

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**  
(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AGROINDUSTRIAL**

**TESIS**



“Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el  
rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa*  
Willd.) expandida”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
**CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Noemi Yessica QUISPE BOZA

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

**HUANCAVELICA, PERÚ**

**2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por la Ley 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la ciudad Universitaria de Común Era de la Facultad de Ciencias Agrarias; se llevó a cabo la sustentación, mediante Google Meet. El lunes 25 de abril del 2022 a horas 9:30 pm, donde se reunieron; el jurador calificador, conformado de la siguiente manera:

**PRESIDENTE** : Dr. RUIZ VILCHEZ, David

<http://orcid.org/0000-0001-8871-5833>

DNI N°: 20033973

**SECRETARIO** : Mg. TICSIHUA HUAMAN, Jovencio

<http://orcid.org/0000-0001-5287-4461>

DNI N°: 43996681

**VOCAL** : Dr. CHUQUILIN GOICOCHEA, Roberto Carlos

<https://orcid.org/0000-0002-0852-5878>

DNI N°: 42154955

Con la finalidad de llevar a cabo el acto académico de sustentación de tesis virtual cuyo enlace: <http://meet.google.com/fcj-qrfn-vgw>, titulado “EFECTO DE LA HUMEDAD INICIAL Y PRESIÓN DE EXPANSIÓN EN EL RENDIMIENTO Y ACEPTABILIDAD DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EXPANDIDA”, aprobada mediante Resolución N° 058-2022-D-FCA-UNH; donde fija la hora y fecha para el mencionado acto.

**Sustentante:**

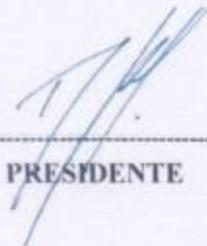
Bach. Noemi Yessica QUISPE BOZA

DNI N°: 76695297

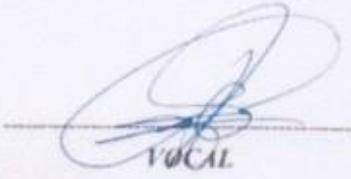
Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formuladas por los miembros del jurado, se procede a la deliberación con el resultado:

APROBADO  DESAPROBADO  POR: UNANIMIDAD

Para constancia se expide la presente Acta, en la ciudad de Acobamba a los 25 días del mes de abril del 2022.

  
PRESIDENTE

  
SECRETARIO

  
VOCAL

## **Título**

“Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida”

## **Autor**

Bach. Noemi Yessica QUISPE BOZA

## **Asesor**

M. Sc. Roberto Carlos CHUQUILÍN GOICOCHEA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8751-691X>

DNI N°: 42154955

## **Agradecimiento**

- Quiero expresar mi agradecimiento, admiración y respeto a las siguientes personas que me apoyaron para la realización de este proyecto de investigación.
- A Dios por la fortaleza, paciencia y sabiduría que puso en mí durante este tiempo.
- A mi Asesor y Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial M. Sc. Roberto Carlos CHUQUILÍN GOICOCHEA, por su paciencia, sus consejos, su interés en este trabajo de investigación y el enorme apoyo brindado durante la ejecución y culminación de mi tesis.
- A la prestigiosa UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por la formación profesional y conocimientos brindados, así mismo a todos los catedráticos que laboran en esta Escuela por compartir sus conocimientos adquiridos, experiencias y así mismo su enseñanza que la agroindustria es el cambio del presente, para una economía sustentable de nuestro país.
- A la Asociación de Productores Agroindustria Rural Naturandina, por darme la oportunidad de utilizar sus equipos y materiales para hacer posible realización de mi tesis.
- A aquellos amigos de la Universidad que me brindaron parte de su tiempo, gracias la ayuda desinteresada y a la vez tan valiosa en el desarrollo de esta investigación.
- Mis más sinceros agradecimientos a mis tíos, primos y todas aquellas personas que colaboraron de una u otra manera al desarrollo y término de esta tesis.

## Tabla de contenido

TÍTULO .....	II
AUTOR.....	IV
ASESOR .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
TABLA DE CONTENIDO: TABLAS .....	IX
TABLA DE CONTENIDO: FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. Objetivo General .....	15
1.3.2. Objetivos Específicos.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	15
CAPÍTULO II .....	17
MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. ANTECEDENTES.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACIÓN .....	19
2.2.1. Expandido o Insuflado de alimentos .....	19
2.2.2. Modificaciones durante el proceso de expansión.....	19
2.2.3. Historia de los cereales para desayuno.....	20
2.2.4. Expandido de quinua.....	21

2.2.5. Características de los cereales a expandir .....	21
2.2.6. Estabilidad de los productos expandidos .....	22
2.2.7. Transferencia de calor .....	23
2.2.8. Efectos contextuales en la evaluación de la aceptabilidad sensorial de los alimentos .....	24
2.3. HIPÓTESIS .....	25
2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	25
CAPÍTULO III .....	26
MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
3.1. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	26
3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	26
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	26
3.3.1. Diseño de Investigación .....	26
3.3.2. Descripción de proceso de expandido .....	27
3.3.3. Rendimiento .....	27
3.3.4. Evaluación sensorial .....	28
3.3.5. Proceso de Expansión .....	29
3.3.6. Composición químico proximal del expandido de quinua .....	29
3.3.7. Digestibilidad “in vitro” .....	30
3.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	30
CAPÍTULO IV .....	31
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	31
CONCLUSIONES .....	39
RECOMENDACIONES .....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
APÉNDICE .....	45

## **Tabla de contenido: Tablas**

Tabla 1.....	20
Tabla 2.....	25
Tabla 3.....	26
Tabla 4.....	31

## **Tabla de contenido: Figuras**

<i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo del proceso de expansión. ....	29
<i>Figura 2.</i> Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Rendimiento. ....	32
<i>Figura 3.</i> Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Rendimiento. ....	32
<i>Figura 4.</i> Comparación de medias del rendimiento de la quinua expandida. ....	33
<i>Figura 5.</i> Comparación de la aceptabilidad promedio de quinua expandida.....	36

## Resumen

Se evaluó el efecto de la humedad inicial del grano y la presión en el rendimiento y aceptabilidad del expandido de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Se empleó un diseño factorial 2<sup>2</sup>, con niveles de humedad de 15 y 20 % y de presión de expandido de 140 y 160 psi. Se realizó la evaluación sensorial con una escala hedónica de 7 puntos con 32 panelistas no entrenados. Las variables de estudio no tuvieron un efecto significativo en el rendimiento, pero su interacción afectó a la aceptabilidad del expandido de quinua. Mediante la prueba de Tukey se eligió el tratamiento 3 (humedad 15% y presión 160 psi); por tener la mayor aceptabilidad (5,43 puntos) y a este tratamiento se le determinó la composición química para 100 g de muestra: humedad (9,9 g), ceniza (1,9 g), proteína (14 g), grasa (5,3 g), fibra (2,05 g) y carbohidratos (68,9 g); energía total 379,3 kcal y su digestibilidad fue de 94,4 g/100 g. La quinua expandida posee una alta digestibilidad y se recomienda especialmente para la alimentación infantil y como cereal para desayuno.

**Palabras clave:** expandido, insuflado, digestibilidad, quinua.

## **Abstract**

The effect of initial grain moisture and pressure on the yield and acceptability of the expanded quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) was evaluated. A 2<sup>2</sup> factorial design was used, with moisture levels of 15 and 20% and expansion pressure of 140 and 160 psi. Sensory evaluation was performed with a 7-point hedonic scale with 32 untrained panelists. The study variables did not have a significant effect on performance, but their interaction affected the acceptability of the quinoa spread. Through the Tukey test, treatment 3 (moisture 15% and pressure 160 psi) was chosen; for having the highest acceptability (5.43 points) and this treatment was determined the chemical composition for 100 g of sample: moisture (9.9 g), ash (1.9 g), protein (14 g), fat ( 5.3 g), fiber (2.05 g) and carbohydrates (68.9 g); total energy 379.3 kcal and its digestibility was 94.4 g / 100 g. Expanded quinoa has a high digestibility and is especially recommended for infant feeding and as cereal for breakfast.

**Keywords:** expanded, blown, digestibility, quinoa.

## Introducción

El mercado mundial de cereales para el desayuno se estimó en 37.000 millones de dólares estadounidenses en 2016 y se espera que crezca a 50.000 millones de dólares en 2023 (Breakfast Cereals Market, 2017). El mercado más grande se encuentra en América del Norte, siendo Europa el segundo más grande. En 2016, América del Norte tenía el 59% del mercado de cereales para el desayuno, mientras que Europa / Medio Oriente / África y Asia Pacífico tenían el 30% y el 11%, respectivamente. En Reino Unido, la compra diaria promedio de cereales para el desayuno en 2006 y 2015 fue de 130 g por día (Statista, 2018). Comprender cómo se desempeñan los diferentes granos en diferentes condiciones de proceso será la clave para producir productos que gusten a los consumidores (Perdon *et al.*, 2020).

La quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) Es una especie dicotiledónea C3 de la familia Amaranthaceae que produce frutos de aquenios (granos de quenopodos) con una semilla redondeada de 1,5 a 4 mm (García *et al.*, 2015; Jellen *et al.*, 2013). Puede crecer en diversas zonas agroecológicas (costeras, valles, tierras altas, salares y subtropicales) y es tolerante a las heladas, la salinidad y la sequía (Adolf *et al.*, 2013; Tapia, 2013).

La semilla de quinua seca se consume como grano de cereal y ha ganado importancia a nivel mundial debido a su alto valor nutricional. El balance de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, micronutrientes, vitaminas y antioxidantes se considera de alta calidad en comparación con los principales cereales (Abugoch James, 2009). Como grano alimenticio sin gluten con un índice glucémico bajo, la quinua es una alternativa viable para dietas e industrias especiales (Bastidas *et al.*, 2016).

Los expandidos son granos de cereales que han pasado por cambios bruscos de temperatura y presión que hacen que se produzca este fenómeno de expansión, ocasionando que el tamaño inicial se incremente. El fundamento de este proceso es la vaporización explosiva del agua al interior del grano, combinado convenientemente con los efectos físicos de presión y temperatura del alimento (Yana Quispe, 2015).

Se han revisado trabajos que señalan que el expandido o insuflado de cereales, mejora la digestibilidad de la proteína y del almidón, es por ello, que se pensó en aplicar y evaluar los efectos en quinua, conservando en la mayor proporción posibles sus

características sensoriales y nutritivas, Así mismo con el propósito de contribuir a una mejor difusión de conocimiento en cuanto a los parámetros de humedad inicial y presión de expansión para aprovechar de mejor manera este tipo de tecnología.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

Muchos avances tecnológicos han sido realizados en el transcurso de los años en los equipos utilizados para la expansión, buscando obtener mayores rendimientos durante el proceso, aumentar la capacidad de producción, disminuir la intensidad del ruido ocasionada durante la liberación del producto, etc. Sin embargo, el principio de expansión de los granos sigue siendo el mismo. Tanto es así que algunos países como Perú y Brasil utilizan ampliamente cañones manuales para la elaboración de cereales expandidos a pequeña escala lo cual aún no se tiene las presiones, temperatura y humedad exacta de expansión de los cereales.

Dentro del proceso tecnológico de expandidos, la tecnología es aún muy básica para lo cual este producto por sus características requiere conocer las variables de proceso como el porcentaje de humedad y presión de expansión, que en la actualidad no es muy conocida en la provincia de Acobamba, donde no se cuenta con información respecto a productos expandidos, metodología de proceso ni parámetros a tener en cuenta para su elaboración considerando las condiciones ambientales de la región, el poder estudiarlos y darlos a conocer contribuirá con el desarrollo del producto permitiendo dar un valor agregado a la materia prima e impulsar su comercialización.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la humedad inicial del grano y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida, a diferentes presiones y humedad a fin de obtener la presión y humedad óptima de expansión para la elaboración de la quinua expandida, como una alternativa de consumo de fuente nutricional, tener una conciencia de la agroindustria sostenible para nuestra región de Huancavelica, sobre todo en la provincia de Acobamba y sus distritos, que son productores de quinua.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál será el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.
- Determinar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en la aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.
- Determinar la composición química proximal y digestibilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida con mejor rendimiento y aceptabilidad.

## **1.4. Justificación**

El presente proyecto de investigación se encuentra en la necesidad de evaluar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y la aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida. Según Egas *et al.* (2010) supone que podrían existir cambios en su contenido de proteínas, aminoácidos y componentes, los que a su vez afectarían su aceptabilidad.

En cuanto a lo económico, la elaboración de cereales expandidos representa una alternativa de conservación, para estos productos, y de mejora de ingresos, ricos en elementos nutritivos muy valiosos, como vitaminas, minerales y fibras, convirtiéndose en una gran oportunidad tanto para aprovechar de mejor manera la producción existente y para obtener un mejor precio del producto en el mercado

nacional e internacional, como para presentar alternativas de solución a los problemas nutricionales existentes en el país.

El proyecto de investigación tiene mucha relevancia en el aspecto social, ya que la materia prima se produce en Huancavelica y sus provincias con un clima apto para la producción de quinua, por lo tanto, contribuirá con el desarrollo de un producto con valor agregado y mejora en los ingresos de los productores agropecuarios.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Egas *et al.* (2010) probaron para la expansión del grano, una humedad inicial de 16 y 17 % y dos presiones de trabajo, 130 y 140 psi, luego realizaron la caracterización física y química tanto en el grano crudo como en el expandido. Lograron un mayor índice de expansión con la variedad Tunkahuan, con 17% de humedad y 140 psi de presión de descarga. El mejor tratamiento fue caracterizado mediante un análisis proximal, minerales y aminoácidos. El contenido de humedad se redujo notablemente por efecto de la expansión, entre 12 y 13% y el poder de hinchamiento del almidón se correlacionan linealmente, mostrando un incremento en el poder de hinchamiento en función de la absorción de agua.

Paggi Meza (2003) realizó la adecuación de una máquina tipo “cañón” para expandir granos a nivel de planta piloto, partiendo de una máquina manual adaptada al sistema de transmisión de movimiento, el sistema de inclinación de la cámara de expansión, un termómetro y se realizaron otros ajustes necesarios para convertirlo en un equipo semiautomático. El expansor fue ensayado con arroz (*Oryza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y trigo (*Triticum vulgare* L.). Se concluye que, para los cuatro tipos de granos ensayados, la temperatura de precalentamiento del equipo debe ser de 40 °C y la cantidad de materia prima a ser expandida por ensayo debe ser de 1000 g. La presión a la cual se debe suspender la aplicación de calor y la presión de liberación del producto, respectivamente, debe ser de 100 y 140 psi para el arroz; 120 y 160 psi para el maíz; 140 y 170 psi para el trigo; y, 140 y 180 psi para la quinua.

Hedjazi *et al.* (2014) modelaron el comportamiento de fragmentación del producto de cereal aireado quebradizo experimentalmente. Señala que, un alimento de cereal se somete a una compresión severa hasta la etapa de densificación. Se señala la evidencia experimental del comportamiento típico de los alimentos aireados, incluidos la elasticidad, el colapso celular y los regímenes

de densificación. Para explicar mejor el comportamiento observado, especialmente la fragmentación resultante, se propone un enfoque numérico basado en el método de elementos discretos. Los resultados previstos muestran un buen acuerdo con las respuestas mecánicas experimentales. En particular, los valores máximos de fuerza para la fragmentación y el tamaño de los fragmentos resultantes están de acuerdo con los experimentos. Los resultados numéricos muestran que la distribución observada del tamaño de los fragmentos es la consecuencia de un pequeño número de eventos de ruptura de las paredes celulares. Este resultado destaca el papel de la estructura aireada asociada con una tendencia particular a formar una distribución de tamaño bimodal de fragmentos.

Yana Quispe (2015) evaluó las características físicas, forma y tamaño (utilizando el Microscopio Electrónico de Barrido), determinó el rendimiento, el índice de expansión, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, índice de gelatinización y determinó el porcentaje de proteína y digestibilidad proteica *in vitro* de tres variedades de quinua insuflada: Pasankalla, Kancolla y Ayara. Para la obtención de quinua insuflada se trabajó con presiones de 120, 140 y 160 psi, la digestibilidad de la quinua varió entre 72,0 – 90,1 %, destacando más la variedad Ayara a presión 120 psi con 90,1 % de digestibilidad. La gelatinización se encontró en un rango de 43 – 69 %, el índice de solubilidad entre 19,4 – 27,3 % y la absorción de agua entre 4,1 – 5,2 %, estos parámetros muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas. El insuflado afectó a la proteína, no así al contenido de almidón y su digestibilidad, cuyos valores se incrementaron a expensas de la disminución de los otros principios inmediatos del grano. El mejor rendimiento fue para la variedad Pasankalla (94,5%) a presión 160 psi.

Huamaní Valenzuela (2019) probó dos variedades de quinua, la roja Pasankalla y la blanca Junín, a presiones de 190, 200, 225, 250 y 260 psi, con humedad de grano de 9, 10, 12,5; 15 y 16 %. Evaluó el índice de expansión, el rendimiento y humedad final, y el análisis sensorial. Concluyó que la humedad de grano y presión de expansión, juegan un papel importante. El índice de expansión

equivalió a multiplicar nueve veces el tamaño inicial del grano de quinua roja y seis veces en la quinua blanca. La humedad final disminuyó a 6 %, con 66% de rendimiento para la roja Pasankalla, que a su vez presentó mejores características físicas, que la variedad blanca Junín. En el análisis sensorial los productos con mejor aceptación fueron a humedad de 16 % y presión de 225 psi, en cuanto a color, sabor y apariencia.

Menis-Henrique *et al.* (2020) indica que, aunque se ha fomentado el consumo de alimentos integrales debido a la asociación entre granos integrales y beneficios para la salud, los cambios en los parámetros tecnológicos y los atributos sensoriales pueden limitar el consumo de estos productos. Los autores abordaron los efectos sobre las propiedades tecnológicas y los atributos sensoriales del uso de fibra de salvado de cereales en pastas y extruidos expandidos (cereales para el desayuno y bocadillos). Sin embargo, existen pocos estudios sobre la microestructura y la modificación de la fibra de estos productos, lo que demuestra que existe un gran desafío para resolver los problemas tecnológicos y sensoriales de los productos extruidos expandidos con fibra agregada.

## **2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación**

### **2.2.1. Expandido o Insuflado de alimentos**

Operación por el cual ciertos granos, como algunas variedades de maíz, cuando son calentados se expanden y desarrollan características típicas de apariencia, aroma y textura que le dan una alta aceptabilidad entre los consumidores (Galindo Luján, 2018).

### **2.2.2. Modificaciones durante el proceso de expansión**

Previo el ingreso a la cámara de expansión, se ajusta su contenido de humedad a un nivel del 17%, con el fin de favorecer el proceso, alcanzando un índice de expansión de 2,15, a una presión de descarga 140 psi (Egas *et al.*, 2010).

**Tabla 1**

*Perfil nutricional de la quinua expandida*

<b>Componente</b>	<b>g/100 g producto</b>
Humedad	5,31
Cenizas	2,23
Fibra	4,8
Extracto etéreo	4,68
Proteína	12,69
Almidón	74,12

Fuente: Egas *et al.* (2010).

El cereal obtenido, presenta las siguientes características nutricionales:

**Almidón:** Contrariamente a la mayoría de las nutrientes, el almidón se concentra a expensas de la disminución de los componentes nutricionales, registrándose un valor de 74,12% en el grano expandido. Otro parámetro que mejora por efecto de la expansión es la digestibilidad, incrementándose desde 69 a 98%. Desde el punto de vista nutricional, un almidón gelatinizado es más digerible que un almidón nativo (Calle Silo, 2016).

**Humedad:** el contenido de humedad se reduce notablemente por efecto de la expansión, desde 17% a 5,31%, debido a la elevada presión (140 psi) y temperatura (160 °C) a la que se realizó el proceso, permitiendo primero el tostado y luego el inflado del grano.

**Proteína:** La proteína disminuye desde un valor de 15,73 a 12,69 %. Al respecto (Egas *et al.*, 2010) señala que, a temperaturas próximas a 100°C, provocan la desnaturalización de este nutriente y con el concurso de los azúcares reductores se produce la reacción de Maillard.

### **2.2.3. Historia de los cereales para desayuno**

La historia de los cereales para el desayuno se remonta a las papillas que comían los antiguos griegos y ha reflejado los cambios en el estilo de vida a lo largo de los siglos. En 1863, James Caleb Jackson, un reformador de la salud religioso y vegetariano conservador, dirigía un sanatorio en el norte

del estado de Nueva York y creía que la enfermedad se basaba en el sistema digestivo, especialmente en aquellos que consumían mucha carne. Creó un cereal para el desayuno horneando masa de harina Graham en pasteles quebradizos que luego desmenuzó y horneó nuevamente. Llamó a esta granula de cereal que era tan dura que debían remojarse en leche durante la noche antes de consumirla. A fines de la década de 1870, el Dr. John Harvey Kellogg, que también dirigía el sanatorio de Battle Creek en Michigan, combinó harina de trigo, avena y harina de maíz en una mezcla fría de cereales, y también llamó a esta granula. Después de ser demandado por Jackson, Kellogg cambió el nombre del cereal granola. C.W. Post, un ex paciente de Kellogg, utilizó la misma idea y creó Grape-Nuts (Eschner, 2017; Severson, 2016). Desde la década de 1990 hasta la de 2000, los cereales para el desayuno regresaron como alimento saludable y componente de un estilo de vida saludable. Los ingredientes se destacaron como naturales, orgánicos, sin gluten y vehículos para nutrientes específicos. Los productos se reformularon para aumentar la cantidad de fibra y grano integral mientras se reducía la sal, el azúcar y la grasa (Gasparro, 2018). Los desafíos en estas reformulaciones son administrar el costo y la eficiencia de la producción y, lo que es más importante, mantener la calidad del sabor que esperan los consumidores.

#### **2.2.4. Expandido de quinua**

Se define expandidos de quinua a la quinua perlada que ha pasado por un proceso de expansión es decir cambios bruscos de temperatura y presión que hacen que suceda este fenómeno de expansión. El fundamento de este proceso es la vaporización explosiva del agua al interior del material alimenticio, combinado convenientemente los efectos físicos de presión temperatura de dicho alimento (Huamaní Valenzuela, 2019).

#### **2.2.5. Características de los cereales a expandir**

Los granos sometidos al proceso de expansión deben ser de buen tamaño y estar enteros. La carga de contaminantes que poseen no debe ser superior al

5 %, dentro de los cuales se contemplan semillas de malezas, otros tipos de granos y piedras pequeñas. La humedad adecuada es de 9 –12 % ya que los granos demasiado húmedos pueden ser afectados por mohos durante el almacenamiento, mientras que los granos muy secos tienden a romperse durante el proceso (Yana Quispe, 2015).

Prácticamente todos los granos que contienen almidón pueden ser expandidos, sin embargo, algunos presentan mayor grado de expansión que otros. Por lo general los granos con un contenido de 5 – 20 % de amilosa son los que presentan mejor textura y expansión (Aykroyd, 1970). Además de estas características que son generales y se aplican a todos los tipos de granos, existen restricciones individuales que dependen exclusivamente del cereal empleado. A continuación, se describirán las principales características del grano y las variedades utilizados en el estudio.

#### **2.2.6. Estabilidad de los productos expandidos**

La estabilidad de los cereales expandidos está relacionada con factores sensoriales tales como: textura, apariencia y sabor. Por esta razón su durabilidad está condicionada por el material de empaque, el cual debe ser impermeable a la humedad, a los vapores de agua y a los olores extraños (Yana Quispe, 2015).

Por lo general estos productos tienen vida útil superior a un año. Esto se debe a que el proceso de expansión se realiza con granos con baja humedad entre 9 y 20% lo que es suficientemente bajo como para prevenir su deterioro. Además, las altas temperaturas del proceso pasteurizan de forma muy efectiva el producto, aumentando así su vida en anaquel (Yana Quispe, 2015).

La textura de un cereal expandido debe ser crujiente. Este atributo está dado por la sensación que se produce en la boca, la resistencia a la masticación y el sonido producido. El análisis sensorial es por lo tanto uno de los métodos más comunes utilizados para evaluarlo (Yana Quispe, 2015).

El mayor inconveniente que presentan los productos expandidos, utilizados como cereal para el desayuno, es que se tornan esponjosos al entrar en

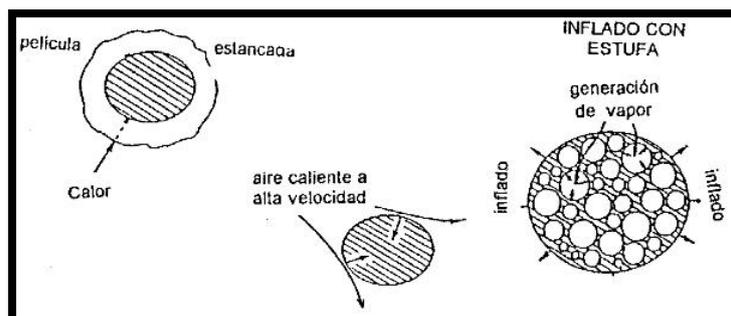
contacto con la leche, perdiendo así la característica de crujiente. Una recomendación importante en este caso es utilizar granos de alto peso molecular para la elaboración del producto (con mayor porcentaje de amilopectina) (Huamaní Valenzuela, 2019).

El incremento del peso molecular de la materia prima aumenta la temperatura de transición vítrea (Glass Transition Temperature – Tg). La Tg es la temperatura (a un contenido de humedad determinado) en la cual la consistencia del material cambia de dura a gomosa. Proceso similar ocurre cuando el cereal absorbe agua, pasando de una consistencia crocante a una consistencia esponjosa. Así al utilizar granos de alto peso molecular en el proceso, se necesitará un mayor contenido de humedad para que ocurra la transición, por lo tanto, el producto se mantendrá crocante por un mayor período de tiempo (Valentín Chancavilca, 2013).

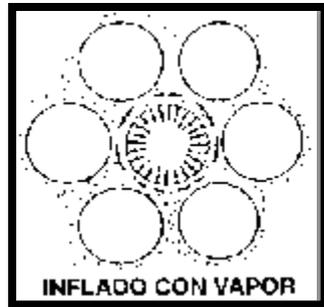
### 2.2.7. Transferencia de calor

Los incrementos repentinos de temperatura pueden elevar la temperatura de un producto por arriba del punto de ebullición, ocasionando así una evaporación instantánea del vapor de agua. La presión del vapor es la que infla el producto con las células (Chagua Lazo & Palomino Villaizan, 2014).

**Tostado con aire:** si se realiza con una temperatura lo suficientemente alta (y por lo general a alta velocidad), entonces el aire caliente puede, de igual forma, incrementar la temperatura interna para hacer que el producto se infle (Chagua Lazo & Palomino Villaizan, 2014).



En todos estos ejemplos, el producto se infla cuando la temperatura es lo suficientemente elevada como para producir vapor dentro del producto. El vapor forma pequeñas burbujas en el producto:



La transferencia de energía en forma de calor es muy común en muchos procesos químicos y de otros tipos. La transferencia de calor suele ir acompañada de otras operaciones unitarias, tales como el secado de maderas o alimentos, destilación de alcohol, la quema de combustible y la evaporación. La transferencia de calor se verifica debido a la fuerza impulsora debido a una diferencia de temperatura por la cual el calor fluye de la región de alta temperatura a la temperatura más baja (Chagua Lazo & Palomino Villaizan, 2014).

#### **2.2.8. Efectos contextuales en la evaluación de la aceptabilidad sensorial de los alimentos**

Las percepciones sensoriales y hedónicas son contextuales. Por lo tanto, las mediciones de respuestas sensoriales o hedónicas están inherentemente sujetas a efectos de contexto, que involucran procesos tanto sensoriales como de respuesta (cognitivos). Los efectos de contexto han sido un tema de gran interés en el campo de la medición sensorial, y se han estudiado una variedad de efectos sobre estas medidas. Por ejemplo, se ha informado cambios en la intensidad y evaluaciones hedónicas basadas en varios factores experimentales, como el espaciamiento, el número y la variedad de estímulos (Marks *et al.*, 2012).

### 2.3.Hipótesis

De acuerdo con lo anteriormente planteado, se puede proponer la siguiente hipótesis:

Existe efecto significativo de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.

### 2.4.Operacionalización de variables

**Tabla 2**

*Definición operativa de variables e indicadores*

<b>Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente y/o instrumento</b>
Rendimiento	Cantidad de salida dividida por la entrada	Porcentaje	Ecuación 1
Aceptabilidad	Escala hedónica	Adimensional	Hoja de evaluación

# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1.Ámbito temporal y espacial

La evaluación del efecto de la humedad y presión de expansión en las características físicas químicas de la quinua serán realizadas en dos lugares: se realizó la elaboración del expandido de quinua a diferentes humedades y presiones en la Empresa Apair Naturandina, en el Distrito de Yauli, provincia Huancavelica y Departamento de Huancavelica. Se procedió a realizar el análisis de las características fisicoquímicas y nutritivas de la muestra de quinua expandida en el Laboratorio, La Molina Calidad Total Laboratorios Universidad Nacional Agraria la Molina.

### 3.2.Población, muestra y muestreo

La población utilizada para el presente proyecto de investigación fue la producción de quinua blanca, de la Provincia y Distrito de Acombaba. La muestra utilizada fue 30 kg. El proceso de muestreo se realizó al azar de acuerdo con el diseño experimental.

### 3.3.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos utilizados para recolección de datos fueron las siguientes:

#### 3.3.1. Diseño de Investigación

Se utilizó un diseño factorial completo  $2^2$  con 2 repeticiones.

**Tabla 3**

*Diseño experimental*

<b>Tratamientos</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Presión (psi)</b>
1	15	140
2	20	160
3	15	160
4	20	140

### 3.3.2. Descripción de proceso de expandido

- a) **Recepción:** la quinua recibida se examinó y luego se determinó la humedad del grano con la finalidad de saber la cantidad de agua que requerir para llegar a la humedad requerida.
- b) **Selección:** Esta operación consistió en evaluar la calidad de los granos y se seleccionó la materia prima que esté apta para ser procesada teniendo en cuenta el mismo diámetro de la quinua para que de esta manera haya una cocción uniforme en la expansora. Se seleccionó con la mano aquellas que no presenten daño mecánico, daño por insectos ni daño por microorganismos.
- c) **Acondicionado:** Se le adicionó agua, la cantidad necesaria de acuerdo a la humedad inicial del grano, con la finalidad de llegar a la humedad de 15 y 20% para ser expandido en el cañón expansor.
- d) **Expansión:** alcanzada la presión requerida en el cañón expansor, se abre rápidamente la tapa, ocasionando que los granos salgan de manera explosiva donde se expanden por la volatilización súbita de la humedad interna y la caída de presión (140 y 160 psi) lo que resulta que los granos se expandan.
- e) **Tamizado:** una vez que se expandió el grano se lleva al tamiz para eliminar las cáscaras, granos expandidos quebrados, quemados o de menor tamaño y poder obtener granos expandidos de tamaño uniforme y seleccionado.
- f) **Envasado.** El envasado se realizó en bolsas de polietileno de 1 mm de espesor y 500 gramos de capacidad. Después se sellaron para su almacenamiento con un sellador eléctrico.

### 3.3.3. Rendimiento

El rendimiento se calculó con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Entrada}}{\text{Salida}} \times 100 \dots (1)$$

Donde:

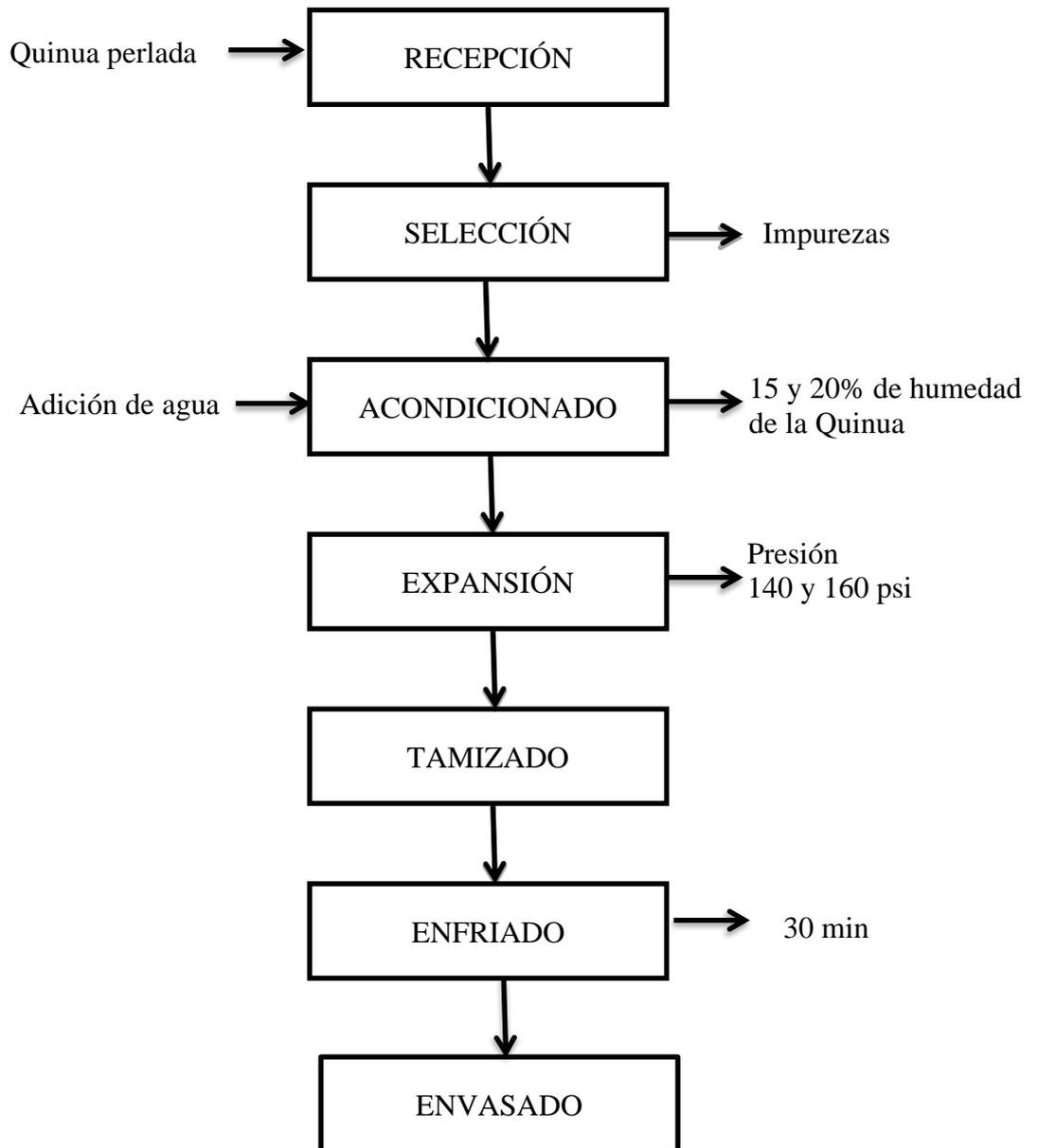
Entrada: peso de la quinua que ingresa al proceso de expansión

Salida: peso de la quinua expandida

#### **3.3.4. Evaluación sensorial**

Se realizó una prueba hedónica con 32 panelistas no entrenados de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Huancavelica, para determinar la aceptabilidad general utilizando una ficha de evaluación (Apéndice 1); para ello se empleó una escala hedónica de 7 puntos, que van desde “me disgusta muchísimo” (1 punto) hasta “me gusta muchísimo” (7 puntos) (da Silva *et al.*, 2013).

### 3.3.5. Proceso de Expansión



*Figura 1.* Diagrama de flujo del proceso de expansión.

### 3.3.6. Composición químico proximal del expandido de quinua

Se realizaron los siguientes análisis: humedad, proteína, ceniza, grasa y carbohidratos; de acuerdo con método referenciado por el laboratorio que realizó el servicio (ver Apéndice).

### **3.3.7. Digestibilidad “*in vitro*”**

La determinación de la digestibilidad mediante las técnicas multienzimáticas y el ataque *in vitro* con pepsina y ácido clorhídrico, de acuerdo con el protocolo de análisis de piensos y forrajes Max Becker (1961), usado por el Laboratorio Calidad Total.

### **3.4. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos**

Obtenidos los datos se procedió al procesamiento de los datos con el software Minitab versión 17 (versión de prueba). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño factorial completo  $2^2$ . En caso de un ANOVA significativo se realizó una prueba de Tukey.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El diseño factorial empleado en el presente trabajo tiene 4 tratamientos, los mismos que son: T1: humedad 15% y presión 140 psi; T2 = humedad 20% y presión 160 psi; T3 = humedad 15 % y presión 160 psi; y T4 = humedad 20 % y presión 140 psi. El diseño factorial aplicado para determinar el efecto de la humedad y presión en el rendimiento (Tabla 4), demuestra que no existe efecto de la humedad, la presión, ni la interacción de ambos en el rendimiento de quinua expandida ( $p > 0,05$ ), lo cual es observable en el diagrama de Pareto de efecto estandarizados (Figura 2), así mismo se puede observar (Tabla 5) la comparación de medias del rendimiento y desviación estándar de la quinua Expandida.

**Tabla 4**

*Análisis de varianza para rendimiento de quinua expandida*

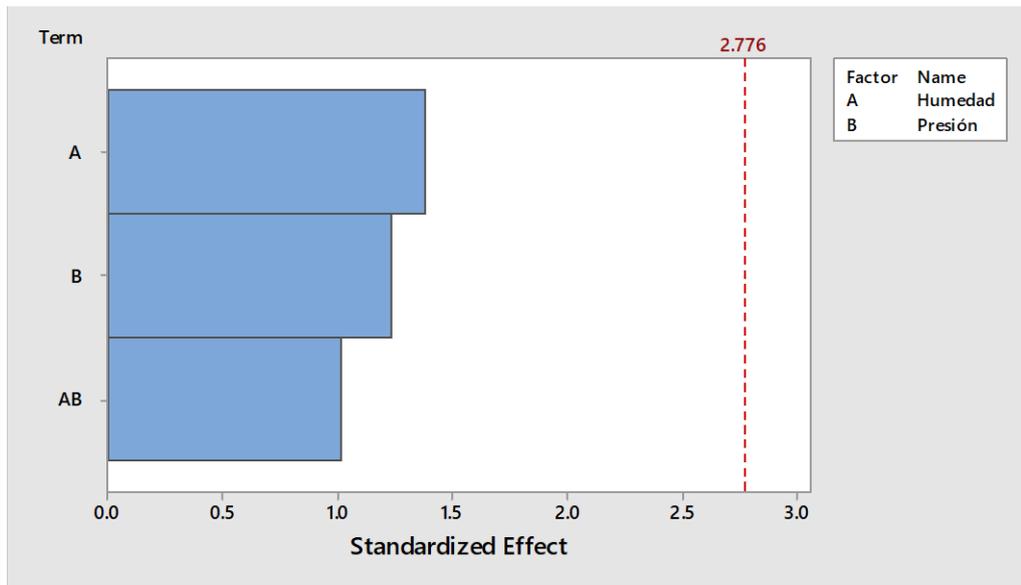
Fuente de variación	F	p
Humedad	1,91	0,240
Presión	1,52	0,285
Humedad*Presión	1,03	0,368

\*Significativo a  $\alpha = 0,05$

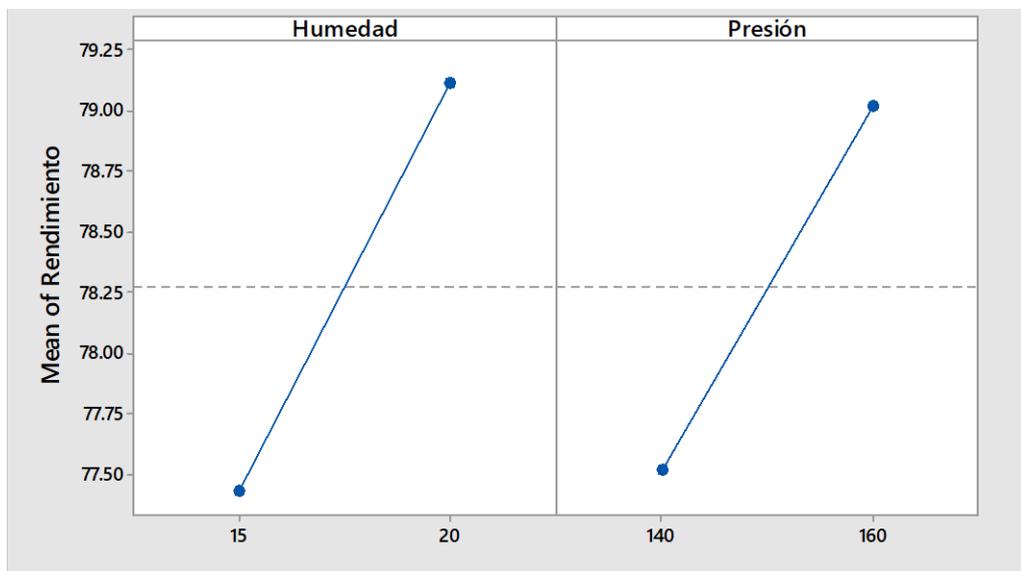
**Tabla 5**

*Comparación de medias del rendimiento y desviación estándar de la quinua expandida.*

Tratamiento	Rep.	% H	P (Psi)	Rendimient o (%)	Des. Est.	Promedi o
T1	R1	15	140	78.14	1.1879393	77.3
	R2	15	140	76.46	9	
T2	R1	20	160	82.31	2.5950818	80.475
	R2	20	160	78.64	9	
T3	R1	15	160	77.99	0.6010407	77.565
	R2	15	160	77.14	6	
T4	R1	20	140	79.03	1.8172644	77.745
	R2	20	140	76.46	3	



**Figura 2.** Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Rendimiento.

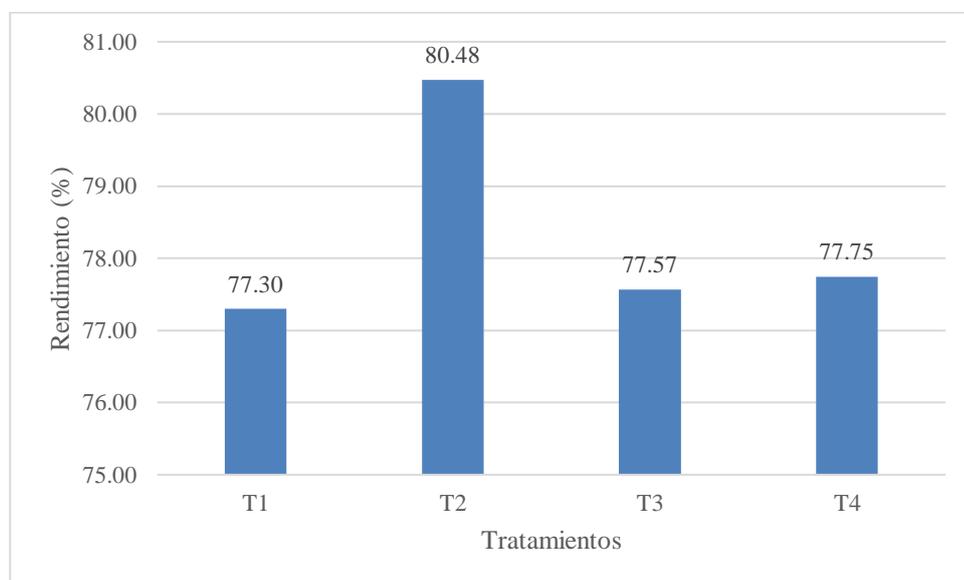


**Figura 3.** Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Rendimiento.

Puede observarse en la Figura 3, que a mayor humedad y presión mayor es el rendimiento; sin embargo, esta relación no fue significativa. La expansión o insuflado de cereales es una operación que se realiza mediante cañón de expansión, que aplica repentinamente calor de tal manera que el agua se vaporice dentro del grano, alcanzando presiones internas elevadas. El tejido externo se rompe y el grano se expande, formando una estructura espumosa (Hoke *et al.*,

2005; Hosney *et al.*, 1983; Song & Eckhoff, 1994). Por otro lado, cuando la presión interna de la cámara de insuflado alcanza aproximadamente 200 psi (cerca de 9 – 12 minutos), la tapa es abierta y el repentino cambio de presión ocasiona el insuflado del grano y su explosiva descarga a una cámara de recolección (Kokini *et al.*, 1993). Como es evidente la interacción de ambas variables, muestra un trabajo mutuo de la humedad del grano al inicio y de la presión.

El rendimiento obtenido para cada tratamiento fue 77,3 % (T1), 80,48 % (T2), 77,57 % (T3) y 77,75 % (T4), lo cual se muestra (Figura 4). Durante el expandido se eleva la relación área superficial/volumen de fase sólida de la quinua y aparece una modificación de la del almidón (cristalinidad) y mejora el rendimiento debido a esto (Mataix Verdú, 2002).



**Figura 4.** Comparación de medias del rendimiento de la quinua expandida.

En cuanto a la aceptabilidad, el diseño factorial aplicado (ANOVA) para determinar el efecto de la humedad y presión en la aceptabilidad de quinua expandida (Tabla 6), demuestra que no existe efecto de la humedad y la presión tienen en la aceptabilidad ( $p > 0,05$ ), pero sí hubo efecto significativo de la interacción de ambos, lo cual es observable en el diagrama de Pareto de efecto estandarizados (Figura 5). Así mismo se muestra la media y desviación estándar (Tabla 7)

**Tabla 6***Análisis de varianza para aceptabilidad de quinua expandida*

<b>Fuente de variación</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Humedad	3,48	0,700
Presión	0,02	0,887
Humedad*Presión	4,64	0,038*

\*Significativo a  $\alpha = 0,05$ **Tabla 7***Comparación de la aceptabilidad la media y desviación estándar de la quinua expandida*

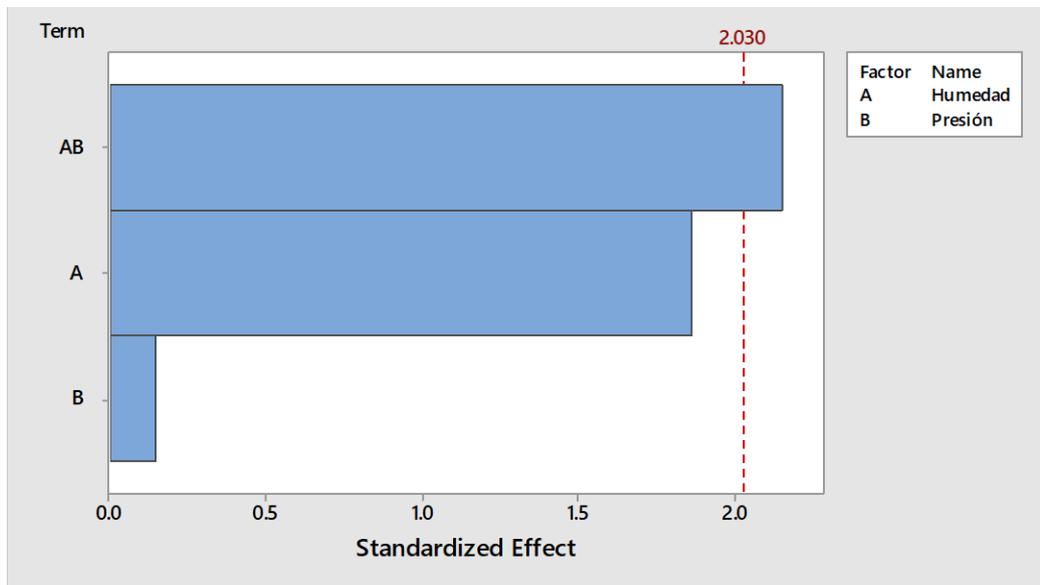
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est</b>
1	32	4.563	1.605
2	32	4.531	1.135
3	32	5.438	1.243
4	32	4.813	0.998

Es preciso señalar, que la vida útil de la quinua insuflada está relacionada con factores sensoriales tales como: textura, apariencia y sabor (Yana Quispe, 2015). Las altas temperaturas del proceso pasteurizan el producto puede producir una oxidación debido a las altas temperaturas del proceso, lo que ocasionaría un sabor a rancio en el producto final (Lara, 1999). La textura de un cereal expandido debe ser crujiente (Ureña *et al.*, 1999).

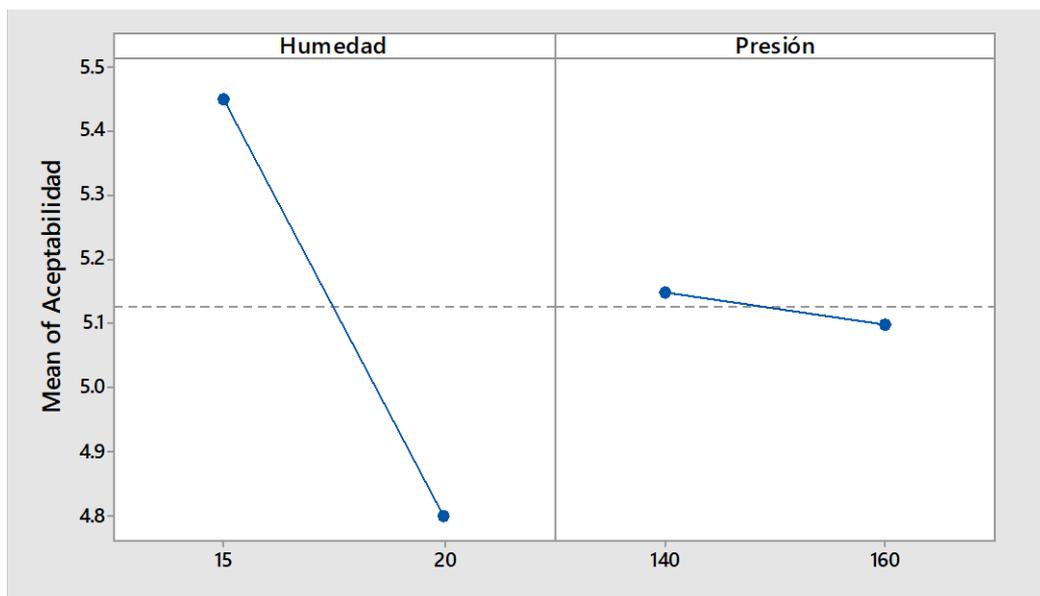
Se observa que el Tratamiento 3 (15% de humedad inicial y 160 psi de presión) fue el de mayor puntaje (5,43), según los panelistas tomaron en cuenta la textura (Figura 7).

En cuanto a rendimiento el tratamiento 3 no fue el más alto (77,57%), pero está relacionado con una baja humedad final; de este modo, la menor humedad inicial (15%) y la mayor presión (160 psi), permite un producto más crujiente, buen sabor y apariencia en comparación con los demás tratamientos. Aplicando la prueba de

Tukey en la aceptabilidad de la quinua expandida (Tabla 8) se puede observar que, el tratamiento 3 es diferente al tratamiento 1 y 2.



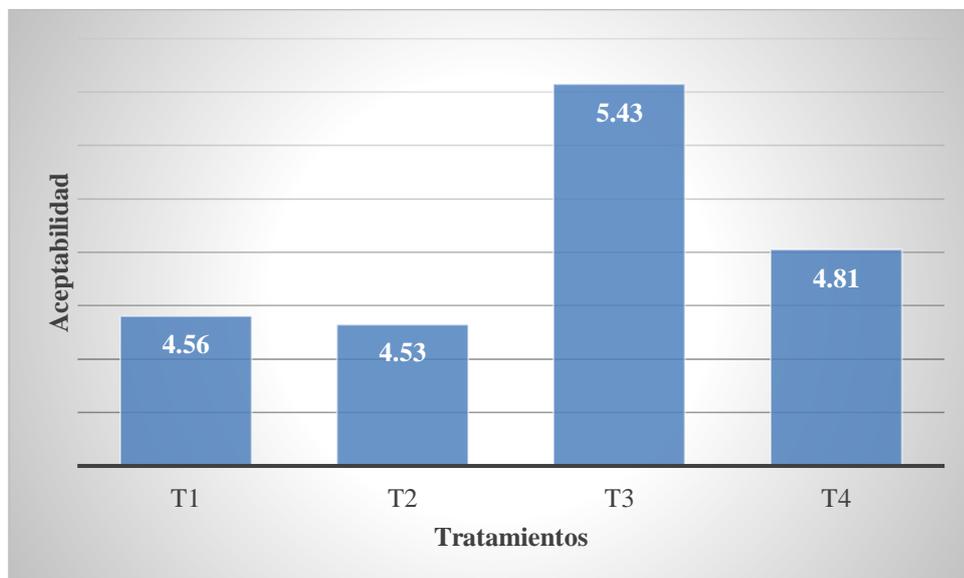
**Figura 5.** Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Aceptabilidad.



**Figura 6.** Gráfico de Pareto de efectos estandarizados para Aceptabilidad.

**Tabla 8***Prueba de Tukey para aceptabilidad de quinua expandida*

Diferencias	t	p
T1 – T2	-0,10	1,00
T1 – T3	2,77	0,03*
T1 – T4	0,79	0,86
T2 – T3	2,86	0,03*
T2 – T4	0,89	0,81
T3 – T4	-1,98	0,20

\*Significativo a  $\alpha = 0,05$ **Figura 5.** Comparación de la aceptabilidad promedio de quinua expandida.

Debido a la mayor aceptabilidad y bajo rendimiento, el tratamiento sometido a una presión de 160 psi y una humedad inicial de 15 %, fue analizado, en cuanto a la composición química proximal (Tabla 9) la misma que, presenta una elevada cantidad en Carbohidratos (68,9 %), los cereales contienen almidón que es el componente principal de los alimentos humanos (Espinoza Silva & Quispe Solano, 2011), aunque la quinua es considerada un pseudocereal, es notable la presencia de carbohidratos (almidón). En segundo lugar, se observa la proteína (14,0 %), como el siguiente componente principal de la quinua expandida. La

variación de la proteína durante el proceso de expansión, registra una disminución por efecto del proceso (Egas *et al.*, 2010). Es probable que las temperaturas cercanas a 100 °C, induzcan la desnaturalización de la proteína; al reaccionar con los azúcares reductores puede darse la reacción de Maillard (Egas *et al.*, 2010). El tercer componente que sobresale en cantidad es la grasa con 5,3 %, de hecho, existe estudios recientes que han demostrado la quinua tiene un contenido de aceite de gran calidad, rico en vitamina E, y pueden usarse como ingredientes en productos sin gluten para mejorar el contenido de vitamina E y, por lo tanto, la calidad nutricional general (Alvarez-Jubete *et al.*, 2009).

### Tabla 9

*Composición química y digestibilidad del expandido de quinua (%H: 15 y 160 psi)*

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

La humedad es muy adecuada (9,9%) para alargar la vida útil del producto, aunque lo vuelve más higroscópico, lo que demanda un envase que posea barrera al vapor de agua. Estos resultados, son comparables a los encontrados para quinua expandida de la variedad Blanca (9,33 %), Huancayo (7,28 %) y Rosada (7,65 %) (Chagua Lazo & Palomino Villaizan, 2014). Es precisa señalar, que estas quinuas fueron expandidas a 30 % de humedad y 140 psi de presión.

El contenido en ceniza (1,9 %) fue superior con respecto a otros autores que, en quinua insuflada hallaron 1,61 % en Blanca, 1,73 % en Huancayo y 1,56 % en Rosada (Chagua Lazo & Palomino Villaizan, 2014). La ceniza contiene los minerales de la quinua, y es probable que, la materia prima usada de esta región

(Huancavelica) haya contenido mayor cantidad de minerales, ya que no se ha hallado un sustento teórico que explique la influencia del proceso en el contenido de minerales.

La digestibilidad del expandido de quinua elegida fue de 94,4 g/ 100 g, lo que indica un aprovechamiento del 94,4 % de la proteína *in vitro*. A continuación, presentamos un cuadro comparativo con otros expandidos de quinua de diferentes variedades y en condiciones similares y de maíz expandido.

Se observa que, la quinua obtenida en el presente estudio, posee una digestibilidad (usando el mismo método) mayor a la digestibilidad obtenida en otras variedades en la zona de Puno, que se analizaron con el mismo método enzimático (Yana Quispe, 2015). Durante el proceso de expansión se mejora la digestibilidad de estos granos, además se observó un incremento del porcentaje de proteínas por la pérdida de humedad (Oscoco Quispe, 2013). La texturización de alimentos es un proceso combinado de efectos físicos, de presión, temperatura y humedad para generar diferentes texturas, deseables sabores y mejorar la digestibilidad (Oscoco Quispe, 2013).

**Tabla 10**

*Comparación de digestibilidad del expandido de quinua*

<b>Expandido</b>	<b>Digestibilidad (g/100 g)</b>
Quinua en estudio	94,40
Quinua Pasankalla <sup>1</sup>	81,83
Quinua Koncalla <sup>1</sup>	80,80
Quinua Ayara <sup>1</sup>	72,88

<sup>1</sup>Yana Quispe (2015), 160 psi y 13 % de humedad.

## Conclusiones

- No hubo efecto de la humedad inicial, la presión de expansión y su interacción en el rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.
- Existe efecto de la interacción humedad inicial y presión de expansión en la aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.
- Una humedad inicial de 15% y una presión de expansión de 160 psi proporcionan una alta aceptabilidad en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida.
- La composición química de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida de mayor aceptabilidad sensorial (15% humedad inicial y 160 psi) es: humedad (9,9 %), ceniza (1,9 %), grasa (5,3 %), proteína (14,0 %), carbohidratos (68,9 %), energía total 379,3 kcal y valor de digestibilidad de la proteína *in vitro* de (94,4 g/100 g).

## **Recomendaciones**

- Evaluar la vida útil de la quinua expandida en diversos envases, sobre todo con barrera al vapor de agua.
- Evaluar las características tecnofuncionales del expandido de quinua.
- Estudiar las combinaciones de quinua expandida con jarabe de yacón, aguaymanto u otras fuentes propias de la región para darle diversos sabores sin incrementar su carga calórica.

## Referencias bibliográficas

- Abugoch James, L. E. (2009). Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Adv. *Food Nutr. Res*, 58, 1–31.
- Adolf, V. I., Jacobsen, S.-E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43–54.
- Alvarez-Jubete, L., Holse, M., Hansen, Å., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Impact of Baking on Vitamin E Content of Pseudocereals Amaranth, Quinoa, and Buckwheat. *Cereal Chemistry Journal*, 86(5), 511–515. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-5-0511>
- Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A. D., Massanés, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: An integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 2016, Vol. 6, Num. 3.
- Breakfast Cereals Market. (2017). *Breakfast Cereal Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (RTE, Hot Cereal), By Distribution Channel (Supermarket, E-Commerce, Convenience Store), By Region, Vendor Landscape, And Segment Forecasts, 2018 - 2025*. <https://www.researchandmarkets.com/reports/4538728/breakfast-cereal-market-size-share-and-trends>
- Calle Silo, L. (2016). *Evaluación de características comerciales del grano de quinua roja (Chenopodium quinoa Willd.) en el centro K'iphak'iphani, provincia Ingavi* [Universidad Mayor de San Andrés]. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YiL3GgwdP5AJ:https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6813/T-2201.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe&lr=lang\\_es%7Clang\\_pt](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YiL3GgwdP5AJ:https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/6813/T-2201.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+%&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe&lr=lang_es%7Clang_pt)
- Chagua Lazo, G., & Palomino Villaizan, L. (2014). *Estudio comparativo de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en quinua (Chenopodium quinoa) expandida de tres variedades provenientes del departamento de Junín* [Universidad Nacional del Centro del Perú].

- <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1938/ChaguaLazo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- da Silva, A. N., dos Santos Navarro, R. de C., Ferreira, M. A. M., Minim, V. P. R., da Costa, T. de M. T., & Perez, R. (2013). Performance of hedonic scales in sensory acceptability of strawberry yogurt. *Food Quality and Preference*, 30(1), 9–21.
- Egas, L., Villacrés, E., Salazar, D., Peralta, E., & Ruilova, M. (2010). Elaboración de un Cereal para Desayuno con Base a Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) Expandida. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23(2), 9–15. <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/50/21>
- Eschner, K. (2017). *The First Breakfast Cereal, Granula, Had to Be Soaked before Being Eaten*. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/first-breakfast-cereal-granula-had-be-soaked-being-eaten-180962340/>
- Espinoza Silva, C., & Quispe Solano, M. Á. (2011). *Tecnología de Cereales y Leguminosas*. <https://maqsolano.files.wordpress.com/2012/08/texto-de-tecnologia-de-cereales-y-leguminosas.pdf>
- Galindo Luján, R. del P. (2018). *Comparación nutricional de harinas de quinoa: extruida, insuflada y sometida a cocción, para la elaboración de una bebida en polvo*.
- Garcia, M., Condori, B., & Castillo, C. Del. (2015). Agroecological and agronomic cultural practices of quinoa in South America. *Quinoa: Improvement and Sustainable Production*, 25–46.
- Gasparro, A. (2018). *A Spoonful of Sugar Helps the Sales Go Up: Cereal Makers Return to the Sweet Stuff - WSJ*. <https://www.wsj.com/articles/a-spoonful-of-sugar-helps-the-sales-go-up-cereal-makers-return-to-the-sweet-stuff-1522937066>
- Hedjazi, L., Martin, C. L., Guessasma, S., Della Valle, G., & Dendievel, R. (2014). Experimental investigation and discrete simulation of fragmentation in expanded breakfast cereals. *Food Research International*, 55, 28–36.
- Hoke, K., Housova, J., & Houska, M. (2005). Optimum conditions of rice puffing. *Czech J. Food Sci. Vol*, 23(1), 1–11.
- Hoseney, R. C., Zeleznak, K., & Abdelrahman, A. (1983). Mechanism of popcorn popping. *Journal of Cereal Science*, 1(1), 43–52.

- Huamaní Valenzuela, L. (2019). *Efecto de la humedad del grano y presión del expansor en el proceso de expansión de quinua (Chenopodium quinoa) blanco y roja en Ayacucho*.  
[http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3410/TESIS\\_IA287\\_Hua.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/3410/TESIS_IA287_Hua.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jellen, E., Maughan, J., Fuentes, F., & Kolano, B. (2013). Botánica, filogenia y evolución. *Estado Del Arte de La Quinoa En El Mundo En, 2013*, 12–25.
- Kokini, J. L., Ho, C.-T., & Karwe, M. (1993). Food extrusion science and technology. *Drying Technology, 11*(2), 417–418.
- Lara, N. (1999). *Estudio del efecto de la expansión por aire caliente en las propiedades Físico-Químicas, nutricionales y sensoriales de la semilla de amaranto (Amaranthus caudatus)*.
- Marks, L. E., Shepard, T. G., Burger, K., & Chakwin, E. M. (2012). Flavor-intensity perception: effects of stimulus context. *Physiology & Behavior, 105*(2), 443–450.
- Mataix Verdú, J. (2002). Nutrición y alimentación humana: Nutrientes y alimentos. In *Tomo I: Nutrientes y Alimentos*. Ergon.
- Menis-Henrique, M. E. C., Scarton, M., Piran, M. V. F., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. *Current Opinion in Food Science, 33*, 141–148.
- Oscoco Quispe, K. R. (2013). *Efecto de la variación de la humedad, presión, y cantidad de carga en la obtención de maíz amarillo duro (Zea mays L.) expandido*.  
<http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/204/09-2013-EPIA-Oscoco-Quispe-maiz-expandido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paggi Meza, V. (2003). *Adecuación de una máquina expansora de cereales tipo cañón para prácticas de laboratorio en la Universidad Tecnológica Equinoccial, estudio de caso: arroz (Oriza Sativa L.) maíz(Zea Mays L.), quinua (Chenopodium Quinoa Willd) y trigo (Triticum Vulgar)* [Universidad Tecnológica Equinoccial].  
<http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5071>
- Perdon, A. A., Poutanen, K. S., & Schonauer, S. L. (2020). Breakfast cereals and how they are made—Introduction. In *Breakfast Cereals and How They Are Made* (pp. 1–4). Elsevier.

- Severson, K. (2016). *A Short History of Cereal*.
- Song, A., & Eckhoff, S. R. (1994). Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. *Cereal Chemistry*, 71(5), 458–460.
- Statista. (2018). *Breakfast cereals: Weekly UK consumption 2006-2019* | Statista. <https://www.statista.com/statistics/284471/weekly-uk-household-consumption-of-breakfast-cereals/>
- Tapia, M. E. (2013). El largo camino de la Quinoa:¿ quiénes escribieron su historia. *Estado Del Arte de La Quinoa En El Mundo En*, 3–10.
- Ureña, M., D'arrigo, M., & Girón, O. (1999). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Valentín Chancavilca, J. (2013). *Evaluación de la presencia de plomo (Pb) en los alimentos expandidos elaborados con expansores tipo Batch utilizando dos tipos de sellos*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Yana Quispe, S. (2015). *Caracterización y determinación de la digestibilidad proteica de quinua insuflada en tres variedades (Chenopodium quinoa Wild)* [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2397/Yana\\_Quispe\\_Sara.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2397/Yana_Quispe_Sara.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Apéndice

### Apéndice 01. Testimonio fotográfico.



*Fotografía 1.* Determinación de la humedad inicial de la quinua.



*Fotografía 2.* Definición de la presión de expandido.



*Fotografía 3.* Proceso de expandido de quinua.



*Fotografía 4.* Tamizado de la quinua Exapndida.



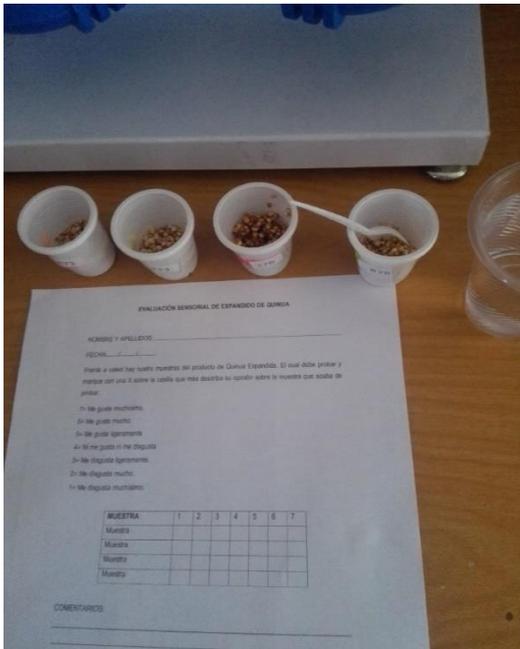
**Fotografía 5.** Pesado de la quinua expandida.



**Fotografía 6.** Determinación de rendimiento de la quinua expandida.



**Fotografía 7.** Envasado de la quinua expandida.



**Fotografía 8.** Evaluación sensorial de la quinua expandida.

## Apéndice 02. Certificados de análisis



### LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos



#### INFORME DE ENSAYOS

N° 002840 - 2021

SOLICITANTE : ROBERTO CHUQUILIN GOICOCHEA  
 DIRECCIÓN LEGAL : JR. LIMA S/N ACOBAMBA  
 : RUC: 40670964 Teléfono: 998793955  
 PRODUCTO : QUINUA EXPANDIDA  
 NÚMERO DE MUESTRAS : Uno  
 IDENTIFICACIÓN/MTRA. : LOTE: 01-06-2021  
 CANTIDAD RECIBIDA : 849,3 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
 MARCA(S) : S.M.  
 FORMA DE PRESENTACIÓN : Envasado, la muestra ingresa en bolsa plástica sellada.  
 SOLICITUD DE SERVICIO : S/S N°EN-001625 -2021  
 REFERENCIA : PERSONAL  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 04/06/2021  
 ENSAYOS SOLICITADOS : FÍSICO/QUÍMICO  
 PERÍODO DE CUSTODIA : No aplica

#### RESULTADOS :

#### ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- Grasa (g / 100 g de muestra original)	5,3
2.- Proteínas Totales (g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	14,0
3.- Carbohidratos(g / 100 g de muestra original)	68,9
4.- Cenizas(g / 100 g de muestra original)	1,9
5.- Energía Total(Kcal / 100 g de muestra original)	379,3
6.- Humedad(g / 100 g de muestra original)	9,9
7.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	72,7
8.- % Kcal. proveniente de Grasa	12,6
9.- % Kcal. proveniente de Proteínas	14,8
10.- Digestibilidad por Pepsina(g / 100 g de muestra original)	94,4

#### MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

- 1.- NTP 205.006:2017 / Corrigenda Técnica 1:2018
- 2.- NTP 205.005:2018
- 3.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 4.- NTP 205.004:2017
- 5.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 6.- NTP 205.002:1979 (Revisada al 2016)
- 7.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 10.- Análisis de Pienzos y Forrajes. MAX BECKER 1961

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS N° 002840 - 2021

Pág 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú  
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794  
 E-mail: mktg@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad total



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**INFORME DE ENSAYOS**

**N° 002840 - 2021**

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 07/06/2021 Al 16/06/2021.

**ADVERTENCIA :**

- 1 - El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2 - Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3 - Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4 - Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 16 de Junio de 2021



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM

Mg. Quím. Eisa Huaman Paredes  
Directora Técnica (e)  
C.Q.P N° 470

Pág 2/2

### **Apéndice 03**

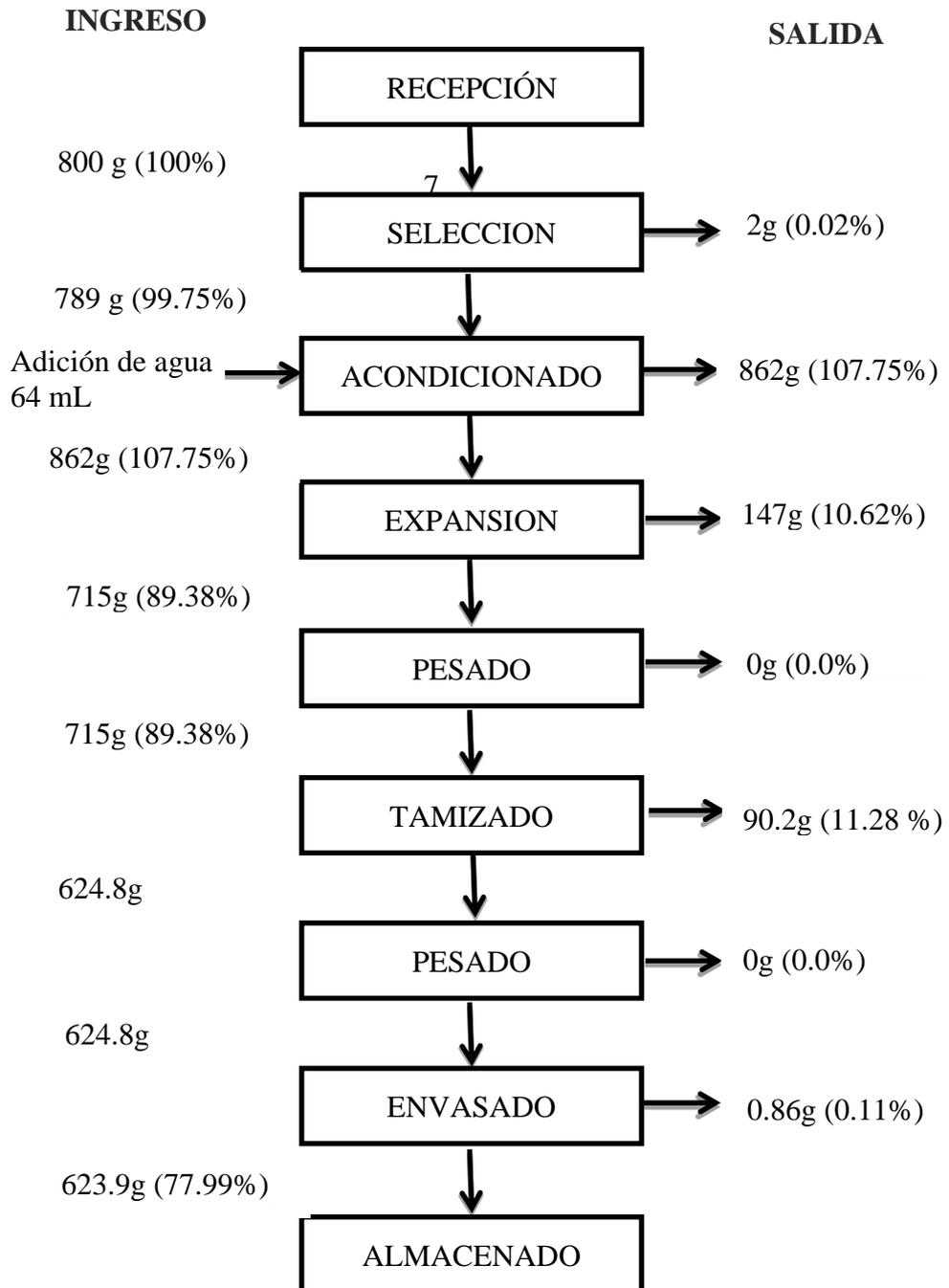
#### Características del cañón expansor

En el cañón manual de disparo simple los granos son introducidos por la boca de abertura del cañón y la tapa es cerrada y sellada mediante un sistema de agarradera y ajuste. Cuando el cañón empieza a girar se suministra calor por uno de los lados del cuerpo del equipo, esto hace que la humedad interna del grano se convierta en vapor. La presión es controlable por el equipo con el manómetro, cuando se alcanza la presión requerida en un tiempo de 8 a 10 minutos, la tapa es abierta y el repentino cambio de presión ocasiona la expansión del grano y su explosiva descarga a una cámara de recolección.

- Peso del equipo 100 kg. Este peso permite, por inercia, contrarrestar la gran fuerza de reacción que existe en el momento de liberación del producto. Sus medidas son 0,70 m de largo, 0,45 m de ancho y 0,74 m de alto.
- Manómetro (0 – 300 psi)
- Capacidad 1 kg de producto
- Tiempo de expandido de 8 a 10 min

### Apéndice 04

Balance de Materia y Energía de la Quinua expandida Tratamiento 3 presión 160 psi y Humedad 15%



**Figura 8.** Balance de Materia de la Quinua Expandida

Tabla 11

*Resumen del balance de materia del expandido de quinua*

<b>Proceso</b>	<b>Ingreso*</b>	<b>Salida*</b>	<b>Rendimiento</b>
Recepción	800	800	100.00
Selección	800	789	99.75
Acondicionado	789	862	107.75
Expansión	862	715	89.38
pesado	715	715	89.38
Tamizado	715	624.8	78.10
Pesado	624.8	624.8	78.10
Envasado	624.8	623.9	77.99
Almacenado	623.9	623.9	77.99

\*El peso del ingreso y salida están en gramos.

Determinación del Porcentaje de Rendimiento de la Quinua expandida

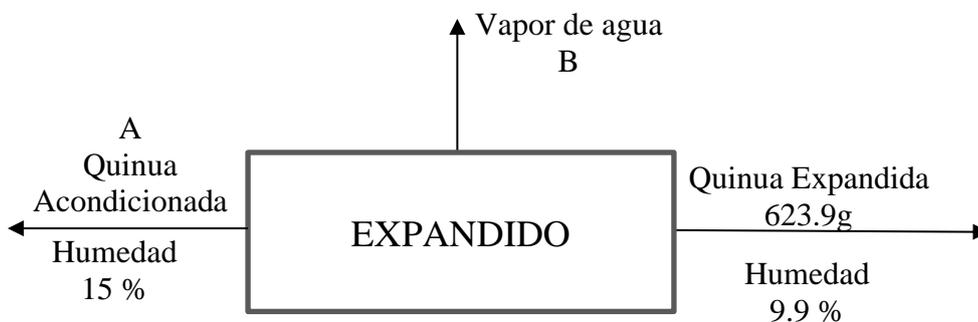
$$\text{Rendimiento} = (\text{Peso del producto final} / (\text{Peso del producto inicial}) \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = (623.9 \text{ g} / 800\text{g}) \times 100 = 77.99\%$$

El Rendimiento de la quinua expandida es de **77.99 %**

**Balance de Energía de la Quinua Expandida**

Determinar masa de vapor de agua



Flujos involucrados en el proceso de expandido

Entra = Sale

$$A = B + 623.9 \dots \dots \dots \text{EC. I}$$

**Balance de Agua**

$$0.15 \times A = B + 0.099 \times 623.9 \dots \dots \dots \text{EC. II}$$

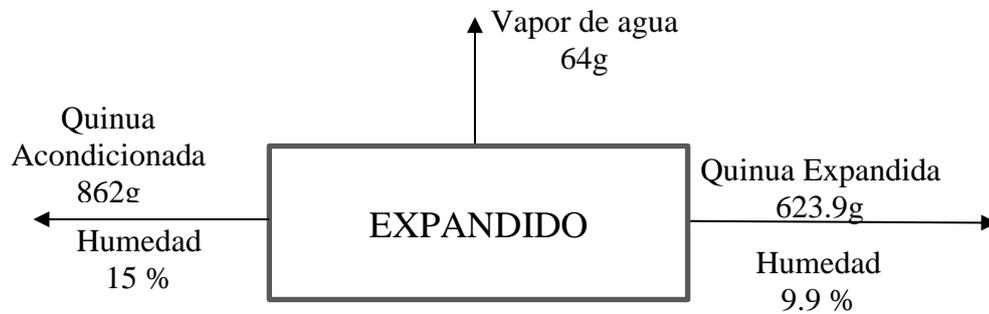
Se reemplaza la Ecuación EC.I en la Ecuación EC.II

$$0.15 \times (B + 623.9) = B + 0.099 \times 623.9$$

$$B = 37.44 \text{ g Vapor de Agua}$$

$$B = 0.03744 \text{ kg Vapor de Agua}$$

Balace de Energí del expandido de Quinua



Flujos involucrados en el proceso de expandido

La ecuación del balance de energía que rige este proceso se indica a continuación:

$$Q = ms * Cps * (Tf - T0) + ml * Cpl * (Teb - T0) + mv * Lp + mv * Cpv * (Tf - Teb)$$

Donde:

$ms$  : Masa de materia seca que entran al proceso ( $kg$ )

$ml$  : Masa de agua que entran al proceso ( $kg$ )

$Cps$  : Calor específico de la materia seca ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )

$Tf$ : Temperatura final que alcanza el proceso ( $^\circ C$ )

$T0$ : Temperatura inicial del proceso ( $^\circ C$ )

$Teb$ : Temperatura de ebullición del agua en función de la presión ( $^\circ C$ )

$Cpl$  : Calor específico del agua líquida ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )

$mv$ : Masa de vapor de agua ( $kg$ )

$Cpv$ : Calor específico del vapor de agua ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )

$Lp$ : Calor latente de vaporización del agua ( $kJ/kg$ )

Como dato adicional se tiene:

$$Cp_{quinua} = 1,9 \text{ kJ kg}^\circ C, Cpl = 4.18 \text{ kJ/kg } ^\circ C, Cpv = 1.84 \text{ kJ/kg } ^\circ C \text{ y } Lp = 2275 \text{ kJ/kg}$$

### Reemplazando en la Formula

$$Q = ms * Cps * (Tf - T0) + ml * Cpl * (Teb - T0) + mv * Lp + mv * Cpv * (Tf - Teb)$$

$$Q = 0.8 \times 1.9 \times (170 - 15) + 0.064 \times 4.18 \times (90-15) + 0.037 \times 2275 + 0.037 \times 1.84 \times (170-90)$$

$$Q = 345.29 \text{ kJ}$$

### Costo de Producción del Expandido de Quinua

COSTO DE PRODUCCION				
RUBRO	Unidad de Medida	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				<b>258.10</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>				<b>150.00</b>
Quinua	Kg	30	5.00	150.00
<b>MANO DE OBRA</b>				<b>57.50</b>
Selección	J/H	1	5	5.00
Acondicionado	J/H	0.5	5	2.50
Expansión	J/H	8	5	40.00
Tamizado	J/H	1	5	5.00
Envasado	J/H	1	5	5.00
<b>AGUA</b>				<b>3.60</b>
Agua hervida	L	18	0.2	3.60
<b>EQUIPOS</b>				<b>24.00</b>
Cañon expansor	Alquiler	1	10	10.00
Balanza Electronica	Alquiler	1	2	2.00
consumo de Gas	Kg	0.4	30	12.00
<b>MATERIALES</b>				<b>23.00</b>
Recipiente medidor	Und	1	3	3.00
Jarra medidora	Und	1	2	2.00
Rociador	Und	1	8	8.00
Bolsas de Polietileno	Ciento	1	10	10.00
<b>II. COSTOS INDIRECTOS (Variables)</b>				<b>43.71.</b>
Costo del local	Alquiler	1	5	5.00
Costos Finacieros	%	10%	<b>258.10</b>	25.81
Imprevistos	%	2%	<b>258.10</b>	5.16
Administracion	%	3%	<b>258.10</b>	7.74
Costo total por 30 Kg				<b>301. 81</b>

Costo Unitario de Producción	<b>s/. 12.90</b>
costo total S/.	301.81
Rendimiento de Quinoa Expandida KG	23.396

Si la empresa vende a 15 soles del kg de quinua expandida tendría una ganancia de **49.13** soles por cada 30kg de producción de quinua por día.

### Matriz de Consistencia

**Título:** “Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) expandida”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál será el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd?) expandida?	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) expandida.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) expandida.</p> <p>Determinar el efecto de la humedad inicial y presión de expansión en la aceptabilidad de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) expandida.</p> <p>Determinar la composición química proximal y digestibilidad de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) expandida con mejor rendimiento y aceptabilidad.</p>	<p>Existe efecto significativo de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) expandida.</p>	<p>Rendimiento</p> <p>Aceptabilidad</p>	<p>Cantidad de salida dividida por la entrada</p> <p>Escala hedónica</p>

