima.
- Gutierrez Cuadros, G. B. (2019). *capacidad antioxidante y compuestos fenolicos de cuatro cultivare germinado de chenopodium quinoa willd"quinua".Ayacucho 2018*. Universidad Nacional de san cristobal de huamanga facultad de ciencias de la salud escuaela profesional de farmacia y bioquimica, Ayacucho.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodologia de la Investigación*. Mc Graw Hill.
- Hinojosa, v. j. (2015). *analisis tecnico economico del cultivo de quinua organica(chenopodium quinoa willd)en distrito de mañazo*. universidad nacional san agustin de arequipa, puno.
- Huamani Valenzuela, L. (2019). *EFECTO DE LA HUMEDAD DEL GRANO Y PRESIÓN DEL EXPANSOR EN EL PROCESO DE EXPANDIDO DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd) BLANCA Y ROJA EN AYACUCHO*. Universidad Nacional de San Cristobal De Huamanca, Ayacucho-Peru.
- Huang, R. P. (2018). *Effects of explosion puffing on the nutritional composition and digestibility of grains*. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2193–2204. Sichuan University y Sichuan Huiji Food Co. Ltd, china.
- Ibañez Bejar, E. E. (2021). *Efecto del perlado en seco-humedo y expandido por explosion sobre las propiedades funcionales y fisico-quimicos de dos variedades de cañihua organica(chenopodium pallidicaule aellen)*. UNA-Escuela profesional de ingenieria agroindustrial, Puno, Puno.
- IICA. (2015). *El mercado y la producción de quinua en el Perú*. LIMA.
- INIA. (2015). *QUINUA INIA- 420 NEGRA COLLANA*. ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - PUNO.

- Mamani Coaquira, S. (2015). *Evaluacion del efecto de tres procesos agroindustriales en la estabilidad de los compuestos fenoles y capacidad antioxidantes en dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa willd)*. UNA-Escuela profesional de ingeniería agroindustrial, Puno.
- Misaraime Tacuri, M. E. (2023). *Capacidad antioxidante, fenoles totales y flavanoides de veinte variedades de las semillas de Chenopodium quinoa willd "quinua" Ayacucho 2022*. Ayacucho.
- Montañas A, W. (2020). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EQUIPO DESAPONIFICADOR DE QUINUA *Chenopodium quinoa Willd*, PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO CON VARIEDAD AMARILLO MARANGANI. (*Tesis de graduacion*). UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo.
- Montgomery, D. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons.
- MUJICA, A. (2006). *Agroindustria de la quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. Puno: Altiplano EIRL.
- NIEVES C, R. L. (2016). *ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL EXTRACTO ETANÓLICO DEL GRANO DE Chenopodium quinoa Willd QUINUA NEGRA*".
- Noemi, Q. b. (2022).
- Ortega, A. (2016). Ciencias Químicas y Farmacia. *Artículo de revisión*. Saponina de Quinua, Colombia.
- Paredes del Castillo, N., Regalado Gamonal, S. E., & Arse Serpa, S. B. (2023). *Pronóstico de la Producción de Quinua al 2023*. MIDAGRI, Lima-Peru.
- Paucar-Menacho, L. M., Dueñas, M., Martínez Villalueva, C., Frias, J., Peñas, E., & Vidal Valverde, C. (2018). *Effect of Dry Heat Processing on Nutritional Composition, Fatty Acid, Amino Acid and Phenolic Profiles of Pseudocereals Grains*. UNALM, Lima, PERU.
- Prado, R. R. (2018). *Evaluación de técnicas de extracción de saponinas de la quinua (Chenopodium quinoa willd) como alternativo de mejoramiento para la cadena productiva en Cundinamarca*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Especialización en procesos de alimentos y biomateriales Bogotá Colombia, Bogotá Colombia.
- Quispe Boza, N. (2022). *"Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (Chenopodium quinoa willd)*. UNIVERSIDAD NACIONAL HUANCAYELICA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL,

- Huancavelica-Peru. Obtenido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/705d5707-1df2-4b4f-a9ef-3b34ef882976/content>
- Quispe Colquehuanca, W. E. (2016). *Evaluacion comparacion del contenido proteico compuesto fenolico y capacidad antioxidante de dos variedades de quinua (chenopodium quinoa willd)organica y convencional*. UNA-Escuela profesional de ingenieria agroindustrial, PUNO, Puno.
- Ramires, Y. M. (2012). *Evaluacion de las propiedades fisicas y quimicas de dos variedades de quinua expndidas (chenopodium quinoa willd)*. Universidad Nacional del Altiplano Escuela de posgrado, Puno.
- Ramos Pacheco, B. S. (2024). *Caracteristicas de las propiedades fisico quimico,termicos y reologicos de 3 variedades chenopodium quinoa willd de Andahuaylas*. UNSAAC- Maestria en ciencia y tecnologia de alimentos, Cusco.
- Tamayo y Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.
- Viña Z, S., & Ringuelet , J. (s.f.). *Compuesto fenolico*.
- Yana, Q. S. (2015). *CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD PROTEICA DE QUINUA INSUFLADA EN 3 VARIEDADES (Chenopodiumquinoa Willd)*. PUNO.
- Zapana yucra, f. (2019). *Estudio delas propiedades,fisicas ,quimicas ,nutricionales de insuflados de quinua(chenopodium quinua willd)Roja INIA*. universidad de concepcion direccion de posgrado facultad de ingenieria agricola-programa de magister en ingenieria agricola, Chillan-Chile.
- Zhang, H. W. (2018). *Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review*. *Food Research Internationa*. articulo cientifico. Recuperado el 2018, de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título

Evaluación del grano perlado en seco-húmedo y expandido por explosión en las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de dos variedades de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa Willd.*).

1. Problema, Objetivos, Hipótesis Y Variables

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema	Objetivo	Hipótesis	
General	General	General	
¿Cómo influyen el perlado seco-húmedo y el expandido por explosión a dos presiones en las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de las variedades de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana?	Evaluar el efecto del perlado seco-húmedo y del expandido por explosión en las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de las variedades de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana.	El perlado seco-húmedo y el expandido por explosión a diferentes presiones generan cambios significativos en las propiedades funcionales, físicas y químico-proximales de ambas variedades de quinua.	Variable Independiente - Perlado seco-húmedo - Expandido por explosión (180 y 200 PSI)
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Dependientes
1. Evaluar el efecto del perlado en propiedades funcionales y físicas en el grano	1. Describir el efecto del perlado en propiedades funcionales	1. El perlado modifica significativamente las propiedades funcionales y proximales.	A. Propiedades funcionales
2. Identificar el efecto del perlado y el expandido sobre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.	2. Determinar el efecto del perlado y del expandido (180 y 200 PSI) en fenoles y capacidad antioxidante.	2. El perlado y el expandido afectan los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante.	B. Propiedades físicas
3. Determinar la influencia en la porosidad, densidad aparente y gravedad específica.	3. Analizar la influencia en porosidad, densidad aparente y gravedad específica.	3. Ambos procesos influyen significativamente en la porosidad, densidad aparente y gravedad específica.	C. Fenoles y antioxidantes
4. Analizar las variaciones en las propiedades	4. Evaluar el efecto en humedad, proteína, fibra, carbohidratos y ceniza.	4. El perlado y el	D. Composición proximal

químico-proximales.

expandido modifican la
humedad, proteína, fibra,
carbohidratos y ceniza.

2. Dimensiones e Indicadores

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
A. Propiedades funcionales	compuesto	- mg	Espectrofotometría	Espectrofotómetro
	Fenolico y capacidad antioxidante	AGE/100 g - TEAC $\mu\text{mol}/100\text{ g}$		
	-	- %		
B. Propiedades físicas	Porosidad	Porosidad	Análisis físico	Picnómetro, probetas, balanza
	- Densidad aparente	- g/mL		
	- Gravedad específica	Peso/volumen		
	-	- %		
D. Composición químico- proximal	Humedad	Humedad	Métodos AOAC	Estufa, mufla, balanza, Kjeldahl, Soxhlet
	- Proteína	- % Proteína (%)		
	- Fibra	- % Fibra		
	- Ceniza	- % Ceniza		
	-	- %		
	Carbohidratos	Carbohidratos (por diferencia)		

3. DISEÑO, POBLACIÓN Y ANÁLISIS

Aspecto	Descripción
Tipo de investigación	Experimental
Diseño	Multifactorial categórico 2×3 (dos variedades × tres tratamientos)
Tratamientos	1. Perlado seco-húmedo
	2. Expandido 180 PSI
	3. Expandido 200 PSI
Varietades	Quinoa Amarilla Marangani y Negra Collana
Población y muestra	Lotes tratados bajo los dos tratamientos con tres repeticiones
Análisis estadístico	ANOVA factorial, prueba de Tukey al 95%, correlaciones
Software	Statgraphics

ANEXO

Anexo2: Panel Fotográfico

Etapa 1. Obtención de materia prima



Fotografía 1. Quinoa Negra Collana



Fotografía2. Quinoa Amarilla Marangani

Etapa 2. Pesado de la Materia Prima



Fotografía. 3 Pesado de Quinoa
Amarilla Marangani



Fotografía4.Pesado de Quínoa
Negra Collana

Etapa 3. Perlado Seco y Húmedo de la Quinoa Orgánica Amarilla Marangani y Negra Collana



Fotografía 5. Escarificado en Proceso Seco



Fotografía6. Lavado en Proceso Húmedo y Desamargado de Quinoa Organica



Fotografía7.Escurrido de Agua



Fotografía 8 Secado de Quinoa

Etapa4. Obtención de quinoa perlada seco húmedo de la Quinoa Amarilla Marangani



Fotografía. 9 Pesado de QM



Fotografia10.Pesado de QN

Etapa 5. Proceso de Expandido por Explosión de Quinua



Fotografía. 11 Elaboración del Expandido por explosión



Fotografía 12. Expandido de pop QA



Fotografía 13. Expandido de pop QN



Fotografía. 14 Equipo de Limpieza



Fotografía 15 Popeado

Etapa6. Determinación de Compuestos Fenólicos y capacidad antioxidante



Fotografía16. Pesado de pop



Fotografía 17. Molienda



Fotografía.18. Pesado de Harina Pop



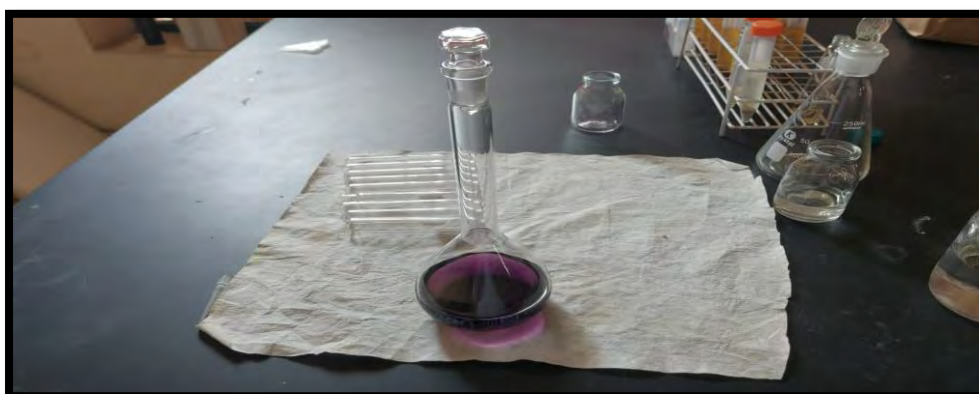
Fotografía19.Adición de Reactivo

Etapa 7. Preparado de repeticiones de muestras para determinar compuestos fenoles



Fotografía 20. Muestras de Repeticiones de Fenoles de Quinua Orgánica

Etapa 8. Determinación de capacidad antioxidantes



Fotografía 21. Preparaciones del reactivo

Etapa9.Preparación de muestras para la determinación de antioxidantes



Fotografía 22. Colocación de las muestras en el cromatografo

Etapa 10 Determinación de Propiedades Físicas



Fotografía 23. Balanza Analítica

Anexo 3.-Certificados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 LABORATORIO DE CROMATOGRÁFIA Y ESPECTROMETRÍA – Pabellón de Control de Calidad
 AV. De la Cultura 733 CUSCO-PERÚ Contacto 973868855

RESULTADOS

Cusco, 11 de Septiembre 2025 ^{AP-77}

Solicitantes : Melania Choquehuanca Ccapatinta, Edith Rosario Quispe Huayllani
 Tipo de Análisis : Antioxidantes, Compuestos Fenólicos totales
 Métodos : DPPH, Folin Ciocalteu
 Tipo de Muestra : Quinoa
 Cantidad : 14 frascos de plástico, con 100 gr aproximadamente de cada uno
 Almacenamiento : 4 °C.

Antioxidantes método DPPH

Muestra	Lecturas					Promedio		Capacidad Antioxidante %
	1	2	3	4	5	TEAC g/100 gr	TEAC mM/100 gr	
M1-1	4.688	4.714	4.777	4.650	4.765	4.7	18.8	78.8
M1-2	4.964	4.812	4.926	4.958	4.983	4.9	19.7	82.4
M1-3	5.098	5.110	5.142	5.104	5.110	5.1	20.4	86.2
M2-1	4.452	4.478	4.574	4.484	4.567	4.5	18.0	75.0
M2-2	4.981	5.039	5.102	5.096	5.108	5.1	20.2	84.8
M2-3	4.687	4.675	4.745	4.739	4.726	4.7	18.8	78.3
M3-1	4.579	4.515	4.604	4.636	4.617	4.6	18.3	76.9
M3-2	4.658	4.626	4.652	4.728	4.690	4.7	18.6	77.8
M3-3	4.592	4.503	4.599	4.560	4.682	4.6	18.3	76.6
M4-1	4.684	4.735	4.799	4.824	4.792	4.8	19.0	79.8
M4-2	4.456	4.527	4.622	4.590	4.558	4.6	18.2	75.9
M4-3	4.959	4.991	5.010	4.991	5.004	5.0	19.9	82.5
QA	1.121	1.047	1.079	1.057	1.079	1.1	4.3	39.4
QN	1.604	1.617	1.585	1.591	1.601	1.6	6.4	57.4

TEAC = Capacidad Antioxidante en equivalentes Trolox

Nota:

Los resultados se expresan en gramos y milimoles en equivalentes Trolox que están presente en 100 gramos de muestra, se incluye el porcentaje de actividad antioxidante.

Condiciones de Análisis para Antioxidantes

Equipo : Espectrofotómetro Génesis 20 Thermo Electrón
 Longitud de Onda : 517 nm
 Celda de Lectura : Cubetas de Vidrio de 1cm
 Ecuación de la curva patrón : $y = 0.0516x + 0.0173$, $R^2 = 0.9988$

Referencia consultada

- Brand-Williams W., M. Cuvelier and C. Berset. 1997. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity, Lebensm. Wiss. U. Technol. 28, 25-30.
- Norul Liza A-Rahaman, Lee Suan Chua, Mohamad Roji Sarmidi, Ramlan Aziz. 2013. Physicochemical and radical scavenging activities of honey samples from Malaysia Agricultural Sciences Vol.4, No.5B, 46-51.
- Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity Songklanakar J. Sci. Technol., 26(2): 211-219.
- Shi, F., Jia, X., Zhao, C., & Chen, Y. 2010. Antioxidant Activities of Various Extracts from Artemisia selengensis Turcz (LuHao). Molecules, 15(7), 4934-4946.



[Firma manuscrita]

Químico. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría – UNSAAC.
 CQP - 914



RESULTADOS

Polifenoles totales

Muestra	Lecturas					Promedio
	1	2	3	4	5	Equivalentes en Acido Galico mg/100 gr
M1-1	462.27	486.96	497.83	491.90	482.02	484.2
M1-2	480.98	490.83	497.73	497.73	492.81	492.0
M1-3	497.66	515.22	510.34	505.46	503.51	506.4
M2-1	428.57	438.49	434.52	439.48	436.51	435.5
M2-2	487.42	499.21	494.30	497.25	493.32	494.3
M2-3	443.89	454.82	462.76	451.84	449.85	452.6
M3-1	444.16	449.08	443.18	450.07	452.04	447.7
M3-2	443.30	471.01	458.14	451.22	448.25	454.4
M3-3	419.79	432.64	434.61	437.57	430.66	431.1
M4-1	465.55	458.66	459.65	460.63	469.49	462.8
M4-2	446.91	452.84	454.82	453.83	453.83	452.4
M4-3	481.08	486.06	476.10	481.08	484.06	481.7
QA	159.31	173.16	169.21	165.25	168.22	167.0
QN	249.95	265.82	254.91	258.88	255.90	257.1

Nota: Los resultados expresan los miligramos en equivalentes de Ácido Gálico que están presente en 100gr de muestra.

Condiciones de Análisis por Espectrofotómetro

Equipo : Espectrofotómetro Génesis 20 Thermo Electrón
 Longitud de Onda : 765 nm
 Celda de Lectura : Cubetas de Vidrio de 1cm
 Ecuación de la curva patrón : $y = 0.04x + 0.012$, $R^2 = 0.9971$

Referencia consultada

- Vernon L.Singleton, Rudolf Orthofer, Rosa M. Lamuela-Raventós 1999 Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent Methods in Enzymology Volume 299, 1999, Pages 152-178
- Shi, F., Jia, X., Zhao, C., & Chen, Y. (2010). Antioxidant Activities of Various Extracts from *Artemisia selengensis* Turcz (LuHao). *Molecules*, 15(7), 4934-4946. <https://doi.org/10.3390/molecules15074934>
- *Raphanus raphanistrum* L Sulu Ekstresinin Antioksidan Aktivitesi ve Total Fenolik İçeriği. (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2019, de <http://www.turkjps.org/archives/archive-detail/article-preview/antoxdant-actvty-and-total-phenolic-content-of-aque/12445>
- Safaa S. Abozed, M. El-kalyoubi, A. Abdelrashid, Manal F. Salama 2014 Total phenolic contents and antioxidant activities of various solvent extracts from whole wheat and bran, *Annals of Agricultural Sciences*, Volume 59, Issue 1, Pages 63-67, ISSN 0570-1783, <https://doi.org/10.1016/j.aas.2014.06.009>.



Químico. Jorge Choquenaira Pari
 Analista del Laboratorio de Cromatografía y
 Espectrometría – UNSAAC.
 CQP - 914



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0241-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCAPATINTA
EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y
EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES
FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS
VARIEDADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa*
willd).

MUESTRA : QUINUA AMARILLA MARANGANI PERLADO MIXTO

CÓDIGO : 2082

FECHA : C/12/07/2024

ANÁLISIS FISIQUÍMICO:

	Código
	2082
Humedad %	10,80
Proteína %	13,34
Grasa %	6,18
Ceniza %	2,41
Fibra %	2,27
Carbohidratos %	65,00

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis
Melquiades Herrera Arística
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0245-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCAPATINTA
 EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y
 EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES
 FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS
 VARIEDADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa*
willd).

MUESTRA : QUINUA AMARILLA MARANGANI, EXPANDIDO POR
 EXPLOSION, PRESION 180 PSI

CÓDIGO : 1964

FECHA : C/12/07/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO: TRES DETERMINACIONES.

	1ra	2da	3ra
Humedad %	8,20	9,02	8,76
Proteína %	12,30	13,53	12,65
Grasa %	4,70	5,17	4,63
Ceniza %	1,55	1,71	1,77
Fibra %	2,80	3,08	2,58
Carbohidratos %	70,45	67,49	69,61

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis

 Melquiades Herrera Ariollca
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0242-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCPATINTA
EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y
EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES
FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS
VARIETADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa*
willd).

MUESTRA : QUINUA NEGRA COLLANA INIA 420 PERLADO MIXTO, NR
072-2001-AG-SENASA PUNO

CÓDIGO : 0802

FECHA : C/12/09/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	Código 0802
Humedad %	10,05
Proteína %	17,53
Grasa %	5,34
Ceniza %	2,45
Fibra %	3,00
Carbohidratos %	62,61

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios de Análisis
Molyndes Herrera Arzola
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0246-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCAPATINTA
EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS VARIEDADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa* willd).

MUESTRA : QUINUA AMARILLA MARANGANI, EXPANDIDO POR EXPLOSION, PRESION 200 PSI

CÓDIGO : 1216

FECHA : C/12/07/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO: TRES DETERMINACIONES.

	1ra	2da	3ra
Humedad %	6,70	7,37	7,03
Proteína %	12,70	13,97	12,86
Grasa %	5,40	5,94	4,86
Ceniza %	1,90	2,09	2,54
Fibra %	3,40	3,74	3,80
Carbohidratos %	69,90	66,89	68,91

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0243-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCPATINTA
 EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y
 EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES
 FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS
 VARIEDADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa*
 willd).

MUESTRA : QUINUA NEGRA COLLANA, EXPANDIDO POR EXPLOSION
 PRESION 180 PSI

CÓDIGO : 0479

FECHA : C/12/07/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO: TRES DETERMINACIONES

	1ra	2da	3ra
Humedad %	8,10	8,91	8,29
Proteína %	14,20	15,62	15,78
Grasa %	5,10	5,43	5,59
Ceniza %	1,65	1,94	2,49
Fibra %	2,80	3,06	3,52
Carbohidratos %	68,15	65,04	64,33

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024


 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
 Unidad de Prestación de Servicios Análisis

 Responsable del Laboratorio
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

N°0244-24-LAQ

SOLICITANTE : MELANIA CHOQUEHUANCA CCPATINTA
EDITH ROSARIO QUISPE HUAYLLANI

TESIS : EVALUACIÓN DEL GRANO PERLADO EN SECO-HÚMEDO Y EXPANDIDO POR EXPLOSIÓN EN LAS PROPIEDADES FUNCIONALES, FÍSICO Y QUÍMICO PROXIMAL DE DOS VARIETADES DE QUINUA ORGÁNICA (*Chenopodium quinoa willd*).

MUESTRA : QUINUA NEGRA COLLANA, EXPANDIDO POR EXPLOSION PRESION 200 PSI

CÓDIGO : 1613

FECHA : C/12/07/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO: TRES DETERMINACIONES

	1ra	2da	3ra
Humedad %	6,10	6,70	7,49
Proteína %	15,40	15,94	16,07
Grasa %	5,70	5,05	5,15
Ceniza %	1,95	2,15	1,74
Fibra %	3,60	3,96	3,28
Carbohidratos %	67,25	66,20	66,31

Métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.09, AOAC 962.05.

Cusco, 26 de Julio del 2024



 Melquiades Herrera Arutico
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE QUINUA

MUESTRA : QUINUA
Tesis "Evaluación del grano perlado en seco-húmedo y expandido por explosión en las propiedades funcionales, físico y químico proximal de dos variedades de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa* Willd)"

DEPARTAMENTO : Cusco
PROVINCIA : Canchis
DISTRITO : Sicuani
SOLICITANTE : Bach. Quispe Huayllani, Edith Rosario
Bach. Choquehuanca Ccapatinta, Melania

RESULTADOS:

Fecha de inicio: 10 de julio del 2024

Fecha de conclusión del Análisis: 17 de julio del 2024

Muestras	Mohos ufc/g.
Código 2082 Quinua amarilla de Marangani perlado (escarificado en fase húmeda)	2 x 10
Código 1613 Quinua Negra expandida por explosión P= 200 Psi	9 x 10 ²
Código 1216 Quinua amarilla expandida por explosión P= 200 Psi	12 x 10 ²

METODOLOGÍA:

Se siguió la metodología de la ICMSF (Comisión internacional para la especificación microbiológica de los alimentos) de acuerdo con la Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano" aprobado por la Resolución Ministerial Nº591-2008/MINSA.

CONCLUSIÓN:

Las muestras analizadas presentan mohos por debajo de los criterios establecidos por la Norma sanitaria MINSA/DIGESA.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAO DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

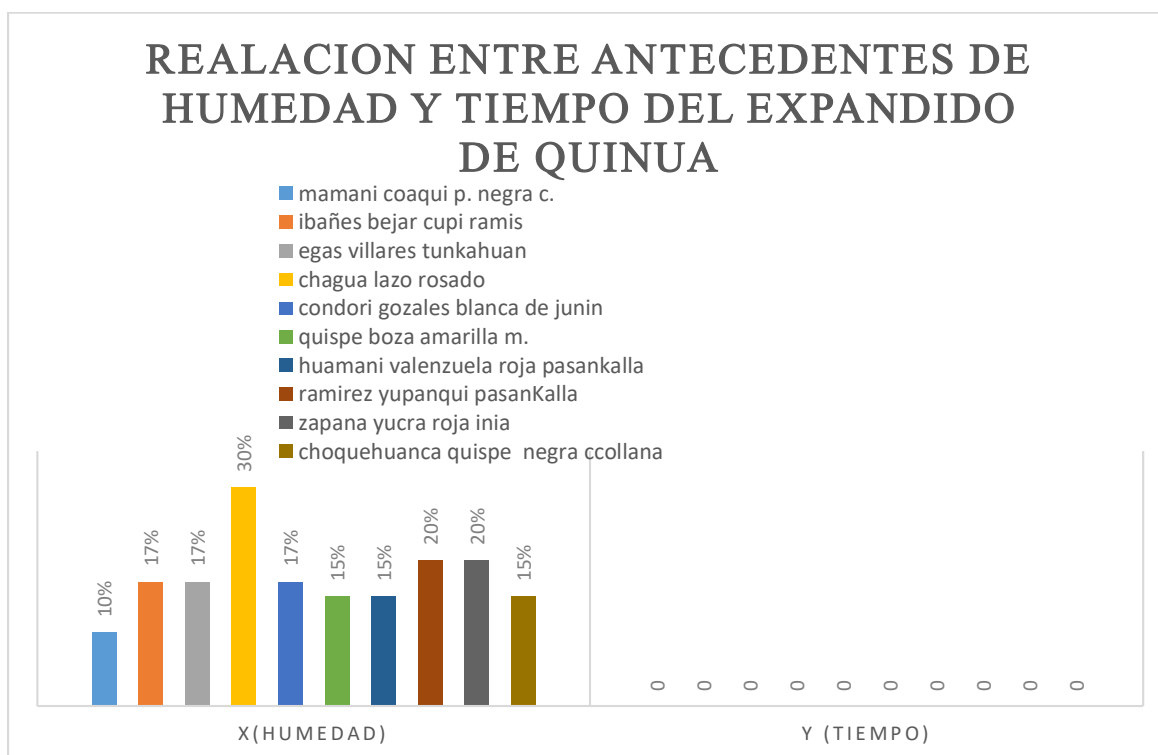
.....
Dra. Blga. Heidy Y. Espinoza Carrasco
MEMBRE DEL AREA DE MICROBIOLOGÍA Y PARASITOLOGÍA

Anexo 4: Otros

Tabla 46

Relación de humedad y tiempo de expandido según antecedentes

Antecedentes	Variedad De Quinua	X(Humedad)	Y (Tiempo)
Mamani Coaqui	P. Negra C.	10%	20 min
Ibañes Bejar	Cupi Ramis	17%	20 min
Egas Villares	Tunkahuan	17%	8 min
Chagua Lazo	Rosado	30%	10 min
Condori Gozales	Blanca De Junin	17%	8 min
Quispe Boza	Amarilla M.	15%	20 min
Huamani Valenzuela	Roja Pasankalla	15%	10 min
Ramirez Yupanqui	Pasankalla	20%	20min
Zapana Yucra	Roja Inia	20%	5 min
Choquehuanca			
Quispe	Negra Ccollana	15%	5 min



El coeficiente de determinación $R^2 = 0.9988$ indica una correlación casi perfecta de la concentración. En términos analíticos, esto garantiza que los resultados de fenoles totales que calcules para la Amarilla Marangani y la Negra Collana serán altamente confiables. La

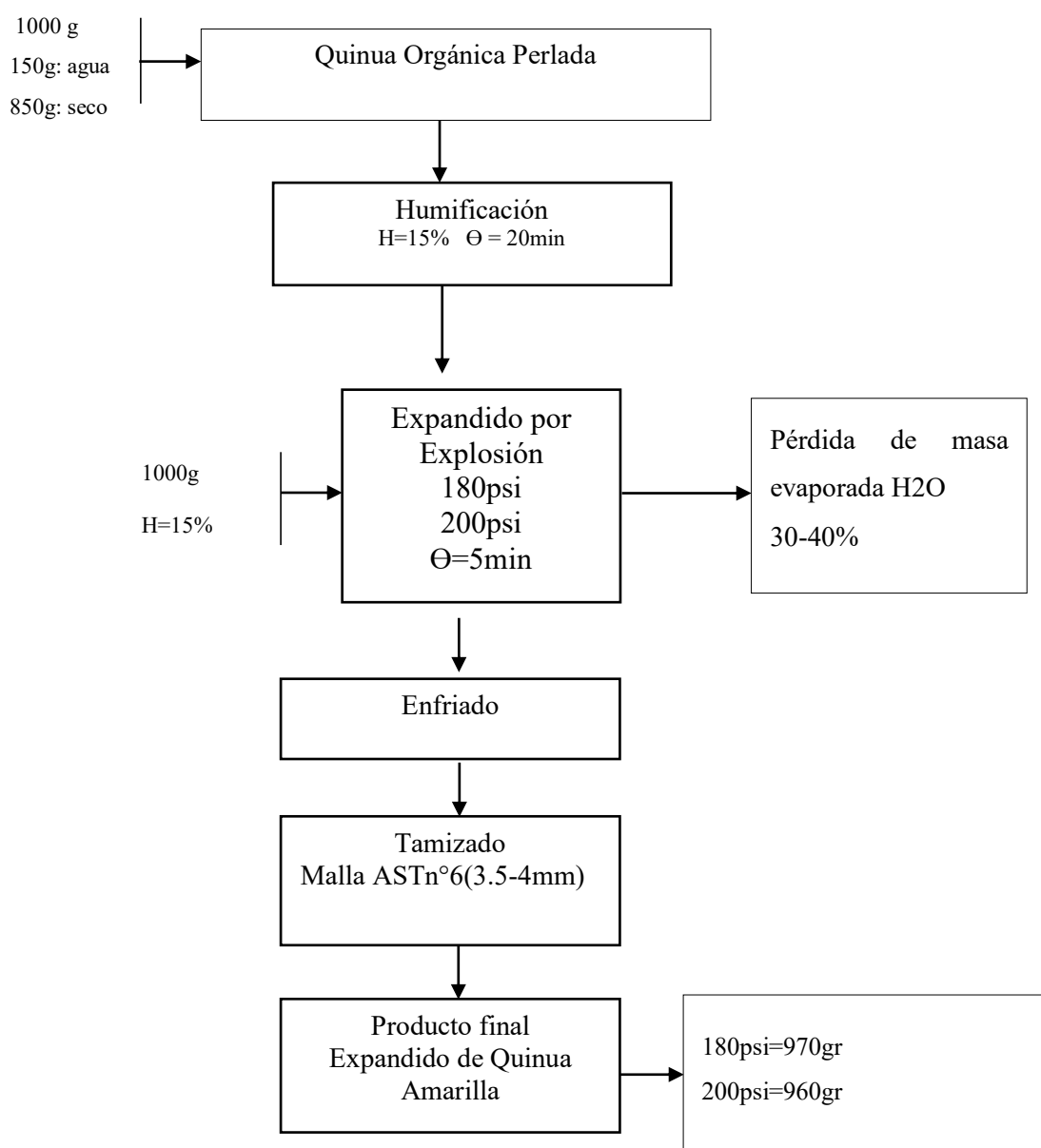
ecuación $y = 0.0516x + 0.1738$ es tu herramienta para convertir las lecturas del espectrofotómetro en valores reales de concentración. La pendiente 0.0516 representa la sensibilidad del método bajo las condiciones

Reporta humedades de hasta el 30% para optimizar la expansión en variedades rosadas, los datos sugieren que para las variedades Negra y Amarilla, humedades menores (10-15%) son suficientes para desencadenar la expansión por explosión. La alta fidelidad de la curva de calibración de fenoles ($R^2 = 0.9988$) permitirá discutir con precisión si estas condiciones de humedad y presión afectan o preservan la capacidad antioxidante de los granos expandidos."

Balance de masa del expandido de quinua

figura 15

Balance de Masa del Expandido por Explosión de la Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana



Leyenda: H=humedad y Θ =tiempo

Nota. Diagrama de balance de masa del expandido por explosión de las variedades de estudio

Balance de Energía del Expandido por Explosión de la Quinua Amarilla Marangani y Negra Collana

Datos básicos del expandidos

- 1 kg de quinua orgánica por tanda
- Humedad inicial ajustada: 15 % (b.h.)
- Sistema discontinuo (batch)
- Se considera el equipo como sistema cerrado durante el calentamiento
- No se realiza trabajo mecánico apreciable
- El cambio de energía cinética y potencial es despreciable

Por lo tanto, el balance general se reduce a:

$$\Delta \text{Entrada} = \Delta U \text{ Quinua} + \Delta U \text{ agua}$$

Composición del material de entrada

Para 1 kg de quinua humidificada (15 % b.h.):

- Masa de agua:

$$m_{\text{agua}} = 0.15 \text{ kg}$$

- Masa de sólidos secos:

$$m_{\text{sólidos}} = 0.85 \text{ kg}$$

- Cálculo del Calor Específico (C_p) de la Quinua Orgánica

$$C_p \text{ quinua} = X_s \cdot C_{p_s} + X_w \cdot C_{p_w}$$

- Datos utilizados

Contenido de humedad: 15 %

Fracción de sólidos (X_s): 0.85

Fracción de agua (X_w): 0.15

Calor específico de los sólidos del grano (C_{p_s}): 1.6 kJ/kg·°C

Calor específico del agua (C_{p_w}): 4.18 kJ/kg·°C

Cálculo:

$$C_p = (0.85 \times 1.6) + (0.15 \times 4.18)$$

$$C_p = 1.36 + 0.63$$

$$C_p = 1.99 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C} = 2.0 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{c} \text{ de la quinua en grano}$$

Tabla de datos

Propiedad	Valor Asumido
Calor específico de sólidos de quinua (csc)	2.0kJ/kg°C
Calor específico del agua (cw)	4.18 kJ/kg·°C
Temperatura inicial (Ti)	25°C

1.-Quinua Amarilla Marangani expandida

Temperatura de calentamiento: 182 °C

$$\Delta T = 182 - 25 = 157^\circ\text{C}$$

Energía absorbida por los sólidos:

$$Q_s = m_s \cdot c_s \cdot \Delta T$$

$$Q_s = 0.85 \times 1.6 \times 157 = 213.5 \text{ kJ}$$

Energía absorbida por el agua:

$$Q_w = m_w \cdot c_w \cdot \Delta T$$

$$Q_w = 0.15 \cdot 4.18 \cdot 157 = 98.4 \text{ kJ}$$

Energía total requerida:

$$Q_{\text{total}} = 311.9 \text{ kJ/kg de quinua}$$

2.-Quinua Negra Collana expandidas

Temperatura de calentamiento: 195 °C

$$\Delta T = 195 - 25 = 170^\circ\text{C}$$

Energía absorbida por los sólidos:

$$Q_s = 0.85 \cdot 1.6 \cdot 170 = 231.2 \text{ kJ}$$

Energía absorbida por el agua:

$$Q_w = 0.15 \cdot 4.18 \cdot 170 = 106.6 \text{ kJ}$$

Energía total requerida:

$$Q_{\text{total}} = 337.8 \text{ kJ/kg de quinua}$$

3.-Pc típico de un equipo de expansor de granos

para calcular es importante el valor tomamos en cuanto los anteriores valores hallados como:

Energía requerida $\approx 311.9 - 337.8 \text{ kJ}$

Tiempo de proceso: 5 min

Potencia requerida:

$$P_c = \frac{Q}{t}$$

$$p_c = \frac{311.9 \text{ kJ}}{5 \cdot 60 \text{ s}} \quad p_c = 1.03 \text{ kW}$$

potencia calorífica requerida para la quinua Amarilla Marangani del cañón simple

$$p_c = \frac{337.8 \text{ kJ}}{5 \cdot 60 \text{ s}} \quad p_c = 1.13 \text{ kW}$$

potencia calorífica requerida para la quinua Negra Collana del cañón simple

El equipo de expansión por explosión utilizado corresponde a un expansor tipo cañón a escala piloto, con una potencia calorífica instalada aproximada de 10 kW, valor consistente con el requerimiento energético del proceso, el tiempo de residencia (5 min) y las pérdidas térmicas propias del sistema.

El calor sensible (Qs)

es la energía necesaria para **eleva la temperatura** de un material **sin cambio de fase**.

$$Q_s = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)$$

Donde:

- Q_s = calor sensible (kJ)
- m = masa de la quinua (kg)
- C_p = calor específico de la quinua (kJ/kg·°C)

- T_i = temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)
- T_f = temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)

a) Calor sensible del expandidos de Quinoa Amarilla Marangani

$$Q_s = 1\text{kg} \cdot 311.9\text{kJ/kg} \cdot (195 - 182) = 4054.7\text{kJ}^{\circ}\text{C}$$

b) Calor sensible del expandido de quinoa Negra Collana

$$Q_s = 1\text{kg} \cdot 337.8\text{kJ/kg} \cdot (203 - 195) = 2702.4\text{kJ}^{\circ}\text{C}$$

figura 16

Curva de Calibración Para La Determinación De Antioxidantes

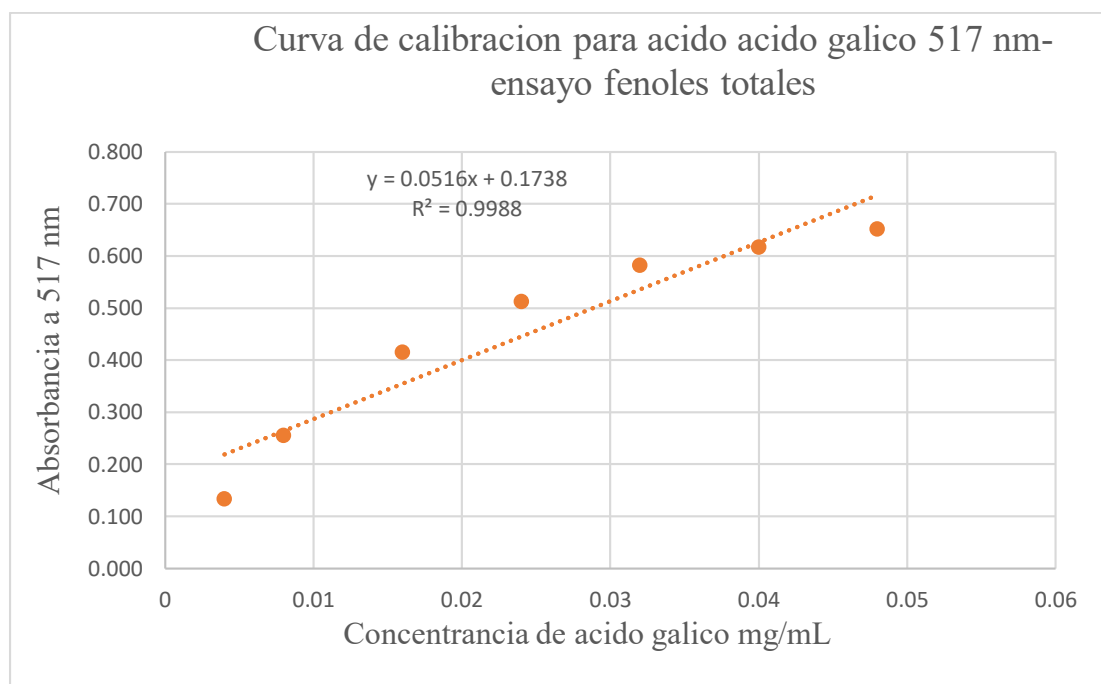
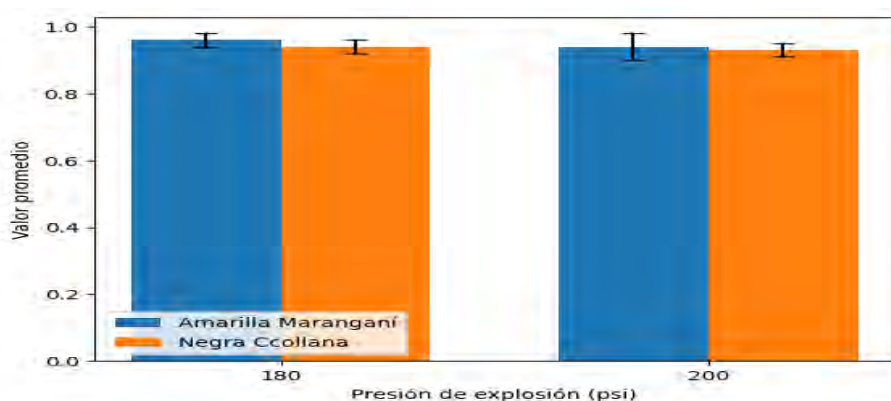


Figura 17

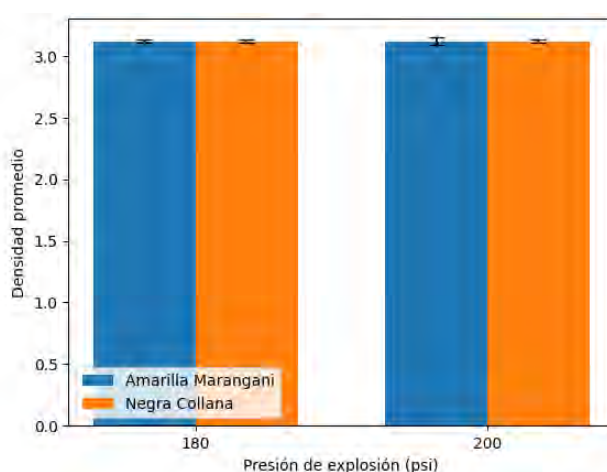
Porosidad del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$.)



La Figura 17 muestra el comportamiento del valor promedio de la porosidad del grano expandido de quinua orgánica en función de la presión de explosión. Se evidencia que el incremento de la presión de 180 a 200 psi genera una ligera disminución de la porosidad en ambas variedades evaluadas, siendo este efecto más pronunciado en la variedad Amarilla Marangani. En contraste, la variedad Negra Collana presenta un comportamiento más estable frente al aumento de la presión. Las barras de error ($\pm s$) reflejan una baja variabilidad experimental, lo cual es consistente con los bajos coeficientes de variación obtenidos.

Figura 18

Efecto de la presión de explosión (180 y 200 psi) sobre la densidad aparente de dos variedades de quinua (Amarilla Marangani y Negra Collana)



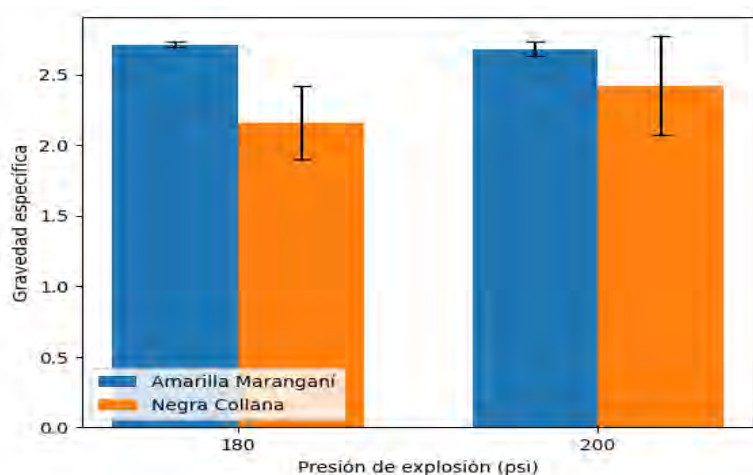
Los resultados muestran que la densidad promedio de las variedades de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana no presenta variaciones significativas al ser sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi. En ambas variedades, el valor promedio de densidad se mantiene

constante en 3.12, lo que indica que el incremento de la presión de explosión no influye de manera relevante en esta propiedad física.

Asimismo, los valores bajos de desviación estándar y coeficiente de variación ($CV < 1.1 \%$) evidencian una alta uniformidad y consistencia en las mediciones experimentales, lo que refuerza la confiabilidad de los hallazgos. En consecuencia, se puede confirmar que, dentro del rango de presiones evaluado, la densidad se mantiene estable frente al proceso aplicado.

Figura 19

Gravedad específica del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$).

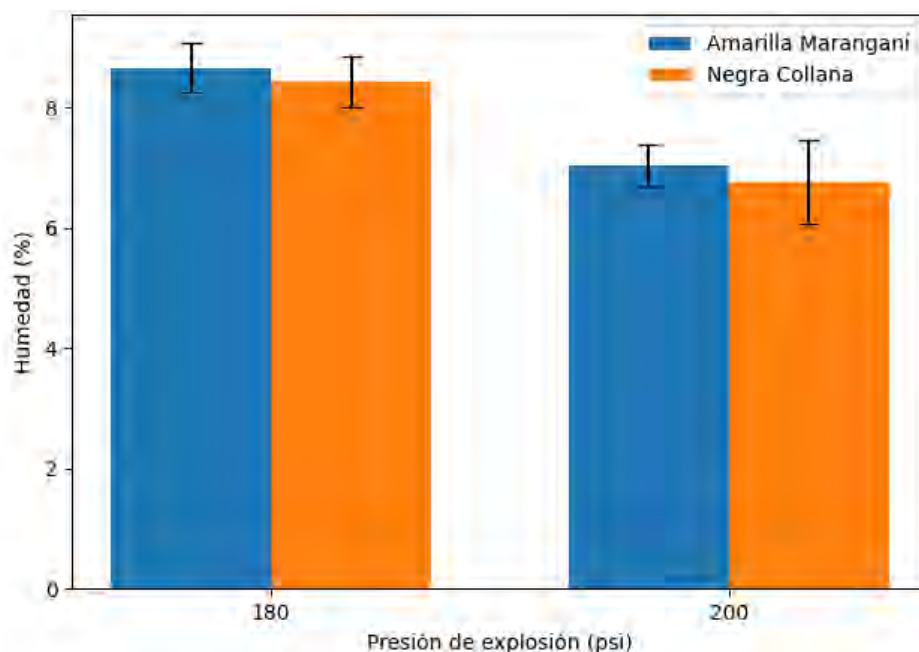


La Figura 19 evidencia la tendencia del valor promedio de la gravedad específica del grano expandido de quinua orgánica en función de la presión de explosión. En la variedad Amarilla Marangani, se evidencia una ligera disminución de la gravedad específica al incrementar la presión de 180 a 200 psi; no obstante, los valores obtenidos se mantienen relativamente constantes, lo que indica un comportamiento estable frente a la variación de la presión aplicada.

En contraste, la variedad Negra Collana muestra un incremento de la gravedad específica con el aumento de la presión de explosión, acompañado de una mayor dispersión de los resultados, lo cual se manifiesta en barras de error de mayor amplitud. Esta elevada variabilidad concuerda con los altos coeficientes de variación registrados, sugiriendo una respuesta menos homogénea del material frente al proceso de expansión por explosión.

Figura 20

Contenido de humedad del grano expandido de dos variedades de quinua orgánica en función de la presión de explosión ($\bar{x} \pm s$).

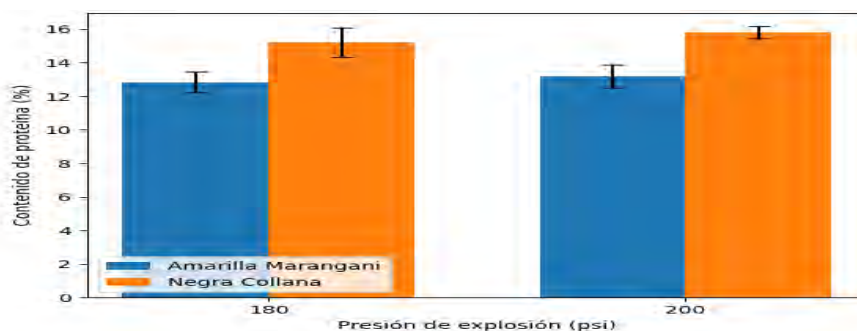


En la Figurse 20 evidencia que la carga de humedad del fruto de quinua expandido disminuye conforme se incrementa la presión de explosión de 180 a 200 psi en ambas variedades evaluadas. La variedad Amarilla Maranganí presenta una reducción de humedad de 8,66 % a 7,03 %, mientras que la variedad Negra Collana disminuye de 8,43 % a 6,76 %.

Estos resultados demuestran que el aumento de la presión de expansión favorece la liberación de vapor de agua, lo que contribuye a la merma de la carga de humedad del artículo definitivo.

Figura 21

Efecto de la presión de explosión (180 y 200 psi) sobre el contenido de proteína de las variedades de quinua Amarilla Marangani y Negra Collana



Los hallazgos indican que el adjunto de proteína aumenta ligeramente con el incremento de la presión de explosión en ambas estirpes de quinua. En la variedad Amarilla

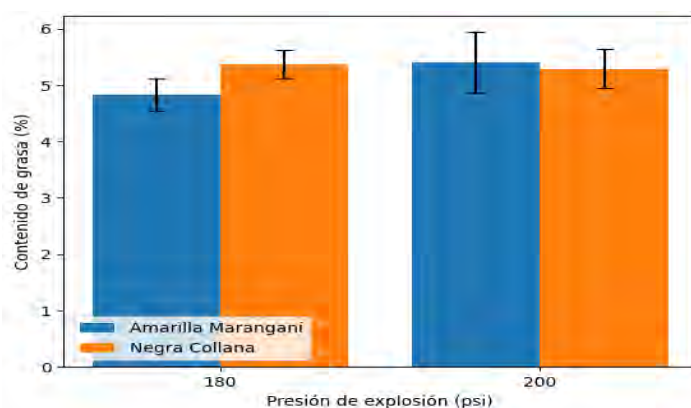
Marangani, el contenido proteico se incrementa de 12.83 % a 13.18 % al pasar de 180 a 200 psi, manteniendo coeficientes de variación moderados ($CV \approx 5\%$), lo que indica una respuesta relativamente homogénea frente al tratamiento aplicado.

Por su parte, la variedad Negra Collana presenta valores de proteína superiores en comparación con Amarilla Marangani para ambas presiones evaluadas, registrando un aumento de 15.20 % a 15.80 % al incrementarse la presión de explosión. Además, a 200 psi se observa una disminución del coeficiente de variación ($CV = 2.25\%$), lo que sugiere una mayor estabilidad y uniformidad en el contenido proteico bajo esta condición.

En conjunto, los resultados indican que la presión de explosión influye positivamente en el contenido de proteína, siendo la variedad Negra Collana la que muestra mayor concentración proteica y mejor estabilidad, lo que resalta su potencial nutricional frente al tratamiento aplicado.

Figura 22

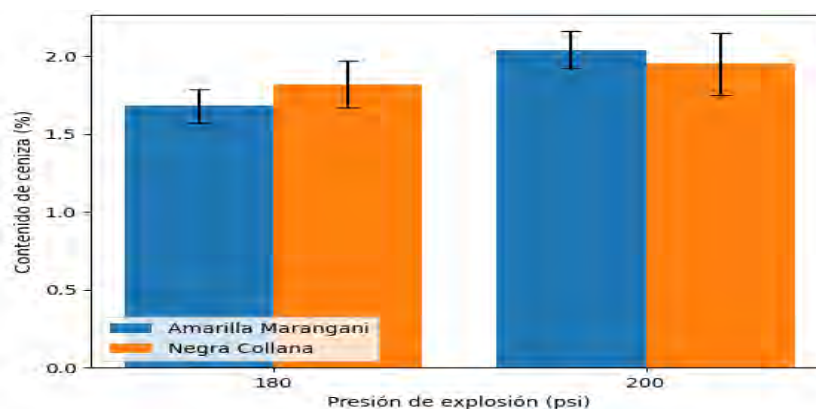
Contenido de grasa (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi



El contenido de grasa de la quinua expandida mostró ligeras diferencias en función de la variedad y la presión de explosión aplicada. En la variedad **Amarilla Marangani**, se observó un incremento del contenido de grasa al aumentar la presión de 180 psi ($4,83 \pm 0,29\%$) a 200 psi ($5,40 \pm 0,54\%$). Por su parte, la variedad **Negra Collana** presentó valores similares en ambas presiones, registrando $5,37 \pm 0,25\%$ a 180 psi y $5,29 \pm 0,35\%$ a 200 psi. Estos resultados indican que la presión de explosión influye de manera diferenciada según la variedad, siendo más notorio el efecto en la quinua Amarilla Marangani.

Figura 23

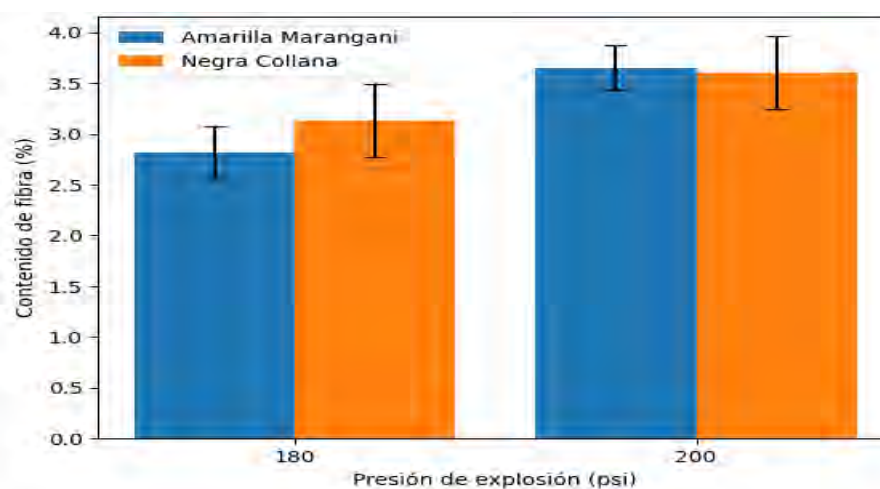
Contenido de ceniza (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi.



El contenido de ceniza de la quinua expandida presentó un incremento al aumentar la presión de explosión de 180 a 200 psi en ambas variedades. El contenido de ceniza aumentó de $1,68 \pm 0,11$ % a $2,04 \pm 0,12$ %, mientras que en la variedad Negra Collana se incrementó de $1,82 \pm 0,15$ % a $1,95 \pm 0,20$ %. Estos resultados indican que una mayor presión de explosión favorece una mayor concentración de minerales, reflejada en el contenido de ceniza, con un efecto más marcado en la variedad Amarilla Marangani.

Figura 24

Contenido de fibra (%) en quinua expandida de las variedades Amarilla Marangani y Negra Collana sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi.

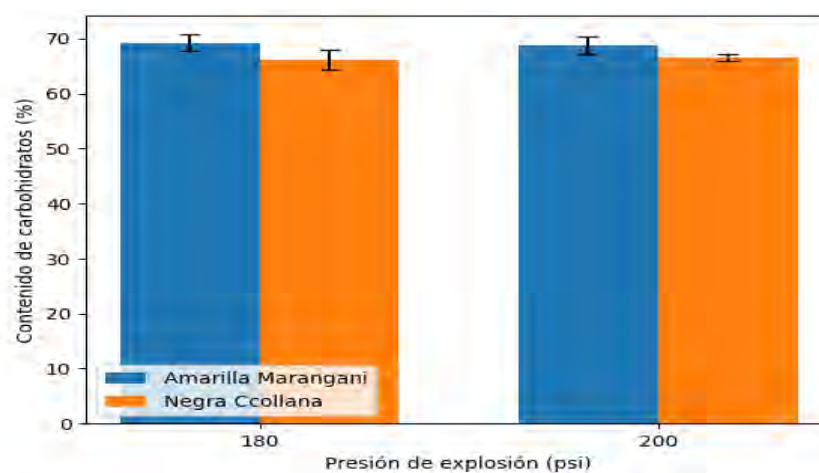


El contenido de fibra de la quinua expandida aumentó al incrementarse la presión de explosión de 180 a 200 psi en ambas variedades. En la variedad Amarilla Marangani, el contenido de fibra pasó de $2,82 \pm 0,25$ % a $3,65 \pm 0,22$ %, mientras que

en la variedad Negra Collana se incrementó de $3,13 \pm 0,36$ % a $3,60 \pm 0,36$ %. Estos resultados evidencian que una mayor presión de explosión favorece una mayor concentración de fibra, con valores ligeramente superiores en la variedad Negra Collana a 180 psi y similares entre variedades a 200 psi.

Figura 25

Contenido de carbohidratos en variedades de quinua según presión de explosión



Respecto a la Figura 25 se evidencia el contenido de carbohidratos de las variedades sometidas a presiones de explosión de 180 y 200 psi. La variedad Amarilla Marangani presentó los valores más altos de carbohidratos en ambas presiones, registrando 69.18 % a 180 psi y 68.71 % a 200 psi, mientras que la variedad Negra Collana mostró contenidos menores, con 66.05 % y 66.59 %, respectivamente. Asimismo, el incremento de la presión de explosión no evidenció variaciones significativas en la carga de glúcidos para ninguna de las estirpes, lo que indica que este parámetro tecnológico no afectó de manera relevante la composición de carbohidratos bajo las condiciones evaluadas.

Anexo 19: Norma técnica peruana – Expandidos de quinua

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 011.459 2016
----------------------------------	-----------------------------

Dirección de Normalización – INACAL
Calle Lisa Caicedo #15, San Isidro (Lima 27)

Lima, Perú

GRANOS ANDINOS. Expandidos de quinua. Requisitos

ANDIAN GRAINS. Expandidos quinua. Requirements

2016-07-20
1ª Edición

R.D. N° 010-2016-INACAL/DN. Publicado el 2016-07-21

Trasladado en 13 páginas

TC 0-167060

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descripción: Grano andino, expandido, por, preparado, y poca, quinua

© INACAL 2016

GRANOS ANDINOS. Expandidos de quinua. Requisitos

1 OBJETIVO

Esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deben cumplir los expandidos¹ de los granos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) destinados al consumo humano.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones actuales de las normas citadas, seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

2.1 Normas Técnicas Internacionales

2.1.1	CODEX STAN 1:1985 rev. 7:2010	Norma general para el etiquetado de los alimentos preenvasados
2.1.2	CODEX STAN 254:1995 ann. 1:2015	Métodos de análisis y de muestras recomendados
2.1.3	CODEX CAC/RCP 1:1989 ann. 1:1999, rev. 4:2011	Principios generales de higiene de los alimentos

¹ Los expandidos de quinua comercialmente también son conocidos como "insufletes", "papa", "papa"

2.14	CAC/GL 50 2004	Directrices generales sobre muestras
2.15	CODEX STAN 193:1995 rev. 4:2009, cum. 5:2015	Norma general para contaminantes y toxinas presentes en los alimentos
2.16	ISO 1871:2009	Alimentos y productos alimenticios – Lineamientos generales para la determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl
2.17	ISO 2171:2007	Cereales, leguminosas y productos derivados – Determinación de cenizas por incineración
2.18	ISO 7308:1998	Productos de cereales molidos – Determinación de acidez de la grasa
2.19	ISO 4831:2006	Microbiología de alimentos para consumo humano y animal - Método horizontal para la numeración de coliformes - Técnica del número más probable
2.110	ISO 21527-2:2008	Microbiología de alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para la numeración de mohos y levaduras. Parte 2: Técnica del conteo de colonias en productos con actividad de agua menor o igual a 0,95
2.111	ISO 6879:2003 + Cor. 1:2004 fecha 1:2007	Microbiología de alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para la detección de <i>Salmonella</i> spp.

2.1	Normas Técnicas Peruanas	
2.1.1	NTP 209.038:2009 (revisada el 2014)	ALIMENTOS ENVASADOS. Etiquetado
2.1.2	NTP-ISO 2859-1:2013	PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN POR ATRIBUTOS. Parte 1: Esquemas de muestreo clasificados por límite de calidad aceptable (LCA) para inspección lote por lote.
2.1.3	NTP 011.453:2014	GRANOS ANDINOS. Quinoa y cañihua. Buenas prácticas de manufactura en plantas de procesamiento
2.1.4	NTP 205.062:2014	GRANOS ANDINOS. Quinoa. Requisitos
2.1.5	NTP-ISO 4121:2008 (revisada el 2014)	Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuesta cuantitativas
2.1.6	NTP-ISO 6658:2004 (revisada el 2014)	Análisis sensorial. Metodología. Lineamientos generales
2.3	Norma Metroológica Peruana	
2.3.1	NMP 001:2014	Requisitos para el etiquetado de productos precintados

2.4	Normas Técnicas de Asociación	
2.4.1	AOAC 945.15 ed. 20/2016	Humedad en cereales adjuntos
2.4.2	AOAC 992.23 ed. 20/2016	Proteína cruda en granos de cereales y semillas de oleaginosas
2.4.3	AOAC 921.00 ed. 20/2016	Ceniza en harina. Método directo
2.4.4	AOAC 945.38 C ed. 20/2016	Granos
2.4.5	AOAC 990.12 ed. 20/2016	Recuento de aerobios mesófilos en alimentos
2.4.6	AOAC 991.02 ed. 20/2016	Recuento de mohos y levaduras en alimentos
2.4.7	AOAC 980.31 ed. 20/2016	Recallos cereales en alimentos
2.4.8	AOAC 979.24 ed. 20/2016	Selenio total ppm en alimentos

3 CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica a los expandidos de los granos de quinua destinados a la comercialización para el consumo humano.

4 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Técnica Peruana se aplican las siguientes definiciones, además de las establecidas en las NTP 203.062 y NTP 011.433.

4.1 Definiciones generales

4.1.1 **aditivo alimentario:** cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, compactado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que preste a sus características. Esta definición no incluye "contaminantes" o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales.

4.1.2 **actividad de agua:** es el agua libre o agua disponible en un alimento y su distribución en su estructura que influye en el color, sabor, textura, actividad vitamínica y fecha de caducidad.

4.1.3 **expandidos:** son espumas sólidas donde la fase continua es una matriz de almidón y proteína y la fase dispersa son las burbujas de aire.

4.1.4 **higroscopia:** es la propiedad que tienen algunos alimentos de absorber humedad del medio ambiente, hasta llegar a un equilibrio higroscópico.

4.1.5 **índice de expansión:** parámetro que permite conocer el incremento del volumen y tamaño del grano procesado (beneficiado) por efecto de la expansión.

4.1.6 **materia extraña:** es la presencia de todo material distinto a los granos expandidos.

4.1.7 **materia residual:** es la presencia de granos quemados, no expandidos, quebrados y pelvillo.

4.1.8 **proceso de expansión:** son los procesos de cambios bruscos de temperatura y presión a que se someten los granos beneficiados para que suculen el fenómeno de expansión, obteniendo un producto poroso y voluminoso, con una humedad adecuada al producto final.

4.2 Definiciones relativas al proceso de elaboración de expandidos

El orden de las definiciones relativas a la elaboración de expandidos de la quinua en el presente apartado es de carácter referencial, algunas agroindustrias aplican o pueden adecuar las secuencias de las siguientes operaciones de acuerdo a su flujoograma de trabajo y/o disponibilidad de maquinarias.

4.2.1 acondicionamiento: es la operación física de estabilizar la humedad del grano beneficiado que le confiere una condición óptima para la expansión. Los valores de humedad recomendados para la expansión dependen de la zona geográfica y oscila entre 12 % a 19 % de humedad.

4.2.2 insuflado: Es la operación física (proceso de expansión) mediante el incremento de temperatura y presión controlada, con el objetivo de expandir los granos procesados.

4.2.3 tamizado: Es la operación mecánica que tiene por objeto clasificar y/o seleccionar los granos expandidos según su integridad, utilizando tamices.

4.2.4 envasado: operación de protección del expandido utilizando envases apropiados de uso alimentario.

5 REQUISITOS

5.1 Requisitos generales

5.1.1 Los expandidos de quinua deberán provenir de granos de la quinua procesada (beneficiada) limpios, sanos, libres de cualquier otra materia extraña, asimismo deberá cumplir con los requisitos establecidos en las NTP 203.062.

5.1.2 Los expandidos de granos de quinua, y aditivos que se agreguen, deberán ser inocuos y apropiados para el consumo humano, podrán contener los aditivos permitidos por la legislación nacional vigente, la autoridad nacional sanitaria competente², y/o el país de destino o en su defecto según lo establecido por el Código Alimentario.

5.1.3 En la elaboración, preparación y manipulación del producto se debe tener en cuenta lo establecido en el Capítulo 9 de la presente Norma Técnica Peruana.

5.1.4 Los expandidos de quinua deberán ser preparados, procesados y envasados bajo condiciones higiénico-sanitarias acordes a las Buenas Prácticas de Manufactura en plantas de procesamiento (véase la NTP 011.433) y a la legislación nacional vigente.

5.1.5 Los requisitos físico sensoriales descritos en esta NTP a los cuales no se les ha asignado un método de ensayo específicos, se verificarán por medio de evaluaciones físicas y sensoriales. Se recomienda utilizar la NTP-ISO 6658 o alguna otra específica de existir. De ser necesario el uso de escalas, se podrá utilizar la NTP-ISO 4121.

5.2 Requisitos sensoriales

Los expandidos de quinua deberán ajustarse a los siguientes requisitos:

- Apariencia: granos esféricos livianos.
- Color: característico según la variedad o ecotipo.
- Aroma: propio de los expandidos de los granos de quinua.
- Sabor: característico de expandidos y deberá estar exento de sabores extraños.
- Consistencia: expandido homogéneo sin aglomeraciones de ninguna clase.
- Textura: granos de quinua expandida crocantes y porrosos.

² A efectos de la Autoridad Sanitaria Nacional Competente es la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA/
© INACAL 2016 – Todos los derechos son reservados.

5.3 Requisitos químicos proximal

Los espárragos de quinua deben cumplir los requisitos físico químicos que se especifican en la Tabla 1.

TABLA 1 - Requisitos físico químicos de espárragos de quinua

Requisitos	Unidad	Valores		Método de ensayo
		mínimo	máximo	
Humedad	%		8.5	AOAC 945.15
Proteína	%	4.5		ISO 1871, AOAC 992.23
Cenizas	%		1.2	ISO 2171, AOAC 923.03
Lípidos	%		2.5	AOAC 945.38

NOTA 1: Los valores referidos están expresados en base seca.

NOTA 2: Es pertinente declarar los valores de subproductos y valor energético como información nutricional del producto.

5.4 Requisitos microbiológicos

Los espárragos de quinua deberán ser inocuos y cumplir con lo especificado en la Tabla 2, de tal manera que garantice la calidad del producto y vele por la salud de los consumidores.

TABLA 2 - Requisitos microbiológicos de espárragos de quinua¹

Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g		Método de ensayo
					m	M	
<i>Aerobios mesófilos</i> (u.f.c./g)	3	3	5	1	10^6	10^7	AOAC 990.12
Mohos (u.f.c./g)	2	3	3	2	10^2	10^3	ISO 21527, AOAC 997.02
Cóclidos (NMP/g)	5	3	3	2	10	10^2	ISO 4831
<i>Salmonella</i> (u.f.c./g)	4	3	3	1	10^2	10^3	AOAC 980.31
<i>Salmonella</i> sp.	10	2	3	0	Asesorar/23 µ	—	ISO 6579, AOAC 978.24

¹ Conforme a lo establecido en la regulación nacional vigente según DM N° 591-2008-MINSA. Titulo Sanitario que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano.

donde:

- n** : Número de unidades de muestra seleccionadas al azar de un lote, que se analizan para satisfacer los requerimientos de un determinado plan de muestreo.
- c** : Número máximo permitido de unidades de muestra rechazables en un plan de muestreo de 2 clases o número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre "m" y "M" en un plan de muestreo de 3 clases. Cuando se detecta un número de unidades de muestra mayor a "c" se rechaza el lote.
- m** : Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable. En general, un valor igual o menor a "m" representa un producto aceptable y los valores superiores a "m" indican lotes aceptables o inaceptables, y
- M** : Los valores de recuento microbiológico superiores a "M" son inaceptables, el alimento representa un riesgo para la salud.

6 MUESTREO

Se efectuará de acuerdo con lo indicado en CAC/GL 50 o según la NTP-ISO 2859-1.

7 ADITIVOS ALIMENTARIOS

De ser necesario se podrá añadir aditivos de acuerdo a especificaciones permitidas por la legislación nacional, del país de destino o la establecida por el Comité Alimentario.

De preferencia el envase para los expandidos deberá ser de material laminado o bio-rentado.

11 ETIQUETADO

La etiqueta o rótulo utilizado para la comercialización, debe cumplir con la legislación nacional vigente o en su defecto con lo establecido en la NTP 209.038 y NMP 001. Además de los requisitos aplicables especificados en la norma CODEX STAN 1.

Sin perjuicio de lo establecido en la legislación y/o normativas mencionadas, la información mínima que debe contener la etiqueta o rótulo del producto es:

- Nombre del producto "expandidos, pipocas, popcorn o pops de quinua".
- Peso neto del producto envasado.
- Nombre, razón social y dirección del fabricante (agroindustria).
- Código o clave del lote.
- Fecha de vencimiento.
- Número de Registro Sanitario (de aplicar).
- Lugar (localidad) donde se elaboró el producto.
- Condiciones de conservación.

Para la impresión de las etiquetas deberá utilizarse tinta (injetable de uso alimentario, que no se borre con el rozamiento ni manipuleo).

12 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Para el almacenamiento se deberá contar con ambientes apropiados para proteger la calidad sanitaria e inocuidad del producto y evitar los riesgos de contaminación cruzada. El almacenamiento de materias primas y productos terminados se realizará en ambientes separados. Se recomienda que el producto se almacene bajo condiciones de humedad relativa no mayor a 60 % y temperatura no mayor a 20 °C.

El medio de transporte a utilizarse deberá ser de uso exclusivo para el transporte de alimentos, está prohibido el uso de vehículos que trasladan productos tóxicos o que transmitan olores o sabores desagradables.

Tanto para el almacenamiento y el transporte del producto se debe cumplir con lo establecido en las Buenas prácticas de manufactura en plantas de procesamiento y fabricación, además de lo establecido por la autoridad competente.

13 ANTECEDENTES

13.1	NTP 205.062:2014	GRANOS ANDINOS. Química. Requisitos
13.2	NTP 011.453:2014	GRANOS ANDINOS. Química y calidad. Buenas prácticas de manufactura en plantas de procesamiento
13.3	NTC 2659:1986	INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. EXPANDIDOS EXTRUIDOS A BASE DE CEREALES
13.4	R. M. N° 451-2006-MINSA.	Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y Otros destinados a Programas Sociales de Alimentación

13.5 R. M. N° 391-2008/MINSA, NTS N° 071-MINSA/DIGESA V.01 "Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano"

13.6 Información de la caracterización realizada a espárragos de quinua realizado por el coordinador del SCTN - Grupo de trabajo quinua - José Luis Soto

13.7 Informe de ensayo a espárragos de quinua. Propiedades físicas de granos espárragos de quinua realizado por Heichi Amparo, José Manuel Prieto y Florentino Choquehuanca, miembros del Sub Comité de Granos Andinos