



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DE MAESTRIA
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ANDINA



TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN
DOS VARIEDADES DE QUINUA EXPANDIDA (*Chenopodium
quinoa* Willd)**

PRESENTADA POR:

MARÍA ÁNGELA RAMIREZ YUPANQUI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

PUNO – PERÚ

2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
BIBLIOTECA CENTRAL AREA DE TESIS
Fecha Ingreso: 16 ABR 2015
Nº 0740

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRIA

MAESTRÍA EN AGRICULTURA ANDINA

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS
EN DOS VARIEDADES DE QUINUA EXPANDIDA (*Chenopodium
quinoa Willd*)”**

PRESENTADA POR:

MARÍA ANGELA, RAMIREZ YUPANQUI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

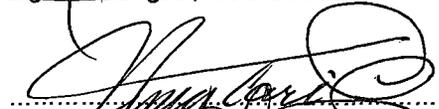
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ANDINA

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
Ing. M.Sc. Miguel, RODRIGUEZ PONCE

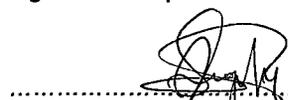
PRIMER MIEMBRO


.....
Ing. M.Sc. Angel, CARI CHOQUEHUANCA

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Ing. M.Sc. Florentino Victor, CHOQUEHUANCA CACERES

ASESOR DE TESIS


.....
Ing. M.Sc. Roger, SEGURA PEÑA

Puno, 25 de Junio del 2012

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la vida y otorgarme una misión noble que cumplir en este mundo, para desarrollarlo contribuyendo al bienestar de la sociedad, de modo que en cada logro se cumpla su voluntad de perfección y felicidad.

A mi madre Arminda y a mi padre Walter, quienes me inculcaron que el estudio, el esfuerzo y el amor, hacen desarrollar todas las capacidades del ser humano.

A Santos Cari, el amigo y esposo, por estar siempre a mi lado y por entenderme y apoyarme en cada uno de mis proyectos.

ÁNGELA.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela de Post grado, por haber contribuido en la formación durante todo este tiempo.

A los señores catedráticos de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, quienes compartieron sus conocimientos.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL	iii
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
INDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Planteamiento de la investigación	2
1.1.1.	Pregunta del Problema	3
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos	4
1.3.1.	Objetivo General	4
1.3.2.	Objetivo Especifico	4
1.4.	Hipótesis	4
1.4.1.	Hipótesis General	4
1.4.2.	Hipótesis Específicas	5

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes	6
2.2.	Marco referencial	15
2.2.1.	Quinua	15
2.2.1.1.	Morfología	16
2.2.1.2.	Clasificación botánica	17
2.2.1.3.	Composición química y valor nutricional	18
2.2.1.4.	Producción	22
2.2.2.	Expandidos	24
2.2.2.1.	Fenómeno de expansión	25
2.2.2.2.	Etapas del proceso de expansión	25
2.2.2.3.	Grado de expansión del grano	26
2.2.2.4.	Forma de consumo de expandidos	27
2.2.2.5.	Efecto sobre los alimentos	27
2.2.3.	Propiedades físicas	28
2.2.3.1.	Gravedad específica	29
2.2.3.2.	Densidad	29
2.2.3.3.	Propiedades físicas del grano de quinua	32
2.2.4.	Análisis químico proximal	34

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Materiales	43
3.1.1. Lugares experimentales	43
3.1.2. Materia prima	43
3.1.3. Materiales y equipos de laboratorio	44
3.2. Metodología experimental	45
3.3. Diseño experimental	47
3.3.1. Variables independientes o de estudio	49
3.3.2. Variables dependientes o de respuesta	49
3.4. Diseño estadístico	49
3.5. Métodos de análisis	50
3.5.1. Propiedades físicas	50
3.5.2. Composición químico proximal	53

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Propiedades físicas	57
4.1.1. Resultados de la determinación de la gravedad específica	57
4.1.2. Resultados de la determinación de la densidad real	59
4.1.3. Resultados de la determinación de la densidad aparente	61
4.1.4. Resultados de la determinación de la porosidad	64
4.1.5. Resultados de la determinación del calor específico	68
4.2. Resultados de la composición químico proximal	70
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	86

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1 Composición químico proximal de la quinua (expresado en g/100g de material)	19
2 Contenido de aminoácidos de quinua en comparación con otros granos (mg de aminoácido/16 g de nitrógeno)	21
3 Producción nacional de quinua	22
4 Producción de quinua Blanca de Juli y Pasankalla campaña agrícola 2011 - 2012	23
5 Humedad, densidad (real y aparente) de diferentes cereales	32
6 Propiedades físicas de algunos granos de cereales	33
7 Propiedades físicas, mecánicas y termales del grano de quinua. Variedad Blanca de Juli y kamiri	33
8 Longitudes de granos de cañihua, cebada y habas	34
9 Valores promedio de calor específico de quinua expandida	68
10 Composición químico proximal de quinua expandida	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 Diagrama de flujo para la obtención de quinua expandida	45
2 Diagrama de flujo de la metodología empleada en la determinación de las propiedades físicas y químicas de quinua expandida (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla	48
3 Valores Promedio de la gravedad específica de la quinua expandida.	57
4 Valores promedio de la densidad real de la quinua expandida.	59
5 Valores promedio de la densidad aparente de la quinua expandida.	61
6 Valores promedio de porosidad de quinua expandida.	65
7 Esquema de reacción del proceso de glucosilación no enzimática de proteínas.	77

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
1 Quinoa expandida variedad Blanca de Juli embolsado laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013	86
2 Quinoa expandida variedad Pasankalla embolsado laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013	86
3 Quinoa expandida variedad Pasankalla laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013	87
4 Quinoa expandida variedad Blanca de Juli laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013	87
5 Balanza Universal Mohr – Westphal laboratorio pastas y harinas E.P.A. Universidad Nacional del Altiplano 2013	88
6 Datos experimentales de la gravedad específica de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli	88
7 Datos experimentales de la gravedad específica de quinua expandida de la variedad Pasankalla	89
8 Datos experimentales de la densidad real de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli	89
9 Datos experimentales de la densidad real de quinua expandida de la variedad Pasankalla	90
10 Datos experimentales de la densidad aparente de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli.	90
11 Datos experimentales de la densidad aparente de quinua expandida de la variedad Pasankalla.	91
12 Datos experimentales de la porosidad de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli	91
13 Datos experimentales de la porosidad de quinua expandida de la variedad Pasankalla	91
14 Datos experimentales del calor específico de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli y Pasankalla	92
15 Resumen estadístico para gravedad específica	92
16 Anova para gravedad específica según variedades	93
17 Medias de gravedad específica con intervalos de confianza	93

18	Pruebas de múltiple rango para gravedad específica	93
19	Resumen estadístico para densidad real	94
20	Anova para densidad real	94
21	Medias de densidad real con intervalos de confianza del 95%.	94
22	Pruebas múltiple de rango para densidad real.	95
23	Resumen estadístico para densidad aparente	95
24	Anova para densidad aparente según variedades	95
25	Medias de densidad aparente con intervalos de confianza del 95%.	96
26	Pruebas de múltiple rango para gravedad específica.	96
27	Resumen estadístico para porosidad.	96
28	Anova para porosidad según variedades.	97
29	Medias de porosidad con intervalos de confianza del 95%.	97
30	Pruebas de múltiple rango para porosidad	97
31	Resumen estadístico para el calor específico.	98
32	Anova para calor específico según variedades.	98
33	Medias de calor específico con intervalos de confianza del 95%.	99
34	Pruebas de múltiple rango para calor específico	99

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Puno a 3820 m.s.n.m. en la planta de procesamiento de industrias Tic Pac y laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Los objetivos que nos planteamos fueron; determinar las propiedades físicas (gravedad específica, densidad real, densidad aparente y porosidad) y propiedades químicas de quinua expandida. Para ello se trabajó con quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla, que fueron adquiridos del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) Estación Experimental Rinconada-Salcedo-Puno, las que fueron sometidas al proceso de expansión por explosión. De los resultados obtenidos se llegó a la conclusión, que la variedad de quinua Pasankalla presenta características físicas adecuadas para los procesos de expansión por explosión, en comparación a la variedad Blanca de Juli, cuyos valores fueron: 1.03 gravedad específica, 1030.74 Kg/m³ densidad real, 68.96 Kg/m³ densidad aparente, 0.93 de porosidad y 1.58 Kj.Kg⁻¹.°K⁻¹ para el calor específico. Asimismo la composición química para la misma es la siguiente: humedad 5.5%, 10.2% de proteínas, grasa 5.1%, fibra 4.8%, cenizas 2.1% y 70.3% de carbohidratos.

Palabras Claves: Densidad aparente, densidad real, fenómeno de expansión, gravedad específica, quinua.

ABSTRACT

This research work was developed in the city of Puno at 3820 meters above the sea level, in the processing plant of "Tic Pac" industries and laboratories of National University of Altiplano in Puno. The goals we set were: To determine the physical properties (specific gravity, real density, apparent density and porosity) and chemical properties of expanded quinoa. This was achieved with Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) of the varieties "Blanca de Juli" and Pasankalla, which were acquired from INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) Experimental Station Rinconada – Salcedo - Puno, which were subjected to the process of expansion by explosion. From the results it was concluded that the variety Pasankalla quinoa presents physical characteristics suitable for the processes of expansion by explosion, compared to the variety "Blanca de Juli", whose values were: 1.03 specific gravity, 1030.74 kg/m³ real density, 68.96 Kg/m³ apparent density, 0.93 and 1.58 porosity KJ.Kg⁻¹. ° K⁻¹ for the specific heat. Also for the same chemical composition as follows: humidity 5.5%, 10.2% protein, fat 5.1%, fiber 4.8%, ash 2.1% and 70.3% carbohydrate.

Keywords: Apparent density, real density, expansion phenomenon, specific gravity, quinoa.

INTRODUCCIÓN

La quinua en la actualidad tiene gran aceptación y demanda debido a su elevada composición nutricional y resistencia a factores ambientales adversos como heladas y sequias, lo cual brinda la posibilidad de producir estos granos de forma comercial.

Uno de los productos derivados de la quinua de mayor aceptación es el expandido de quinua a la fecha todos los equipos usados para la transformación de estos productos son adaptados de otros procesos, motivo por el cual la presente investigación contribuirá con algunos parámetros para la fabricación de estos equipos tales como: gravedad específica, densidad real, densidad aparente y porosidad.

La presente investigación cuenta con cuatro capítulos, en el primer capítulo se encuentra el problema de investigación conteniendo los principales componentes de la investigación como el planteamiento del problema, justificación, objetivos e hipótesis; en el segundo capítulo se encuentra el marco teórico que menciona los antecedentes y el marco referencial; en el tercer capítulo encontramos la metodología que describe las principales métodos y equipos , la metodología experimental y el diseño estadístico; el cuarto capítulo hace mención a los resultados y discusiones obtenidos en la presente investigación.

CAPITULO I.

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

La quinua, es un grano originario del Altiplano Peruano que se caracteriza por tener un gran valor nutritivo. Su utilización se ve limitada debido a que la cubierta externa del grano posee ciertos componentes orgánicos (saponina y otros) que le confieren sabor amargo haciendo que la quinua sea desagradable y poco aceptable para los consumidores. Sin embargo en la actualidad este producto tiene gran aceptación y demanda debido a su elevada composición nutricional, las que aun vienen siendo investigadas sobre todo en los productos finales y la diferenciación de sus propiedades de variedad a variedad.

La física es uno de los principios que gobierna la mayoría de los procesos habituales en la industria alimentaria, apreciando constantemente los cambios que sufren estas en el procesamiento, son numerosas las operaciones unitarias (secado, refrigeración, pasteurización, molienda, etc.) relacionadas entre sí, las cuales van de la

mano con las propiedades físicas y químicas; los expandidos de quinua han sido poco estudiados considerando las variedades existentes, y referente a las propiedades físicas de los productos procesados aún no han sido evaluadas, las que deben de considerarse por su importancia ya que estas tienen mayor relación con el procesamiento, y su conocimiento permite incrementar su eficiencia en equipos. Asimismo, existen investigaciones de parámetros de procesamiento, las que no consideran la influencia de las propiedades físicas en cada operación unitaria.

1.1.1. PREGUNTA DEL PROBLEMA

¿De qué manera el proceso de expansión por explosión influye en las propiedades físicas y químicas de quinua de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El Perú y particularmente la macro región sur cuentan con una gran variedad de alimentos con elevado valor nutricional como lo son los cultivos andinos y olvidados con potencialidades de alimentación expectantes, como es la quinua, las cuales vienen siendo procesadas, por la tendencia actual de consumir y producir alimentos de alto valor nutritivo con mayor tiempo de vida útil, procesadas sin considerar la optimización en el uso de los equipos, lo que nos conduce a estudiar las propiedades físicas y químicas del expandido de quinua. A su vez

conociendo las propiedades físicas en el expandido de quinua se podrá manejar de manera adecuada el almacenamiento de los mismos.

Este cultivo andino posee una inigualable cualidad nutricional y propiedades específicas apreciadas en el mercado mundial constituyéndose de esta manera como un producto de sustento socio-económico para la población alto andina, por tanto la quinua debido a su importancia en nutrición que presta al hombre, hace que sea necesario conocer sus propiedades, bondades y características físico químicas en relación a la influencia del medio ambiente en su producción. Cuyas propiedades físicas pueden ser aprovechadas como una guía en el diseño de equipos y métodos para operaciones en la producción de semillas como siembra, cosecha, procesamiento y control. También pueden ser usadas para clasificar forma, tamaño, densidad, textura superficial, porosidad, color, elasticidad y conductividad eléctrica.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades físicas y químicas del expandido de quinua de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físicas (gravedad específica, densidad real, densidad aparente y porosidad) de quinua expandida.
- Determinar las propiedades químicas de quinua expandida.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

Las propiedades físicas y químicas de la quinua sometida al proceso de expansión por explosión son influenciadas por la variedad.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las propiedades físicas (gravedad específica, densidad real, densidad aparente y porosidad) de quinua expandida son diferentes para cada variedad.
- Las variedades de quinua influyen en las propiedades químicas de la quinua sometida al proceso de expansión por explosión.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Medina (2000) determinó las propiedades físicas (tamaño, forma, densidad y porosidad), mecánicas (módulos de elasticidad y deformación) y termales (difusividad termal, conductividad termal y calor específico) en tres niveles de humedad de granos de quinua, variedad Blanca de Juli y Kamiri. Los resultados obtenidos indican que la esfericidad de los granos enteros y lavados varían, el tamaño de los granos de Kamiri es mayor que los granos de Blanca de Juli, que su forma es la de un prolato esferoide y su porosidad disminuye al lavarse los granos.

Foraquita y Lipa (2005) en su trabajo de investigación "Evaluación de las propiedades físicas y termales de dos variedades de Cañihua (*Chenopodium Pallidicaule* Aellen)", en las pruebas experimentales utilizaron dos variedades de cañihua Cupi y Ramis, determinando las propiedades físicas emplearon grano entero y grano

lavado; para las propiedades termales de los granos lavados acondicionaron a tres niveles de humedad (10, 15 y 20 %), sometiéndolos a tres niveles de temperatura (25, 30, 35°C). En las propiedades físicas demuestra que los granos de la variedad Ramis tienen mayor tamaño (1.35 a 1.46 mm) que los granos de la variedad Cupi (1.13 a 1.27 mm). En la forma demuestra que los granos enteros se asemeja a una bipyramide pentagonal, y los granos lavados presentan la forma de un oblato esferoide (lenticular). En la vista de posición natural de descanso demuestra que los granos lavados tienen mayor esfericidad que los granos enteros fluctuando entre 0.73 y 0.88. La gravedad específica de los granos de cañihua varían entre 1.1356 a 1.1779 y su porosidad disminuye con el lavado (0.43 a 0.29). La actividad de agua varía entre 0.4619 y 0.5599, en tanto la difusividad termal está comprendida entre 0.773 y $1.0 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, la conductividad termal entre 0.0728 a $0.0897 \text{ W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$ y el calor específico entre 0.865 a $0.905 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$.

Shepherd (1986) determinó las propiedades físicas de la arveja y observa una relación no lineal entre el volumen de grano y el contenido de humedad. La mejor forma aproximada que fue encontrada es un prolato esferoide con un diámetro efectivo de 4.83 mm, área superficial promedio 67.4 mm^2 , peso de 1000 granos de 76 g, y la esfericidad y redondez cerca al 80% en una humedad en base seca (b.s.) 14.7%. En el rango de humedad de 6.3 a 28.2 % b.s. las densidades aparente y real encontradas disminuyen linealmente de 806 a 745 kg m^{-3} y 1305 a

1251 kg m⁻³ respectivamente, y la porosidad disminuye linealmente con la densidad aparente de 40.4% a 38.2%.

Oje y Ugbor (1991) determinó las propiedades físicas de semillas de soya, como primera etapa para desarrollar una máquina para descascarar semillas de soya; fueron medidas algunas de las propiedades físicas de semillas adecuadas para descascarar. A un contenido de humedad de 4.5% base seca, las semillas de soya tienen un mayor diámetro de 60 a 70 mm, y el espesor de 9 a 19 mm. Tienen una esfericidad promedio baja de 0.60 y una redondez de 0.40, estas son características desfavorables para la molienda de las semillas. Con una densidad promedio de 1.12 kg m⁻³, la semilla es incapaz de flotar en el agua.

Gupta (1997) señala que las propiedades físicas de semillas y granos de girasol fueron evaluadas en función del contenido de humedad, a 6.2% b.s., el largo, ancho y espesor promedio y el peso unitario de la semilla fueron 9.52 mm, 5.12 mm, 3.17 mm y 0.049 g respectivamente. Valores correspondientes para el grano fueron 8.28 mm, 4.09 mm, 2.43 mm y 0.034 g. El diámetro equivalente principal y la esfericidad de la semilla fueron 5.39 mm y 0.57 respectivamente, mientras valores correspondientes para grano fueron 4.32 mm y 0.53. En el rango de humedad de 4 a 20% b.s., la densidad aparente de la semilla rehidratada disminuyó de 462 a 434 kg m⁻³, la densidad real

incremento de 706 a 765 kg m⁻³, la porosidad incremento de 34.3 a 43.3 %.

Tacora (2010) en su estudio "Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)" respecto a la composición proximal de la cañihua al ser expandida indica que redujo su humedad de 8.26% a 7.5% en la variedad illpa y de 7.5% a 4.29% en la variedad cupi, los valores de ceniza se vieron afectados mínimamente de 2.61% a 5.18% en la variedad illpa y de 3.13% a 6.43% en la variedad cupi, existió una disminución progresiva de la grasa de 8.79% a 7.92% en la variedad illpa y de 8.15% a 7.15% en la cupi, con respecto a la proteína las dos variedades disminuyeron su porcentaje inicial de 13.67% a 9.55% en la variedad illpa y de 14.85% a 6.01% en la variedad cupi, el contenido de fibra cruda de ambas disminuye ligeramente de 6.41% a 5.51% en la variedad illpa y de 6.91% a 6.36% en la variedad cupi, el porcentaje de carbohidratos aumento existiendo una similitud en ambas de 60.76% a 67.45% en la variedad illpa y de 59.45% a 69.77% en la variedad cupi.

Paggi (2003) en su estudio titulado: "Adecuación de una maquina expansora de cereales tipo cañón para prácticas de laboratorio en la universidad tecnológica equinoccial. estudio de caso: arroz (*Oryza sativa* L.), maiz (*Zea mays* L.), quinua (*Chenopodium*

quinoa Willd) y trigo (*Triticum vulgare* L.)” obtiene los siguientes resultados: Quinoa normal Humedad 11,90%, Proteína 12,03%, Grasa 5,1%, Fibra 1,98%, Carbohidratos totales 64,20%, Energía 344,70Kcal/100 g, y quinoa expandida Humedad 2,25%, Proteína 13,20%, Grasa 5,91%, Fibra 3,50%, Carbohidratos totales 75,65%, Energía 403,91Kcal/100 g,

Talavera (2003) en su trabajo de tesis titulado “Determinación de la variedad de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) expandida para la elaboración de barras de chocolate”, evaluó la variedad de quinoa expandida adecuada para la elaboración de barras de chocolate, experimento con cuatro variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Salcedo INIA, Blanca Juli; Sajama y Kancolla, las cuatro variedades de quinuas perladas se sometieron a un análisis físico – químico teniendo los siguientes resultados: variedad Salcedo INIA Humedad 5.94%, Ceniza 2.04%, Proteína 12.62%, Grasa 5.84%, Fibra 1.73%, Carbohidratos totales 71.84%, Energía 413.84Kcal/100; variedad Sajama Humedad 5.28%, Ceniza 1.53%, Proteína 10.41%, Grasa 5.06%, Fibra 2.11%, Carbohidratos totales 75.63%, Energía 412.29Kcal/100; variedad Blanca de Juli Humedad 5.31%, Ceniza 1.37%, Proteína 9.47%, Grasa 4.57%, Fibra 1.94%, Carbohidratos totales 77.35%, Energía 408.8Kcal/100; variedad Kancolla Humedad 5.47%, Ceniza 0.97%, Proteína 6.9%, Grasa 4.16%, Fibra 1.1%, Carbohidratos totales 81.43%, Energía 412Kcal/100., variedad Kancolla Humedad 5.47%, Ceniza 0.97 %, Proteína 6.90%, Grasa

4.12%, Fibra 1.10%, Carbohidratos totales 77.35%, Energía 408.8Kcal/100; variedad Kancolla Humedad 5.47%, Ceniza 0.97%, Proteína 6.9%, Grasa 4.14%, Fibra 1.1%, Carbohidratos totales 81.43%, Energía 412.09 09Kcal/100

Lassa (2008) en su tesis titulada "Evaluación de las propiedades físicas y disponibilidad de minerales de expandidos fortificados, elaborados en base a maíz y soja" donde busca Analizar el efecto de la extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas de una mezcla maíz-soja fortificada , presenta los resultados: Composición centesimal en base seca, de las materias primas y de la mezcla extrudida maíz: soja (88:12), en maíz se obtuvo Cenizas $0,24\pm 0,07$; Grasa $0,38\pm 0,01$ (Soxhlet); Proteínas $7,0\pm 0,1$ 37 y $92,39\pm 0,09$ Almidón, en soja Cenizas $0,85\pm 0,0$; Grasa $2,26\pm 0,08$ (Soxhlet), Proteínas $37,40\pm 0,06$ y en maíz soja se obtuvo Cenizas $0,24\pm 0,07$; Grasa $2,26\pm 0,08$ (Soxhlet); Proteínas $10,6\pm 0,1$; Fibra $0,63$ y $86,2$ Almidón.

Álvarez (2003) En su estudio "Caracterización Física de Semillas de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Tostadas cultivadas en la región de cuyagua, estado aragua" tuvo como finalidad comparar las características físicas de semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) tostadas en el laboratorio proveniente de 5 genotipos que forman parte de la colección 1995 del Banco de Germoplasma del INIA, con una muestra comercial también tostada en el laboratorio. Las muestras de las semillas, se tostaron a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos en el laboratorio. Los

parámetros físicos se determinaron según varias metodologías, los resultados indican que el peso específico, largo ancho y espesor mostraron ligeras diferencias entre los genotipos y también con la comercial. Variando la gravedad específica de las semillas con pesos desde 1,0 g a 1,5 g al ser sometidas al proceso de tueste.

Kibar (2003) en su estudio Efecto del contenido en humedad sobre las propiedades físicas y mecánicas del arroz (*Oryza sativa* L.) tuvo como objetivo investigar algunas propiedades físicas y mecánicas de la variedad de arroz Osmançik-97, ampliamente cultivada en Turquía, con el fin de determinar el diseño de los parámetros necesarios para la manipulación y almacenamiento. En este estudio se evaluaron algunas propiedades físicas y mecánicas en función del contenido de humedad en el rango de 10-14% (base seca). Según aumentaba el contenido de humedad, la longitud, anchura, grosor, media aritmética y media geométrica del diámetro variaron de 8,27 a 9,01 mm, 3,10 a 3,48 mm, 2,05 a 2,26 mm, 4,47 a 4,92 mm, 3,75 a 4,13 mm, respectivamente; la esfericidad, volumen del grano, superficie, densidad real y porosidad aumentaron de 43 a 45%, de 130,97 a 160,32 mm³, 38,68 a 46,91 mm², 939,0 a 962,1 kg m⁻³, y 36,61 a 41,97%; la densidad aparente disminuyó de 595,5 a 560,5 kg m⁻³; el ángulo de fricción interna aumentó linealmente de 29,70° a 32,530°; el coeficiente de fricción estática aumentó de 0,764 a 0,972, 0,524 a 0,702 y 0,576 a 0,764. Los datos obtenidos en este estudio serán útiles en el diseño estructural de los contenedores de arroz para

calcular las cargas en los contenedores a partir del material almacenado.

Rojas (2006) en su tesis caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) el material vegetal de investigación fueron semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*), las cuales fueron recolectadas manualmente de un cultivo establecido en el Centro Agropecuario Cotove de la Universidad Nacional de Colombia ubicado en Santafé de Antioquia. Las evaluaciones físicas se realizaron en el Laboratorio de Procesos Agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y las evaluaciones mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Cosecha de Cenicafé en Chinchiná-Caldas. A partir de una muestra de 50 kg, las pruebas fueron realizadas a semillas de tamaño medio.

Diferentes propiedades físicas y mecánicas fueron evaluadas para cuatro contenidos de humedad (10, 14, 18 y 22 % bh.). La longitud, ancho y espesor, los diámetros medio aritmético y geométrico, el área superficial y la masa (g/1000 semillas), porosidad, el ángulo de reposo se incrementaron significativamente cuando el contenido de humedad aumentó de 10 al 22 %; mientras que la esfericidad no varió significativamente con la humedad. El área proyectada se evaluó aplicando la técnica de análisis de imágenes en los tres planos (horizontal, transversal y longitudinal); siendo mayor en el plano horizontal y menor en el plano longitudinal; en todos los planos de

orientación de la semilla se incrementó con la humedad. Las dimensiones ortogonales también fueron medidas con la técnica de análisis de imágenes, presentaron una significativa precisión con respecto al método manual. La densidad aparente y densidad a granel decrecieron con la humedad, el coeficiente estático y dinámico de fricción se evaluó en seis superficies de diferente material, en todas las superficies se incrementaron significativamente con la humedad

Sucari (2003) obtener un producto expandido adecuado, para determinar la humedad y presión en el proceso de expansión por explosión para dos variedades de cañihua, Ramis y Cupi, obtenidas del INIA – Puno, la composición química del grano de cañihua para la variedad Ramis fue: proteína 16.32%, grasa 7.29%, fibra 8.25%, ceniza 2.55%, carbohidratos 57.45% y humedad inicial 7.94%, para la variedad Cupi fue: proteína 14.93%, grasa 8.80%, fibra 9.83%, ceniza 2.74%, carbohidratos 51.67% y humedad inicial de 12.25%, la primera prueba experimental se acondicionó la humedad del grano, mediante balance de masa y en la segunda prueba experimental se sometió los granos de cañihua a expansión utilizando un cañón de expansión con capacidad de 500g, los parámetros en el proceso de expansión por explosión para la variedad Ramis son 15% de humedad y 200 lb/plg² de presión, 16% de humedad y 190 lb/plg² de presión para Cupi, en cuanto al índice de expansión la variedad Ramis, encontró un nivel optimizado de 6.09, a humedad de 15.09% y presión de 214.42 lb/plg² y 78.8% de rendimiento de humedad de 15.5% y presión de 205 lb/plg²,

la variedad Cupi alcanzo un índice de expansión 6.48 a humedad de 15.87% y presión de 185 lb/plg² y 83.87% de rendimiento de humedad de 15.87% y presión de 184.5 lb/plg², como consecuencia del proceso de expansión e observaron variaciones en la composición química del grano, afectando la humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos, azúcares reductores y minerales así como en el caso de proteína disminuyendo en 6.66% 4.88%, la digestibilidad proteica IN-VITRO, de 4.6% y 4.2% para las variedades Ramis y Cupi, el test de Friedman aplicada a un análisis sensorial de ordenamiento realizada en las características de apariencia general, olor y textura, el mejor tratamiento correspondio al tratamiento t9 para las variedades Ramis y Cupi respectivamente, teniendo mayor aceptación en cuanto a la apariencia general la variedad Ramis.

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. QUINUA

Nombre botánico "*Chenopodium quinoa* Willd", se cultivó en la región del altiplano andino de América del Sur desde tiempos ancestrales. Los antiguos Incas lo llamaron El Grano Madre y la veneraron como planta sagrada. Su cultivo fue totalmente orgánico y por lo tanto, sin el uso de sustancias químicas, pesticidas, plaguicidas, abonos químicos, etc. Un investigador ha dicho "mientras ningún alimento por si solo puede suministrar todos los nutrientes esenciales para la vida, la quinua es igual o más completa que muchos del reino vegetal y animal" (Mujica, 1974).

La quinua presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma. En la superficie del grano se encuentra una sustancia amarga llamada saponina, que debe eliminarse antes de su consumo. La quinua es rica en nutrientes como proteínas (es rica en lisina, el aminoácido limitante de los cereales), carbohidratos, grasas insaturadas, vitaminas y minerales (Alcázar y Pareja, 2001).

La quinua es un cultivo tradicional de la sierra Peruana. Sus variedades llegan a más de 100 y más de 1000 ecotipos, la mayor superficie sembrada en nuestro país se encuentra en la Región Puno, constituyendo un hábitat apropiado para este tipo de cultivo (12000-14000 ha/año) donde su cultivo va desde los 500 a 3,900 m.s.n.m. en este espacio geográfico existen fuertes fluctuaciones de temperaturas y precipitaciones pluviales originando de esta manera una de las limitaciones más importantes para el desarrollo de otras actividades agrícola no andinas. Sin embargo el cultivo de productos alto andinos tales como la quinua en este caso constituye la principal actividad económica que prospera a este piso ecológico (CIRNMA, 1998).

2.2.1.1. Morfología

Quinua es una especie arbustiva, con raíces pivotantes y fasciculadas, bien adaptadas al clima frío y la escasez de humedad (puesto que las raíces pivotantes

aprovechan el agua a mayor profundidad y las raíces fasciculadas el agua superficial). (Villanueva *et. al*, 2007).

La quinua es una semilla pequeña. Su tamaño, forma y color se parece al cruce de una semilla de sésamo (ajonjolí) con una de mijo. Tiene forma de disco plano con una banda ecuatorial alrededor de su periferia. Tiene un color amarillo sin brillo pero unas especies varían de casi blanco a rosa, naranja o de rojo a púrpura y negro. El tallo es redondo cerca al cuello y cuadrangular a la altura de las ramificaciones, y puede tener una altura de 60cm hasta 2m. El nivel de ramificación puede variar de acuerdo a cuatro categorías, pero la forma usada en cultivo corresponde a la primera categoría, que es la de mayor ramificación (y por ende, mayor producción). De acuerdo a la posición en los tallos, se presentan tres tipos de hojas (romboidales, triangulares y lanceoladas). La flor típica es una inflorescencia amarantiforme (o glomerulada), y el fruto es un grano seco y pequeño (de 0,8 a 2mm de diámetro, promedio). (Villanueva *et. al*, 2007)

2.2.1.2. Clasificación botánica

Este cultivo fue descrito por primera vez por el científico Alemán Luis Willdnow. (León, 2003):

Reyno: Vegetal
División: Fanerógamas
Clase: Dicotiledóneas
Subclase: Angiospermas
Orden: Centrospermales
Familia: Chenopodiaceae
Género: *Chenopodium*
Sección: Chenopodia
Subsección: Cellulata
Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

2.2.1.3 Composición química y valor nutricional.

Si nos preguntamos dónde radica la exquisitez de la quinua, la respuesta es simple: No hay un cereal más nutritivo e indispensable para el ser humano que la quinua. Es el cereal de mayor y más completa composición en aminoácidos que existe en nuestro planeta. Contiene 20 aminoácidos incluidos los 10 esenciales para el ser humano tal como se muestra en la tabla 02, especialmente la lisina que es de vital importancia para el desarrollo de las células del cerebro, los procesos de aprendizaje, memorización y raciocinio, así como para el crecimiento físico. (Avalos, 2007)

Cuando se habla de proteínas hay que tomar en cuenta dos aspectos básicos: la cantidad y la calidad. La cantidad de proteína es influenciada por el porcentaje de humedad que contiene la quinua; cuya importancia radica en la eficiencia con la que el

cuerpo puede utilizar las proteínas ingeridas. Esto lleva al segundo punto, el de la calidad de la proteína de quinua, y aquí se trata de la superioridad en contenido de aminoácidos esenciales en relación a las proteínas de los cereales, es decir, cuántos y qué cantidad de aminoácidos esenciales proporcionan al organismo cada proteína para síntesis de tejidos. (Mujica, *et. al.* 2001). El contenido proteico, de las quinuas depende de la región de origen variando entre 11 y 13 g/ 100 g de alimento. (Blanco *et. al.*, 2001)

CUADRO 1

COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA QUINUA (expresado en g/100g de material)

ANÁLISIS	QUINUA		
	(1)	(2)	(3)
Humedad	11.8	12.7	1.0
Proteína	12.2	15.3	12.0
Extracto etéreo	6.2	5.0	5.4
Carbohidratos (por diferencia)	61.5	59.7	66.9
Fibra	5.7	4.1	2.4
Cenizas	2.6	3.4	2.3

Fuente: Collazos *et. al.* (1993), Tapia *et. al.* (1979), Minaya (1981)

Los aminoácidos de la quinua muestran que los contenidos de metionina, lisina y triptófano son adecuados y esto cobra particular interés cuando su

consumo es combinado con alimentos de bajo contenido de aminoácidos azufrados, tales como las leguminosas. (Minaya, 1981)

Al igual que los cereales comunes, la quinua contiene vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina, niacina) pero además contiene vitamina C. La quinua posee valores medios de calcio (1487ppm) y hierro (132ppm), destacándose los contenidos de potasio y de fosforo lo que representa hasta un 65 % del contenido total de cenizas. (Minaya, 1981)

CUADRO 2

CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS DE QUINUA EN COMPARACIÓN CON OTROS GRANOS (mg de aminoácido/16 g de nitrógeno)

	Quinua	Kañiwa	Kiwicha	Arroz	Trigo
Ácido aspártico	7.8	7.9	7.4	8.0	4.7
Treonina	3.4	3.3	3.3	3.2	2.9
Serina	3.9	3.9	5.0	4.5	4.6
Ácido glutámico	13.2	13.6	15.6	16.9	31.3
Prolina	3.4	3.2	3.4	4.0	10.4
Glicina	5.0	5.2	7.4	4.1	6.1
Alanina	4.1	4.1	3.6	5.2	3.5
Valina	4.2	4.2	3.8	5.1	4.6
Isoleucina	3.4	3.4	3.2	3.5	4.3
Leucina	6.1	6.1	5.4	7.5	6.7
Tirosina	2.5	2.3	2.7	2.6	3.7
Fenilalanina	3.7	3.7	3.7	4.8	4.9
Lisina	5.6	5.3	6.0	3.2	2.8
Histidina	2.7	2.7	2.4	2.2	2.0
Arginina	8.1	8.3	8.2	6.3	4.8
Metionina	3.1	3.0	3.8	3.6	1.3
Cistina	1.7	1.6	2.3	2.5	2.2
Triptófano	1.1	0.9	1.1	1.1	1.2
% N del grano	2.05	2.51	2.15	1.52	2.24
% Proteína	12.8	15.7	13.4	9.5	14.0

Fuente: Repo-Carrasco (1992)

2.2.1.4. Producción

Según el compendio estadístico regional, el año 2001 se tuvo una producción de 15 484 t, creciendo vertiginosamente para los años 2011 con una producción de 32 740 t, la que se muestra en la tabla 03.

CUADRO 3
PRODUCCIÓN NACIONAL DE QUINUA

Años	(t)
2001	15 484
2002	24 901
2003	24 542
2004	22 102
2005	27 719
2006	24 652
2007	25 667
2008	22 691
2009	31 161
2010	31 951
2011	32 740

Fuente: Compendio Estadístico Regional, INEI (2011)

Según el Proyecto quinua del Ministerio de Agricultura, en la campaña agrícola 2011 – 2012 se tuvo una producción estimada al 25% de la producción total de 194 t de quinua Blanca de Juli y

295 t de quinua Pasankalla, en la tabla 04 se detalla la producción de las dos variedades de quinua por distritos.

CUADRO 4
PRODUCCIÓN DE QUINUA BLANCA DE JULI Y
PASANKALLA
CAMPAÑA AGRÍCOLA 2011-2012

	DISTRITO	BLANCA DE JULI (t)	PASANKALLA (t)
1	HUANCANE	25	9
2	AZANGARO	8	8
3	CABANILLA	8	26
4	CABANA	32	87
5	CABANILLAS	9	35
6	LAMPÁ	3	
7	PUCARA	2	
8	TARACO	4	4
9	SAMAN	2	4
10	JULIACA	1	
11	CARACOTO	1	
12	CALAPUJA	12	9
13	NICASIO	11	12
14	ZEPITA	4	2
15	POMATA	14	24
16	JULIACA	28	24
17	PILCUYO	2	4
18	ILAVE	26	33
19	ACORA		7
21	VILQUE		1
22	MAÑAZO	2	6
	TOTAL	194	295

Fuente: Ministerio de Agricultura – Puno 2012

2.2.2. EXPANDIDOS

Los expandidos de quinua, son aquellos granos de quinua perlada que han sido sometidos a un proceso de expansión, es decir sometidos a cambios bruscos de temperatura y presión que hacen que se produzca este fenómeno de expansión. (Mujica y Ortiz, 2006).

El fundamento de este proceso es la vaporización explosiva del agua al interior del material alimenticio, combinado convenientemente con los efectos físicos de presión –temperatura de dicho alimento. La expansión por explosión es el proceso por el cual, añadiendo calor a alta presión a la humedad residual que contiene el producto, estas se calientan por encima de su punto de ebullición atmosférica, convirtiéndose en agua sobrecalentada. Durante este mismo instante, comienza a ocurrir una “plastización” de dicho producto, obteniendo el expandido o POP QUINUA. En estas condiciones cuando repentinamente se produce una caída brusca de presión por la descarga del producto a la atmósfera dicha agua residual, transforma en expandido mediante el vapor, el cual sale con fuerza, aumentando varias veces el tamaño del producto y confiriéndoles a la vez una estructura porosa al mismo. (Mujica y Ortiz, 2006)

2.2.2.1. Fenómeno de Expansión

Resulta de la repentina expansión de vapor de agua (agua en estado gaseoso), en los intersticios del granulo; la partícula es limitada en su estado de hinchamiento como deshidratación como consecuencia de la rápida difusión de vapor de agua fuera de ella. El fenómeno de expansión puede ser efecto físico o lógico de un aumento aparente de volumen de 8 a 16 veces con relación al trigo, unas 6 a 8 veces con relación al arroz. (Castro, 1986 citado por Sucari, 2003).

2.2.2.2. Etapas del proceso de expansión por explosión para cereales.

La industria del cereal desde 1904 ha empleado la técnica del expandido por su alto contenido de almidón y baja humedad; considerando el porcentaje de humedad en el rango de 10 a 15 % y presión de 200 a 300 Lb. (Wilson, 1965 citado por Sucari, 2003).

Acondicionamiento del grano

Es una etapa previa al procesamiento de los granos expandidos con el fin de acondicionar la humedad y facilitar el tratamiento adecuado para la expansión. El acondicionamiento consiste en ajustar su contenido

de humedad bien sea por secado o por adición de agua (Sucari, 2003). Se realiza por periodos definidos de tiempo con el objeto de que la humedad este uniformemente repartida por toda la masa del grano, (Espinoza, 1986 citado por Sucari, 2003), reporta que el material debe ser almacenado por 24 horas a temperatura ambiente para permitir el equilibrio de la humedad después de adicionar la cantidad de agua.

Expansión por explosión

Fundamento.- El principio de la expansión radica en la vaporización explosiva del agua en el interior de un alimento resultando un producto poroso y voluminoso con un contenido de humedad baja. (Espinoza, 1986 citado por Sucari, 2003)

2.2.2.3. Grado de expansión del grano

El grado de expansión del grano es expresado como índice de expansión, el cual es la proporción de la densidad del grano no hinchado a aquel material hinchado. (Schewelgart, 1969 citado por Sucari, 2003), encontró una expansión máxima (índice de hinchado de 9.5), para maíz blanco entero con 25% de humedad y una presión de 175 PSI.

2.2.2.4. Forma de consumo de expandidos

En forma de desayunos americanos proporcionando una amplia variedad de cereales de desayunar de buen gusto, ya que se puede añadir miel, caramelo, chocolate, leche en polvo o frutos secos, para hacerlos mas agradables al paladar y mejorar su aporte energético y nutritivo. (Espinoza, 1986 citado por Sucari, 2003).

2.2.2.5. Efecto sobre los alimentos

Los procesos de hinchado y extrusión son llevados a elevadas temperaturas pero en un corto tiempo, lo cual minimiza la desnaturalización de las proteínas y de algunos nutrientes termolábiles (Gonzales, 1991), en contraposición en intervalos de temperatura de 80 a 100 °C propicia la reacción de Maillard, la desnaturalización y la inactivación de proteínas y enzimas mas termorresistentes, mientras que rangos de 100 a 150 °C favorece la caramelización y la síntesis de enlaces isopeptidicos y de la lisinoalanina y a más de 150 °C se induce la ciclización, la racemización y otras reacciones que normalmente no se observan en la mayoría de los alimentos.

El tratamiento del calor aplicado a los cereales para desayuno, tienen al menos dos principales procesos unificantes, uno de ellos es la creación de la textura frágil, almidón gelatinizado hasta una humedad baja y el otro es el cambio de aroma, el cual resulta de la dextrinación de los almidones de los cereales y sus productos de degradación. (Espinoza, 1986 citado por Sucari, 2003)

2.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS

La física es uno de los principios que gobierna la mayoría de los procesos habituales en la industria alimentaria, apreciando constantemente los cambios que sufren los alimentos en las operaciones unitarias, siendo de suma importancia los conocimientos cuantitativos para el diseño y el análisis de los procesos a los que se someten los alimentos. Los alimentos manifiestan propiedades que ayudan a controlar y optimizar procesos, como por ejemplo en el diseño de un molino se requiere sus propiedades físicas y mecánicas.

Desde un punto de vista ingenieril, las propiedades físicas pueden ser aprovechadas como una guía en el diseño de equipos y métodos para operaciones en la producción de semillas como siembra, cosecha, procesamiento y control. También pueden ser usadas para clasificar forma, tamaño, densidad, textura

superficial, porosidad, color, elasticidad y conductividad eléctrica.
(Harmond, 1965)

2.2.3.1. Gravedad Específica

La gravedad específica de un cuerpo es la relación (comparación) de su densidad con la densidad del agua referida a 4°C (a una temperatura de interés) en consecuencia corresponde al peso específico relativo en relación al del agua. La gravedad específica es un valor sin dimensiones, numéricamente igual a la densidad expresada en gramos por centímetro cúbico (Blatt, 1994). La gravedad específica puede ser calculada con la ecuación siguiente:

$$G_e \text{ muestra} = \frac{(W_a) \text{ muestra}}{(W_a - W_w) \text{ Hundidor y muestra} - (W_a - W_w) \text{ Hundidor}} * G_e \text{ Agua}$$

Dónde:

G_e = Gravedad específica

W_a = Peso en el aire

W_w = Peso en el agua

2.2.3.2. Densidad

La densidad es la masa de una sustancia o un alimento contenida en una unidad de volumen (Alvarado, 2001).

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la densidad se expresa kg/m^{-3} , su símbolo habitual es la letra griega rho. En alimentos líquidos (e.g. bebidas, néctar, etc.) la densidad se diferencia entre densidad real y densidad aparente de la misma manera también se aplica a los sólidos (Lewis, 1993).

Densidad real.- Cuando la determinación se realiza en vacío, sin que exista efecto de flotación de aire. (Alvarado, 2001)

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen\ real\ de\ la\ muestra}$$

Densidad aparente.- Cuando la determinación se realiza en presencia de aire; en consecuencia se debe hacer la corrección que incluya el efecto de la temperatura, presión y humedad relativa del aire para expresarla como densidad absoluta. (Alvarado, 2001)

$$Densidad\ aparente = \frac{Masa}{Volumen\ global\ de\ la\ muestra}$$

El concepto de densidad en líquidos es fácil de comprender, pero los sólidos en forma particular (guisantes y polvos) tienen una densidad global así como una densidad propia del sólido que debe

considerarse. Los gases y vapores, al contrario de los líquidos y sólidos se considera que son compresibles. El estudio de la densidad en el procesamiento de alimentos es de gran importancia. (Lewis, 1993)

Densidad de los sólidos

En los alimentos granulados (e.g. granos, guisantes, harina y polvos) leche, café y almidón, puede interesar conocer la densidad de cada unidad de las partículas, o bien la densidad del conjunto del material, que incluye el volumen vacío entre las unidades individuales. La mayoría de los sólidos secos o polvos sin poros internos presentan densidades entre 1400 kg m^{-3} y 1500 kg m^{-3} , puesto que las densidades de la mayoría de los componentes son razonablemente similares. (Lewis, 1993)

En el cuadro 5 se muestra los valores de densidad para un conjunto de cereales. (Mohsenin, 1986).

CUADRO 5

HUMEDAD, DENSIDAD (REAL Y APARENTE) DE DIFERENTES CEREALES

Cereales	Humedad (%)	Densidad (kg m ⁻³)	Densidad Aparente (kg m ⁻³)
Cebada	7.5 – 8.2	1 374 – 1 415	565 – 650
Avena	8.5 – 8.8	1 350 – 1 378	358 – 511
Arroz	8.6 – 9.2	1 358 – 1 386	561 – 591
Trigo	6.2 – 8.5	1 409 – 1 430	790 – 819

Fuente: Mohsenin, (1986)

2.2.3.3. Propiedades físicas del grano de quinua y algunos alimentos.

Las propiedades físicas son de importancia para determinar y clasificar: Forma, tamaño, densidad, textura superficial, porosidad, color, elasticidad y conductividad térmica (Harmond, 1965).

En el estudio de secado de grano: pérdida de presión en lecho surtidor por Condorhuaman 2001, determina las propiedades físicas de algunos alimentos como se muestra en la siguiente Tabla.

CUADRO 6

PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS GRANOS DE CEREALES.

Tipos de grano	Densidad (kg/m ³)		Diámetro (mm)	Porosidad
	absoluta	aparente		
Cebada	1230	790	3.90	0.3545
Trigo	1370	800	3.92	0.4175
Café	1120	630	15.4	0.4384
Quinoa	1380	940	2.02	0.321
Fríjol	1150	560	7.17	0.5143

Fuente: Condorhuaman (2001).

En la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y termales de quinua variedad Blanca de Juli y Kamiri, (Medina, 2000), en la Universidad de Concepción. Chillan - Chile, se observa en el cuadro 07 y las longitudes en el cuadro 08.

CUADRO 7

PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TERMALES DEL GRANO DE QUINUA. VARIEDAD BLANCA DE JULI Y KAMIRI.

Propiedad	Blanca de Juli	Kamiri
Densidad real kgm ⁻³	1236.740	1237.569
Densidad aparente kgm ⁻³	680.781	694.754
Porosidad	0.45	0.44
Calor específico KJ Kg ⁻¹ °C ⁻¹	0.7850	0.7660

Fuente: Medina (2000)

CUADRO 8

LONGITUDES DE GRANOS DE CAÑIHUA, CEBADA Y HABAS.

Grano	Variedad	Diámetro (mm)
Cañihua	Ramis	1.24
	Cupi	1.035
Cebada	UNA -80	10.75
	Grignon	9.73
	Comun	11.48
Habas	Gigante 1ra. clase	25.76
	Gigante 2da. Clase	23.11

Fuente: Rosas (2003)

2.2.4. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

Según los métodos citados por la AOAC (1984).

A) HUMEDAD

El contenido en agua de un producto se define convencionalmente como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas.

FUNDAMENTO.- Este método se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento a 100 - 115°C.

TÉCNICA:

Se pesa 5 g de la muestra y se seca en una estufa a presión atmosférica a una temperatura de 115°C bajo presión atmosférica normal, durante 6 horas, transcurrido este tiempo, y

operando rápidamente, se retira la muestra de la estufa una vez tapado colocarlo en el desecador. Pesar en cuanto se enfríe en el desecador el contenido de agua de la muestra, cuya fórmula es la siguiente:

$$\%Humedad = \frac{(M_1 - M_2) * 100}{M_1}$$

Dónde:

M1 = masa inicial en gramos de la muestra.

M2 = masa en gramos del producto seco.

B) CENIZAS

El contenido en cenizas de un producto es el residuo resultante después de su incineración en condiciones determinadas las cuales constituyen en el grano las materias minerales e inorgánicas.

FUNDAMENTO.- Se basa en la incineración de las sustancias orgánicas presentes en la muestra por la acción de alta temperatura.

TÉCNICA:

Se pesa 5 g de muestra, antes de usar las cápsulas de incineración, calentarlas en el horno a una temperatura de 600 °C durante 6 horas, enfriarlas en el desecador y pesarlas cuando alcancen la temperatura ambiente. Introducir la muestra pesada en la cápsula repartiéndola en una capa de espesor uniforme, sin

comprimirla; colocar la cápsula al horno, la incineración continua hasta lograr la combustión total de la muestra, la temperatura de incineración es de 600 °C. El porcentaje de cenizas se obtiene por la formula siguiente:

$$\%Ceniza = \frac{(P_3 - P_2) * 100}{(P_1 - P_2)}$$

Dónde:

P1 = Peso de la muestra + peso de crisol

P2 - Peso del crisol

P3 = Peso de ceniza + peso de crisol

C) PROTEÍNA

Todos los alimentos naturales contienen proteínas, la proteína cruda de los alimentos se calcula en base al nitrógeno total.

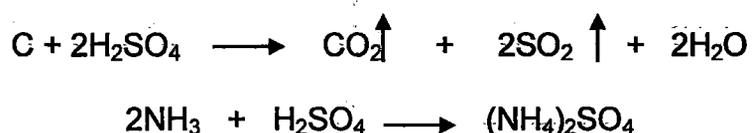
FUNDAMENTO.- Este método se basa en la transformación de los compuestos nitrogenados presentes en la muestra, en amonio, por digestión con ácido sulfúrico concentrado en presencia de oxidantes. La determinación consta de tres etapas: digestión, destilación y valoración.

➤ Digestión

Es la primera etapa que consiste en la descomposición de la materia orgánica por el ácido sulfúrico caliente

transformando el nitrógeno de la sustancia orgánica en sulfato de amonio, empleando catalizadores tales como sulfato de cobre y sulfato potásico los cuales actúan como transportadores de oxígeno. En la reacción del carbono y el hidrógeno son oxidados a dióxido de carbono y agua, además una parte del ácido se reduce a dióxido de azufre, que es el agente reductor de los compuestos.

Las reacciones son como siguen:



➤ Destilación

Esta segunda etapa, consiste en la separación del amoníaco de la sustancia digerida, alcalinizando con NaOH, recibiendo el destilado en cualquier ácido valorado. El amoníaco al condensarse pasa en forma de hidróxido de amonio, el cual se reconoce por su reactivo correspondiente y característico (reactivo de Nessler).



➤ Valoración o Titulación

Es la tercera etapa, el amoníaco destilado es absorbido poco a poco por un volumen conocido de solución valorada de HCl 0,1 N, en exceso. Este exceso se valora con una solución

de NaOH 0,1 N en presencia de rojo de metilo o de una mezcla conveniente de indicadores coloreados.

TÉCNICA:

➤ **Digestión**

- a) Se pesa 0,25 g de muestra sólida.
- b) Se introduce la muestra en el matraz kjeldahl de 100 ml.
- c) Se agrega 5 ml de ácido sulfúrico concentrado al matraz.
- d) Se agrega aproximadamente 1g de catalizador de sulfato de cobre y zinc.
- e) Se coloca los matraces en el equipo digestor Kjeldahl y activar el extractor de gases.
- f) Esperar la digestión aproximadamente 3 h.
- g) Desactivar y enfriarlo por un tiempo 40 min.
- h) La digestión termina, cuando se observa un líquido residual de color verde transparente.

➤ **Destilación**

- i) Se retira el matraz del calentador, y se deja enfriar.
- j) El digesto obtenido y diluido a 50ml se traslada a un balón de 250ml.
- k) Se agrega 30 ml hidróxido de sodio al 50%.
- l) Preparar en un vaso precipitado de 150 ml; verter 12ml de ácido bórico al 20% al que se le agrega el indicador azul

de metileno y rojo de metileno, al mezclarse con el ácido bórico y el indicador da una coloración violeta.

m) Se conecta el equipo de destilación, para destilar el balón del digestor, durante 10 a 15 minutos, hasta que el matraz receptor tome una coloración verdusca y un contenido de líquido de 100 ml aproximadamente.

n) Y activar el sistema refrigerante de agua en el equipo.

➤ **Titulación y valoración**

o) Titular con ácido sulfúrico 0,1 N

p) Leer y anotar el gasto (haciendo uso del agitador magnético)

q) La titulación termina, cuando vira de verde a violeta.

r) Lavar siempre el agitador o dispersor con agua destilada en cada ensayo.

s) Calcular el porcentaje de nitrógeno con la siguiente expresión:

$$\% \text{Proteína} = \frac{V * N * meqN * 100}{\text{pesomuestra}} * 6,25$$

Dónde:

V = volumen de gasto del ácido sulfúrico

N = normalidad del ácido

Meq = mili equivalente 14/1 000

100 = Porcentaje al 100%

6,25 = factor; relación Nitrógeno - proteína 100/16

D) GRASA

Las grasas se forman en las plantas a expensas de los carbohidratos. En los cereales el contenido de grasa es muy variable, así en el trigo es de 4%, en el maíz de 9%, en la quinua el contenido medio de grasa es 5%. El solvente utilizado para la determinación de grasa es el éter (Alvarado y Agilera, 2001).

FUNDAMENTO.- Sometiendo la muestra a la acción de un disolvente de materia grasa, usando un extractor y evaporando el disolvente una vez agotada la materia grasa, el aumento de peso del recipiente, que ha recogido durante la operación los productos de extracción, nos dará la materia grasa (Alvarado y Agilera, 2001).

TÉCNICA:

Pesar 3g de muestra molida y desecada a 100°C y envolverla en papel filtro seguidamente colocar en el equipo soxhelt, la grasa se extrae con hexano, continua la extracción hasta que el hexano se vuelva incoloro y se pesa el residuo de grasa cuando alcanza la temperatura ambiente.

El porcentaje de grasa bruta sobre sustancia seca viene dado por la fórmula (Alvarado y Agilera, 2001):

$$\%grasabruta = \frac{(P_1 - P_2) * 100}{P}$$

Dónde:

P_1 = peso, en g del matraz con el extracto etéreo.

P_2 = peso, en g del matraz vacío.

P = peso, en g de la muestra empleada.

E. FIBRA

La fibra alimentaria se puede definir como la parte de las plantas comestibles que resiste la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que experimenta una fermentación parcial o total en el intestino grueso.

FUNDAMENTO.- El método empleado permite eliminar lo que no es celulosa y se utiliza la muestra desgrasada, que viene a ser el residuo del análisis de grasas.

TÉCNICA:

Se pesa 2g de muestra desgrasada, se hecha a un matraz y se agrega 50ml de una solución acética (preparada con 80ml de ácido acético, 20ml de ácido nítrico y 20ml de agua destilada), se hierve por media hora, luego se filtra y se lava con agua destilada, más o menos 3 veces hasta que el agua lavada tenga un pH neutro, el papel filtro debe estar tarado. El filtro con la muestra se pone en la estufa a 110°C hasta peso constante.

El residuo que queda es la fibra cruda y por supuesto las cenizas que han resistido ambas digestiones, por esta razón debe de descontarse el peso de las cenizas. Al peso del filtro más la muestra, se le resta el peso del filtro, esta diferencia referida a 100, nos dará el porcentaje de fibra o celulosa Perry y Chilton (1982).

El porcentaje de fibra viene dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra} = \frac{(P_1 - P_2) * 100}{P}$$

Dónde:

P_1 = peso, en g, de ceniza.

P_2 = peso, en g, de fibra.

P = peso, en g, de la muestra empleada.

F) CARBOHIDRATOS

Los constituyentes más importantes de los carbohidratos son los almidones, que son sustancias ternarias constituidas por carbono 44%, Hidrógeno 7% y Oxígeno 49%. En todos los cereales hay presencia de almidones, además se les encuentra en las hojas, tallos, raíces, etc. Los carbohidratos se determinan por diferencia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES

3.1.1 Lugares experimentales:

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones e infraestructura de:

- La parte experimental se realizó en la Planta de Procesamiento de Industrias Tic Pac de la ciudad de Puno, ubicada a 3820 m.s.n.m.
- Las evaluaciones físicas y químicas se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicada a 3820 m.s.n.m.

3.1.2. Materia prima:

Se trabajó con Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla, que fueron adquiridos del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) Estación Experimental Rinconada – Salcedo - Puno.

3.1.3. Materiales y equipos de laboratorio

3.1.3.1 Para la determinación de la gravedad específica

Materiales:

- 01 Vaso de precipitado de 800ml
- 01 Termómetro
- 01 Pinza

Equipo:

- 01 Balanza Universal Mohr - Westphal Tipo LB
502

Reactivo:

- Agua destilada

3.1.3.2 Para la determinación de la densidad

Materiales:

- Probeta
- Vaso precipitado
- Varilla de vidrio
- Espátula
- Pizeta

Equipo:

- 01 Balanza digital modelo JB 3002-G 200g de
capacidad.

Reactivo:

- Agua destilada

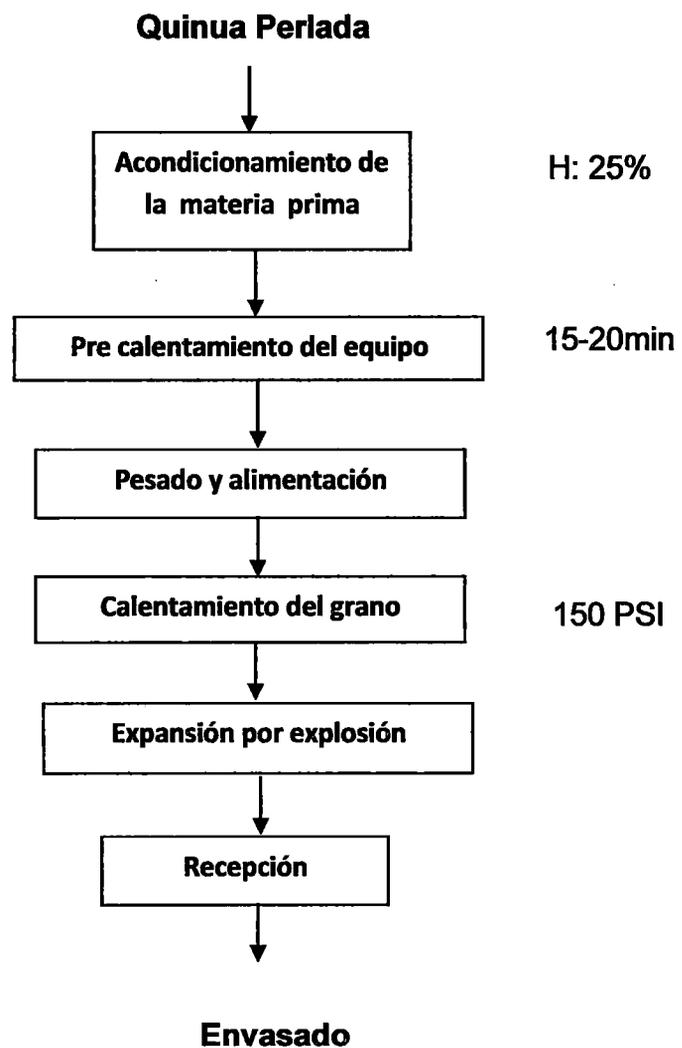
3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.2.1 Metodología experimental para la obtención de quinua expandida.

En el Diagrama de flujo de la Figura 1 se muestra la metodología que se siguió para la elaboración de quinua expandida.

Figura 1

Diagrama de flujo para la obtención de quinua expandida.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe las operaciones correspondientes:

- a) **Acondicionamiento de la materia prima.**- Los granos de quinua, fueron acondicionados a una humedad de 25%.

$$\text{Sustancia Seca} = 100\text{g}(1-0.12)=88\text{g}$$

$$\text{Agua} = 100-88 = 12\text{g}$$

$$\text{Acondicionamiento de la humedad} = 88*0.25 = 22\text{g}$$

$$\text{Total} = 88+22=110\text{g}$$

$$\text{Total de agua para 100g} = 110\text{g}-100\text{g} = 10\text{g}$$

$$\text{Total de agua a añadir para 1.5kg} = 150\text{g}$$

- b) **Pre calentamiento del equipo.**- El equipo se calentó previamente a la alimentación, por un soplete a gas durante un promedio de 18 minutos. La máquina tiene un orificio que permite la entrada directa del fuego a la cámara del cañón la cual es calentado hasta alcanzar una presión de 150 PSI, en cuyo interior es colocado el grano.
- c) **Pesado y alimentación.**- Se procedió a pesar la materia prima en una cantidad de 1 500g por batch y alimentar con la ayuda de un embudo metálico al cañón expansor, inmediatamente se procede a cerrar el equipo herméticamente.

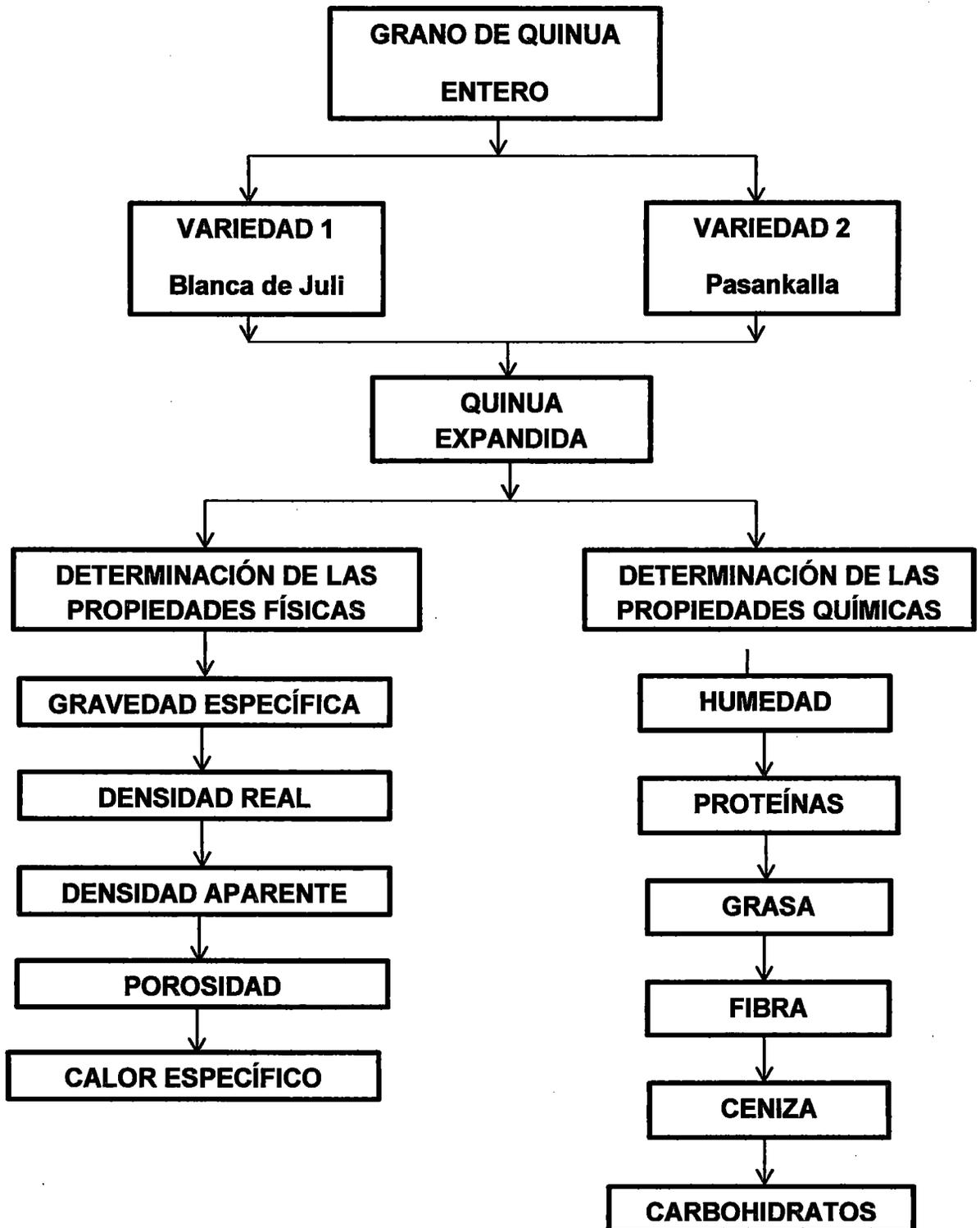
- d) **Calentamiento del grano.-** Se calentó la cámara del cañón expansor mediante un soplete, haciéndola girar permanentemente hasta la presión de 150 PSI.
- e) **Expansión por explosión.-** Operación que consiste en hacer explosionar el cañón expansor, y por diferencia de presiones ocurre el fenómeno de la expansión de los granos de quinua.
- f) **Recepción.-** Se realizó en mantas con la finalidad de amortiguar la caída de los granos expandidos evitando su deterioro y contaminación.
- g) **Envasado.-** El producto final se envaso en bolsas de polipropileno y trasladados a los laboratorios para los análisis correspondientes.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología experimental empleado en el desarrollo del presente trabajo de investigación se presenta en la Figura 2, El trabajo comprendió ensayos de quinua expandida para la determinación de las propiedades físicas y químicas.

Figura 2

Diseño experimental empleado en la determinación de las propiedades físicas y químicas de quinua expandida (*Chenopodium quinoa* Willd) de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Variables independientes o de estudio:

- Variedades de quinua expandida: Blanca de Juli y Pasankalla.

3.3.2. Variables dependientes o de respuesta:

- Propiedades físicas: gravedad específica, densidad real, densidad aparente, porosidad y calor específico.
- Composición químico proximal: humedad, proteína, grasa, fibra, cenizas y carbohidratos.



3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para la cuantificación de las propiedades físicas y químicas de los granos de quinua expandida, se condujo bajo un Diseño completo al azar de 2 x 6 repeticiones, con un total de 12 unidades experimentales, cuyo modelo matemático se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ij} : Es la variable de respuesta.

μ : Media general o parámetro común a todos los tratamientos.

T_i : Es el efecto de los tratamientos.

ε_{ij} : Error aleatorio.

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS:

Determinación de la gravedad específica

La gravedad específica de los granos de quinua expandida se determinó con la balanza Universal de Mohr Westphal, previa calibración. Se colocó las muestras dentro del hundidor de malla metálica, y éste en el platillo de inmersión, se reemplazó en el platillo portapesas los 20 g alejados por suficiente carga y la balanza volvió a ocupar su posición de equilibrio. Sustrayendo en este estado de los 20 g la suma de las pesas colocadas en el platillo portapesas, se obtuvo el peso de la muestra.

A continuación se sumergió la muestra sobre el platillo de inmersión en el vaso de precipitado (800 ml) contenido de agua destilada a 20 °C, desequilibrando la balanza. Con el objeto de reestablecer el equilibrio, se suspendió la pesa de compensación en el gancho, luego equilibrar la balanza con ayuda de las pesas corredizas. El valor numérico leído a base de la posición de las pesas corredizas corresponde a la pérdida de peso de la muestra examinada. Se registró el peso y se hizo el cálculo respectivo para la determinación de la gravedad específica, haciendo uso de la siguiente ecuación propuesta por Mohsenin (1986).

$$G_e \text{ muestra} = \frac{(W_a) \text{ muestra}}{(W_a - W_w) \text{ Hundidor y muestra} - (W_a - W_w) \text{ Hundidor}} * G_e \text{ Agua}$$

Dónde:

\bar{G}_e = Gravedad específica

W_a = Peso en el aire

W_w = Peso en el agua

b) Determinación de la densidad real

La densidad real fue determinada en función a la gravedad específica de la ecuación anterior, considerando la relación que existe entre la densidad del alimento entre la densidad del agua (Blatt, 1994).

$$G_e = \rho_{\text{muestra}} / \rho_{\text{agua}}$$

$$\rho_{\text{muestra}} = G_e \times \rho_{\text{agua}}$$

Dónde:

G_e = Gravedad específica

ρ = Densidad

La densidad del sólido (grano de quinua expandido) se determinó introduciendo una cantidad de partículas enteras, limpias y pesadas, en una probeta graduada con una determinada cantidad de agua (Alvarado, 2001).

$$\rho_p = (m / n^{\circ} \text{ granos}) / V_{\text{particula}}$$

Dónde:

ρ_p : densidad de partículas

\bar{m} : masa

nº granos : número de granos

V : densidad de partículas volumen

c) Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente del grano se determinó pesando la masa de grano contenida en un volumen definido (Lewis, 1993), para cada variedad.

$$\rho = \text{masa} / \text{volumen}$$

d) Determinación de la porosidad

La porosidad del lecho de granos de quinua expandida fue determinada con la relación citada por Lewis (1993), utilizando los datos de densidad real y densidad aparente obtenidos anteriormente, cuya formulación se cita a continuación:

$$G_e = \rho_{\text{muestra}} / \rho_{\text{agua}}$$
$$e = \left[1 - (\rho_{\text{aparente}} / \rho_{\text{real}}) \right]$$

Dónde:

G_e = Gravedad específica

e = Porosidad

e) Determinación del calor específico

El calor específico (C_p) fue determinado por la ecuación recomendada por Singh y Heldman (1998) en (KJ/kgK), la que asume un efecto aditivo de los componentes del producto y es de aplicación muy amplia Alvarado y Aguilera (2001); cuya fórmula matemática es la que sigue:

$$C_p = 1.424m_c + 1.549m_p + 1.675m_f + 0.837m_a + 4.187m_m$$

En la que m es la fracción en peso y los subíndices c, p, f, a y m se refieren a carbohidratos, proteína, grasa, cenizas y humedad respectivamente.

3.5.2. COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL

Para la determinación del contenido de humedad, grasa, carbohidratos, fibra, ceniza y proteína se realizó de acuerdo a los métodos citados por la A.O.A.C. (1984).

HUMEDAD.- Se realizó con la finalidad de determinar la cantidad de humedad que contiene el producto, el procedimiento consiste en pesar un vaso de 50ml y agregarle 5g de muestra, colocarlos en una estufa a 100 a 105 °C por 6 horas. Por diferencia de peso se obtiene la humedad de la muestra y luego se lleva a porcentaje: se utiliza la siguiente fórmula.

$$\%HUMEDAD = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

PROTEÍNA TOTAL.- Se determinó mediante el método Micro Kjeldahl (% N x 6.25), con la finalidad de conocer el nitrógeno total. El procedimiento se basa en tres fases: digestión, destilación y titulación. Para lo cual se pesan 0,2 a 0,3 g de muestra, luego se le agregó 1 g de catalizador, luego 2,5ml de ácido sulfúrico concentrado seguidamente se coloca el balón a la cocina de digestión; luego colocar la muestra digerida en el aparato de destilación, se la agregó 5ml de hidróxido de sodio concentrado e inmediatamente conectar el vapor para que se produzca la destilación. Conectar el refrigerante y recibir el destilado en un erlenmeyer de 125ml conteniendo 5ml de la mezcla del ácido bórico más indicadores de pH. La destilación termina cuando ya no pasa más amoniaco y hay viraje con ácido clorhídrico valorado (aprox. 0,005 N). Anotar el gasto, la cantidad de nitrógeno de la muestra se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\%NITROGENO = \frac{\text{ml de HCl} \times \text{Meq del } N_2}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

Para obtener la cantidad de proteína Bruta, se multiplica por el factor 6,25.

GRASA CRUDA.- Se determinó por el método Soxhlet, se empleó éter de petróleo como solvente, con la finalidad de conocer el

contenido de grasa en la muestra, para ello se pesaron 3 – 5 gramos que se empaquetó en un pedazo de papel filtro Whatman Nº 2, se colocó luego el paquete dentro del aparato, evaporar el hexano remanente en el matraz en una estufa y enfriarlas en una campana.

$$\% \text{GRASA} = \frac{\text{Peso de matraz (grasa)} - \text{Peso de M. Vacío}}{\text{Gramos de la muestra}} \times 100$$

CENIZAS.- Se pesó 2 g de muestra en un crisol de porcelana previamente tarado, luego se incineró la muestra a 600°C durante 3 a 5 horas.

$$\% \text{CENIZA} = \frac{\text{Peso ceniza}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

FIBRA CRUDA.- Se pesó un gramo de muestra seca, molida y desgrasada, la que fue colocada en un erlemeyer conectado a un refrigerante de reflujo, a continuación se añadió 50 ml de ácido sulfúrico al 1.25% en peso y hervirlo por 30 minutos, añadir luego 50 ml de hidróxido de sodio al 3.52% y hervirlo por otros 30 minutos, previamente se pesó un disco de papel filtro seco; se filtró la mezcla digerida enjuagando el erlemeyer y el embudo con varias porciones de agua destilada y finalmente con etanol, el disco filtrante y la fibra que contiene, se secó hasta peso constante, luego se enfría en el desecador y se pesa.

$$\%FIBRACRUDA = \frac{P_1 - P_2}{W} \times 100$$

Dónde:

W : Peso de la muestra seca y molida en g

P₂ : Peso del papel filtro en g

P₁ : Peso del papel filtro más fibra en g

EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (ELN).- Se determinó por diferencia de peso después de que se han completado los análisis para ceniza, fibra cruda, extracto etéreo y proteína cruda todo en base seca.

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ ceniza} + \% \text{ fibra} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína})$$

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS:

4.1.1 Resultados de la determinación de la gravedad específica.

En la figura 3, se muestran los valores promedio de la gravedad específica de la quinua expandida. Los datos registrados para la determinación de la gravedad específica se detallan en el Apéndice 1.

Figura 3

Valores promedio de la gravedad específica de la quinua expandida.



De la Figura 3, se deduce que la gravedad específica de los granos expandidos de la variedad Blanca de Juli es mayor que el de la variedad Pasankalla, los valores determinados de la gravedad específica de quinua expandida difieren al de los granos de cebada 1.13 (variedad Coast), granos de arroz 1.1 (variedad Honduras) y granos de soya 1.13 (variedad Wilson), semillas de cacao 1,0 g a 1,5 g

Sin embargo se halla en el rango 0.95 = 1.32 de los valores promedio de diferentes granos, ASAE (1991); esto se debe a que los evaluados en este trabajo son granos de quinua sometidos a un tratamiento de expansión por explosión. A su vez pueden haber sido influenciados por la composición química y el tamaño de los gránulos de almidón, las diferentes etapas de cosecha y la variedad de las muestras.

Esta diferencia de pesos con los otros cereales mencionados puede deberse también a que los autores trabajaron con granos homogéneos. La homogeneidad y selección de los granos según su tamaño resultan de suma importancia para la industria procesadora, ya que afecta la proporción de cáscara o testa, contenido de grasa y la efectividad del proceso de expansión por explosión

El análisis de varianza (Apéndice 11), reporta que existe

diferencia estadísticamente significativa entre la gravedad específica de los granos de quinua expandidos para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar cuáles medias son diferentes unas de otras, se utilizó la prueba de Tukey.

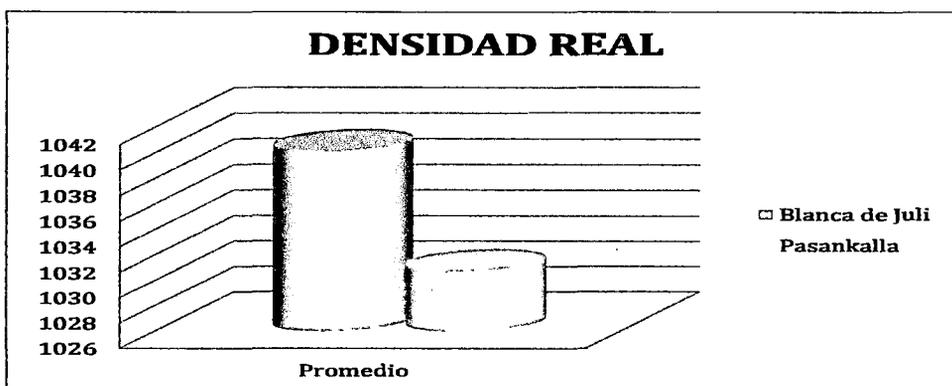
En el Apéndice 12 se muestra la media de la gravedad específica para cada nivel de variedades, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de su variabilidad en la muestra; los intervalos mostrados actualmente se basan en el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (DLS), en el estudio se puede visualizar que las medias son significativamente diferentes unas de otras.

4.1.2 Resultados de la determinación de la densidad real

En la figura 4, se observan los valores promedio de la densidad real del grano de quinua expandido y la correspondiente comparación se muestra en la figura 4.

Figura 4

Valores promedio de densidad real de quinua expandida.



La densidad real de los granos de quinua sometidos a un tratamiento de expansión por explosión, presentan valores menores en comparación al rango de 1350 – 1430 kg m⁻³ de los cereales reportados por Mohsenin (1970), asimismo Foraquita y Lipa encontraron rangos de 1135 kg.m⁻³ - 1177 kg m⁻³ para granos de cañihua entera y lavada respectivamente, con las cuales tampoco concuerda, esto debido a que se trata de granos de quinua expandidos; la densidad está relacionada con el tamaño del grano (a menor diámetro se obtiene mayor densidad en lo referente a los productos enteros).

El análisis de varianza (Apéndice 15) reporta que el factor variedad influye en el valor de la densidad real, es decir que sólo existe diferencia estadísticamente significativa en la densidad real para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó la prueba de Tukey.

En el apéndice 16, muestra la densidad real media para cada nivel de variedades, también muestra el error estándar de cada media; las dos medias son diferentes, sus intervalos no se traslapan, por lo que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que los granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli tiene mayor densidad que los granos de quinua expandidos de la variedad Pasankalla, lo que hace que se

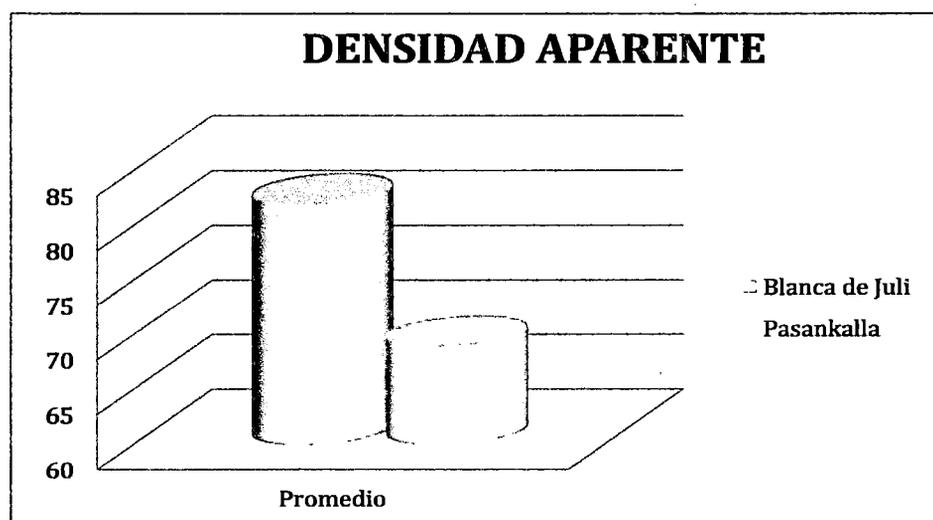
recomiende esta última para los procesos de expansión por explosión.

En el apéndice 17 de comparación múltiple de Tukey se utilizó para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en la presente investigación entre los dos pares evidencian diferencia estadísticamente significativa a un nivel de confianza 95.0%, identificándose dos grupos.

4.1.3 Resultados de la determinación de la densidad aparente

En la Figura 5, se observan los valores promedio de la densidad aparente del grano de quinua expandido y la correspondiente comparación se muestra en figura 5.

Figura 5
Valores promedio de densidad aparente de quinua
expandida.



Los granos expandidos de la variedad Blanca de Juli tienen mayor densidad aparente que la variedad Pasankalla, las variaciones apreciadas se deben a la forma y tamaño de los granos, las cuales son diferentes para cada variedad.

La densidad aparente de los granos de quinua expandidos es menor respecto a los granos enteros, comparando los datos de la investigación con los reportados por Medina (2000) quien reporta rangos de 680.78 – 765.66 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de densidad aparente para granos de quinua, sin embargo Foraquita y Lipa (2005) reportaron valores entre rangos de 675.53 – 810.78 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ para granos de cañihua; mientras que el trigo y la cebada presentan valores de 804.5 y 607.5 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ respectivamente, rangos entre 358 – 819 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de los cereales y semillas reportados por la ASAE (1991). Sin embargo comparando estos valores, con los valores hallados en el presente trabajo, las de la investigación se encuentran por rangos muy menores, esto se debe a que la inclusión de aire reduce considerablemente la densidad del producto, la cual está directamente relacionada con el contenido de sólidos totales, además un exceso de aire dará como resultado un producto nívoo, liviano y no paladeable (Lewis, 1993), vale señalar que los productos expandidos se venden por volumen más que por peso.

El Análisis de Varianza (Apéndice 19) reporta que el factor variedad influye en el valor de la densidad aparente, es decir hay diferencias estadísticamente significativas en la densidad aparente para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó la prueba de Tukey.

En el apéndice 20, muestra la densidad aparente media para cada nivel de variedades, También muestra el error estándar de cada media; las dos medias son diferentes, sus intervalos no se traslapan, por lo que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que los granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli tiene mayor densidad aparente que los granos de quinua expandidos de la variedad Pasankalla, lo que hace que se recomiende esta última para los procesos de expansión por explosión.

En el apéndice 21 se muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey la que se utilizó para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en la presente investigación entre los dos pares evidencian diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95.0%, identificándose dos grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna.

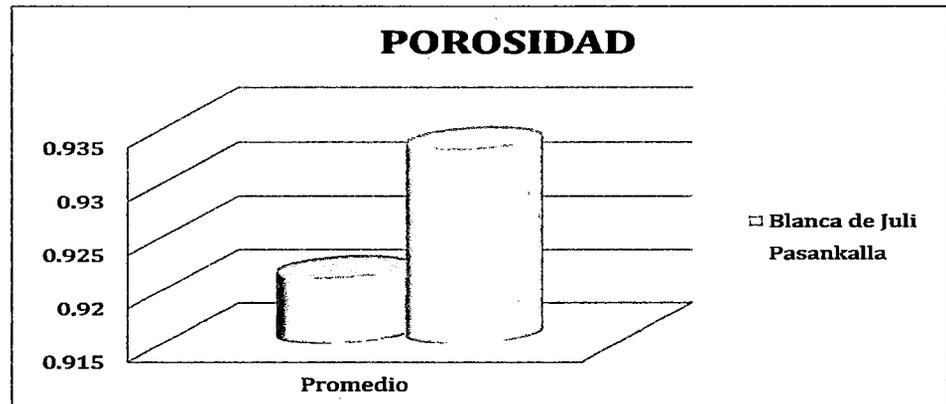
La densidad se define como la relación entre masa del producto y el volumen del mismo en granos se distinguen dos tipos de densidad; la densidad aparente (densidad del grano individual) y la densidad real. La densidad real es la relación entre el peso y el volumen total de la masa del producto, incluyendo los espacios intersticiales que dejan los materiales entre sí. También se denomina densidad volumétrica. La densidad aparente es la relación entre la masa del material y el volumen real ocupado por la partícula, excluyendo los espacios vacíos. La densidad aparente es un factor importante en el análisis de transferencias de masa y calor a través de los granos, en el control de calidad, en la evaluación, cálculo y diseño de sistemas de transporte, limpieza y clasificación, la densidad real es importante en el diseño de sistemas de almacenaje, empaque, deshidratación y transporte según Mohsenin(1986).

4.1.4 Resultados de la determinación de la porosidad

En la figura 6, se observan los valores promedio para la porosidad del grano de quinua expandido.

Figura 6

Valores promedio de porosidad de quinua expandida.



Cóndor Huamán (2001) encontró que el valor de la porosidad del grano de quinua es 0.321; asimismo Medina (2000) estudio quinua de las variedades Blanca de Juli y Kamiri encontrando rangos de 0.37 a 0.45 de porosidad, Foraquita y Lipa (2005) encontró valores de 0.426 y 0.349 para granos de cañihua de las variedades Cupi y Ramis, la ASAE (1991) reporta porcentajes de espacios vacíos (porosidad), valores entre 33.8 a 57.6 para diferentes granos y semillas; en la presente investigación se hallaron valores de 0.92 y 0.93 para los granos de quinua expandida de la variedad Blanca de Juli y Pasankalla respectivamente, valores muy altos en comparación con los citados líneas arriba, esto se debe a que los granos evaluados fueron sometidos a un proceso de expansión por explosión incorporándose aire dentro de la estructura de los granos, consecuentemente esto hace que la porosidad (fracción del volumen total que está ocupada por el aire) sea mayor (Lewis,

1993), a su vez señala que la inclusión de aire reduce la densidad del producto por lo tanto aumenta la porosidad; cabe señalar que, si un material se apelmaza el volumen total y la porosidad del producto disminuirá hasta que eventualmente el sistema alcanza un volumen de equilibrio.

El Análisis de Varianza (Apéndice 23) reporta que el factor variedad influye en el valor de la porosidad, puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, para un nivel de confianza del 95.0%. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó la Prueba de Tukey.

En el apéndice 24, muestra la porosidad media para cada nivel de variedades, también muestra el error estándar de cada media; las dos medias son diferentes, sus intervalos no se traslapan, por lo que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que los granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli presenta menor porosidad que los granos de quinua expandidos de la variedad Pasankalla, lo que hace que se recomiende esta última para los procesos de expansión por explosión.

En el apéndice 25 se muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la que se utilizó para determinar cuáles medias

son significativamente diferentes de otras, en la presente investigación entre los dos pares evidencian diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95.0%, identificándose dos grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna.

La porosidad es la cantidad de espacios vacíos que dejan los granos entre sí dentro de un recipiente, los cuales son ocupados por el aire. Se expresa como la relación entre el volumen de dichos vacíos y el volumen total. La porosidad juega un papel importante en el secado y en los procesos de aireación de los granos ya que de ella depende el movimiento y la resistencia que presenta el aire al atravesar una capa gruesa de grano.

Según Villamizar et al. (2004) es poco el conocimiento de las características físicas y mecánicas de muchos productos de origen vegetal. Estas propiedades constituyen información básica de ingeniería, esencial para el diseño y optimización de maquinaria, equipos, estructuras y procesos. El desconocimiento de estas propiedades lleva a procesos agroindustriales poco eficientes, donde el diseño y construcción de equipos, estructuras y procesos agroindustriales se basan en el conocimiento empírico y también, en la mayoría de los casos, se utiliza maquinaria importada agregando mayores costos de inversión.

Actualmente, las metodologías de medición para la evaluación de las características físicas y mecánicas de los materiales vegetales difieren y en algunos casos no se conocen, lo cual no permite la adecuada comparación e interpretación de los resultados dificultando modelar los procesos tecnológicos

4.1.5 Resultados de la determinación del calor específico

En el Cuadro 09, se observan los valores promedio del calor específico del grano de quinua expandido.

CUADRO 09
VALORES PROMEDIO DE CALOR ESPECIFICO DE QUINUA
EXPANDIDA.

VARIEDADES		C_p (prom.) (KJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
BLANCA DE JULI		
Humedad	8	1.5914
Proteínas	11.8	
Grasa	4.8	
Ceniza	2.3	
Carbohidratos	68.4	
PASANKALLA		
Humedad	7.5	1.5778
Proteínas	10.2	
Grasa	5.1	
Ceniza	2.1	
Carbohidratos	70.3	

Fuente: Collazos *et. al* (1993), Tapia *et. al* (1979), Minaya (1981)

Los granos de quinua expandida variedad Blanca de Juli tienen mayor valor de calor específico frente a la variedad Pasankalla. La quinua expandida variedad Pasankalla necesita mayor energía para incrementar un grado de temperatura. El C_p de los granos de quinua expandidos es superior al C_p de los granos enteros de quinua $0.766 - 0.785 \text{ KJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ reportados por (Medina, 2000) y a los reportes de Foraquita y Lipa (2005) cuyos valores oscilan entre 0.869 y 0.865 para granos de cañihua de las variedades cupi y ramis respectivamente. Lewis (1993), menciona que durante procesos tales como la evaporación y deshidratación, el calor específico del alimento puede disminuir, a su vez granos secos y alimentos en polvo también tienen valores muy bajos, así el agua presenta valores de $4.18 \text{ KJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ y el trigo $1.46 - 1.80 \text{ KJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (10% humedad), el C_p de las sustancias está relacionado con el contenido de sólidos totales, lo cual influye en su disminución; en la presente investigación el contenido de humedad fue de 8 y 7.5 % para la variedad Blanca de Juli y Pasankalla respectivamente.

Los datos obtenidos del ANOVA, apéndice 27, visualizando que el p-valor del test F es inferior a 0.05, entonces hay diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de calor específico, lo que evidencia que el C_p es influenciado por las variedades a un nivel de confianza del 95.0%.

En el apéndice 28, muestra el calor específico medio para cada nivel de variedades, También muestra el error estándar de cada media; las dos medias son diferentes, sus intervalos no se traslapan, por lo que los tratamientos muestran diferencias significativas, mostrando que los granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli presenta mayor calor específico que los granos de quinua expandidos de la variedad Pasankalla.

En el apéndice 29 se muestra la prueba de comparación múltiple de Tukey, la que se utilizó para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, en la presente investigación entre los dos pares evidencian diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95.0%, identificándose dos grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna, visualizándose que los granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli presentan valores mayores que los granos de quinua expandidos de la variedad Pasankalla.

4.2. Resultados de la composición químico proximal

En el Cuadro 10, se muestra los valores resultantes de quinua expandida para la composición químico proximal.

CUADRO 10

COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE QUINUA EXPANDIDA.

Componentes	PASANKALLA	BLANCA DE JULI
Humedad	7.5	8
Proteínas	10.2	11.8
Grasa	5.1	4.8
Fibra	4.8	4.7
Geniza	2.1	2.3
Carbohidratos	70.3	68.4

Fuente: Elaboración propia

De los resultados, se puede observar que comparando con los granos enteros de la tabla N° 01 y producto expandido se destaca que la quinua al ser expandida redujo su humedad notablemente desde niveles entre 12 y 13 %, Tacora describe que la humedad inicial sufre una disminución en ambas variedades de cañihua de 8.26% a 7.5% en la variedad illpa y de 7.5% a 4.29% en la variedad cupi , Paggi también nos muestra una reducción significativa de la quinua en cuanto al contenido de humedad de 11.90 % a 2.25% esta reducción en el contenido de humedad en los cereales antes mencionados se debe a la liberación de agua del grano por efecto de la influencia del calor y la presión producidos durante el proceso de expansión, permitiendo primero el tostado y luego el inflado del grano, 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 y el producto resultante contiene alrededor de 3% de humedad, 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.

Otro componente que disminuye significativamente por efecto de la alta presión y temperatura alcanzadas durante la expansión, es la fibra cruda, reduciéndose a valores de 4.7 y 4.8 para granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli y Pasankalla; Concordando con este estudio según Tacora el contenido de fibra en la cañihua al ser expandida disminuye ligeramente de 6.41% a 5.51% en la variedad illpa y de 6.91% a 6.36% en la variedad cupi, de ello concluimos que el contenido de fibra en la quinua es una compleja mezcla de hidratos de carbono, conocidos actualmente como polisacáridos no almidonosos (PNA), este comprende los grupos insolubles y los solubles en agua. El consumo de PNA tiene muchos efectos beneficiosos para la salud; la cantidad deseable es de 18 g. por día que en la cañihua el contenido de fibra cruda de ambas variedades de cañihua disminuye ligeramente a pesar que la presión del proceso de expandido aumenta, esto se explica porque el alto contenido de fibra la cañihua se debe a la presencia de perigonios que envuelven el grano y que no son eliminados por completo al someterlos al proceso de expansión por explosión los valores de ceniza, comparando los resultados del presente trabajo de investigación 2.3 y 2.1 % para

granos de quinua expandida de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla respectivamente, se vieron afectados ligeramente por efecto del proceso de expansión, deduciéndose que en la cáscara del grano se localizan minerales importantes, los cuales se pierden junto con la fibra durante el proceso.

Comparando con los resultados de Tacora la ceniza existente en la cañihua experimenta una disminución mínima, se debe probablemente a que ante un incremento de temperaturas, la superficie externa de la cañihua es chamuscada ligeramente por ser este un grano resistente.

En el estudio se reporta resultados de lípidos de 4.8 y 5.1 % para granos de quinua expandidos de la variedad Blanca de Juli y Pasankalla, Sucari menciona una disminución en el contenido de grasa de 7.31% a 7.29% en la variedad ramis y de 8.82% a 8.80% para la variedad Cupi, Tacora reporta valores de 8.79% a 7.92% en la variedad illpa y de 8.15% a 7.15% respecto al contenido de grasa, ambos autores trabajaron con la cañihua, de ello vemos que El contenido de grasa disminuye levemente en ambos cereales según los resultados reportados anteriormente , esto debido a una posible hidrólisis de las grasas pudiendo saponificarse existiendo a su vez una disminución progresiva de la grasa a medida que se aumentaba la presión, esto podría ser a consecuencia de la volatilización de algunos ácidos grasos debido a la alta temperatura teniendo como consecuencia un efecto

deteriorativo (quemadura) de la alta temperatura sobre el germen, donde se concentra el 30% de los lípidos del grano en los cereales, en los resultados de paggi el contenido de grasa aumenta ligeramente entonces se deduce que pudo haber ocurrido una oxidación debido a las altas temperaturas con las que trabajo su proceso, lo que ocasionaría un sabor a rancio en el producto final del resultado el contenido de proteína es de 10.2 % en la variedad y de Pasankalla 11.8% en la variedad Blanca de Juli, Sucari da a conocer que para la variedad Ramis el contenido de proteína se redujo de 16.60% a 16.32% y para la variedad cupi de 15.19% a 14.93% en la cañihua.

De ello deducimos que el contenido de proteína de la quinua y de la cañihua sufre un descenso a medida que aumenta la temperatura, esto se debe posiblemente a que en el proceso pudo ocurrir disminución de la cantidad en las proteínas por causa de la reacción de Maillard en presencia de carbohidratos reductores, sin embargo Tacora nos indica que en la cañihua al ser sometida al proceso de expansión por explosión el contenido de proteínas disminuye significativamente en las dos variedades de 13.67% a 9.55% en la variedad illpa y de 14.85% a 6.01% en la variedad cupi , ello debido a que la baja presión inicial a la cual trabajó , ocasiono que el producto no se expanda adecuadamente quemando en mayor grado la superficie del grano, trayendo como consecuencia la pérdida del embrión de la cañihua en el cual se concentra una importante cantidad de proteínas, en cuanto a los porcentajes de proteína en la quinua expandida Tello nos da a

conocer valores de 9.47% para la variedad Blanca de Juli, 12.62% para la variedad salcedo INIA Y 6.9% para la variedad Kancolla resultados similares a los determinados en este estudio por lo que deducimos que la variedad de quinua es un factor determinante en el contenido de proteínas.

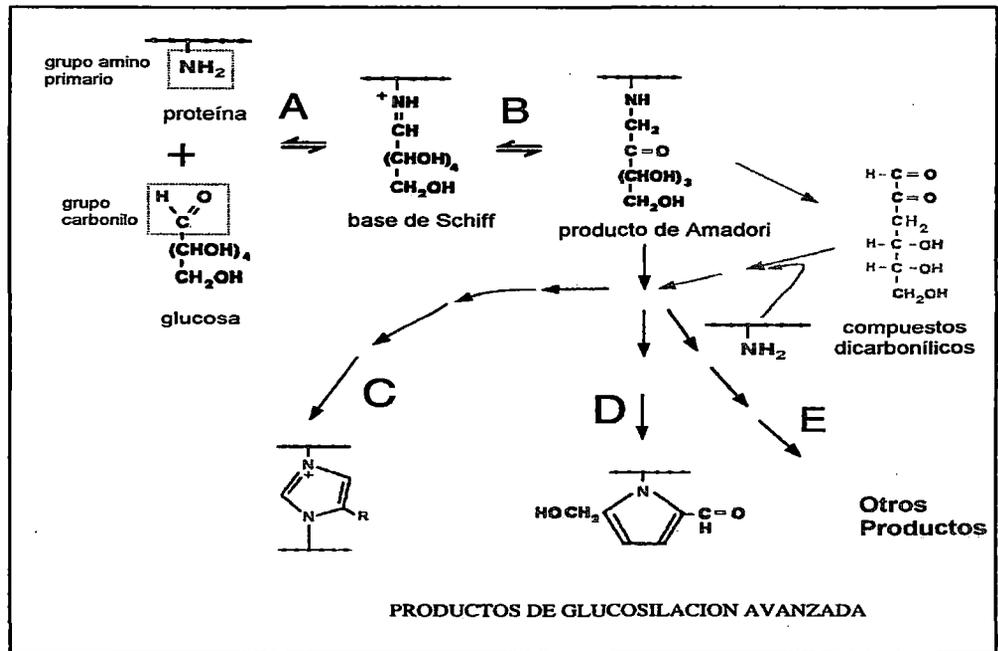
Paggi reporta un ligero aumento en el contenido de proteínas de la quinua al ser expandida de 12,03% a 13,20% , ello se debe quizás a que uso la leche como recubrimiento de los cereales que sometió a expansión en su investigación. Como se sabe los cereales son deficientes en lisina, sin embargo, algunos cereales contienen un exceso de ciertos aminoácidos esenciales como la quinua influyendo en la eficiencia de la asimilación de las proteínas, la deficiencia en lisina que presentan la mayoría de los cereales, puede incrementarse debido a las alteraciones que ocurren en las proteínas a las altas temperaturas a que son sometidos los granos durante el proceso de expansión El único límite a la riqueza proteica de los cereales es su deficiencia en ciertos aminoácidos esenciales, por lo cual para aprovechar al máximo su aporte es necesario complementarlos con la ingesta de otros alimentos proteicos ricos en esos aminoácidos limitantes.

En cuanto al contenido de carbohidratos de acuerdo a los resultados se detalla un aumento de estos Paggi reporta valores de 64,20% en la quinua antes de ser expandida a 75,65% al final del

expandido y según Tacora el porcentaje de carbohidratos aumento de 60.76% a 67.45% en la variedad Illpa y de 59.45% a 69.77%.en la variedad cupi ello se debe a la reducción del contenido de humedad en los cereales el valor nutritivo de los cereales expandidos está dado mayormente por su contenido en carbohidratos, principalmente el almidón, el almidón es el ingrediente de los alimentos que más consumen los humanos y provee un 75 – 80 % del aporte energético total.¹ Su empleo como fuente de energía presenta una ventaja significativa, ya que promueve la utilización de la grasa, cual lleva a una reducción de los depósitos adiposos y de la obesidad por otro lado permite que las proteínas sean utilizadas para otros fines más importantes, como por ejemplo el recambio de proteína tisular. Finalmente los hidratos de carbono constituyen una fuente de energía mucho más abundante y económica que las grasas y proteínas.

Figura 7

Esquema de reacción del proceso de glucosilación no enzimática de proteínas.



En cuanto a cenizas refiere, comparando los resultados del presente trabajo de investigación 2.3 y 2.1 % para granos de quinua expandida de las variedades Blanca de Juli y Pasankalla respectivamente, este componente experimentó una disminución ligera por efecto del proceso de expansión, deduciéndose que en la cáscara del grano se localizan minerales importantes, los cuales se pierden junto con la fibra durante el proceso.

CONCLUSIONES

De la investigación efectuada se llegó a las siguientes conclusiones:

La variedad de quinua Pasankalla presenta características físicas adecuadas para los procesos de expansión por explosión, que la variedad Blanca de Juli, cuyos valores son: 1.030736838 gravedad específica, 1030.736838 Kg/m³ densidad real, 68.95740688 Kg/m³ densidad aparente, 0.934183097 de porosidad y 1.5778 KJ.kg⁻¹.K⁻¹ para el calor específico.

Los granos de quinua fueron influenciados por el calor y la presión producidos durante el proceso de expansión, así para la variedad Pasankalla se tuvo los siguientes valores: humedad 5.5%, 10.2% de proteínas, grasa 5.1%, fibra 4.8%, cenizas 2.1% y 70.3% de carbohidratos; y para la variedad Blanca de Juli humedad 8%, 11.8% de proteínas, grasa 4.8%, fibra 4.7%, cenizas 2.3% y 68.4% de carbohidratos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los datos obtenidos para la fabricación de equipos procesadores (batidora de expandidos).

En el procesamiento de expansión por explosión de granos de quinua, se recomienda utilizar la variedad Pasankalla.

Efectuar estudios de las demás propiedades físicas en las variedades estudiadas en la presente investigación, a su vez de estudiar las propiedades mecánicas y termales.

Estudiar la influencia de los diferentes procesos agroindustriales sobre las propiedades físicas, termales, mecánicas y químicas de los cultivos andinos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcázar del Castillo, J. & Pareja, L. (2001). *Tecnología de Cultivos Andinos*.

SENATI. Cusco Perú.

Álvarez, *Caracterización Física de Semillas de Cacao (Theobroma cacao L.)*

Tesis Universidad Nacional del Altiplano – Puno

Alvarado, J. & Aguilera, J.M. (2001). *Métodos para Medir las Propiedades*

Físicas en la Industria de los Alimentos, España, Editorial Acribia, S.A.

A.O.A.C. (1984). *Oficial Methods of Analysis of the Association of the Oficial*

Agricultura Chemist. Ed. Boar.

ASAE (1991) *American Society of Agricultural Engineers*.

Avalos, C. (2007). *Revista Generación Ecología y Biodiversidad. Quinoa,*

Alimento Inca en tiempos Modernos. Lima Perú.

Belitz, H. D. Y Grosh, w., (1994). “*Química de los Alimentos*”. Edit. McGRAW –

HILL de MEXICO S. A. de C.V. México.

Bender, A. (1973), *Nutrición y Alimentos Dietéticos*, Editorial Acribia, Zaragoza.

Blanco, T. et. al. (2001). *Evaluación de la composición Nutricional de Quinoa*

Procedente del departamento de Junín, Puno, Apurímac, etc. - Perú.

Blatt, F. (1994). *Fundamentos de Física. Prentice Hall Hispanoamérica. México*
D.F –México.

CIRNMA (1998) *Centro de Investigaciones de Recursos Naturales y Medio*
Ambiente.

Collazos, C. (1993). *Composición de Alimentos de Mayor Consumo en el Perú.*
Edit. Interamericana S.A. Lima Perú.

Condorhuaman, C., (2001). "*Secado de Granos, Perdida de Presión en Lecho*
Surtidor", Tesis. Departamento Académico de Operaciones Unitarias,
Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor
de San Marcos

Foraquita, L. y Lipa, N. (2005). *Propiedades Físicas Y Termales De Dos*
Varietades De Cañihua (Chenopodium Canihua Cook). Tesis
Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

Gonzales, S.J. (1991). "*Elaboración a base de cereales expandidos*". Rev.
Industrias alimenticias Vol. 2 N° 5 Colombia.

Gupta, R. K y Das, S. K. (1997). *Physical Properties of Sunflower Seeds,*
Journal Agricultural Engineering Research 66: 1-8.

- Harmond, J. & Brandenburg, N. (1965). *Physical Properties of Seed*,
Transactions of the ASAE, Vol.8 N°1, 30-32.
- Hernández, B. & León, J. (1992). "Cultivos marginados otra perspectiva 1492
colección FAO" ONU Food Nutr. Bull 2(4):38-46
- INEI (2005). *Instituto Nacional de Estadística e Informática. Compendio
Estadístico Regional*.
- Kibar, H. (2003). *Efecto del contenido en humedad sobre las propiedades
físicas y mecánicas del arroz (Oryza sativa L.)* Department of
Agricultural Structures and Irrigation. Faculty of Agriculture. University of
Ondokuz Mayıs. Samsun - Turkey
- Lassa, M. (2008) "Evaluación de las propiedades físicas y disponibilidad de
minerales de expandidos fortificados, elaborados en base a maíz y soja"
tesis para optar el título de magister en Ciencia y Tecnología de
alimentos. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería.
Córdoba -Argentina.
- León, J., (2003). "Cultivo de la Quinoa",. Universidad Nacional del Altiplano
Puno-Perú.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de
procesado*. Editorial Acribia, Zaragoza España.

- Medina, W. (2000). *Determinación de las propiedades físicas, mecánicas y termales de quinua (Chenopodium quinoa Wild) variedad Blanca de Juli y Kamiri*. Tesis. Universidad de Concepción. Chillán – Chile.
- Ministerio de Agricultura. Dirección Regional de Agricultura Región Puno – Perú. Informe estadístico 2012.
- Mohsenin, N.Ē. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Minaya, I. (1981). *Sub-proyecto Industrialización del grano de quinua: eliminación de la saponina por el método seco*. Instituto de Investigación Agroindustrial. Lima- Perú.
- Mujica, A. (1974). *Tecnología de la quinua*. Ministerio de Agricultura Zona Agraria XII. Boletín Técnico N° 25. Puno, Perú.
- Mujica, et.al. (2001). *Origen y descripción de la quinua*. pp. 9-29 En: Mujica, A., S. Ē. Jacobsen, J. Izquierdo & J. P. Marathee (eds.) *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y futuro*. FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile.
- Mujica, A. y Ortiz R. R. (2006). *Quinua: un Cultivo Multipropósito para usos agroindustriales en los Países Andinos*. Lima Perú.

Oje, K. & Ugbor, E.C. (1991). *Some physical properties of oil bean seed.*

Journal of Agricultural Engineering Research. USA.

Paggi, V. (2003) *“Adecuación de una Máquina Expansora de Cereales tipo*

cañón para prácticas de laboratorio en la Universidad Tecnológica

Equinoccial. Estudio de caso: Arroz (Oryza sativa L.), Maíz (Zea mays

L.), Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) y Trigo (Triticum vulgare L.)”

.Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Universidad

Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela

de Ingeniería en Industrialización de Alimentos. Quito-Ecuador

Perry, R. & Chilton, C. (1982). *Manual del Ingeniero Químico. México., Edit. Mc*

Graw-Hill de México, S.A., 5ta Edic. Vol I

Repo Carrasco, R. (1992). *Cultivos Andinos y la Alimentación Infantil. AIDI de*

Arteta S.A. Lima Perú.

Rosas, G. K. (2003) *“Determinación de las Propiedades Físicas de granos de*

cañihua, cebada y haba”. Informe. UNA, Puno – Perú.

Shepherd, H. & Bhardwaj, R. K. (1986). *Moisture-dependent Physical*

Properties of Pigeon Pea, Journal agricultural Engineering Research 35:

227-234.

- Sucari, M.L. (2003). *Determinación de humedad y presión en el proceso de expansión por explosión para dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Tesis Universidad Nacional del Altiplano – Puno.
- Tapia, M. (1979). *Potencial Agroindustrial de los cultivos andinos sub-explotados*. Santiago, Chile, Editorial Gegra S.A.
- Tacora, R. (2010). *Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*, Artículo de Ciencia y Tecnología Agraria, versión 2072-1404. La Paz - Bolivia.
- Talavera (2003) *“Determinación de la variedad de quinua (Chenopodium quinoa Willd) expandida para la elaboración de barras de chocolate”*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. UNA- Puno.
- Tello, K. (2009) *“Demanda de la Quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) a nivel Industrial”* .Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Agronegocios .Universidad Nacional Agraria. La Molina .Lima-Perú
- Villanueva, V. y otros (2007). *Movimiento Manuela Ramos: El camino de la Quinua*, Primera Edición. Lima Perú.

ANEXOS

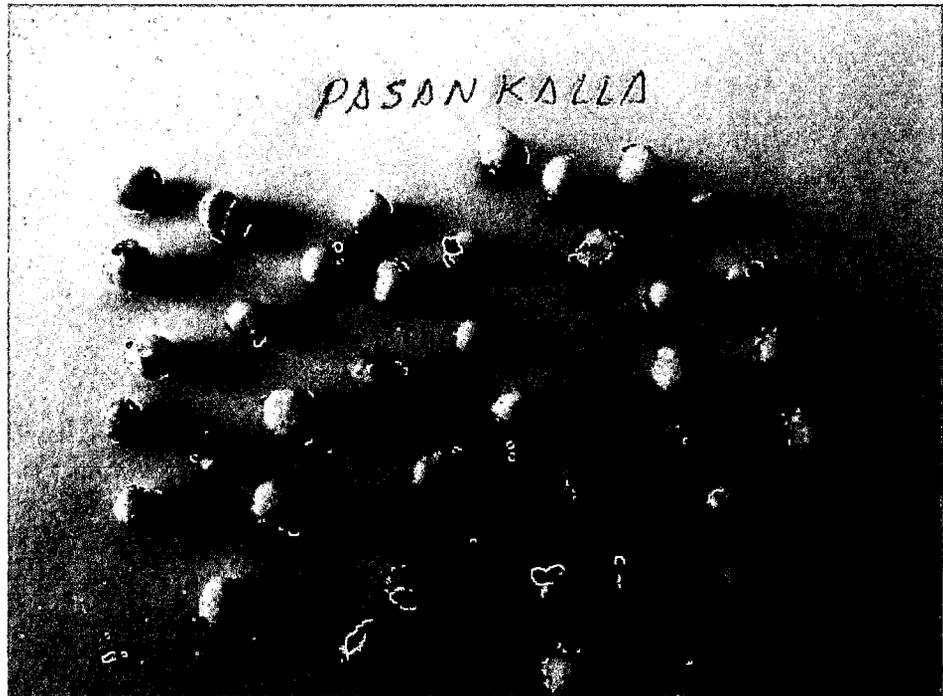
1. Quinoa expandida variedad Blanca de Juli embolsado laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013



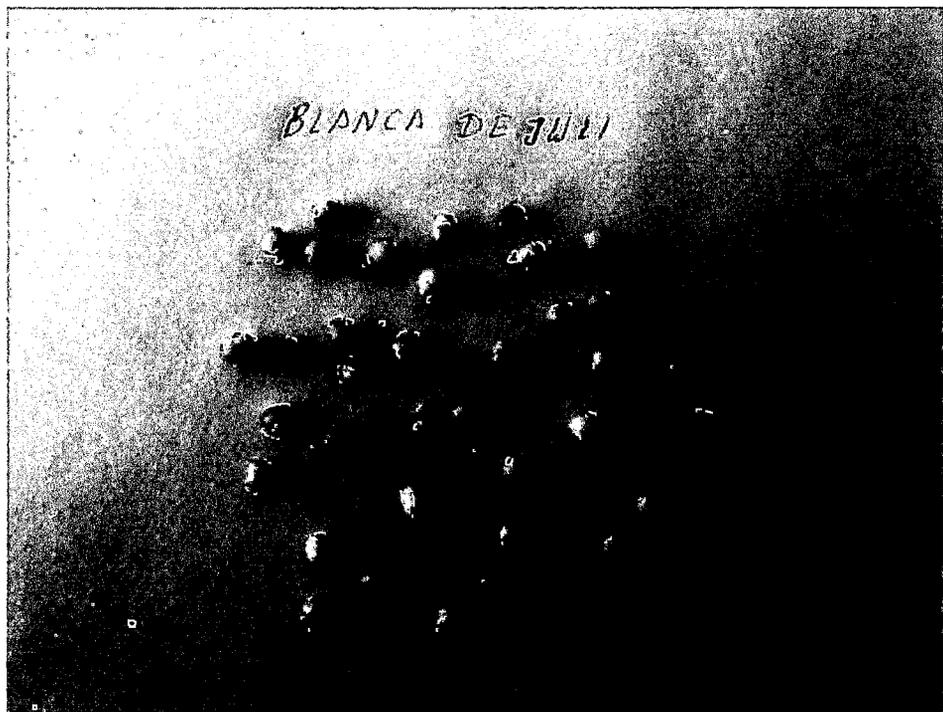
2. Quinoa expandida variedad Pasankalla embolsado laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013



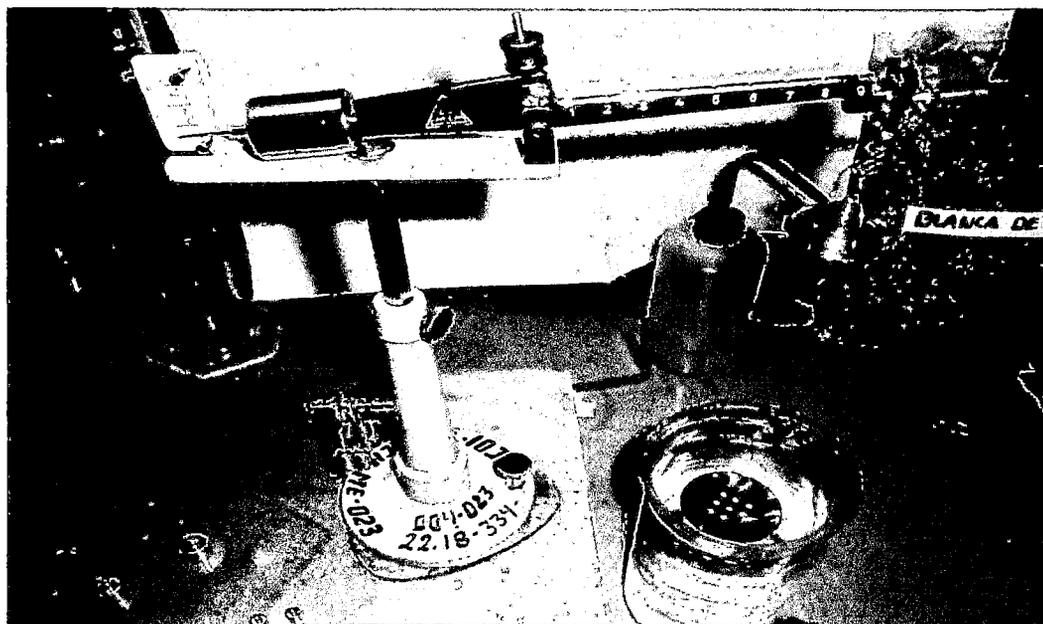
3. Quinoa expandida variedad Pasankalla laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013



4. Quinoa expandida variedad Blanca de Juli laboratorio Universidad Nacional del Altiplano 2013



5. Balanza Universal Mohr – Westphal laboratorio pastas y harinas E.P.A. Universidad Nacional del Altiplano 2013



6. DATOS EXPERIMENTALES DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI.

CUADRO DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA								
	VARIEDAD	REP	EN EL AIRE		EN EL AGUA		G. Especifica (Blanca De Juli)	
			W + Canasta	Canasta	W + Canasta	Canasta		
1	BLANCA DE JULI	REP 1	14.014	8.822	0.215	0.024	1.03819236	
2		REP 2	14.14	8.822	0.247	0.024	1.0437684	
3		REP 3	14.142	8.822	0.22	0.024	1.03825137	
4		REP 4	14.077	8.822	0.231	0.024	1.04100634	
5		REP 5	14.141	8.822	0.234	0.024	1.04110393	
6		REP 6	14.078	8.822	0.218	0.024	1.03832477	
Fuente: Elaboración propia							\bar{x}	1.04010786

7. DATOS EXPERIMENTALES DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD PASANKALLA.

CUADRO DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA								
	VARIEDAD	REP	EN EL AIRE		EN EL AGUA		G. Especifica (Pasankalla)	
			W + Canasta	Canasta	W + Canasta	Canasta		
1	PASANKALLA	REP 1	14.145	8.822	0.175	0.024	1.029195669	
2		REP 2	14.149	8.822	0.181	0.024	1.030367505	
3		REP 3	14.151	8.822	0.192	0.024	1.032551831	
4		REP 4	14.148	8.822	0.178	0.024	1.029775715	
5		REP 5	14.150	8.822	0.187	0.024	1.031558567	
6		REP 6	14.148	8.822	0.184	0.024	1.030971738	
Fuente: Elaboración propia							\bar{x}	1.030736838

8. DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD REAL DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI.

CUADRO DE VALORES DE DENSIDAD REAL (Quinua Expandida)			
	VARIEDADES	REP	Valores De Densidad Real (Kg/m ³)
1	BLANCA DE JULI	REP 1	1038.192362
2		REP 2	1043.7684
3		REP 3	1038.251366
4		REP 4	1041.006339
5		REP 5	1041.103934
6		REP 6	1038.324773
\bar{x}			1040.10786

Fuente: Elaboración propia

9. DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD REAL DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD PASANKALLA.

CUADRO DE VALORES DE DENSIDAD REAL (Quinoa Expandida)			
	VARIEDADES	REP	Valores De Densidad Real (Kg/m ³)
1	PASANKALLA	REP 1	1029.195669
2		REP 2	1030.367505
3		REP 3	1032.551831
4		REP 4	1029.775715
5		REP 5	1031.558567
6		REP 6	1030.971738
	\bar{x}		1030.736838

Fuente: Elaboración propia

10. DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD APARENTE DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI.

CUADRO DE VALORES DE DENSIDAD APARENTE (Quinoa Expandida)			
	VARIEDADES	REP	Valores Densidad Aparente (Kg/m ³)
1	BLANCA DE JULI	REP 1	79.5044069
2		REP 2	85.3503192
3		REP 3	81.1120328
4		REP 4	82.4273631
5		REP 5	83.3042499
6		REP 6	80.3812938
	\bar{x}		82.01327763

Fuente: Elaboración propia

11. DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD APARENTE DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD PASANKALLA.

CUADRO DE VALORES DE DENSIDAD APARENTE (Quinua Expandida)			
	VARIETADES	REP	Valores Densidad Aparente (Kg/m ³)
1	PASANKALLA	REP 1	68.68946923
2		REP 2	67.08184336
3		REP 3	71.02783414
4		REP 4	67.9587302
5		REP 5	69.12791265
6		REP 6	69.85865169
	\bar{x}		68.95740688

Fuente: Elaboración propia

12. DATOS EXPERIMENTALES DE LA POROSIDAD DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI.

VALORES DE POROSIDAD (Quinua Expandida)			
	VARIETADES	REP	POROSIDAD
1	BLANCA DE JULI	REP 1	0.923420351
2		REP 2	0.918228681
3		REP 3	0.921876305
4		REP 4	0.920819538
5		REP 5	0.919984694
6		REP 6	0.922585596
	\bar{x}		0.921152527

Fuente: Elaboración propia

13. DATOS EXPERIMENTALES DE LA POROSIDAD DE QUINUA EXPANDIDA DE LA VARIEDAD PASANKALLA.

VALORES DE POROSIDAD (Quinua Expandida)			
	VARIETADES	REP	POROSIDAD
1	PASANKALLA	REP 1	0.934426342
2		REP 2	0.936149653
3		REP 3	0.932034284
4		REP 4	0.935231821
5		REP 5	0.934023698
6		REP 6	0.933232787
	\bar{x}		0.934183097

Fuente: Elaboración propia

14. DATOS EXPERIMENTALES DEL CALOR ESPECIFICO DE QUINUA EPANDIDA DE LA VARIEDAD BLANCA DE JULI Y PASANKALLA.

VALORES DE CALOR ESPECÍFICO (C_p) (Quinoa Expandida)		
VARIEDADES		C_p ($J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
BLANCA DE JULI		
CONDUCTIVIDAD TERMAL ($W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)	0.05544	3.35158E-12
DIFUSIVIDAD TERMAL ($m^2.s^{-1}$)	6.28789E-08	
DENSIDAD ($Kg.m^{-3}$)	1040.10786	
PASANKALLA		
CONDUCTIVIDAD TERMAL ($W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)	0.04752	2.48477E-12
DIFUSIVIDAD TERMAL ($m^2.s^{-1}$)	5.38962E-08	
DENSIDAD ($Kg.m^{-3}$)	1030.736838	

Fuente: Elaboración propia

15. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA.

VARIEDADES	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo
1	6	1.04011	0.00000509882	0.00225806	1.03819
2	6	1.03074	0.000001492	0.00122147	1.0292
Total	12	1.03542	0.0000269457	0.00519092	1.0292
VARIEDADES	Máximo	Rango	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada	
1	1.04377	0.00557604	0.825136	-0.208544	
2	1.03255	0.00335616	0.320666	-0.32251	
Total	1.04377	0.0145727	0.316681	-1.17682	

Fuente: Elaboración propia

16. ANOVA PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA SEGÚN VARIEDADES.

Fuente	Sumas de <u>cuad.</u>	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.000263448	1	0.000263448	79.94	0.0000
Intra grupos	0.0000329541	10	0.00000329541		
Total (Corr.)	0.000296402	11			

Fuente: Elaboración propia

17. MEDIAS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA CON INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

VARIEDADES	Frec.	Media	Error Estándar (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
1	6	1.04011	0.000741104	1.03894	1.04128
2	6	1.03074	0.000741104	1.02957	1.0319
Total	12	1.03542			

Fuente: Elaboración propia

18. PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
VARIEDADES	Frec.	Media	Grupos homogéneos
2	6	1.03074	X
1	6	1.04011	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
1 - 2	*0.00937102		0.00233527
* indica una diferencia significativa.			

Fuente: Elaboración propia

19. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA DENSIDAD REAL.

VARIETADES	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo
1	6	1040.11	5.09882	2.25806	1038.19
2	6	1030.74	1.492	1.22147	1029.2
Total	12	1035.42	26.9457	5.19092	1029.2
VARIETADES	Máximo	Rango	Asimetría tipi.	Curtois tipificada	
1	1043.77	5.57604	0.825136	-0.208544	
2	1032.55	3.35616	0.320666	-0.32251	
Total	1043.77	14.5727	0.316681	-1.17682	

Fuente: Elaboración propia

20. ANOVA PARA DENSIDAD REAL.

Fuente	Sumas de <u>cuad.</u>	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	263.448	1	263.448	79.94	0.0000
Intra grupos	32.9541	10	3.29541		
Total (Corr.)	296.402	11			

Fuente: Elaboración propia

21. MEDIAS DE DENSIDAD REAL CON INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

VARIETADES	Frec.	Media	Error Estándar (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.
1	6	1040.11	0.741104	1038.94	1041.28
2	6	1030.74	0.741104	1029.57	1031.9
Total	12	1035.42			

Fuente: Elaboración propia

22. PRUEBAS MÚLTIPLE DE RANGO PARA DENSIDAD REAL.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey.			
VARIEDADES	Frec.	Media	Grupos homogéneos
2	6	1030.74	X
1	6	1040.11	X
Contraste	Diferencias	+/- Límites	
1 - 2	*9.37102	2.33527	
* indica una diferencia significativa.			

Fuente: Elaboración propia

23. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA DENSIDAD APARENTE.

VARIEDADES	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo
1	6	82.0133	4.54879	2.13279	79.5044
2	6	68.9574	1.94297	1.39391	67.0818
Total	12	75.4853	49.4387	7.03127	67.0818
VARIEDADES	Máximo	Rango	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada	
1	85.3503	5.84591	0.572465	-0.178599	
2	71.0278	3.94599	0.221452	-0.120172	
Total	85.3503	18.2685	0.122347	-1.45119	

Fuente: Elaboración propia

24. ANOVA PARA DENSIDAD APARENTE SEGÚN VARIEDADES.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	511.367	1	511.367	157.54	0.0000
Intra grupos	32.4588	10	3.24588		
Total (Corr.)	543.826	11			

Fuente: Elaboración propia

25. MEDIAS DE DENSIDAD APARENTE CON INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

con 95.0 intervalos LSD					
Error Estándar					
VARIETADES	Frec.	Media (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.	
1	6	82.0133	0.735514	80.8544	83.1721
2	6	68.9574	0.735514	67.7986	70.1162
Total	12	75.4853			

Fuente: Elaboración propia

26. PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGO PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey				
VARIETADES	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
2	6	68.9574	X	
1	6	82.0133	X	
Contraste	Diferencias		+/- Límites	
1 - 2		*13.0559	2.31766	
* indica una diferencia significativa.				

Fuente: Elaboración propia

27. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA POROSIDAD.

VARIETADES	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo
1	6	0.921153	0.00000354883	0.00188383	0.918229
2	6	0.934183	0.00000211445	0.00145411	0.932034
Total	12	0.927668	0.0000488821	0.00699158	0.918229
VARIETADES	Máximo	Rango	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada	
1	0.92342	0.00519167	-0.522312	-0.182024	
2	0.93615	0.00411537	-0.196223	-0.126237	
Total	0.93615	0.017921	-0.0694425	-1.48897	

Fuente: Elaboración propia

28. ANOVA PARA POROSIDAD SEGÚN VARIEDADES.

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.000509387	1	0.000509387	179.89	0.0000
Intra grupos	0.0000283164	100	0.0000283164		
Total (Corr.)	0.000537704	11			

Fuente: Elaboración propia

29. MEDIAS DE POROSIDAD CON INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

VARIEDADES	Frec.	Error Estándar			
		Media (s agrupada)	Límite inf.	Límite sup.	
1	6	0.921153	0.000686979	0.92007	0.922235
2	6	0.934183	0.000686979	0.933101	0.935265
Total	12	0.927668			

Fuente: Elaboración propia

30. PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGO PARA POROSIDAD.

Método: 95.0 porcentaje HSD de Tukey			
VARIEDADES	Frec.	Media	Grupos homogéneos
1	6	0.921153	X
2	6	0.934183	X
Contraste	Diferencias		+/- Límites
1 - 2	*-0.0130306		0.00216472
* indica una diferencia significativa.			

Fuente: Elaboración propia

31. RESUMEN ESTADÍSTICO PARA EL CALOR ESPECÍFICO.

VARIEDADES	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica	Mínimo
1	3	3.35158E-12	0.0	0.0	3.34158E-12
2	3	2.48477E-12	0.0	0.0	2.47477E-12
Total	6	2.91817E-12	0.0	0.0	2.47477E-12
VARIEDADES	Máximo	Rango	Asimetría tipi.	Curtosis tipificada	
1	3.36158E-12	0.0	0.0		
2	2.49477E-12	0.0	0.0		
Total	3.36158E-12	0.0	0.0	-1.6646	

Fuente: Elaboración propia

32. ANOVA PARA CALOR ESPECIFICO SEGÚN VARIEDADES.

Fuente	Sumas de <u>cuad.</u>	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0.0	1	0.0	11270.39	0.0000
Intra grupos	0.0	4	0.0		
Total (Corr.)	0.0	5			

Fuente: Elaboración propia

33. MEDIAS DE CALOR ESPECIFICO CON INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95%.

con 95.0 intervalos LSD					
Error Estándar					
VARIETADES	Frec.	Media (s agrupada)	Limite inf.	Límite sup.	
1	3	3.35158E-12	0.0	3.34025E-12	3.36291E-12
2	3	2.48477E-12	0.0	2.47344E-12	2.4961E-12
Total	6	2.91817E-12			

Fuente: Elaboración propia

34. PRUEBAS DE MÚLTIPLE RANGO PARA CALOR ESPECÍFICO.

Método: 95.0 porcentaje HSD de <u>Tukey</u>				
VARIETADES	Frec.	Media	Grupos homogéneos	
2	3	2.48477E-12	X	
1	3	3.35158E-12	X	
Contraste	Diferencias		+/- Límites	
1 - 2	*0.0		0.0	
* indica una diferencia significativa.-				

Fuente: Elaboración propia