



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE AGUA.
PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICA Y MICROESTRUCTURA
DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)
PARA TRANSFORMARLO EN HOJUELAS CRUDAS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

JESSICA PAMELA YUCRA ZAPANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2018



DEDICATORIA

Dedico la siguiente investigación a mis padres Yolanda y Fernando por todo el apoyo que me brindaron, a mi hijo Gabriel por ser la inspiración de mi vida, a mi esposo Elmer por su apoyo, a mi hermana Jackelin y a mi sobrina Fernanda, sin ellos el presente proyecto no hubiera sido posible.

Jessica Pamela



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida, a mis padres, la Universidad Nacional del Altiplano, al Ing. Roenfi Guerra Lima por su asesoría, consejos y apoyo en la investigación, a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial por prepararnos para una vida profesional de excelencia y competitividad

Jessica Pamela



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL 13

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. QUINUA 15

2.1.1. Partes del grano de quinua 16

2.1.2. Características del grano de quinua..... 17

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE QUINUA 18

2.3. VARIEDADES DE GRANOS DE QUINUA..... 18

2.3.1. Quinua INIA 420 – Negra Collana 18

2.3.2. Variedad Quinua Pasankalla 20

2.3.3. Variedad Quinua Illpa INIA..... 21

2.3.4. Variedad Quinua Kancolla 21

2.3.5. Variedad Quinua Salcedo..... 21



2.3.6. Variedad altiplano	22
2.4. HOJUELAS DE QUINUA	24
2.4.1. Laminado.....	25
2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALIMENTOS	26
2.5.1. Resistencia mecánica.....	27
2.6. AGUA EN LOS ALIMENTOS.....	29
2.6.1. Actividad del agua (a_w)	29
2.7. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	29
2.7.1. Isotermas de adsorción y estados de agua en los alimentos.....	30
2.7.2. Agua fuertemente ligada	31
2.7.3. Clasificación de las Isotermas de adsorción.....	32
2.7.4. Modelos matemáticos de isotermas de adsorción	32
2.7.5.- Sistemas de medición de isotermas de adsorción	34
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. INSUMOS.....	36
3.2. REACTIVOS SALES SATURADAS.....	36
3.3. EQUIPOS	37
3.4. METODOLOGÍA.....	38
3.4.1. Determinación de isotermas de adsorción.....	38
3.4.2. Determinación de la resistencia mecánica	40
3.4.3. Determinación de las propiedades físicas	41
3.4.4.- Determinación de microestructura:.....	42



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	43
4.1.1. Modelamiento de isotermas de adsorción	44
4.1.2. Análisis estadístico	48
4.2. DETERMINACIÓN DE LA PROPIEDAD MECÁNICA (RESISTENCIA MECÁNICA).....	48
4.2.1. Análisis estadístico para resistencia mecánica:	52
4.3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS	53
4.4. MICROESTRUCTURA DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA CON TRES PUNTOS DE A_w DIFERENTES	60
V. CONCLUSIONES.....	65
VI. RECOMENDACIONES	66
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
ANEXOS.....	71

Área: Ciencias Agrarias

Tema: Propiedades física y estructurales

Fecha de sustentación: 02 de agosto del 2018



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Imagen de la sección longitudinal medial de la semilla de quinua. Perispermo (P), eje del hipocótilo radical (H), apéndice del brote (SA), cotiledones (C), radícula (R), funículo (F) y pericarpio (PE). (Opazo, 2017).....	16
Figura 2.	Grafica general del análisis de perfil de textura.	27
Figura 3.	Prensa micro systems Texture	28
Figura 4.	Curva fuerza deformación tipo para	28
Figura 5.	Gráfica de las Isotermas de adsorción y desorción.	30
Figura 6.	Curvas de influencia de la actividad de agua las isotermas de adsorción de humedad.	31
Figura 7.	Sistema de adquisición de imágenes de la.....	37
Figura 8.	Microscopio ambiental de barrido E-SEM del laboratorio de materiales de la PUCP (León, 2016).	38
Figura 9.	Curva de humedad en base seca para siete variedades de quinua con a_w 0.112, 0.741, 0.979.	43
Figura 10.	Prueba tukey Humedad en base seca (Hbs) para cada variedad de granos de quinua con tres a_w diferentes.	48
Figura 11.	a) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.112, b) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.741, c) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.979.	50
Figura 12.	Resistencia mecánica para cada variedad de granos de quinua con tres a_w diferentes.	53
Figura 13.	Medición de dimensiones de grano de quinua a) . Diámetro mayor, diámetro menor b) . Espesor.....	54



Figura 14. Diámetro equivalente para siete variedades de quinua.....	59
Figura 15. Área de siete variedades de granos de quinua equilibrados a tres aw.	60
Figura 16. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Altiplano INIA.....	61
Figura 17. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Illpa INIA.	61
Figura 18. Microestructura de granos de quinua de la Variedad kancolla.....	61
Figura 19. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Negra collana.....	62
Figura 20. Microestructura de granos de quinua de la Variedad pasankalla	62
Figura 21. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Rosado choclo de Taraco.....	62
Figura 22. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Salcedo INIA.....	63



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características del grano de quinua de la variedad Negra Collana.....	19
Tabla 2	Características agronómicas de la variedad Negra collana.....	19
Tabla 3	Características del grano de la variedad Pasankalla.	20
Tabla 4	Características del grano de variedad altiplano.	22
Tabla 5	Características bromatológicas de la variedad Altiplano INIA.	23
Tabla 6	Variedades comerciales de quinua en el Perú.....	23
Tabla 7	Diámetro equivalente de cada variedad de quinua.	24
Tabla 8	Composición de las hojuelas de quinua en relación con otros derivados de la quinua.....	25
Tabla 9.	Cantidad de sal saturada y agua para preparar las soluciones salinas.....	38
Tabla 10.	Modelos matemáticos que se usó para ajustar datos experimentales.....	40
Tabla 11.	Parámetros y constantes de los modelos matemáticos de isotermas de adsorción para las variedades de quinua (Salcedo INIA, Negra Colana, Pasankalla, Kankolla, Altiplano, Illpa INIA, Choclo rosado de Taraco.....	45
Tabla 12.	Resumen del valor de la mono capa para las ecuaciones matemáticas de GAB.	46
Tabla 13.	Resultados de la fuerza máxima ejercida por el instrumento TA-XT Plus para el quiebre de siete variedades de quinua con tres a_w diferentes (0.112, 0.741, 0.979).	49
Tabla 14	Propiedades físicas (diámetro, área y espesor) para siete variedades de quinua equilibradas a tres a_w	55
Tabla 15	Diámetros equivalentes para cada variedad de quinua en tres puntos de actividad de agua diferentes.....	56
Tabla 16.	Variedades comerciales de quinua en el Perú.....	57
Tabla 17.	Esfericidad de los granos de quinua.....	57



INDICE DE ACRONIMOS

a_w	Actividad de agua
$a_{w,c}$	Actividad critica del agua
Hbs	Humedad en base seca
Hbh	Humedad en base húmeda
E %	Porcentaje de error
X_m	Valor de la mono capa
M_o	Valor de la cobertura de la mono capa cuando los sitios hidrofílicos están cubiertos por una molécula de agua
M	Contenido de humedad en base seca (agua/100 g M.S.)
K	Factor de correlación de las propiedades de las moléculas en las multicapas
C	Constante energética relacionada con el calor de adsorción
K,A,B,D,E	Constantes del modelo matemático de HENDERSON y GAB
N	Newton (g/mm ²)
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato de Amonio
KCl	Cloruro de Potasio
BaCl ₂ .2H ₂ O	Cloruro de Bario
K ₂ S ₂ O ₈	Sulfato de Potasio
SrCl ₂	Cloruro de Estroncio
NaNO ₃	Nitrato de Sodio
MgCl ₂ .6H ₂ O	Cloruro de Magnesio
CH ₃ COOK	Acetato de Potasio
LiCl.H ₂ O	Cloruro de Litio
GAB	Anderson, de Boer e Guggenheim
NaCl	Cloruro de Sodio



RESUMEN

En el presente trabajo se determinó la relación de la capacidad de adsorción de agua con sus propiedades físicas (diámetro, área y esfericidad), propiedad mecánica (Textura), y microestructura (comportamiento de almidón) para transformar siete variedades de quinua en hojuelas crudas. Con el fin de demostrar el potencial agroindustrial de cada variedad. La capacidad de adsorción de agua fue determinada para siete variedades de quinua equilibrada a 10 puntos de a_w (0.112, 0.234, 0.333, 0.693, 0.741, 0.756, 0.817, 0.859, 0.910, 0.979) y modelado con cuatro ecuaciones matemáticas (GAB, Henderson, Smith, Oswin), el modelo de mejor ajuste es el de Oswin ya que el R^2 es cercano a 1 y el %E no sobrepasa 10% en todas las variedades. Las propiedades físicas se determinaron con el sistema de adquisición de imágenes con tres repeticiones, entre los granos grandes se encuentra la variedad Illpa, en los granos medianos se encuentran las variedades kancolla, Salcedo, Altiplano y Pasankalla y las variedades más pequeñas son la variedad Negra Collana y Choclo rosado. La propiedad mecánica fue determinada mediante el texturometro TA-XT plus con una deformación de 75% con tres puntos a_w (0.112, 0.741, 0.979), en donde se observó que la fuerza máxima ejercida para las siete variedades de quinua se encuentra en un rango de 41.462 N a 100.903N. Se evaluó la microestructura de la quinua mediante el microscopio electrónico de barrido SEM a 800x con tres puntos de a_w (0.112, 0.741, 0.979), se observó la conformación del empaquetamiento de los almidones dentro del endocarpio en relación a la a_w de cada variedad de quinua y su influencia en la resistencia mecánica y el proceso de elaboración de hojuelas crudas. Por los resultados obtenidos se logró identificar la variedad con mejores propiedades para elaborar hojuelas de quinua siendo la variedad salcedo INIA.

Palabras claves: quinua, isoterma, microestructura, resistencia mecánica.



ABSTRACT

In the present work, the relationship of water adsorption capacity with its physical properties (diameter, area and sphericity), mechanical property (mechanical resistance), and microstructure (starch behavior) to transform seven varieties of quinoa into raw leaflets was determined. . In order to demonstrate the agroindustrial potential of seven varieties of quinoa. The water adsorption capacity was determined for seven balanced quinoa varieties at 10 aw points (0.112, 0.234, 0.333, 0.693, 0.741, 0.756, 0.817, 0.859, 0.910, 0.979) and modeled with four mathematical equations (GAB, Smith, Oswin), the best fit model is that of Oswin since R^2 is close to 1 and % E does not exceed 10% in all varieties. The physical properties were determined with the image acquisition system with three repetitions, among the large grains is the Illpa variety, in the medium grains are the kancolla, Salcedo, Altiplano, Choclo rosa and Pasankalla varieties and the smallest variety is the Black Collana variety. The mechanical property was determined by the texturometer TA-XT plus with a deformation of 75% with three points aw (0.112, 0.741, 0.979), where it was observed that the maximum force exerted for the seven varieties of quinoa is in a range from 41,462 N to 100,903N. The microstructure of the quinoa was evaluated using the scanning electron microscope SEM at 800x with three aw points (0.112, 0.741, 0.979), the conformation of the packing of the starches inside the endocarp was observed in relation to the aw of each variety of quinoa and its influence on the mechanical resistance and the process of making raw leaflets. Based on the results obtained, it was possible to identify the variety with the best properties to make quinoa flakes, with the INIA variety salcedo.

Keywords: Quinoa, isotherms, microstructure, mechanical resistance.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Perú es uno de los principales productores y exportadores de la quinua a nivel mundial. En 2017, la exportación alcanzó los 70,4 millones de dólares a un valor medio de U \$ 4,20 / kg de quinua, siendo USA el principal destino (63% del total) seguido por Holanda, Alemania y Australia (Agrovata, 2017). En Perú, el 80% de la quinua se cultiva en la región del altiplano situado entre 2500 a 4000 m de altitud. La quinua puede ser modificada en cuanto a su forma original aprovechando adecuadamente el potencial de transformación agroindustrial de cada variedad para lograr una mayor aceptabilidad por parte del consumidor; uno de estos productos son las hojuelas crudas de quinua. El estudio de la capacidad de adsorción de agua, propiedades físicas y propiedad mecánica, aportara al desarrollo de nuevos productos alimenticios elaborados a base de quinua, así como también a otras ciencias como es el caso de la ingeniería gastronómica, industria farmacéutica y cosmética, entre otras, quienes necesitan conocer estas propiedades para darle un uso y presentación adecuada a sus productos (Cáceres, 2010).

Por medio de esta investigación: “Relación de la capacidad de adsorción de agua, propiedades físicas, mecánica y microestructura de siete variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)”, Se podrá definir la variedad con mejores propiedades para elaborar hojuelas de quinua crudas y así poder mejorar la calidad del producto para beneficiar a la población tanto económicamente y nutricionalmente.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la variedad con mejores propiedades físicas y textura para elaborar hojuelas de quinua crudas.



1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las isothermas de adsorción y el mejor modelo matemático para 10 puntos de a_w de siete variedades de quinua para elaborar hojuelas de quinua cruda.
- Relacionar las isothermas de adsorción con la resistencia mecánica, diámetro, área y forma del grano de quinua, para elaborar hojuelas crudas. con la microestructura de siete variedades de quinua para elaborar hojuelas crudas.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) “es una grano andino originaria de la región andina de Sudamérica cerca del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia donde se encuentra la mayor diversidad genética” (Jacobsen, 2002). Desde hace 3000 años A.C. las semillas de quinua han sido una fuente alimenticia importante para la población andina debido a su alto valor nutricional (Torre, 2008), “tiene fuertes características nutricionales; por ejemplo, su contenido en aminoácidos es del 14,6%, mucho mayor que el de otros cereales como la avena, el arroz y la cebada. Es una excelente fuente de aminoácidos vitales como la histidina y la lisina”. (koziol, 1992). “Al comparar la composición de nutrientes de la quinua con la del trigo, el arroz y el maíz, se puede confirmar que los valores medios reportados para la quinua son más altos en términos de contenido de proteínas, grasas y cenizas que los de los otros tres cereales.” (Rojas, 2009).

Los mayores productores y exportadores de quinua en el mundo son Bolivia y Perú, pero se cultiva en varias zonas climáticas alrededor del mundo. En Colombia, las semillas de quinua (suba) se cultivan en la región de la sabana cerca de Bogotá. En Ecuador se cultiva principalmente en la región montañosa. En el Perú la planta es cultivada en diferentes área agroclimáticas tales como los valles andinos, la zona altiplánica, en zonas montañosas áridas y en la costa (Jacobsen, 2002). Algunos países europeos tales como España están estudiando su adaptación a los climas del Mediterráneo, y países como Dinamarca, Finlandia e Inglaterra se encuentran interesados en su cultivo (AOAC, 2000).

Los granos de quinua se utilizan al igual que los granos de arroz y trigo. Se muelen para obtener harinas, panes, tortas, bebidas y alimentos enriquecidos. Su contenido de

proteína (~15 g/100 g) mayor que el de cereales como el trigo (8.9 g/100 g), avena (10 g/100 g), maíz (9.4 g/100 g), y arroz formalizado (8.6 g/100 g) (Sablani, 2007). El contenido de carbohidratos es del orden de 69 g/100 g. Además de ello la quinua es muy rica en aminoácidos esenciales en especial lisina, triptófano y cisteína (Viades, 2008). De igual modo tiene más contenido de minerales (Ca/ Fe/ Mn/ Mg/ Cu/ and K) que los cereales convencionales. En consecuencia las semillas de quinua tienen mayor valor nutricional que las semillas de los cereales convencionales (Lopez & Fihlo, 2002).

2.1.1. Partes del grano de quinua

“Los granos de quinua pueden tener diversas formas, como la cónica, la cilíndrica y la elipsoidal, y una gama de tamaños y tonalidades, como el blanco, el amarillo, el rosa, el marrón y el negro. Este grano andino se compone de endospermo (cotiledones y radícula), polispermo (granos de almidón) y epispermo (cubierta exterior que envuelve la semilla)”. (Miranda, 2010).

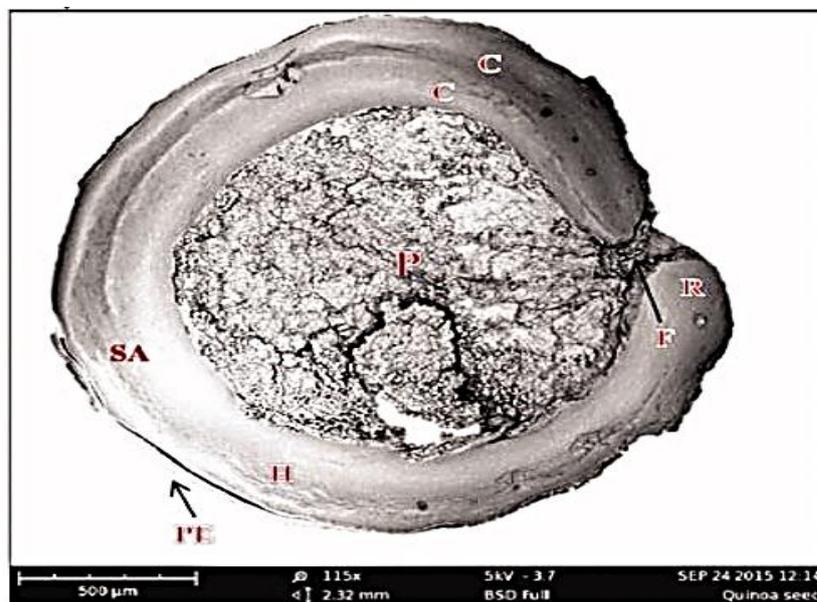


Figura 1. Imagen de la sección longitudinal medial de la semilla de quinua. Perispermo (P), eje del hipocótilo radical (H), apéndice del brote (SA), cotiledones (C), radícula (R), funículo (F) y pericarpio (PE). (Opazo, 2017).



- “El olor de la semilla viene determinado por la primera capa, que es una capa superficial áspera, quebradiza y seca. Esta capa puede eliminarse parcialmente mediante procedimientos abrasivos y el lavado con agua fría, siendo la eliminación significativamente mejorada por el uso de agua caliente, soluciones alcalinas o ácidas. Las saponinas están presentes exclusivamente en la capa más externa del epispermo”. (Miranda, 2010).
- Una segunda capa lisa y brillante, desprovista de agujeros, con restos de la rugosidad de la membrana anterior, sólo puede eliminarse mediante un procedimiento de calentamiento prolongado (horneado).
- Una tercera capa delgada, algo amarilla y opaca.
- La cuarta capa del embrión, fina y transparente, está compuesta por una única fila de células sin núcleo con paredes celulares gruesas.

2.1.2. Características del grano de quinua

Opazo (2017), “La quinua tiene un embrión considerablemente más grande que el de otros cereales, lo que probablemente explique su mayor concentración de aminoácidos. El endospermo es más pequeño, por lo que los almidones de la quinua se encuentran en el perispermo de la semilla; en comparación con otros cereales, el contenido de almidón de la quinua (64,5%) es ligeramente inferior al del trigo (70,1%), pero hay que tener en cuenta ciertas características del grano de quinua, como su alto contenido en proteínas”:

- A diferencia de otros cereales, el grano de quinua almacena sus almidones en el perisperma.
- El pericarpio de la quinua está compuesto por material celulósico y es impermeable al agua.
- La presencia del glucósido saponina tiene el efecto de hidrolizar y permeabilizar las células. (Lescano, 1994).



2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL GRANO DE QUINUA

a) Forma

Medina (2010), señala que la redondez y la esfericidad son algunos de los criterios para determinar la forma de un objeto. La redondez es una medida de la agudeza de las esquinas de un sólido. El concepto de esfericidad tiene su fundamento en la propiedad isoperimétrica de una esfera (Ayala., 2011). Indican que la esfericidad es la relación del área superficial de una esfera, la cual tiene el mismo volumen que el sólido, y el área superficial del sólido. La redondez del sólido es una medida de su forma y es definida como la relación del área proyectada mayor de un objeto en posición de reposo y el área del círculo circunscrito más pequeño. La forma está relacionada con la forma física o espacial de un objeto. En este entender, las semillas pueden parecerse a alguna configuración familiar que varía entre esferas a hojas de afeitar. Por ejemplo, las semillas de mostaza son esencialmente esféricas, las de algarrobo son cúbicas y las de alfalfa carmesí son elipsoideas (Greespan, 1997).

b) Tamaño

El tamaño se refiere a la característica de un objeto la cual determina cuanto espacio ocupa y dentro de que límites se encuentra. Puede ser descrito en términos de longitud, ancho y espesor. Aunque pocas semillas son uniformes geoméricamente, estas medidas preliminares sirven para distinguir unas semillas de otras (Medina, 2010).

2.3. VARIEDADES DE GRANOS DE QUINUA

2.3.1. Quinua INIA 420 – Negra Collana

Debido a que es un compuesto de 13 accesiones de 12 lugares de Puno, tiene un amplio fondo genético. Esta quinua contiene litio y presenta un comportamiento estándar en la industria a lo largo de las operaciones de expansión, tostado y extrusión de la quinua. El cuadro 3 muestra las propiedades del grano de quinua tipo Negra Collana. (FAO, 2013)

a). Características del grano de quinua

Tabla 1

Características del grano de quinua de la variedad Negra Collana.

Color de perigonio	Verde
Color de pericarpio	Gris
Color de episperma	Negro brillante
Aspecto de perisperma	Opaco
Dímetro de fruto	1,6 mm
Sabor de grano	Dulce, bajo contenido se saponina

Fuente: INIA (2014).

b).- Características agronómicas del grano de quinua:

En la tabla 4 se muestra las características agronómicas del grano de quinua de la variedad Negra Collana.

Tabla 2

Características agronómicas de la variedad Negra collana.

Periodo vegetativo	- Sierra sur de Perú: 140 días
	- Sierra y costa norte de Perú: 120 días.
Tendencia a acamado	- No
Tendencia a ramificación	- No

INIA (2014).

c). Productividad de los granos de quinua de la variedad Negra collana

Estará determinado por el nivel tecnológico y las consideraciones limitantes (agua en la sierra, PH del suelo). La tecnología media rinde 1,50 toneladas por hectárea en la sierra y en la costa, mientras que la tecnología alta rinde 3,50 toneladas por hectárea en la costa. (FAO, 2013).



2.3.2. Variedad Quinoa Pasankalla

“La variedad es descendiente de la accesión Pasankalla, recogida en 1978 en Caritamaya, Acora y Puno. La variedad fue seleccionada en la Estación Experimental Illpa de Puno entre 2000 y 2005. Además, presenta un comportamiento estándar en la industria durante las operaciones de expansión, tostado y extrusión. Se hincha cuando se tuesta, como las palomitas de maíz”. (Tapia, 2013).

a). Características morfológicas

En la tabla 5, se muestra las características del grano de quinoa de la variedad Pasankalla

Tabla 3

Características del grano de la variedad Pasankalla.

Tipo de crecimiento	Herbáceo
Color de la panoja	Púrpura
Color del pericarpio	Plomo claro
Color de epispermo	Vino tinto
Tamaño de grano	Media (2.0 mm)
Sabor de grano	Dulce, bajo contenido de saponina

INIA (2014).

b) Características agronómicas

Periodo vegetativo	- Sierra sur de Perú: 140 días - Sierra y costa norte de Perú: 120 días.
Tendencia a acamado	- No
Tendencia a ramificación	- No



c) Productividad

“Estará determinado por el nivel tecnológico y las consideraciones limitantes (agua en la sierra, PH del suelo). Se afirma que la tecnología media en la sierra y en la costa produce rendimientos de 2,50 toneladas/ha, mientras que la tecnología alta en la costa produce rendimientos de 5,0-5,5 toneladas/ha.” (FAO, 2013)

2.3.3. Variedad Quinoa Illpa INIA

“Variedad obtenida en 1997, de la cruce de Sajama x Blanca de July y por selección masal y panoja surco de la generación F8, posee hábito de crecimiento erecto, planta de color verde oscuro, con altura de planta de 107 cm, panoja grande glomerulada, con un período vegetativo de 150 días (precoz), de tamaño de grano grande, de color blanco, libre de saponina (Dulce), rendimiento promedio de 3100 kg/ha, tolerante al mildiú y a las heladas” (Tapia, 2013).

2.3.4. Variedad Quinoa Kancolla

“Planta verde, de tamaño mediano, alcanza 80 cm de altura, ciclo vegetativo tardío, más de 170 días, grano blanco, tamaño mediano, alto contenido de saponina, panoja generalmente amarantiforme, resistente al frío, al granizo, y al mildiú, rendimiento promedio de 2500 kg/ha, segrega a otros colores desde el verde hasta el morado, prevalece en la sierra peruana. Típicamente se utiliza para sopas y la elaboración de kispio (panecillos fritos en grasa animal que duran varios meses)”. (FAO, 2013).

2.3.5. Variedad Quinoa Salcedo

La variedad Salcedo INIA se obtuvo por selección del cruce de las variedades “Real Boliviana” x Sajama”. “Inicialmente se seleccionaron plantas adecuadas para las condiciones agroecológicas de las áreas dedicadas al cultivo de quinua en el Departamento de Puno” (INIA, 2014).



a). Descripción Morfológica de quinua de la variedad Salcedo INIA

- Tipo de crecimiento: Herbáceo
- Porte de la planta: Erecto
- Altura de la planta: 1,40 – 1.60 m.
- Longitud de la panoja: Hasta 60 cm
- Densidad de la panoja: Intermedia
- Color de grano: Blanco
- Tamaño de grano: Grande (1.5-2,2 mm)
- Sabor de grano: Dulce, bajo contenido de saponina (INIA, 2014).

b). Características agronómicas

- Periodo vegetativo: Sierra Sur de Perú : 140 días, Sierra y Costa Norte de Perú: 120 días.

2.3.6. Variedad altiplano

“Adaptación: zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano puneño entre los 3800 y 3950 msnm, con un clima semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperatura de 6° a 17°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Actualmente se cultiva en costa” (Tapia, 2013)

a).- Características del grano:

Tabla 4

Características del grano de variedad altiplano.

- Aspecto del grano:	Opaco
- Color de perigonio:	Verde
- Color de pericarpio:	Crema
- Color del episperma:	Blanco
- Color de perisperma:	Blanco
- Forma del borde del grano:	Cilíndrico
- Uniformidad de color de grano:	Bastante uniforme
- Diámetro de grano:	2,20 mm

Fuente: (FAO, 2013).

b). Características bromatológicas

En la siguiente tabla se muestran las características bromatológicas de quinua de la variedad Altiplano INIA

Tabla 5

Características bromatológicas de la variedad Altiplano INIA.

Valor nutricional	
Análisis físico/químico (g/100 de muestra)	
Humedad (%):	8,44
Proteínas (%):	16,19
Fibra (%):	1,84
Cenizas (%):	2,00
Graza (%):	5,20
Energía (Kcal/100g):	372,09

Fuente: (FAO, 2013).

En la siguiente tabla se muestra las Variedades comerciales de quinua en el Perú

Tabla 6

Variedades comerciales de quinua en el Perú

Nombre De Variedad	Eflusion De Saponina	Color De Pericarpio	Color De Episperma	Tamaño De Grano	Zona De Producción
INIA 431 – Altiplano	Nada	Crema	Blanco	Grande	Altiplano, costa
INIA 420 – Negra collana	Nada	Gris	Negro	Pequeño	Altiplano, valles inter andinos, costa
Rosado choclo de taraco	Mucho	Amarillo	Banco	Pequeño	Valles intedinoa
INIA 415 – Pasankalla	Nada	Gris	Rojo	Mediano	Altiplano valles interandinos, costa
Illpa INIA	Nada	Crema	Blanco	Grande	altiplano
Salcedo	Nada	Crema	Blanco	Grande	altiplano
Kankolla	Poca	Crema	Blanco	Mediano	Altiplano, valles interandinos, costa

Fuente: INIA (2014).

En la siguiente tabla se muestra el diámetro equivalente de cada variedad de quinua, proporcionada por el Instituto Nacional de Investigación Agraria.

Tabla 7
Diámetro equivalente de cada variedad de quinua.

Nombre de variedad	Diámetro de grano
INIA 431 – Altiplano	2,20 mm
INIA 420 – negra collana	1.16 mm
Rosado choclo de taraco	1.70 mm
INIA 415 – pasankalla	2.10 mm
Illpa INIA	2,20 mm
Salcedo inia	2.00 mm
Kankolla	1.80 mm

Fuente: (FAO, 2013).

2.4. HOJUELAS DE QUINUA

Según el reglamento sanitario de alimentos, es aquel producto que ha sufrido un proceso de eliminación de sus tegumentos por medios mecánicos o alcalinos sometidos posteriormente a cocción con una mezcla de extracto de malta, sacarosa y sal, desecados, rodilladas y tostadas. “El cereal cocido se seca hasta un contenido de humedad entre 15 y 20% dejándose en reposo hasta que se acondicionen adecuadamente. La duración de este proceso es de 24 horas. El material acondicionado pasa a los rodillos que forman las hojuelas y estos pasan luego a los hornos de tostado, las hojuelas tostadas son llevadas a un enfriador y luego empacadas” (Castro, 1989).

La hojuela de quinua es el resultado de la compresión de los granos entre dos rodillos metálicos lisos de giro convergentes, como resultado de esta compresión la quinua es convertida en laminillas planas que son los que precisamente reciben el nombre de hojuelas. Por efecto de la compresión la desagregación en los granos no es mayor a 0.5%, el laminado se realiza en frío, funcionamiento los rodillos a una velocidad de 75m/s

(Lescano, 1994). “En la siguiente tabla se muestra la composición de las hojuelas de quinua en relación con otros derivados de la quinua”.

Tabla 8

Composición de las hojuelas de quinua en relación con otros derivados de la quinua.

	Dulce rosada	Harina	Hojuela	Rosada	Semola	Sorgo (Puno)
Energía Kcal	372	341	374	368	376	351
Agua g	11.0	13.7	7.0	10.2	12.6	12.2
Proteína g	12.3	9.1	8.5	12.5	19.5	8.0
Grasa g	7.2	2.6	3.7	6.4	10.7	4.0
Carbohidrato	67.1	72.1	78.6	67.6	53.8	72.8
Fibra g	7.0	3.1	3.8	3.1	8.3	7.5
Ceniza g	2.4	2.5	2.2	3.3	3.4	3.0
Calcio mg	80	181	114	124	76	50
Fosforo mg	344	61	60	205	..	370
Hierro mg	4.3	3.7	4.7	5.2	3.6	4.3
Retinol mcg	0	0	0	0	0	0
Tiamina mg	1.00	0.19	0.13	0.24	0.21	0.25
Niacina mg	1.23	0.68	1.10	1.60	1.84	3.85

Fuente: Moya (2006).

2.4.1. Laminado

Las condiciones de entrada a esta operación son determinantes para la transformación del grano en hojuela. Ya que si no se cuenta con el grado de humedad adecuada (17%) y si no está distribuida de manera uniforme, el grano puede adherirse a las paredes de los cilindros laminadores y pierde la forma y consistencia, en este proceso existe un cambio en la composición molecular del grano, ya que las proteínas y fibras globulares toman formas longitudinales. Como consecuencia de este rea reglo, las proteínas se desnaturalizan, es decir cambian su configuración original. En este proceso se gelatinizan los almidones con lo cual aumenta la digestibilidad (Moya, 2006).



Este proceso se hace con un molino laminador compuesto por dos rodillos que manejan velocidades diferentes y se mueven en sentidos opuestos, con una “luz” graduada según las características del grano para dar el espesor del laminado. El control de calidad en este proceso es indispensable para garantizar un producto final que cumpla todas las condiciones establecidas por la compañía (Moya, 2016).

2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALIMENTOS

Las propiedades mecánicas de un material describen su respuesta a las cargas estáticas y dinámicas. (Muller, 1973; Mohsenin, 1986; Sharma et al., 2003). El agua afecta a las propiedades mecánicas de los alimentos sólidos; en los alimentos líquidos, puede alterar la viscosidad o la consistencia, mientras que en los alimentos sólidos, afecta a su resistencia o dureza. (Lewicki, 2004). Según Ruíz (2000).

“Cuando las semillas se humedecen, la matriz estructural de almidón y proteínas se transforma, alterando su movimiento. Esto hace que el producto sea flexible y suave”. (Murty y Bhattacharya, 1998). Gupta y Das (2000) Debido al cambio gradual de la integridad de la matriz celular que se produce con el aumento del contenido de humedad, los granos con alto contenido de humedad presentan una baja resistencia a la compresión.

“Las cualidades mecánicas de los alimentos tienen un impacto significativo en su producción, almacenamiento, distribución y comportamiento alimentario. El impacto de los distintos componentes en las cualidades mecánicas, en particular la temperatura y el contenido de humedad, es crucial para seleccionar el equipo de procesamiento correcto. En consecuencia, el material de envasado está destinado a proteger los alimentos de las tensiones mecánicas y de la transmisión de agua al medio ambiente. Cuando consumimos un alimento, percibimos su textura, en la que influyen las cualidades mecánicas del producto”. (Lewicki, 2004).

“En la industria alimentaria, la reacción de una comida a una fuerza externa se denomina a menudo "rigidez". A medida que las cualidades mecánicas de una comida cambian, también lo hace su elasticidad.” (Molina, 2016).

2.5.1. Resistencia mecánica

“La tensión más alta que puede soportar un material (en N/mm²) es la tensión de cizallamiento o la tensión de compresión. La resistencia a la compresión, a la tracción o al cizallamiento se obtiene a partir de la carga más alta durante un ensayo de compresión o de tracción realizado hasta el fallo, el cizallamiento o la torsión, y el área de la sección transversal inicial o las dimensiones de la sección transversal original de la probeta”.

(Figura 2).

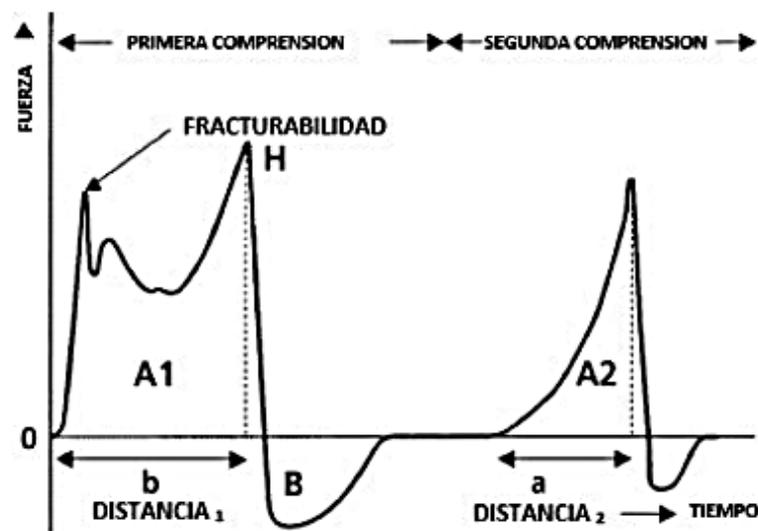


Figura 2. Grafica general del análisis de perfil de textura.

(Molina, 2016).

2.5.1.1. Método para determinar textura en alimentos

Un método muy común es por compresión en donde se utiliza una prensa aniaxial micro systems texture analyser TA-XT Plus (Figura 3), con una célula de compresión circular de 75 mm de diámetro (P/75). “El equipo consiste en un brazo móvil, conectado

a la célula P/7, el cual desciende hacia una base graduada con el centro marcado. Los ensayos se pueden realizar hasta un 90% de deformación con una célula de carga de 50g, la toma de datos se realiza mediante el software Texture Exponent 32 (Figura 4) proporcionado por la casa Stable Micro Systems". (Creu, 2008).



Figura 3. Prensa micro systems Texture
Analyser TA – XT Plus

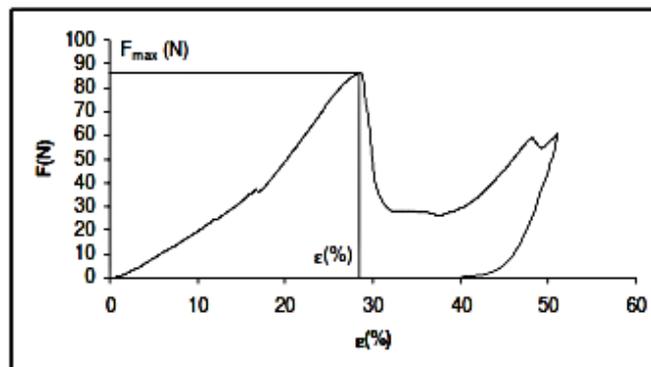


Figura 4. Curva fuerza deformación tipo para
Compresión en garbanzo



2.6. AGUA EN LOS ALIMENTOS

“Comprender el tamaño y la amplitud de las diferentes interacciones entre superficies, partículas o moléculas de soluto en un medio líquido es crucial para la comprensión de varios fenómenos complicados, que van desde el comportamiento de los sistemas coloidales o biológicos hasta los procesos industriales y técnicos”. (Ruíz, 2000).

2.6.1. Actividad del agua (a_w)

La actividad del agua es la relación entre la presión de vapor de agua en un sistema y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura o la humedad relativa del aire que rodea el sistema a la misma temperatura. (Jacobsen, 2002).

2.7. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Las isotermas de adsorción de agua representan gráficamente la relación entre la A_w de un material y su contenido en agua a una temperatura determinada; “es decir, relacionan la cantidad de agua presente con su disponibilidad (estas isotermas son una de las herramientas más utilizadas por los tecnólogos de los alimentos, entre otras disciplinas, porque proporcionan información muy útil sobre el estado del agua en el alimento, además de poder establecer relaciones entre el agua y otras sustancias). También permite predecir el comportamiento del producto si se conocen las circunstancias de almacenamiento.” (Molina, 2016).

“Las propiedades del agua en relación con un sistema biológico pueden estudiarse a tres niveles: estructural, dinámico y termodinámico”. (Lopez & Fihlo, 2002).

“La superficie específica de un alimento, el volumen de los poros, el tamaño y la distribución de los poros y la cristalinidad pueden investigarse mediante isotermas de adsorción de agua. Estos datos pueden utilizarse para elegir las condiciones de almacenamiento y las técnicas de envasado que optimicen o maximicen la conservación

de la fragancia, el color, la textura, la nutrición y la estabilidad biológica”. (Labuza et al., 1972). Alimentos con la misma composición química pero con diferente estructura no tienen por qué tener la misma humedad de equilibrio a una a_w dada (Lescano., 1994).

“La adsorción del agua comienza con la creación de una monocapa en la superficie del producto, seguida de la adsorción multicapa. La producción de agua en los poros y huecos capilares, la disolución de solutos y el atrapamiento mecánico del agua constituyen la adsorción multicapa del agua”. (Troller & Christian, 1988).

Por otro lado la determinación de algunas isothermas a ciertas temperaturas para algunos alimentos han sido tabuladas; pero generalmente se tiene pocos datos de la dependencia de la temperatura y las isothermas a determinar. Reportes adicionales muestran que esta dependencia, puede ser en muchos casos estimada usando modelos matemáticos con buena exactitud (León, 2016).

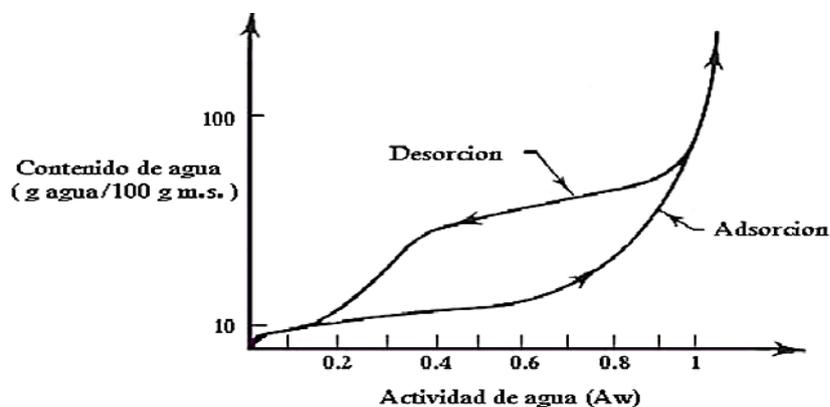


Figura 5. Gráfica de las Isothermas de adsorción y desorción.

Histéresis de enlace Adsorción – desorción.

2.7.1. Isothermas de adsorción y estados de agua en los alimentos

La diferente forma de las isothermas de adsorción se debe a las diferencias en la estructura física, composición química y capacidad de retención de agua del alimento como se observa en la figura 6. (Fennema., 1993), el agua unida es una entidad

heterogénea difícil de identificar, de ahí que sea difícil la terminología que describa una definición concisa. Si se considera toda el agua como libre o combinada, se puede suponer en razón que en los tejidos el agua está unida ya no fluye libremente del tejido cuando se aplica una presión moderada. Además, en cierto grado el agua presente está bajo la influencia de estructuras biológicas y/o soluto, y que por lo tanto se comportara de manera diferente que el agua pura (el agua en forma pura no existe en los alimentos ya que se halla combinada en alguna forma con otro componente).

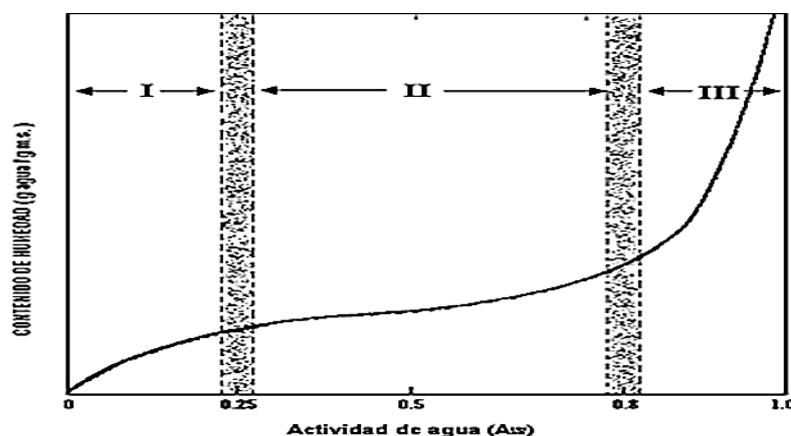


Figura 6. Curvas de influencia de la actividad de agua las isotermas de adsorción de humedad.

2.7.2. Agua fuertemente ligada

“Corresponde a la zona II, de 0.25 a 0.75 de RH, consta del agua de la zona I más el agua añadida (procedimiento de adsorción) confinado dentro de la zona II, ocupado los sitios restantes de la primera capa y varias capas adicionales en torno a los grupos a los hidrofílicos del designándose agua multicapa, el agua multicapa se asocia con moléculas vecinas primariamente por enlaces de hidrógeno agua-agua y agua-soluto” (Fennema, 1993). El agua de la zona II es más difícil de remover que el agua de la zona I. Esto se visualiza mejor en la isoterma de adsorción de humedad ya que su eliminación conduce a mayor reducción de la a_w remanente de agua del tipo III. La eliminación parcial del agua de la zona II elimina la última posibilidad de crecimiento microbiano y reduce en gran

parte muchas clases de reacciones químicas. La remoción completa o casi completamente del agua de la zona II (a niveles de 3 al 7 % de humedad, depende del producto y la temperatura) corresponde aproximadamente a la estabilidad óptima de productos secos que contienen cantidades significativas de lípidos oxidables. (Fennema, 1993).

2.7.3. Clasificación de las Isotermas de adsorción

Según Labuza (1984), Las isotermas de adsorción de tipo I se refieren a sólidos cristalinos como los azúcares. En este caso, la estructura no permite que la molécula de agua acceda a todos los lugares donde podría interactuar y producir una solución. Otras isotermas tienen una curva sigmoideal o en forma de S; estas isotermas de tipo II corresponden a la mayoría de los alimentos. La forma de esta curva puede explicarse por la complejidad de las comidas y los numerosos tipos de sustancias químicas que contienen. Las isotermas de tipo III pertenecen a los aditivos antiaglomerantes; este tipo de sustancias tienen afinidad por la molécula de agua, es decir, tienen un elevado número de lugares donde absorben una gran cantidad de agua sin aumentar su actividad acuosa.

2.7.4. Modelos matemáticos de isotermas de adsorción

2.7.4.1. Modelo de Guggenheim- Anderson-de Boer (GAB)

El modelo de GAB es una extensión de la ecuación de BET teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapa, adopta la siguiente forma:

$$\frac{M}{M_0} = \frac{(C * K * A_w)}{(1-k * A_w) * [(1-k * A_w) + C * k * A_w]}$$

El reagrupamiento de datos mediante una regresión no lineal, se da:

a_w : Actividad de agua



M_0 : Valor de la cobertura de la mono capa cuando los sitios hidrofílicos están cubiertos por una molécula de agua

M : Contenido de humedad en base seca (g agua /100g M.S.)

C : constante energética relacionada con el calor de adsorción de la primera

K : Factor de correlación de las propiedades de las moléculas en las multicapas

“El modelo de GAB es el que mejor ajusta los datos de isothermas de adsorción para la mayoría de alimentos y es muy utilizado para predecir datos de niveles de actividad de agua de aproximadamente 0.9” (Barbosa & Vega, 2000).

2.7.4.2. Modelos de Oswin

Modelos empíricas, apropiado para alimentos ricos en carbohidratos y proteínas, para carnes y hortalizas, cuya notación es la siguiente:

$$M = a \left[\frac{A_w}{I - A_w} \right] b$$

a_w : Actividad de agua

M : Contenido de humedad en base seca (g agua /100g M.S.)

a y b : Parámetros que dependen de productos

I : Intercepto

La capacidad de ajuste está en los rangos de 0.1 y 9.9 de actividad de agua.

2.7.4.3. BET (Brunauer, Emmett e Teller)

“El modelo general B.E.T. explica la adsorción multimolecular ampliando el tratamiento de Langmuir. Debido a las similitudes entre las fuerzas responsables de la adsorción física y la licuefacción (fuerzas de Van der Waals), la adsorción en superficies tanto planas como convexas no se limita a una monocapa, sino que continúa hasta que la superficie está recubierta por una capa multimolecular del líquido”. (Viades, 2008).

“El modelo de B.E.T es aplicable en el intervalo de $0.05 < a_w < 0.35-0.4$, Por encima de este nivel, las interacciones que se describen son mayoritariamente del tipo soluto–disolvente y no de adsorción, por lo tanto no se contemplan, el intervalo de mayor interés en el área de los alimentos abarca desde a_w 0.1 hasta 0.9, lo que representa una limitación importante en la aplicación de las isothermas B.E.T”. (Viades, 2008).

2.7.4.4. Modelo de Henderson

Este modelo es comúnmente utilizado, donde k y n son constantes, de acuerdo a este modelo, una parte de $\ln(a-a_w)$ frente a $\ln X_e$ deberían dar como resultado una línea recta. Sin embargo, se observó tres isothermas que no proporcionaron información precisa sobre el estado físico del agua.

2.7.5.- Sistemas de medición de isothermas de adsorción

“En la mayoría de los laboratorios se utilizan técnicas higrométricas y gravimétricas para generar isothermas. Sin embargo, otros laboratorios utilizan técnicas más avanzadas para el mismo objetivo, que son más costosas debido a los equipos e instrumentos necesarios”. (Alvarado, 2001).

Las técnicas gravimétricas e método estático consisten en colocar dentro de una cámara herméticamente cerrada una dilución saturada de una sal con una a_w conocida. En el espacio libre que queda por encima de la disolución se origina un ambiente cuya



humedad relativa en el equilibrio, a una temperatura determinada será exactamente la a_w de la sal a esa misma temperatura. “Si en el interior de la cámara se coloca también la muestra, esta ira ganando o perdiendo agua hasta quedar e equilibrio con el ambiente (peso constante). El equilibrio se considera en el momento en que la diferencia de pesos de las pesadas consecutivas es menor a 1 mg/g” (Labuza, 1985).

La a_w de la muestra en ese momento será la de equilibrio con la sal. Puesto que al estar saturada la solución de la sal, esta absorbe las variaciones de humedad de manera que la humedad relativa del ambiente permanece constante. La humedad puede determinarse experimentalmente o calcularse conociendo la humedad inicial de la muestra, así como pesos iniciales y finales.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. INSUMOS

Siete variedades de quinua adquiridas del instituto nacional de innovación agraria - Puno (INIA)-

- Salcedo INIA (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote 18-13-01)
- Illpa INIA. (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote 22-13-01)
- Pasankalla. (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote 116-14-01)
- Negra collana. (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote 76-12-01)
- Kankolla. (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote 20-13-01)
- Rosado choclo de taraco (lugar de producción Taraco Lote 22-13-01)
- Altiplano (lugar de producción Tahuaco-Yunguyo Lote |102-14-01)

3.2. REACTIVOS SALES SATURADAS

- Cloruro de litio (MW (peso molecular)= 60.41 g/mol)
- Acetato de potasio (MW = 98.14 g/mol, aw = 0.112)
- Cloruro de magnesio (MW = 203.30 g/mol, aw = 0.234)
- Nitrato de sodio (MW = 84.99 g/mol, aw = 0.333)
- Cloruro de estroncio (MW = 158.53 g/mol, aw = 693)
- Cloruro de sodio (MW = 58.44 g/mol, aw = 0.741)
- Sulfato de amonio (MW = 132.14 g/mol, aw = 0.817)
- Cloruro de Potasio (MW = 74.55 g/mol, aw = 859)
- Cloruro de bario (MW = 244.26 g/mol, 0.910)
- Sulfato de potasio (MW = 270.32 g/mol, aw = 979)

3.3. EQUIPOS

- Secador de 150 grados.
- Balanza analítica. (metler tolado PB3002-S)
- Pipetas de 10 ml
- Lunas de reloj.
- Recipientes.
- Probetas de 100 y 250 ml.
- Vasos de vidrio de 20 ml.
- Cocina eléctrica.
- Baldes. 5lt
- Colador.
- Texturometro TAXT PLUS, capacidad de fuerza 50 kg (500N).
- Sistema de adquisición de imágenes de la Universidad Nacional Del Altiplano Puno se muestra en la Fig. 8.

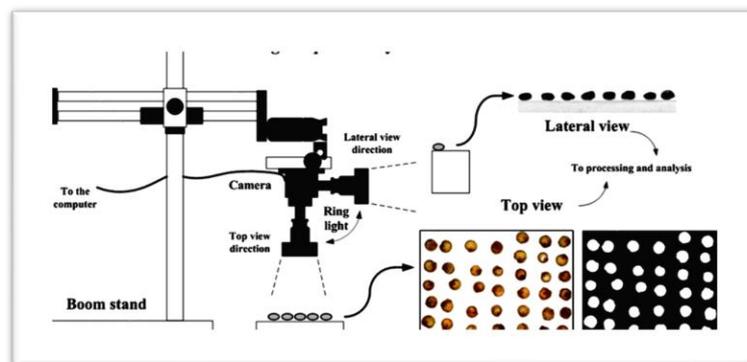


Figura 7. Sistema de adquisición de imágenes de la
UNA-PUNO (Medina, 2010).

- Microscopio electrónico ambiental de barrido SEM (marca EVO–L–S–422 10, a 300 x, 150ekv) Fig 6.

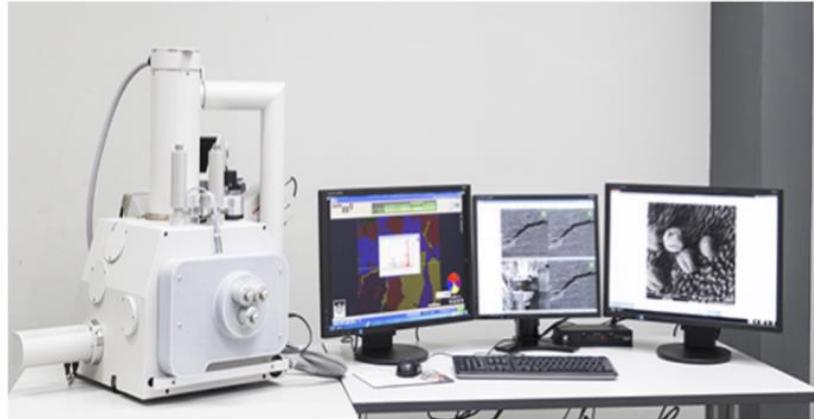


Figura 8. Microscopio ambiental de barrido E-SEM del laboratorio de materiales de la PUCP (León, 2016).

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Determinación de isoterms de adsorción

Las siete variedades de quinua fueron proporcionadas por INIA-PUNO (Instituto nacional de investigación agraria), inicialmente se determinó la humedad que tiene cada variedad y luego se equilibró con diez diferentes soluciones salinas saturadas (tabla 11) en diez envases de vidrio sellados a temperatura ambiente por variedad. Las muestras se pesaron cada semana hasta llegar a una humedad en equilibrio constante y así determinar su humedad final.

Tabla 9.

Cantidad de sal saturada y agua para preparar las soluciones salinas.

	Sal saturada	Peso (g)	Agua (ml)
1	Cloruro de litio	15	8.5
2	Acetato de potasio	20	6.5
3	Cloruro de magnesio	20	2.5
4	Nitrato de sodio	20	7
5	Cloruro de estroncio	20	6
6	Cloruro de sodio	20	6
7	Sulfato de amonio	20	8
8	Cloruro de Potasio	20	8
9	Cloruro de bario	25	7
10	Sulfato de potasio	20	9

Fuente: Creú (2008).



- **Isotermas de adsorción:**

“Las isotermas de adsorción son gráficos que ilustran la relación entre el contenido de agua (representado como masa de agua por unidad de materia seca) y la actividad del agua de una comida a una temperatura fija”. (Fennema, 1993). “La adsorción del agua comienza con la creación de una monocapa en la superficie del producto, seguida de la adsorción multicapa. La producción de agua en los poros y huecos capilares, la disolución de solutos y el atrapamiento mecánico del agua constituyen la adsorción multicapa del agua”. (Creu, 2008).

En el presente proyecto para obtener las isotermas de adsorción de agua en siete variedades de quinua se usara la metodología utilizada por (Lopez & Fihlo, 2002). Las soluciones saturadas proporcionan actividades de agua de 0.112-0.979, aprox. cinco gramos de quinua se colocaron en cada recipiente y en otro recipiente se colocó timol como agente anti fúngico todas estas muestras se colocaron en recipientes herméticos a temperatura ambiente y se pesaron cada siete días hasta obtener un peso constante que indico el equilibrio de actividad de agua. Los modelos matemáticos (Tabla 12) se utilizaron para ajustar los datos experimentales y ver cual se adapta mejor a los datos experimentales.

Tabla 10.

Modelos matemáticos que se usó para ajustar datos experimentales

NOMBRE	MODELO	PARAMETROS
SMITH	$X^W = A * a_W^B + D * a_W^E$	A,B,D,E= constantes (B<1,E>1)
GAB (Ban Ben Berg y Bruin, 1981)	$\frac{M}{M_0} = \frac{(C * K * Aw)}{(1 - K * Aw) * [(1 - K * Aw)]}$	Aw: Actividad de agua Mo: Valor de la cobertura de la mono capa cuando los sitios hidrofílicos están cubiertos por una molécula de agua M: Contenido de humedad en base seca (g agua /100g M.S.) C: constante energética relacionada con el calor de adsorción de la primera K: Factor de correlación de las propiedades de las moléculas en las multicapas
MODELO DE OSWIN (Chen y Morey,1989)	$M = a \left[\frac{Aw}{1 - Aw} \right] b$	Aw: Actividad de agua M: Contenido de humedad en base seca (g agua /100g M.S.) a y b: Parámetros que dependen de productos
HENDERSO N (Henderson, 1952)	$1 - a_w = e^{-(KX^WA)}$	K,A = constantes

Fuente: (Creu, 2008).

La humedad de los granos de quinua se determinó por el método de (AOAC, 2000) 945.15. Se tomaron en cuenta las humedades en base seca para elaborar la curva de humedad.

3.4.2. Determinación de la resistencia mecánica

La resistencia mecánica se determinó con la metodología dada por (Creu, 2008), “usando el texturometro del laboratorio de con una deformación 75%, para cada variedad de quinua con tres humedades diferentes. Los ensayos de resistencia mecánica por compresión, donde se utilizó una prensa uniaxial Micro Systems Texture Analyser TA.XTPlus, con una célula de compresión circular de 6 mm de diámetro (P/75). El equipo consiste en un brazo móvil, conectado a la célula P/75, el cual desciende hacia una base graduada con el centro marcado. Los ensayos se realizaron hasta un 75% de deformación con una célula de carga de 50 kg, la velocidad de descenso del brazo fue de 2 mm/s”.



1. Se usaron siete variedades de quinua Salcedo INIA, Altiplano INIA, Pasankalla, Kancolla, Negra collana, Illpa INIA y rosado choclo de taraco equilibrado con tres puntos de actividad de agua (0.112, 0.741, 0.979).
2. Se adecuó los granos de quinua en el texturometro TA-XT plus para una cedula circular de 6 mm, con un 75 % de deformación los ensayos se realizaron con tres repeticiones para cada muestra.
3. La toma de datos se realizó mediante el software Texture Exponent 32 proporcionado por la casa Stable Micro Systems. Para cada muestra se analizó la fuerza máxima ejercida por el equipo (N) y el punto de fracturabilidad.

3.4.3. Determinación de las propiedades físicas

Para determinar el diámetro equivalente, área y esfericidad de los granos de quinua; se usó el sistema de adquisición de imágenes del laboratorio de Ingenieras de la EPIA. (Medina, 2010).

1. Se usaron siete variedades de quinua Salcedo INIA, Altiplano INIA, Pasankalla, Kancolla, Negra collana, Illpa INIA y rosado choclo de taraco equilibrado con 3 puntos de actividad de agua (0.112, 0.741, 0.979).
2. Cada grano de quinua se adecuó en una regla milimétrica, se usó la cámara digital D7000 4F – S DX del sistema de adquisición de imágenes para tomar las fotografías de cada variedad de quinua con tres repeticiones, se obtuvo el diámetro mayor, menor y espesor.
3. Para poder determinar la esfericidad de los granos de quinua se usó la siguiente ecuación (Mohsenin, 1986; Koocheki *et al.*, 2007; Tarighi *et al.*, 2011).
4. Ecuación:

$$\varphi = \frac{Dg}{L}$$



Donde:

φ : Esfericidad, adimensional

Dg: diámetro equivalente

L: diámetro mayor

3.4.4. Determinación de microestructura:

La microestructura se observó mediante el microscopio electrónico ambiental de barrido SEM de marca EVO–L-S-10, del laboratorio de materiales de la PUCP, se realizó hasta 800 x, 150ekv, en vacío absoluto y atmosfera inerte. Las quinuas fueron fraccionadas longitudinalmente con un bisturí, se adecuo en una porta objetos y luego fueron llevadas al microscopio. (León, 2016).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Para realizar las isotermas de adsorción se usaron 10 sales a una a_w (0.112, 0.234, 0.333, 0.693, 0.741, 0.756, 0.817, 0.859, 0.910, 0.979), en recipientes herméticamente cerrado durante un mes. En la Fig. 9. Se muestra la curva de humedad en base seca (Hbs) de siete variedades de quinua (Altiplano, Illpa Inia, Kancolla, Negra Collana, Pasankalla, Salcedo Inia y Rosado choclo de Taraco con tres a_w (0.112, 0.741, 0.910), dividida por tres tramos la zona I, II, III.

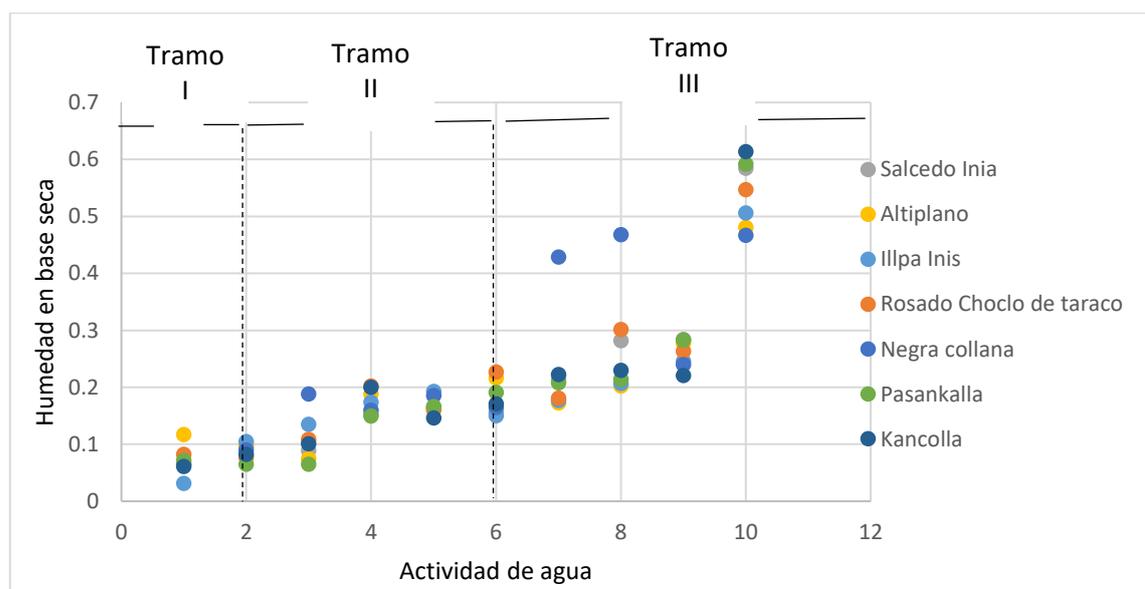


Figura 9. Curva de humedad en base seca para siete variedades de quinua con a_w 0.112, 0.741, 0.979.

Agua fuertemente ligada, La zona II, corresponde al agua fuertemente ligada de 0.2 a 0.6 de a_w , consta del agua de la zona I más el agua añadida (procedimiento de adsorción), ocupando los sitios restantes de la primera capa y varias capas adicionales en torno a los grupos de hidrofílicos designándose agua multicapa, el agua multicapa se asocia con moléculas vecinas primariamente por enlaces de hidrogeno agua-agua y agua-



soluto. El agua de la zona II es más difícil de remover que el agua de la zona III. Esto se visualiza mejor en la isoterma de adsorción de humedad Fig. 8. ya que su eliminación conduce a mayor reducción de la a_w remanente de agua del tipo III. La eliminación parcial del agua de la zona II elimina la última posibilidad de crecimiento microbiano y reduce en gran parte muchas clases de reacciones químicas. La remoción completa del agua de la zona II (a niveles de 3 al 7 % de humedad, depende de la variedad y la temperatura) corresponde aproximadamente a la estabilidad, óptima de productos secos que contienen cantidades significativas de lípidos oxidables (Fennema, 1993). La humedad en base seca para elaborar hojuelas de quinua cruda es de 16% en granos blancos y puede llegar hasta 18% de Hbs en granos oscuros (Moya, 2006),

4.1.1. Modelamiento de isotermas de adsorción

Se realizó la modelación de las isotermas de adsorción para 4 modelos matemáticos (Gab, Oswin, Henderson, Smith), en la siguiente Tabla 13, se muestra los resultados de las constantes de las cuatro ecuaciones matemáticas para siete variedades de quinua.

Tabla 11.

Parámetros y constantes de los modelos matemáticos de isoterma de adsorción para las variedades de quinua (Salcedo INIA, Negra Colana, Pasankalla, Kankolla, Altiplano, Illpa INIA, Choclo rosado de Taraco).

Modelo	constante	VARIETADES						
		Salcedo INIA	Negra Collana	Pasankalla	Kankolla	altiplano	Illpa INIA	Choclo rosado de taraco
GAB	Xm	0.0448	0.0470	0.0430	0.0456	0.0473	0.0467	0.0472
	C	43.5086	35.7420	55.9420	34.2310	45.1290	54.3220	36.2350
	K	1.4638	1.3170	1.5650	1.4510	1.4570	1.4350	1.2470
	R2	0.7530	0.7750	0.7100	0.7200	0.7520	0.7430	0.7820
	MA%E	1.7736	2.3373	2.9344	1.6754	1.4234	2.2312	2.364
OSWIN	A	10.6200	13.8495	12.0470	12.8941	11.2001	13.5056	11.1023
	B	0.3875	0.3035	0.3523	0.3435	0.3100	0.3235	0.30112
	R2	0.9966	0.9985	0.9992	0.9954	0.9934	0.9976	0.9975
	MA%E	4.9228	9.4676	10.7780	5.3423	3.6513	9.123	8.1281
HENDERSON	K	-1.9930	-2.1780	-1.7800	-1.8712	-1.9324	-1.9732	-2.0142
	N	1.3510	1.4840	1.2510	1.7420	1.6340	1.4520	1.3890
	R2	0.8830	0.8870	0.8870	0.8830	0.8850	0.8820	0.8860
	MA%E	1.0000	0.8630	0.8014	0.8630	0.9450	0.8750	0.8230
SMITH	A	7.2227	4.2618	3.0494	7.234	5.1263	3.2534	4.6345
	B	10.3220	10.4006	11.2837	10.4520	11.6750	10.4230	10.3420
	R2	0.9998	0.9983	1.0000	0.9798	0.9988	0.9948	0.9928
	%E	30.3709	2.9245	0.0505	0.3245	4.3452	0.3450	2.2505



Consideran que tiene mejor ajuste aquel modelo que tiene un error medio relativo menor (E) al 10%, es decir que un modelo matemático se ajusta para todos los datos de un experimento y no sigue ningún patrón que conlleve a un error (Gutierrez, 2004),

“La variedad Pasankalla tiene mayor equilibrio que la blanca de Juli, el modelo matemático con mayor ajuste adecuado es Peleg, sin embargo en nuestros resultados el mejor ajuste es el modelo de Smith” (Pumacahua., 2014), “el mejor método iterativo para la evaluación de un modelo matemático, está determinado por: primero por la menor diferencia mínima de cuadrados, y segundo, cuanto más alto sea el valor de R^2 ”. (Soleimani, 2006).

En el modelamiento de las isotermas de adsorción a temperatura ambiente se observa que el modelo de G.A.B Y OSWIN (tabla 13) se ajustan de mejor manera en siete variedades, ya que presentan mejores valores de R^2 así mismo presentan ajustes considerables.

Tabla 12.

Resumen del valor de la mono capa para las ecuaciones matemáticas de GAB.

VARIETADES	VALOR DE LA MONOCAPA GAB
Altiplano	0.06779667
Illpa INIA	0.09336373
Kancolla	0.06527953
Pasankalla	0.04881204
Salcedo	0.0473735
Negra Collana	0.08157217
Rosado choclo taraco	0.06779667



“Es muy común en el procesado de alimentos y en la industria de su conservación, usar el valor mono capa G.A.B. como contenido de agua crítico, en el que los alimentos deshidratados son más estables” (Creu, 2008), La actividad de agua al contenido de agua mono capa también es llamada actividad del agua crítica.

Obtiene valores de mono capa de GAB para la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) que oscila entre 0.073 a 0.032 g H₂O/g m.s para un rango de temperatura de 20°C a 35°C. Pumacahua (2014), “determina valores de mono capa de GAB de dos variedades de quinua Blanca de Juli y Pasankalla la cual oscila entre 0.0471 a 0.0877 para un rango de temperatura de 40°C a 70°C. Peralta (2014), obtiene valores de monocapa de GAB de dos variedades de kiwicha centenario y oscar blanco las cuales oscilan entre 0.0541 a 0.0673 en donde observa que el valor de la mono capa es directamente proporcional a la temperatura”. El valor del parámetro C del modelos de GAB, es mucho mayor que 1 (varía entre 11.80 y 198.70) y la constante k tiene valores menores que 1 (varía entre 0.85 a 0.91). k considera las propiedades modificadas del sorbato en la región de la multicapa y las propiedades del líquido. La isoterma de GAB es buena para valores por encima de 0.9 de a_w, así mismo las isotermas son clasificadas como tipo II. Este comportamiento también fueron observados en diversas variedades de quinua.

Los valores de la mono capa de la ecuación matemática GAB muestran la cantidad necesaria para formar una capa sobre los grupos altamente polares y accesibles a la materia seca, obteniendo el mayor resultado la variedad de Illpa INIA que es de 0.093 y el menor es para la variedad de salcedo INIA con 0.047.

4.1.2. Análisis estadístico

En la Figura 10. De acuerdo a la prueba tukey, se muestra la variación de humedad en base seca para cada variedad de granos e quinua equilibrados a tres a_w (0.112, 0.741, 0.979).

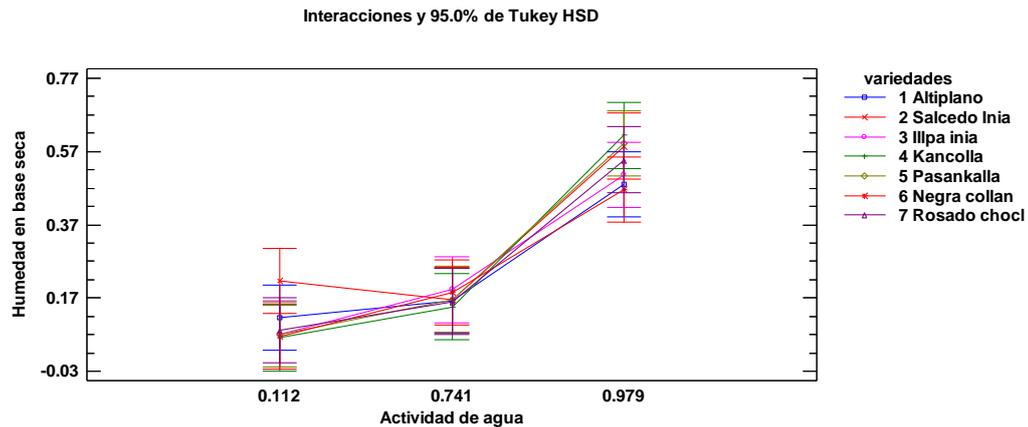


Figura 10. Prueba tukey Humedad en base seca (Hbs) para cada variedad de granos de quinua con tres a_w diferentes.

Se muestra una diferencia entre variedades respecto a la adsorción de agua, teniendo la mayor adsorción la variedad Kancolla seguida de la variedad Salcedo INIA y la variedad con mínima absorción es la variedad Negra Collana,

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (Anexo E. cuadro E.1) se muestra evidencias que las variedades y actividad de agua tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre la absorción de agua (Hbs) para tres actividades de agua diferentes con un 95.0% de nivel de confianza.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA PROPIEDAD MECÁNICA (RESISTENCIA MECÁNICA)

La determinación de la resistencia mecánica de siete variedades de granos de quinua, fue realizada de forma individual tomada al azar para cada nivel de humedad (a_w 0.112, a_w 0.741, a_w 0.979) con tres repeticiones. Las pruebas de compresión se realizaron

mediante el instrumento TA.XT plus el cual cuenta con un brazo mecánico y un software especializado para programar funciones según la muestra a analizar, en la tabla 15 se muestra los resultados de fuerza máxima ejercida para quebrar los granos de quinua, en la figura 11 se muestra las curvas de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.112, 0.741 y 0.979.

Tabla 13.

Resultados de la fuerza máxima ejercida por el instrumento TA-XT Plus para el quiebre de siete variedades de quinua con tres a_w diferentes (0.112, 0.741, 0.979).

VARIETADES	Fuerza máxima ejercida (N)			
	a_w 0	a_w 0.112	a_w 0.741	a_w 0.979
Altiplano	75.75 N	68.385 N	63.374 N	51.588 N
Illpa INIA	62.605 N	59.228 N	51.73 N	48.24 N
Kankolla	63.392 N	47.806 N	38.397 N	34.504 N
Negra Collana	48.159 N	44.394 N	40.882 N	39.519 N
Pasankalla	100.903 N	94.976 N	88.031 N	59.369 N
Rosado Choclo	41.462 N	38.76 N	38.008 N	33.833 N
Salcedo	55.773 N	49.292 N	48.423 N	38.935 N

En la siguiente figura, se muestra las curvas de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a tres puntos de a_w de 0.112, 0.741 y 0.979.

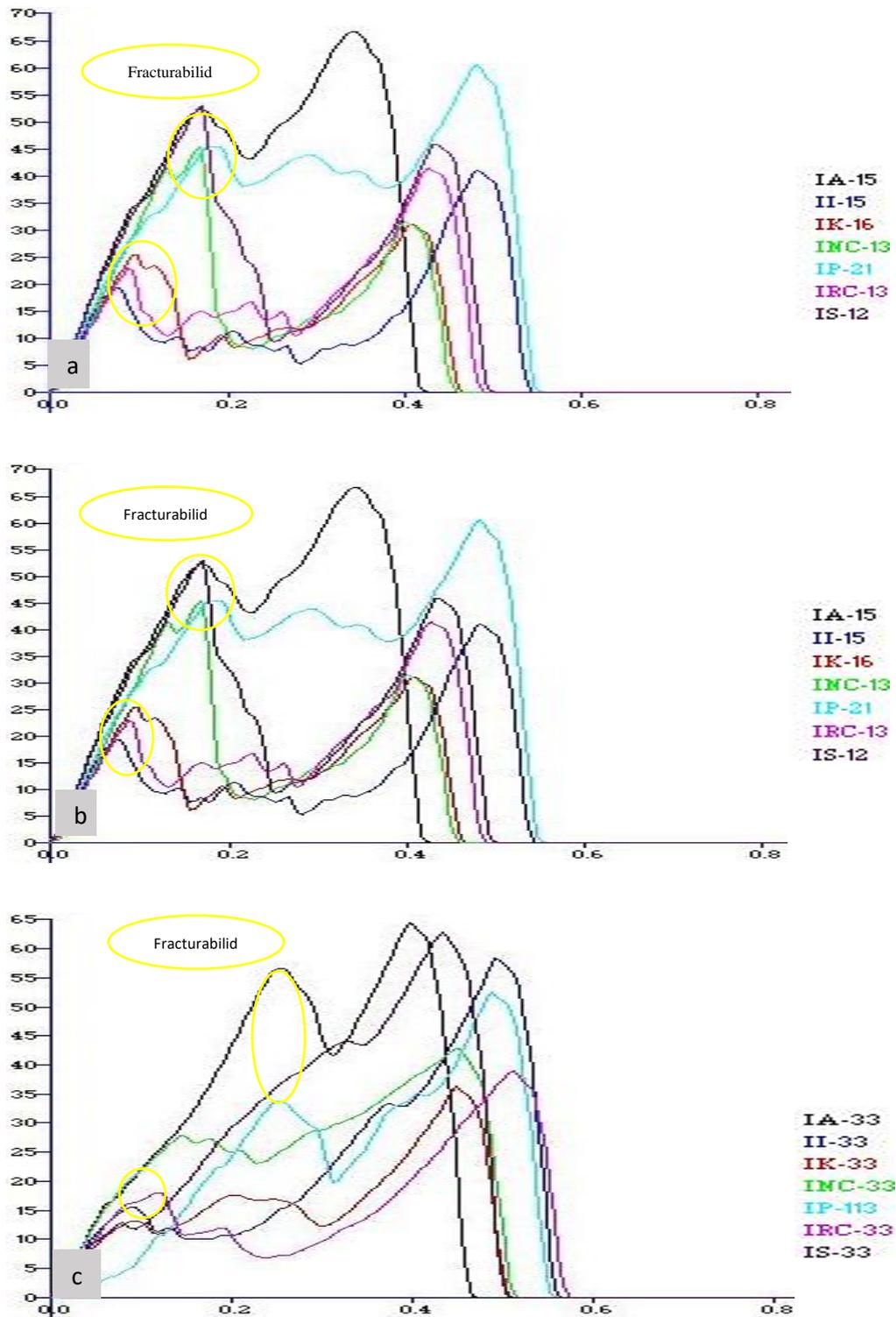


Figura 11. a) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.112, b) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.741, c) Curva de la resistencia mecánica de siete variedades de quinua equilibrado a una a_w de 0.979.

En la figura 11, se muestra las curvas de las siete variedades con tres puntos de a_w diferentes siendo IA (altiplano INIA), II (Illpa INIA), IK (kancolla), INC (Negra



Collana), IP (Pasancalla), IRC (Rosado choclo de Taraco), IS (Salcedo INIA). Se observa la curva de la resistencia máxima (Punto más alto) descritas en la tabla 14 y también observamos el punto de fracturabilidad de cada variedad de quinua con tres puntos de a_w diferentes. “La fracturabilidad es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con el cual el alimento se desmorona, cruje o se revienta”. (Molina, 2016). La actividad crítica del agua (a_w) donde los parámetros de textura disminuyeron rápidamente oscilando entre 0.741 y 0.979 dependiendo principalmente de las variedades de quinua.

El agua y la temperatura son, los factores más investigados debido a su relevancia para afectar su calidad y estabilidad. Los extruidos secos de cereal son higroscópico debido a la composición química, la porosidad y presencia de almidón en estado amorfo (Colonna et al., 1984). Si la humedad de estos productos aumenta, debido para absorber agua de la atmósfera, resulta en una empapada, textura suave (Nicholls et al., 1995) y pierde su frescura. Entonces, los efectos de la hidrosorción en la textura están bien documentados en extruidos de cereales (Barret y Kaletunc, 1998; Pamies et al., 2000; George y otros, 1989; Heidenreich et al., 2004).

La ecuación de Peleg-Fermi fue ampliamente utilizado en la literatura para modelar los cambios de textura con un aumento de a_w (Xuewei, 2015). La ecuación de Peleg-Fermi supone que un lineal relación existe entre una propiedad de textura y actividad de humedad antes de la disminución de la propiedad.

Sin embargo, Gondek y Lewicki (2006) encontraron que la relación entre la fuerza y el trabajo de la compresión y la actividad del agua en los copos de maíz no podrían ser descritas por la ecuación de Peleg-Fermi. Debido a que la relación era curvilínea, dobla hacia abajo y la pendiente aumentó con el aumento de la actividad del agua hasta que la



actividad del agua alcanzó un valor crítico. El grado de irregularidad disminuyó con el aumento en actividad de agua. La magnitud de la fuerza cae en el punto de fractura mayor también aumentado. Observación similar ha sido reportada para los cereales extruidos (Heidenreich et al., 2004; Nicholls et al., 1995). Cuando la actividad del agua alcanza a 0,77, se obtuvo una curva relativamente suavizada observada y la fuerza se mantuvo en un nivel considerable. Para la muestra equilibrada a una a_w de 0.979, solo una curva muy suave se obtuvo indicando que no se rompió.

Como se observa en la tabla 15, para la a_w de 0 la variedad Pasankalla tiene una mayor resistencia mecánica que es de 100.8 N y la variedad con menor fuerza ejercida es rosado choclo de taraco con 41.462 N.

La absorción de agua provocó la pérdida de la irregularidad de su desplazamiento forzado curvas. La resistencia mecánica disminuyó cuando la actividad de agua aumentó a un cierto valor (Xuewei, 2015)

4.2.1. Análisis estadístico para resistencia mecánica:

Se realizó el análisis estadístico con una prueba tukey y tabla ANVA.

En la Figura 12. Se muestra el gráfico de la prueba tukey para la textura (Resistencia mecánica) para siete variedades de quinua equilibradas a tres a_w (0.112, 0.741, 0.979).

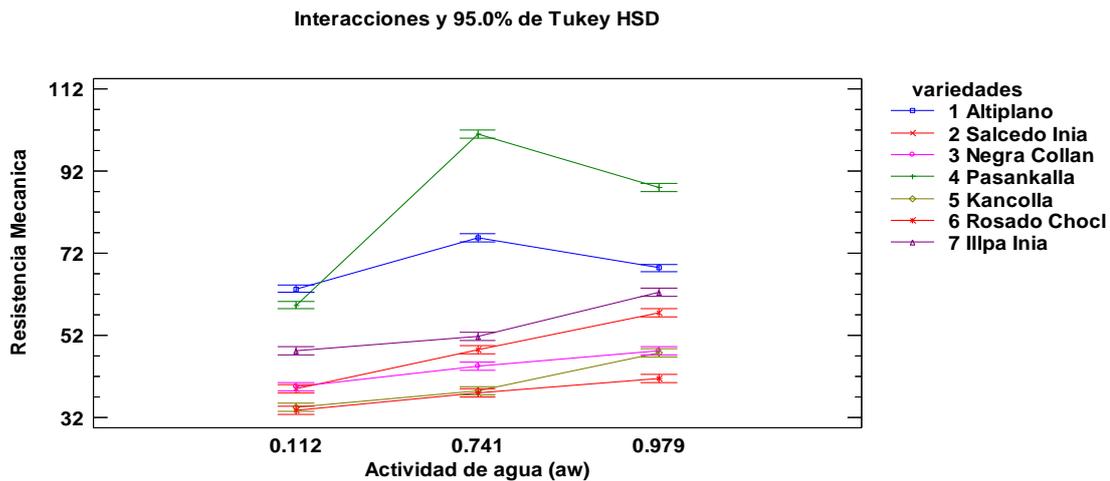


Figura 12. Resistencia mecánica para cada variedad de granos de quinua con tres aw diferentes.

De acuerdo a la prueba tukey figura 12, Respecto a la variedad y a_w sobre la resistencia mecánica nos muestra una diferencia entre variedades. Teniendo la mayor resistencia mecánica la variedad Negra Collana seguida de la variedad Pasankalla y la variedad con mínima resistencia mecánica para la variedad salcedo INIA.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (Anexo E, cuadro E.2) se muestra evidencias que las variedades y actividad de agua tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre la resistencia mecánica para tres actividades de agua diferentes con un 95.0% de nivel de confianza.

4.3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

Se determinó el área, esfericidad y diámetro equivalente para cada variedad de quinua, las muestras fueron seleccionadas al azar con tres repeticiones cada una. En la tabla 17. Se muestra el resumen de las mediciones de diámetro mayor, diámetro menor y espesor (figura 11), área, diámetro equivalente y forma para granos de siete variedades de quinua con tres puntos de actividad de agua 0.112, 0.749, 0.979.

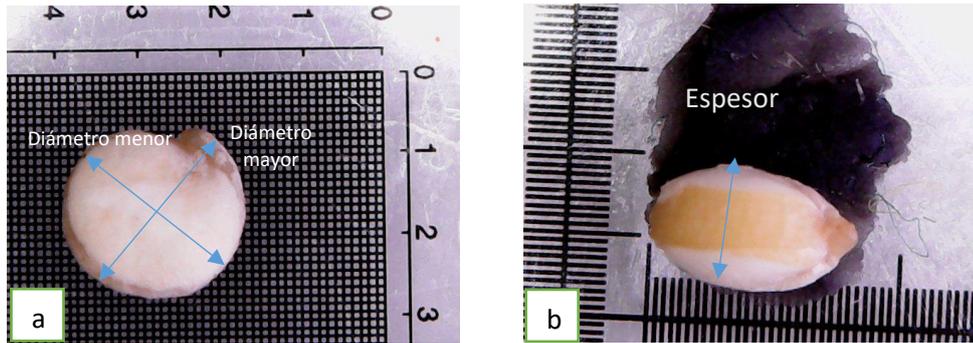


Figura 13. Medición dimensiones de quinua **a).** Diámetro mayor, diámetro menor **b).** Espesor.

Tabla 14
Propiedades físicas (diámetro, área y espesor) para siete variedades de quinua equilibradas a tres a_w .

Actividad de agua		VARIETADES						
		Pasankalla	Kancolla	Altiplano	Salcedo	Illpa inia	Rosado choclo taraco	Negra collana
a_w 0.112	Diámetro mayor (mm)	2.11	1.87	2.02	2.11	2.19	1.87	1.66
	Diámetro menor (mm)	1.95	1.7	1.92	2.06	2.11	1.76	1.49
	Espesor (mm)	1.149	0.99	0.96	1.11	1.19	1.15	1.02
	Diámetro Equivalente (mm)	1.67	1.46	1.55	1.69	1.76	1.55	1.35
a_w 0.741	Área (mm ²)	6.57	5.02	5.66	6.73	7.30	5.66	4.29
	Diámetro mayor (mm)	2.02	1.99	1.97	2.08	2.35	1.94	1.78
	Diámetro menor (mm)	1.91	1.86	1.89	1.96	2.26	1.87	1.64
	Espesor (mm)	1.13	1.1	0.92	1.17	1.32	1.2	0.98
a_w 0.979	Diámetro equivalente (mm)	1.63	1.6	1.51	1.68	1.77	1.63	1.42
	Área (mm ²)	8.35	8.04	7.16	8.87	9.84	8.35	6.33
	Diámetro mayor (mm)	2.23	2.28	2.36	1.32	2.36	2.05	2.02
	Diámetro menor (mm)	2.11	2.15	2.18	2.15	2.18	1.89	1.75
Espesor (mm)		1.37	1.51	1.43	1.62	1.52	1.37	1.22
	Diámetro equivalente (mm)	1.86	1.95	1.94	2	1.98	1.74	1.62
	Área (mm ²)	10.87	11.95	11.82	12.57	12.32	9.51	8.24

En la tabla 18. Se muestra el resumen de los diámetros equivalentes para siete variedades de quinua en tres puntos de actividad de agua diferentes.

Tabla 15

Diámetros equivalentes para cada variedad de quinua en tres puntos de actividad de agua diferentes.

DIÁMETRO EQUIVALENTE			
Variedades	Aw 0.112	Aw 0.741	Aw 0.979
Pasankalla	1.63	1.67	1.86
Kankolla	1.46	1.59	1.94
Negra collana	1.34	1.42	1.62
Altiplano	1.5	1.55	1.94
Salcedo	1.68	1.68	1.99
Choclo rosado	1.38	1.63	1.74
Illpa INIA	1.75	1.77	1.987

En los resultados obtenidos de propiedades físicas tenemos el diámetro equivalente y área de cada grano de quinua con tres diferentes puntos de actividades de agua 0.112, 0.747, 0.979; en donde se observa que según la Norma Técnica Peruana, la clasificación del tamaño de grano, se define por el diámetro promedio expresado en milímetros, el tamaño de los granos grandes es mayor a 1.70 en este tamaño se encuentra la variedad illpa INIA, el tamaño de los granos medianos se encuentra entre (1.70-1.40) dentro de este rango se encuentran las variedades kancolla, Salcedo, Altiplano, Pasankalla, y el tamaño de granos pequeños menores a 1,40 en esta se encuentra la variedad Negra Collana y la variedad Choclo rosado de Taraco.

Según, INIA, (2014). los diámetros de grano de siete variedades de quinua obtenidas en esta investigación son relativamente bajo, esto debido al muestreo ya que no

todo el grano para cada variedad es homogéneo, también el tamaño depende del clima, del lugar de origen, lugar de cosecha, etc.

Tabla 16.

Variedades comerciales de quinua en el Perú.

Nombre de variedad	Diámetro de grano
INIA 431 – Altiplano	2,20 mm
INIA 420 – negra collana	1.16 mm
Rosado choclo de taraco	1.70 mm
INIA 415 – pasankalla	2.10 mm
Illpa INIA	2,20 mm
Salcedo inia	2.00 mm
Kankolla	1.80 mm

INIA, (2014).

En la siguiente tabla se muestra los resultados de esfericidad para siete variedades de quinua.

Tabla 17.

Esfericidad de los granos de quinua

	dg	esfericidad
Pasankalla	1.67	0.791469194
Kancolla	1.46	0.780748663
Altiplano	1.55	0.767326733
Salcedo	1.69	0.800947867
Illpa INIA	1.76	0.803652968
Rosado choclo de taraco	1.55	0.828877005
Negra collana	1.35	0.813253012



El valor de esfericidad obtenido se muestra en la tabla 18, la variedad Pasankalla, Kancolla, Altiplano, Salcedo, Illpa INIA tienen una forma esférica ya que se encuentran en el rango de 0.7 – 0.8, en el caso de las variedades rosado choclo de taraco y Negra collana no son de forma esférica ya que no se encuentran dentro del rango de esfericidad.

La forma de la semilla de quinua es similar a una esfera suavizada. Las dimensiones principales de la semilla, la longitud y la anchura, son aproximadamente iguales debido a la sección longitudinal redonda (Gutierrez, 2004).

“La esfericidad es el grado de aproximación de una semilla a una esfera y en cualquier semilla es una función de sus dimensiones básicas (largo, ancho y espesor). Esta característica describe la capacidad de rodar de una semilla durante el procesamiento. Un valor de esfericidad de 0,7 a 0,8 es considerado esférico para una semilla” (Bande et al., 2012). La esfericidad en semillas aumenta con el incremento de la humedad (Işik y Unal, 2011; Tarighi et al., 2011). “En semillas de quinua, Vilche et al. (2003) determinaron valores de 0,77 a 0,88 en función del incremento de humedad, no obstante, para otro género de semilla ha sido documentado disminución de la esfericidad al aumentar la humedad (Çalışır et al., 2005). Los valores de densidad aparente (0,6993 g/mL) y real (1,0273”

4.3.1. Análisis estadístico para las propiedades físicas:

Se realizó las pruebas estadísticas para el diámetro y área equivalente de siete variedades de quinua, para obtener evidencias significativas en cuanto a las diferencias de las propiedades físicas.

a). Análisis estadístico de Diámetro equivalente

En la (figura 13) se muestra el gráfico de diámetro equivalente de siete variedades de quinua equilibradas a a_w 0.112, 0.741, 0.979.

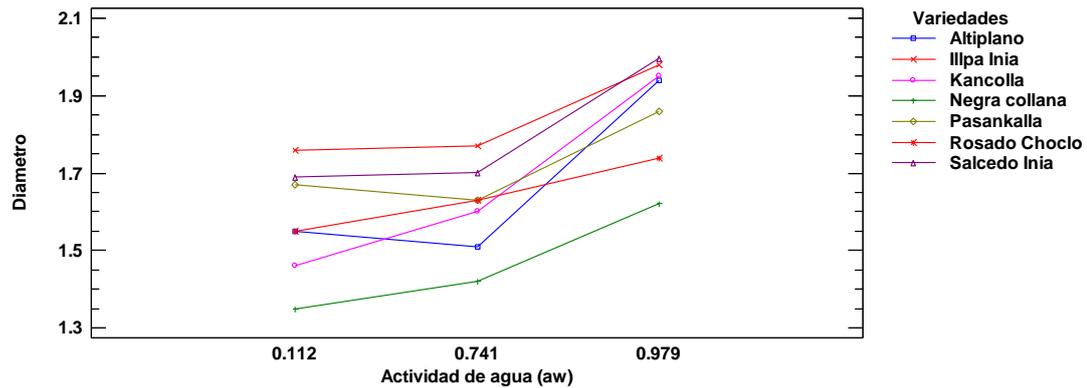


Figura 14. Díámetro equivalente para siete variedades de quinua

De acuerdo a la prueba Tukey (Figura 13). Respecto a la variedad y aw sobre el diámetro nos muestra una diferencia entre variedades. Teniendo el mayor diámetro Illpa INIA, seguida de salcedo INIA y la variedad con mínimo diámetro para la variedad Negra collana.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo E - cuadro E.3) se muestra evidencias que las variedades y actividad de agua tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre el diámetro de granos de quinua para tres aw 0.112, 0.741, 0.979 con un 95.0% de nivel de confianza.

b). Análisis estadístico de área

En la (Figura 14) se muestra el gráfico de área de siete variedades de quinua equilibradas a aw 0.112, 0.741, 0.979.

Gráfico de Interacciones

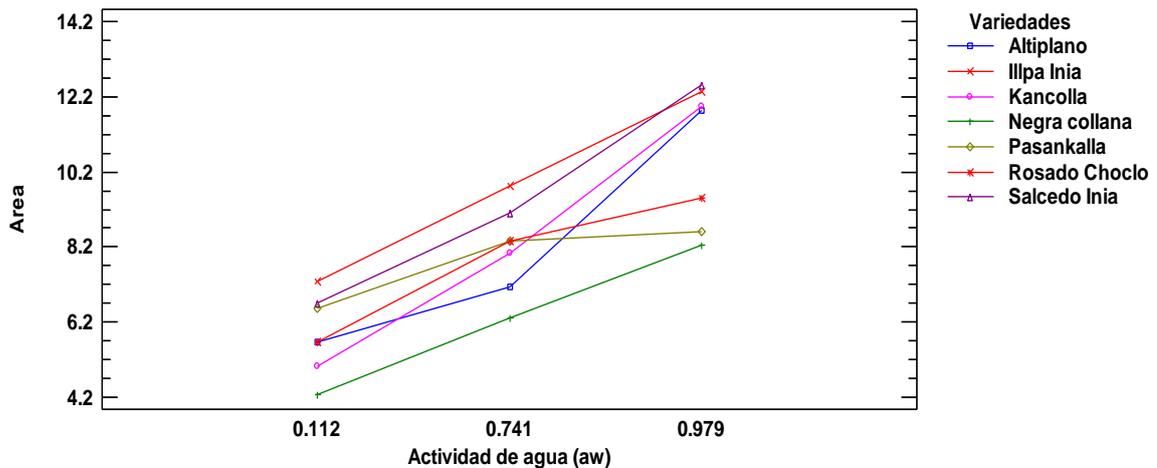


Figura 15. Área de siete variedades de granos de quinua equilibrados a tres aw.

De acuerdo a la prueba tukey (Figura 14). Respecto a la variedad y aw sobre el diámetro nos muestra una diferencia entre variedades. Teniendo el mayor área la variedad Illpa inia, seguida de la variedad salcedo Inia y la variedad con mínima área es para la variedad Negra collana.

De acuerdo al análisis de varianza (ANVA) (descrita en el anexo E - cuadro E.4) se muestra evidencias que las variedades y actividad de agua tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre el área de granos de quinua para tres aw 0.112, 0.741, 0.979 con un 95.0% de nivel de confianza.

4.4. MICROESTRUCTURA DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA CON TRES PUNTOS DE A_w DIFERENTES

La relación de la microestructura con isothermas de adsorción para siete variedades de quinua a tres puntos de a_w (0.112, 0.741 y 0.979), se muestran en las siguientes figuras.

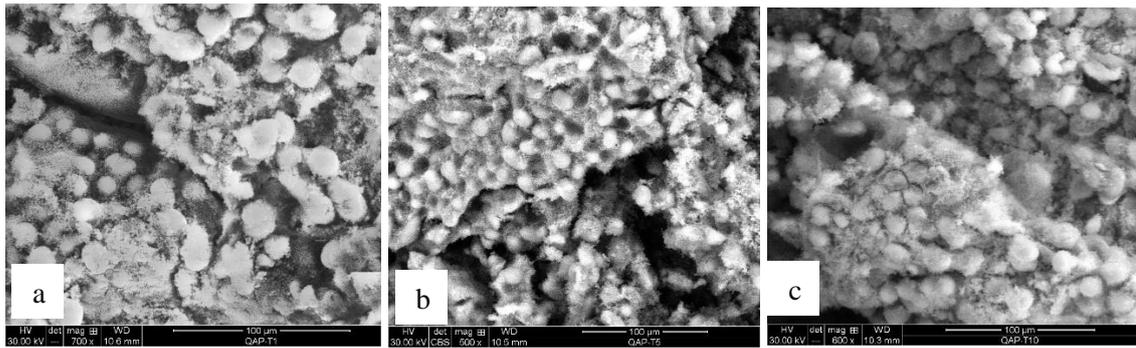


Figura 16. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Altiplano INIA.

- a).**- Sección interna del endospermo de la Variedad Altiplano INIA con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Altiplano INIA con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo a de la variedad Altiplano INIA con una a_w de 0.979.

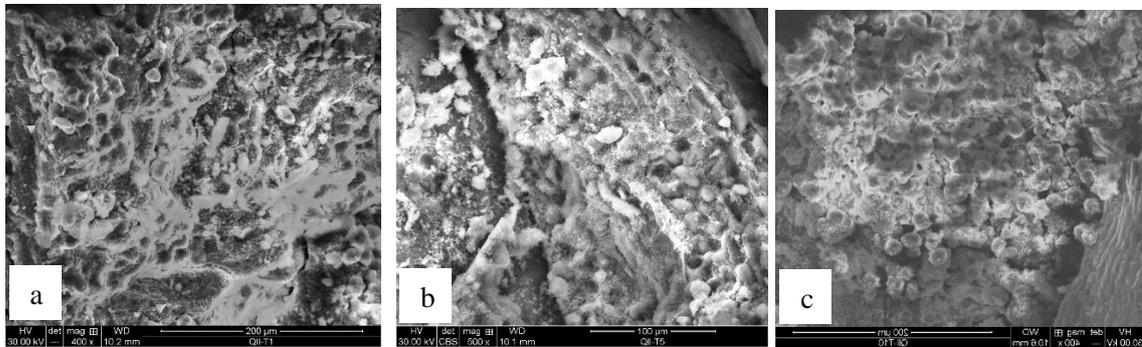


Figura 17. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Illpa INIA.

- a).**- Sección interna del endospermo de la Variedad Illpa INIA con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Variedad Illpa INIA con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Variedad Illpa INIA con una a_w de 0.979.

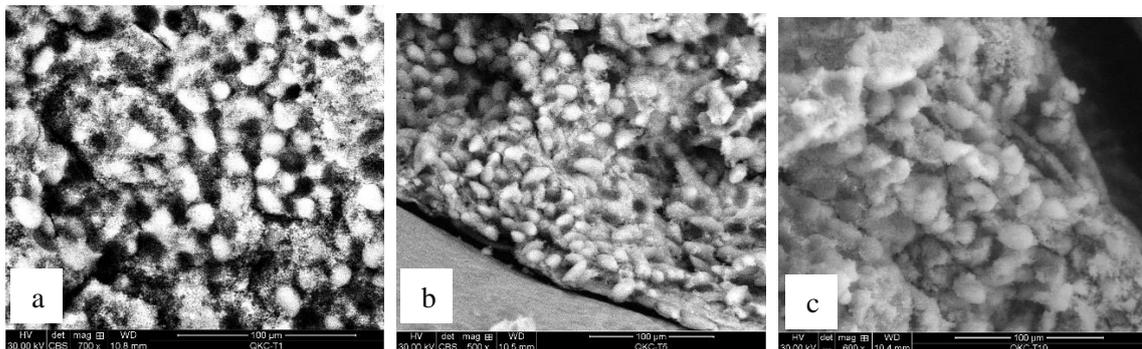


Figura 18. Microestructura de granos de quinua de la Variedad kancolla

- a)** Sección interna del endospermo de la Variedad kancolla con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Variedad kancolla con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Variedad kancolla con una a_w de 0.979.

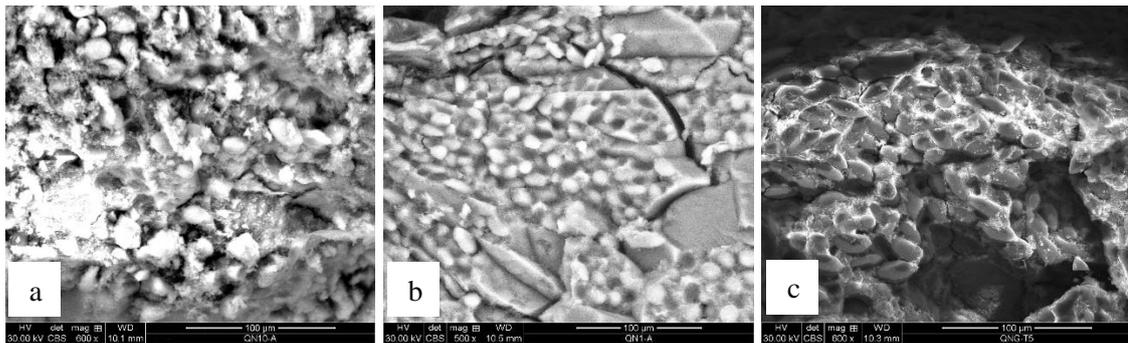


Figura 19. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Negra collana

a) Sección interna del endospermo de la variedad Negra collana con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Negra collana con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Negra collana con una a_w de 0.979.

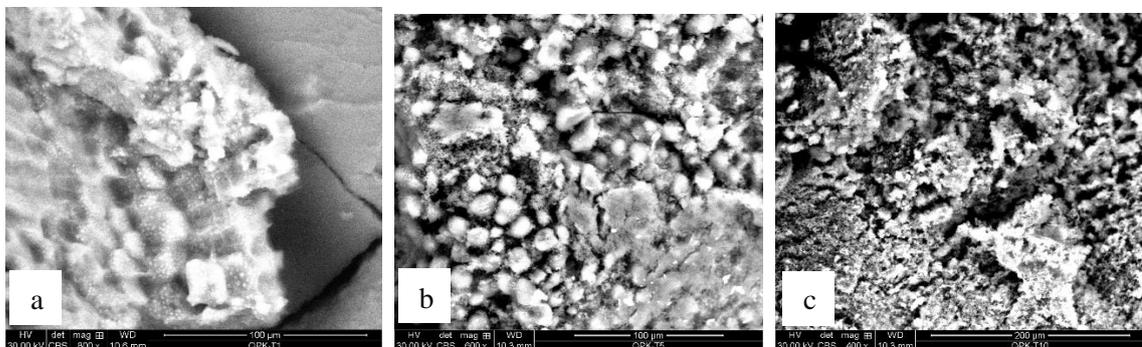


Figura 20. Microestructura de granos de quinua de la Variedad pasankalla

a) Sección interna del endospermo de la variedad pasankalla con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Pasankalla con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Pasankalla con una a_w de 0.979

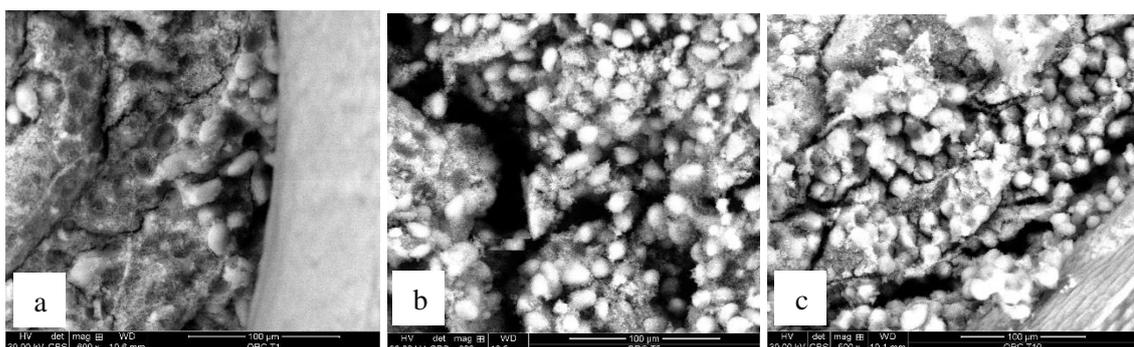


Figura 21. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Rosado choclo de Taraco.

a).- Sección interna del endospermo de la Variedad Rosado choclo de Taraco con un a_w de 0.112, **b)** Sección interna del endospermo de la variedad Rosado choclo de Taraco con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Rosado choclo de Taraco con una a_w de 0.979.

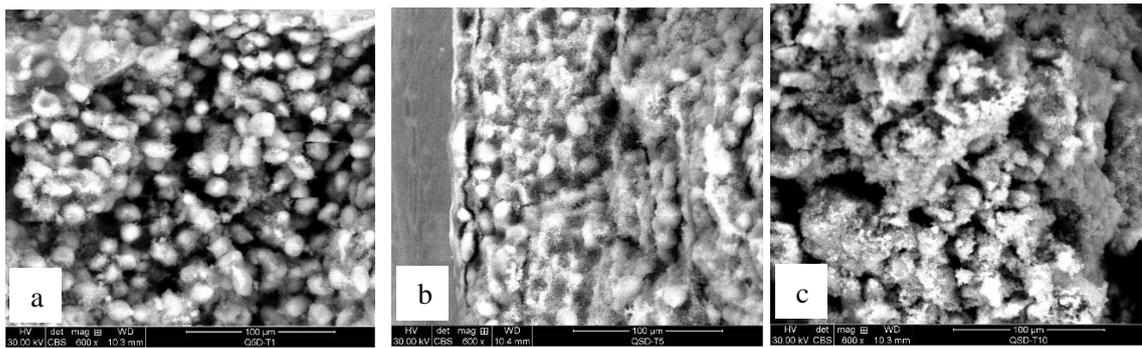


Figura 22. Microestructura de granos de quinua de la Variedad Salcedo INIA.

a).- Sección interna del endospermo de la Variedad Salcedo INIA con un a_w de 0.112,
b) Sección interna del endospermo de la variedad Salcedo INIA con una a_w de 0.741, **c)** Sección interna del endospermo de la variedad Salcedo INIA con una a_w de 0.979.

“Se observó la conformación del empaquetamiento de los almidones dentro del endocarpio en relación a la a_w de cada variedad de quinua. El almidón está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología y estructura son características de cada especie. Se ha reportado que los gránulos pequeños tienen mayor solubilidad en agua y una alta capacidad de adsorción de agua” (Shingai, 1988)

Los gránulos de almidón son poligonales de un tamaño superior a $1\mu\text{m}$, la mayoría de ellos muy cementados y en la zona de corte de la semilla poco adherida entre sí, con espacios de aire y presencia de gran cantidad de cuerpos proteicos.

En la sección interna del endospermo se puede observar formas esféricas a poligonal en la quinua. Una estructura similar describió Ruales y Nair (1994).

“El perisperma es el principal tejido de almacenamiento y está constituido mayormente por gránulos de almidón, es de color blanquecino y presenta prácticamente el 60% de la superficie de la semilla”. Las microfotografías, permitieron apreciar las diferencias estructurales encontradas, especialmente en las capas más externas de la episperma y también en la densidad del perisperma.



En general, se observó diferencia, en la estructura y distribución de los gránulos de almidón según aumenta la actividad de agua, las quinuas de color (Negra collana, Pasankalla) tienen mayor resistencia de rompimiento de los empaques de almidón en comparación con las quinuas blancas (Altiplano INIA, Illpa INIA, o Kancolla, Salcedo INIA, Rosado choclo de Taraco). La microestructura de los almidones de quinua tienen formas poliédricas con diámetros alrededor de 1 μm , que son demandantes de nano interés biológico en la industria (Corre & Bras, 2010), en las microfotografías se muestran, formas esféricas y con uniformidad en un tamaño promedio de 25 μm

Tang et al., (2002) Indica que los almidones se encuentran encapsulados mediante la estructura proteica, y a medida que absorbe humedad las estructuras de los almidones se genera un rompimiento y fisura en su estructura de los paquetes de almidón, las quinuas de colores oscuros tiene mayor resistencia al rompimiento o fisura del almidón, los gránulos de almidón se encuentran empaquetados unidos.

En las fotografías se muestra el almidón, que se encuentran empaquetados en la estructura del grano de la quinua y presentan una forma esférica y ovalada, que es diferente a una extracción de almidón que mide un diámetro aproximado de 1 μm . Tang et al. (2002). Químicamente está formado por dos moléculas determinadas amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula típicamente amorfa y la amilopectina es una molécula cristalina son de importancia para poder destinar para diversos procesos e inclusive a nanotecnología (Corre & Rayner, 2012).



V. CONCLUSIONES

- Se identificó la variedad con mejores propiedades físicas y mecánicas para elaborar hojuelas de quinua, siendo la variedad salcedo INIA ya que está considerado de tamaño mediano según las normas técnicas peruanas, y en cuanto a la propiedad mecánica presenta una menor resistencia en comparación con las demás variedades.
- El modelo que mejor ajusta a las siete variedades de quinua es el modelo de OSWIN, ya que presenta mejores resultados en cuanto a R^2 y porcentaje de error (%E).
- Se ha determinado la propiedad mecánica de siete variedades de quinua con tres puntos de actividad de agua, obteniendo distintos niveles de resistencia mecánica que influye el resultado final de las hojuelas crudas de cada variedad de quinua. Se determinó el tamaño promedio de los granos de quinua, obteniendo que la variedad Illpa INIA es de tamaño grande, la variedad Negra Collana y Rosado de Taraco es de tamaño pequeño y las demás son de un tamaño mediano. Se determinó también la forma de los granos de quinua obteniendo que la variedad Pasankalla, Kancolla, Altiplano, Salcedo e Illpa INIA tienen una forma esférica, y en el caso de las variedades rosado choclo de taraco y Negra Collana no son de forma esférica.
- Se relacionó las isotermas de adsorción con la microestructura de granos de quinua, observando diferencias del almidón dentro del endocarpio a medida que la actividad de agua aumenta.



VI. RECOMENDACIONES

- Investigar sobre las potencialidades que tiene cada variedad de quinua para así definir la variedad adecuada para cada producto.
- Investigar las isotermas de adsorción con diferentes temperaturas y más ecuaciones matemáticas, para obtener resultados más exactos y así seguir con la línea de investigación para diferenciar las potencialidades que tienen cada variedad de quinua.
- Investigar sobre las propiedades físicas de la microestructura de almidón de cada una de las variedades de quinua.
- Estudiar el efecto de la actividad de agua con las propiedades físico químicas del grano de quinua, para poder definir con exactitud la causa de las diferencias en adsorción de agua.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrea Ruales Golzales, j. n. (1992). estructura de granulos de quinua. Puno. Peru: Tesis de Gado. Universidad Nacional del Altiplano.
- AOAC, a. o. (2000). Official methods of analysis. ed Gaithersburg, M.D. Madrid: Editorial Mundi - Prensa. 2, 43 - 47. .
- Ayala., A. A. (2011). estimacion de las isotermas de adsorcion y del calor isorterico en harina de yuca. colombia: cali. Editorial Mariscal. 206. .
- Barcelo, y. v. (2001). germinacion de semillas de quinua. Italia. Editorial Acribia.
- Brock, M. T. (1993). Fermentacion de alimentos. Madrid: Editorial AMV - Mundi. .
- Caceres, B. L. (2010). Determinacion de isotermas de adsorcion de harina y hojuelas de quinua (*chenopodium quinoa willd*). puno.
- Caceres., B. (2010). determinacion de las isotermas de adsorcion de harina y hojuela de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). Puno.
- Castro, V. (1989). procesamiento de cebada por el metodo de expansion por explosion. UNALM, Lima - Peru: Li,a.
- Collazos, ,. C. (1993). La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. 6ta edición. Ministerio de salud. Instituto nacional central de reserva. . Perú: instituto nacional de nutrición.
- Creu, C. C. (Junio de 2008). Relaciones agua - solutos - matriz insoluble. Valencia, España.
- Chavez, C. C. (1992). quinua de calidad. Cusco.
- Fennema., O. R. (1993). Quimica de los alimentos. Zaragoza España: Acribia S.A.



- Greespan, L. (1997). Humidity fixed points of binary saturated aqueous. Journal of Research of the National Bureau of Standards-a Physics. España: Punte 89-96.
- Gutierrez, p. s. (2004). modelacion de isothermas de adsorcion y desorcion de agua . Bogota.
- INDECOPI. (26 de Junio de 2013). Norma tecnica peruana. Hojuelas de quinua. LIMA, LIMA, PERU.
- INIA. (2014). catalogo de variedades comerciales de quinua en el Peru. QUINUA, 23 - 25.
- INIA. (2014). Variedades Certificadas de la Region de Puno. Agraria Illpa.
- Jacobsen, S. -E. (2002). Genetic resources and breeding of the andean grain cop quinua (chenopodium quinua willd). España: : plant genetic resources newsletter,, 54-61.
- koziol, M. J. (1992). chemical composition and nutritional evaluation of quinua (chenopodium Quinoa Willd). food composition and analysis.
- Leon, A. M. (23 de abril de 2016). Mechanical properties of whey protein/Na alginate gel microparticles. Santiago, Chile.
- Lescano., J. (1994). Genética y mejoramiento de cultivos andinos, Quinoa, Kañihua, Tarwi, Kiwicha, Papa Amarga, Olluco, Mashua y Oca. Programa Interinstitucional de Waruwaru, conveni INADE/PELT - COTESU. Puno-Peru.
- Lopez & Fihlo, J. F. (2002). Sorption isotherms of alligator's meat (Caiman crocodilus yacare). 340 Journal of Food Engineering, 201–206.
- Madrid, A. &. (2001). Nuevo Manual de Industrias alimentarias. Madrid: Editorial AMV - Mundi. .



- Medina, E. W. (2010). Estudio sobre la aplicación de análisis de imagen para la identificación de las semillas de quinua (*Chenopodium*. Santiago, Chile, Chile.
- Miranda, R. (2010). caracterizacion agromorfologica de 685 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa willd.*) pertenecientes al banco del termoplasma de granos altoandinos del CIBREF - UTO en el CEAC. tesis de grado. Bolivia: universidad tecnica de oruro.
- Molina, M. S. (2016). Texturometria instrumental: puesta a punto y aplicacion a la tecnologia de alimentos . Mochoaca - Mexico.
- Moya, A. C. (2006). Hojuelas De Quinoa. Bogota.
- opazo, m. n. (2017). Efecto del pretratamiento en la digestión gástrica in vitro de la proteína de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Obtenida por fraccionamiento húmedo y seco.
- Pumacahua., R. (2014). Isotermas de calor isoterico de sorcion en granos de quinua. Esapaña - Valencia: Valencia.
- Rojas, W. (2009). From neglect to limelingt: issues, methods and approaches in enhancing sustainable conservation and use of andean grains in Bolivia and Peru, agriculture and rural development in the tropic and subtropic, 92, . bolivia: 87 - 117.
- Sablani, S. K. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*. 78, 266 - 271.
- Singh y Heldman. (2009). *Industria Alimentaria*. Bogota.
- Torre., H. J. (2008). Courrent use of quinoa (*Chenopodiumquinoa Willd*) in chile. españa: *Food reviews international*,19 155-165.



Viades, T. J. (2008). Adsorción de agua en alimentos. Isotherma de adsorción de Guggenheim, Anderson y GAB. Mexico.



ANEXOS

ANEXOS A

TABLA A.1.- Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Illpa INIA, con 10 actividades de agua.

QII	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.98	5.54	6.52	6.49	0.98	0.95	0.03061224	0.03157895
2	1.16	5.21	6.37	6.26	1.16	1.05	0.09482759	0.1047619
3	1.01	5.45	6.46	6.34	1.01	0.89	0.11881188	0.13483146
4	1.15	5.24	6.39	6.22	1.15	0.98	0.14782609	0.17346939
5	0.99	5.41	6.4	6.24	0.99	0.83	0.16161616	0.19277108
6	1.15	5.25	6.4	6.25	1.15	1	0.13043478	0.15
7	0.93	5.37	6.3	6.16	0.93	0.79	0.15053763	0.17721519
8	1.05	5.08	6.13	5.95	1.05	0.87	0.17142857	0.20689655
9	1.32	7.65	8.97	8.71	1.32	1.06	0.1969697	0.24528302
10	1.22	7.42	8.64	8.23	1.22	0.81	0.33606557	0.50617284



TABLA A.2 Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Altiplano INIA, con 10 actividades de agua.

QAP	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	1.05	7.08	8.13	8.02	1.05	0.94	0.1047619	0.11702128
2	1.13	7.24	8.37	8.27	1.13	1.03	0.08849558	0.09708738
3	1.01	6.95	7.96	7.89	1.01	0.94	0.06930693	0.07446809
4	1.01	7.7	8.71	8.55	1.01	0.85	0.15841584	0.18823529
5	1	7.83	8.83	8.69	1	0.86	0.14	0.1627907
6	0.9	7.42	8.32	8.16	0.9	0.74	0.17777778	0.21621622
7	1.02	7.53	8.55	8.4	1.02	0.87	0.14705882	0.17241379
8	1.19	7.66	8.85	8.65	1.19	0.99	0.16806723	0.2020202
9	1.29	8.03	9.32	9.04	1.29	1.01	0.21705426	0.27722772
10	1.17	7.67	8.84	8.46	1.17	0.79	0.32478632	0.48101266

TABLA A.3. Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Pasankalla, con 10 actividades de agua.

QPK	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.75	6.98	7.73	7.68	0.75	0.7	0.06666667	0.07142857
2	0.98	7.65	8.63	8.57	0.98	0.92	0.06122449	0.06521739
3	0.98	7.71	8.69	8.63	0.98	0.92	0.06122449	0.06521739
4	1	8.59	9.59	9.46	1	0.87	0.13	0.14942529
5	0.91	7.1	8.01	7.88	0.91	0.78	0.14285714	0.16666667
6	1.06	7.32	8.38	8.21	1.06	0.89	0.16037736	0.19101124
7	0.93	13.42	14.35	14.19	0.93	0.77	0.17204301	0.20779221
8	0.85	13.26	14.11	13.96	0.85	0.7	0.17647059	0.21428571
9	1.36	13.2	14.56	14.26	1.36	1.06	0.22058824	0.28301887
10	1.13	13.06	14.19	13.77	1.13	0.71	0.37168142	0.5915493

QKC	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.87	10.53	11.4	11.35	0.87	0.82	0.05747126	0.06097561
2	1.05	10.14	11.19	11.11	1.05	0.97	0.07619048	0.08247423
3	1.09	10.66	11.75	11.65	1.09	0.99	0.09174312	0.1010101
4	1.08	10.09	11.17	10.99	1.08	0.9	0.16666667	0.2
5	0.94	10.64	11.58	11.46	0.94	0.82	0.12765957	0.14634146
6	0.96	7.1	8.06	7.92	0.96	0.82	0.14583333	0.17073171
7	0.99	7.37	8.36	8.18	0.99	0.81	0.18181818	0.22222222
8	1.07	10.4	11.47	11.27	1.07	0.87	0.18691589	0.22988506
9	1.05	7.57	8.62	8.43	1.05	0.86	0.18095238	0.22093023
10	0.71	9.14	9.85	9.58	0.71	0.44	0.38028169	0.61363636



TABLA A.4. Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Kancolla, con 10 actividades de agua.

QKC	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	M	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.87	10.53	11.4	11.35	0.87	0.82	0.05747126	0.06097561
2	1.05	10.14	11.19	11.11	1.05	0.97	0.07619048	0.082474227
3	1.09	10.66	11.75	11.65	1.09	0.99	0.09174312	0.101010101
4	1.08	10.09	11.17	10.99	1.08	0.9	0.16666667	0.2
5	0.94	10.64	11.58	11.46	0.94	0.82	0.12765957	0.146341463
6	0.96	7.1	8.06	7.92	0.96	0.82	0.14583333	0.170731707
7	0.99	7.37	8.36	8.18	0.99	0.81	0.18181818	0.222222222
8	1.07	10.4	11.47	11.27	1.07	0.87	0.18691589	0.229885057
9	1.05	7.57	8.62	8.43	1.05	0.86	0.18095238	0.220930233
10	0.71	9.14	9.85	9.58	0.71	0.44	0.38028169	0.613636364



TABLA A.5. Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Salcedo INIA, con 10 actividades de agua.

QSD	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.96	7.43	8.39	8.33	0.96	0.9	0.0625	0.06666667
2	1.12	7.92	9.04	8.94	1.12	1.02	0.08928571	0.09803922
3	1.1	7.45	8.55	8.46	1.1	1.01	0.08181818	0.08910891
4	1.06	13.16	14.22	14.08	1.06	0.92	0.13207547	0.15217391
5	0.92	13.41	14.33	14.2	0.92	0.79	0.14130435	0.16455696
6	1.26	10.52	11.78	11.61	1.26	1.09	0.13492063	0.1559633
7	0.91	7.64	8.55	8.39	0.91	0.75	0.17582418	0.21333333
8	1	8.06	9.06	8.84	1	0.78	0.22	0.28205128
9	1.04	9.96	11	10.77	1.04	0.81	0.22115385	0.28395062
10	1.03	7.68	8.71	8.33	1.03	0.65	0.36893204	0.58461538



TABLA A.6. Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Negra Collana, con 10 actividades de agua.

QNG	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.99	13.08	14.07	14.01	0.99	0.93	0.06060606	0.06451613
2	1.09	14.73	15.82	15.73	1.09	1	0.08256881	0.09
3	1.01	20.39	21.4	21.24	1.01	0.85	0.15841584	0.18823529
4	0.8	40.7	41.5	41.39	0.8	0.69	0.1375	0.15942029
5	0.96	9.46	10.42	10.27	0.96	0.81	0.15625	0.18518519
6	0.99	13.7	14.69	14.55	0.99	0.85	0.14141414	0.16470588
7	1.1	13.79	14.89	14.56	1.1	0.77	0.3	0.42857143
8	0.91	14.61	15.52	15.23	0.91	0.62	0.31868132	0.46774194
9	1.24	18.73	19.97	19.73	1.24	1	0.19354839	0.24
10	1.1	19.25	20.35	20	1.1	0.75	0.31818182	0.46666667



TABLA A.7 Se Muestra los resultados de la humedad en base seca y humedad en base humedad para la variedad Rosado Choclo de Taraco, con 10 actividades de agua.

QRC	MUESTRA	PESO PLACA	PC+M	PC+M(20)	M	m	Humedad en B.H	Humedad en B.S
1	0.92	7.74	8.66	8.59	0.92	0.85	0.07608696	0.08235294
2	0.84	7.38	8.22	8.16	0.84	0.78	0.07142857	0.07692308
3	0.92	7.77	8.69	8.6	0.92	0.83	0.09782609	0.10843373
4	0.95	7.39	8.34	8.18	0.95	0.79	0.16842105	0.20253165
5	0.94	8.56	9.5	9.37	0.94	0.81	0.13829787	0.16049383
6	0.92	6.39	7.31	7.14	0.92	0.75	0.18478261	0.22666667
7	1.11	7.6	8.71	8.54	1.11	0.94	0.15315315	0.18085106
8	0.95	7.43	8.38	8.16	0.95	0.73	0.23157895	0.30136986
9	0.96	7.53	8.49	8.29	0.96	0.76	0.20833333	0.26315789
10	0.82	7.56	8.38	8.09	0.82	0.53	0.35365854	0.54716981

ANEXO B

ANEXO B.1 Preparación de las muestras, lavado y selección de impurezas.



Semillas de quinua obtenidas en el INIA-PUNO, desinfectado y eliminación de impurezas y de saponificación de las semillas de quinua



Secado de las semillas de quinua en una estufa a una T° de 60°C , Sales saturadas de Aw de 0.121. Codificación de los envases

ANEXO B.2.

Preparación de las isotermas:



Preparación de insumos



Acondicionamiento de
isotermas



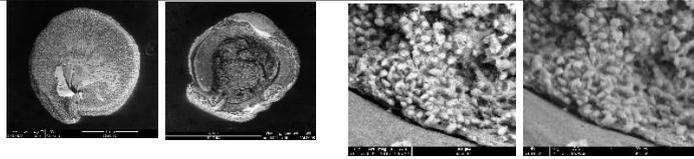
Balanza analítica

ANEXOS D.

Fotografías de microestructura para siete variedades de quinua equilibrado a tres puntos de a_w (0.112, 0.741 y 0.979)

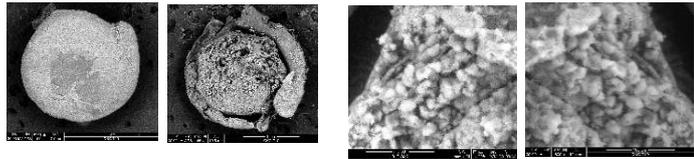
Variedad	a_w	Humedad	Grano Entero		Sección interna del endospermo x1000	
			En Base	Seca		
Altiplano	$a_w =$ 0.112	0.117				
	$a_w =$ 0.741	0.1627				
	$a_w =$ 0.979	0.4810				
Illpa INIA	$a_w =$ 0.112	0.0315				
	$a_w =$ 0.741	0.1927				
	$a_w =$ 0.979	0.5061				
Kancolla	$a_w =$ 0.112	0.0609				

$a_w = 0.1463$
0.741

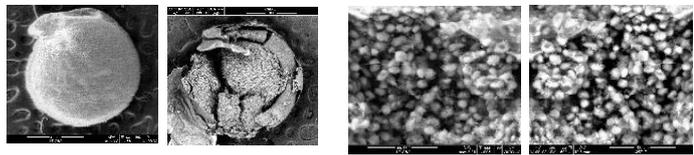


Continuación del anexo. Estructura de almidones para siete variedades de quinua equilibradas a tres a_w (0.112, 0.741 y 0.979).

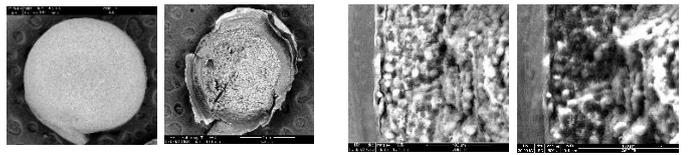
$a_w = 0.6136$
0.979



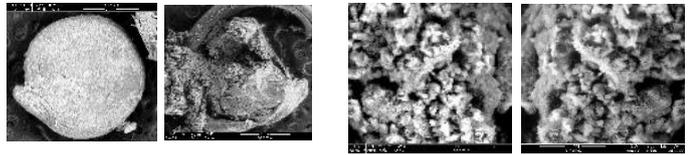
Salcedo $a_w = 0.0666$
0.112



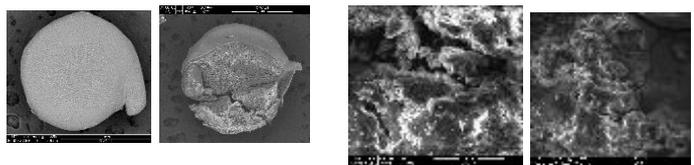
$a_w = 0.1645$
0.741



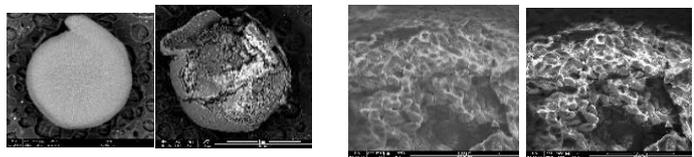
$a_w = 0.5846$
0.979



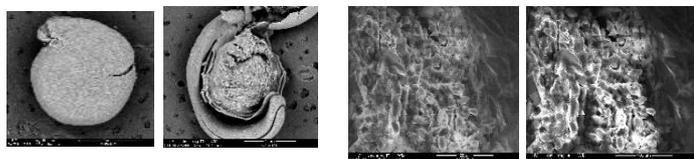
Negra $a_w = 0.0645$
Collana 0.112



$a_w = 0.1851$
0.741



$a_w = 0.4666$
0.979



Pasankalla	$a_w =$	0.0714				
		0.112				
	$a_w =$	0.1666				
		0.741				
	$a_w =$	0.5915				
		0.979				
Rosado	$a_w =$	0.0823				
Choclo		0.112				
De						
Taraco	$a_w =$	0.1604				
		0.741				
	$a_w =$	0.5471				
		0.979				



ANEXO E.

ANEXO E.1. Análisis de Varianza para Humedad en base seca

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Actividad de agua	3.1833	2	1.59165	346.06	0.0000
B:variedades	0.050513	6	0.00841883	1.83	0.1074
INTERACCIONES					
AB	0.110151	12	0.00917926	2.00	0.0394
RESIDUOS	0.289759	63	0.00459935		
TOTAL (CORREGIDO)	3.63372	83			

Tabla de datos de las humedades en base seca de siete variedades de agua diferentes para 10 puntos de a_w .

a_w	Humedad en base seca						
	Rosado	Negra	Salcedo	Kancolla	Pasankalla	Altiplano	Ilpa INIA
0.112	0.08235294	0.06451613	0.06666667	0.06097561	0.07142857	0.11702128	0.03157895
0.234	0.07692308	0.09	0.09803922	0.08247423	0.06521739	0.09708738	0.1047619
0.333	0.10843373	0.18823529	0.08910891	0.1010101	0.06521739	0.07446809	0.13483146
0.693	0.20253165	0.15942029	0.15217391	0.2	0.14942529	0.18823529	0.17346939
0.741	0.16049383	0.18518519	0.16455696	0.14634146	0.16666667	0.1627907	0.19277108
0.756	0.22666667	0.16470588	0.1559633	0.17073171	0.19101124	0.21621622	0.15
0.817	0.18085106	0.42857143	0.21333333	0.22222222	0.20779221	0.17241379	0.17721519
0.859	0.30136986	0.46774194	0.28205128	0.22988506	0.21428571	0.2020202	0.20689655
0.91	0.26315789	0.24	0.28395062	0.22093023	0.28301887	0.27722772	0.24528302
0.979	0.54716981	0.46666667	0.58461538	0.61363636	0.5915493	0.48101266	0.50617284

ANEXO E.2 Análisis de Varianza para Resistencia Mecánica

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN -F	VALOR-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Actividad de agua (aw)	3025.76	2	1512.88	2722.63	0.0000
B:variedades	19710.9	6	3285.15	5912.05	0.0000
INTERACCIONES					
AB	2678.76	12	223.23	401.73	0.0000
RESIDUOS	35.0072	63	0.555669		
TOTAL (CORREGIDO)	25450.4	83			

ANEXO E.3. Análisis de Varianza para Diámetro:

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Actividad de agua (aw)	1.44366	2	0.72183	7050.43	0.0000
B:Variedades	1.0581	6	0.17635	1722.48	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.227074	12	0.0189228	184.83	0.0000
RESIDUOS	0.00645	63	0.000102381		
TOTAL (CORREGIDO)	2.73528	83			

Tabla de datos para realizar el análisis de varianza del diámetro de granos de quinua

SALCEDO			KANCOLLA			ALTIPLANO			ILLPA INIA			NEGRA COLLANA			PASANKALLA			ROSADO		
MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR	MAYOR	MENOR	ESPESOR
2.64	2.34	1.76	2.06	1.84	1.23	2.22	2	1.2	2.73	2.44	1.98	1.93	1.58	1.08	2.22	2.13	1.7	2.15	1.87	1.66
2.63	2.39	2.13	2.09	1.98	1.26	2.54	2.4	1.7	2.74	2.17	1.61	1.82	1.66	1.11	2.37	2.3	1.54	2.22	2.06	1.35
2.08	2.02	1.53	2.4	2.31	1.41	2.64	2.4	1.8	2.36	2.28	1.76	2.22	1.87	1.37	2.04	1.88	0.95	1.89	1.78	1.48
2.6	2.4	1.92	2.44	2.41	1.69	2.08	1.89	1.26	2.54	2.42	1.44	2.13	1.81	1.24	2.6	2.17	1.42	1.95	1.89	1.06
2.29	1.93	1.62	2.11	2.09	1.38	2.25	2.11	1.43	2.55	2.36	1.7	2.1	1.68	1.05	2.17	2.11	1.22	2.33	2.1	1.56
2.15	2.08	1.69	2.57	2.25	1.72	2.54	2.39	1.53	1.79	1.85	1.26	1.85	1.46	1.19	2.24	2.22	1.42	1.8	1.77	1.44
2.41	2.37	1.98	2.28	2.14	1.54	2.47	2.23	1.41	2.09	1.85	1.42	2.15	2.08	1.57	2.29	2.09	1.44	2.2	1.88	1.51
1.97	1.9	0.83	2.29	2.13	1.77	2.11	1.86	1.47	2.11	2.06	1.16	1.91	1.85	1.09	2.11	2.09	1.35	1.8	1.65	1.06
2.23	1.78	1.17	2.51	2.18	1.55	2.61	2.24	1.44	2.54	2.37	1.58	2.14	1.99	0.95	2.26	2.08	1.14	1.81	1.76	1.18
1.86	1.84	1	2.1	2.06	1.24	2.29	2.26	1.54	2.08	1.98	1.47	2.19	1.76	1.6	2.12	2.07	1.23	2.11	2.05	1.39
2.37	2.3	1.81	2.1	2.06	1.19	2.27	2.1	1.43	1.87	1.84	1.27	2.03	1.47	1.02	2.11	2.06	1.58	2.09	1.81	1.16
2.7	2.45	1.86	2.46	2.33	1.88	2.35	2.24	1.43	2.79	2.61	1.43	1.87	1.76	1.32	2.28	2.15	1.44	2.18	2.02	1.7
2.21	2.14	1.78	2.26	2.15	1.75	2.28	2.26	0.95	2.48	2.13	1.72	1.9	1.79	1.27	2.13	2.02	1.43	2.08	1.93	1.27