



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



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, MECÁNICAS Y  
TERMALES DE LOS GRANOS DE TRES VARIEDADES DE  
CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) CULTIVADAS EN LA  
REGIÓN PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. SILVIA EUGENIA FLORES CHAMBI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme la vida, salud y la oportunidad de vivir este momento tan importante para mi vida profesional.*

*A mi mamá Margarita, por su confianza, apoyo y comprensión que siempre me da.  
A mi papá Hernán que me impulsa a seguir adelante, por su paciencia y sus enseñanzas.  
A mis hermanas, Milagros, Cándida, Luzmila y Miriam a quienes aprecio muchísimo.*

*A mis amigos de la base G 300 generación 148 “Pues si vivimos, para el Señor vivimos; y si morimos, para el Señor morimos. Así pues, sea que vivamos, o que muramos, del Señor somos” Romanos 14:8.*

SILVIA EUGENIA FLORES CHAMBI  
MAYO 2021



## AGRADECIMIENTOS

*Expreso mi gratitud a Dios, porque está presente en cada paso que doy, guía mi camino, ilumina mi mente, fortalece mi corazón y renueva mis fuerzas.*

*Al Sub proyecto de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, 133 – 2018 – FONDECYT- BM- IADT- AV. Titulado “Revaloración del cultivo y del potencial agroindustrial de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y su empleo en el diseño de una nueva matriz alimentaria (cañihuarroz) como alternativa en la mejora de la alimentación y nutrición de la población peruana”, por el financiamiento de este trabajo de investigación.*

*A mi asesora Dra. Alicia Magali León Tacca, por compartir sus conocimientos, por guiarme y acompañarme en cada etapa de este trabajo de investigación y alcanzar los objetivos propuestos.*

*Al Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza, investigador principal del sub proyecto 133 – 2018 – FONDECYT- BM- IADT- AV y ex vicerrector de investigación de la Universidad Nacional del Altiplano. Quien compartió sus conocimientos, me brindo recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.*

*A mis jurados evaluadores; Dr. Luis Alberto Jiménez Monroy, Dr. Ulises Alvarado Mamani y M. Sc. Whany Quispe Chambi. Por la contribución y aporte en el perfeccionamiento de este trabajo y el tiempo que demanda.*

*A mis padres, Hernán y margarita quienes día tras día me brindaron el soporte emocional, por la confianza y comprensión que no apartaron de mí. A Cándida mi hermana y amiga por estar ahí para mí siempre.*

*A la Lic. Mary Coila Pari encargada del laboratorio de “propiedades físicas y análisis reológico” por el apoyo que me brindo y por poner a mi disposición el equipo y las herramientas necesarias para culminar este trabajo.*

**SILVIA EUGENIA FLORES CHAMBI  
MAYO 2021**



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT..... 12**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

1.1. OBJETIVO GENERAL ..... 14

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 14

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1. INTERÉS DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS,  
MECÁNICAS Y TERMALES DE CULTIVOS ANDINOS. .... 15

2.2. CAÑIHUA ..... 15

2.2.1. Nombres comunes..... 16

2.2.2. Variedades de Cañihua ..... 16

2.2.3. Valor nutricional de la Cañihua ..... 18

2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS ..... 21

2.3.1. Medición de propiedades mecánicas del grano a granel..... 21

2.3.2. Medición de las propiedades mecánicas del grano individual ..... 22

2.3.3. Prueba de compresión uniaxial..... 22

2.3.4. Curva de fuerza-deformación ..... 24

2.3.5. Esfuerzo y deformación..... 25

2.3.6. Relación de Poisson..... 26

2.3.7. Celda de extrusión inversa (back extrusión) ..... 26

2.3.8. Modulo aparente de elasticidad..... 27

2.3.9. Humedad..... 29

2.4. PROPIEDADES TERMALES..... 29

2.4.1. Análisis termal ..... 29

2.4.2. DSC (Differential Scanning Calorimetry) ..... 29



2.4.3. Curva DSC .....	30
2.4.4. Conductividad térmica.....	33
2.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....	36
3.2. MATERIALES.....	36
3.2.1. Material Biológico .....	38
3.2.2. Materiales de laboratorio.....	36
3.3. MÉTODOS .....	38
3.3.1. Determinación de las propiedades químicas .....	40
3.3.2. Determinación de las propiedades mecánicas.....	45
3.3.3. Determinación de las propiedades termales .....	50
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	54

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS .....	55
4.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	64
4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES TERMALES .....	93

<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>

**Área:** Ingeniería y Tecnología.

**Tema:** Propiedades Físicas y Estructurales.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 03 de septiembre del 2021.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	a) Planta de cañihua variedad Cupi en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Cupi en crecimiento.....	17
<b>Figura 2:</b>	a) Planta de cañihua variedad Ramis en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Ramis en crecimiento. ....	17
<b>Figura 3:</b>	a) Planta de cañihua variedad Illpa-INIA 406 en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Illpa-INIA 406 en crecimiento. ....	18
<b>Figura 4:</b>	Curvas de fuerza – deformación de materiales con o sin punto de falla biológica. $P_I$ = punto de inflexión. $D_{PI}$ = deformación en el punto de inflexión (ASAE, 2008).....	23
<b>Figura 5:</b>	Esfuerzo normal de tensión y compresión. ....	26
<b>Figura 6:</b>	Diagrama esquemático de una celda simple para pruebas de retro extrusión. (a) El émbolo baja y comienza a tocar la superficie del alimento; (b) La comida está empacada y se puede exprimir algo de líquido; (c) La comida se extruye a través del anillo. Fuente: Bourne (2003). ....	27
<b>Figura 7:</b>	Diagrama de compresión del grano (ASAE, 2008). ....	28
<b>Figura 8:</b>	Puntos característicos de un pico DSC (temperatura con mediciones dinámicas, tiempos con mediciones isotérmicas). la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura máxima extrapolada a veces puede ser bastante grande. ....	32
<b>Figura 9:</b>	Temperaturas características de un paso DSC, por ejemplo, debido a una transición vítrea, la diferencia entre el punto de inflexión y el punto medio puede ser bastante grande dependiendo de la forma de la curva. el punto medio se define de diferentes. ....	33
<b>Figura 10:</b>	Diagrama de flujo de operaciones para la obtención de granos de Cañihua y el diagrama experimental del estudio. ....	39
<b>Figura 11:</b>	Estimación del radio de curvatura.....	49
<b>Figura 12:</b>	Diagrama esquemático de un crisol cilíndrico lleno de harina de cañihua con una esfera de indio de referencia en la parte superior.....	53
<b>Figura 13:</b>	Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 10 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.....	67



<b>Figura 14:</b> Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 15 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.....	68
<b>Figura 15:</b> Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 20 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.....	68
<b>Figura 16:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la Fuerza de Fractura, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.....	69
<b>Figura 17:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la energía necesaria, a humedad promedio de 10 %, de 15 % y 20 %.....	73
<b>Figura 18:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la deformación, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.....	74
<b>Figura 19:</b> Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 10% b.s.....	76
<b>Figura 20:</b> Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 15% b.s.....	76
<b>Figura 21:</b> Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 20% b.s.....	77
<b>Figura 22:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la fuerza de ruptura del grano, a humedad promedio de 10 , 15 y 20 %.....	78
<b>Figura 23:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la fuerza de ruptura, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.....	82
<b>Figura 24:</b> Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre deformación del grano, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.....	83
<b>Figura 25:</b> Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 10 %.....	92
<b>Figura 26:</b> Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 15 %.....	92
<b>Figura 27:</b> Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 20%.....	92
<b>Figura 28:</b> Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 10 % de humedad.....	96
<b>Figura 29:</b> Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 15 % de humedad.....	96



<b>Figura 30:</b> Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 20 % de humedad.....	97
<b>Figura 31:</b> Efecto de la humedad sobre la Temperatura de transición vítrea en las tres variedades de cañihua. ....	97
<b>Figura 32:</b> Efecto de la humedad sobre el Calor específico en las tres variedades de cañihua. ....	99
<b>Figura 33:</b> Efecto de la humedad sobre la Conductividad térmica en diferentes variedades de cañihua. ....	101
<b>Figura 34:</b> Efecto de la humedad sobre la Difusividad térmica en diferentes variedades de cañihua. ....	103
<b>Figura 35:</b> Grafico de sedimentación .....	105
<b>Figura 36:</b> Pesos del componente principal 1.....	106
<b>Figura 37:</b> Pesos del componente principal 2.....	107
<b>Figura 38:</b> Grafica pesos del componente .....	107
<b>Figura 39:</b> Varianza entre variedades de cañihua.....	108





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características resaltantes del grano de cañihua alcanzada la madurez Zfisiológica. ....	17
<b>Tabla 2:</b> Componentes nutricionales de los granos de cañihua. ....	18
<b>Tabla 3:</b> Valores de $C_1$ , $C_2$ y $K$ (adimensionales) para varios valores de $\beta$ (grados). 28	
<b>Tabla 4:</b> Efecto de la tasa de calentamiento en la curva DSC. ....	31
<b>Tabla 5:</b> Expresión técnica y definición de resolución y sensibilidad en curvas DSC. ....	31
<b>Tabla 6:</b> Cantidades de muestra recomendadas para las mediciones de DSC. ....	53
<b>Tabla 7:</b> Propiedades químicas de granos de Cañihua ( <i>Chenopodium pallidicaule</i> Aellen) de las tres variedades estudiadas. ....	55
<b>Tabla 8:</b> Contenido de minerales de granos de Cañihua ( <i>Chenopodium pallidicaule</i> Aellen) de tres variedades estudiadas. ....	61
<b>Tabla 9:</b> Algunas características físicas de los granos de tres variedades de cañihua. 64	
<b>Tabla 10:</b> Propiedades mecánicas (Fuerza de Ruptura y Fuerza de Fractura, Energía FR y FF, Desplazamiento FR y FF) de los granos de tres variedades de cañihua respecto al contenido de humedad (10, 15 y 20 % b.s.). ....	66
<b>Tabla 11:</b> Modulo aparente de elasticidad (E) para las tres variedades de cañihua a diferentes contenidos de humedad. ....	84
<b>Tabla 12:</b> Características mecánicas de los granos de cañihua de tres variedades respecto al contenido de humedad, (Esfuerzo FR y FF Deformación FR y FF, Energía FR y FF). ....	87
<b>Tabla 13:</b> Características de comportamiento mecánico para granos a granel de tres variedades de Cañihua respecto al contenido de humedad. ....	89
<b>Tabla 14:</b> Resultados de las propiedades termales de la harina de cañihua de tres variedades. ....	93
<b>Tabla 15:</b> Número de componente y porcentaje de varianza. ....	104



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

FF:	Fuerza de fractura (N)
FR:	Fuerza de ruptura(N)
b.s.:	Base seca (%).
b.h.:	Base húmeda (%).
SD:	Desviación estándar.
E:	Módulo aparente de elasticidad (Mpa).
X:	Diámetro mayor-longitud (mm).
Y:	Diámetro intermedio - ancho (mm).
Z:	Diámetro menor - espesor (mm).
u:	Coefficiente de Poisson de la muestra.
F:	Fuerza aplicada (N).
k y cos:	Constantes.
D:	Deformación (mm).
L:	Longitud (mm).
T:	Espesor (mm).
W:	Ancho (mm).
g:	Gramo.
PM:	Punto máximo de deformación.
RE:	Región elástica.
Tg:	Temperatura de transición vítrea (°C).
Cp:	Calor específico (J/kg°C).
$\alpha$ :	Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s).
K:	Conductividad térmica (W/m°C)



## RESUMEN

La cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es un cultivo andino cultivado mayormente en altiplano Puneño, se trata de un cultivo con potencial agroindustrial. El objetivo de esta investigación, fue evaluar sus propiedades químicas, mecánicas y termales de tres variedades de cañihua cultivadas en la región Puno, Perú. Las variedades utilizadas fueron Cupi, Ramis e Illpa- INIA. Se determinó la composición químico proximal de los granos de cañihua mediante métodos oficiales de la AOAC. Las propiedades mecánicas por compresión uniaxial mediante curvas de fuerza-deformación obtenidas de un equipo Universal de ensayos. Las propiedades termales mediante termogramas obtenidos del equipo Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC). Los resultados para las propiedades químicas mostraron que existe diferencia significativa entre las tres variedades estudiadas quienes destacan por su contenido de proteína, grasa, carbohidratos y minerales. Las propiedades mecánicas del grano individual y a granel son afectados directamente por el contenido de humedad, los cuales disminuyen sus valores al elevar la humedad de 10 a 20 %, siendo la variedad Ramis quien posee un punto de fractura superior frente a las variedades Cupi e Illpa-INIA. Respecto a las propiedades termales, existe un efecto significativo de la humedad sobre los valores estudiados, quienes se comportan de maneras distintas entre variedades, en algunos casos sus valores aumentan mientras que en otras disminuyen. Se recomienda tener en cuenta el contenido de humedad en los granos de cañihua. La data generada se podrá usar en: formulaciones de nuevas mezclas alimenticias, parámetros de almacenamiento, molturación y obtención de harina, procesos de transferencia de calor y el efecto de la temperatura.

**Palabras Clave:** *Chenopodium pallidicaule* Aellen, variedades, propiedades químicas, propiedades mecánicas y propiedades termales.



## ABSTRACT

Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) is an Andean crop grown mainly in the Puno highlands. It is a crop with agro-industrial potential. The objective of this research was to evaluate the chemical, mechanical and thermal properties of three varieties of cañihua cultivated in the Puno region, Peru. The varieties used were Cupi, Ramis and Illpa-INIA. The proximal chemical composition of the cañihua grains was determined by official AOAC methods. The mechanical properties by uniaxial compression through force-deformation curves obtained from a Universal testing equipment. Thermal properties using thermograms obtained from the Differential Scanning Calorimeter (DSC) equipment. The results for the chemical properties showed that there is a significant difference between the three varieties studied, which stand out for their content of protein, fat, carbohydrates and minerals. The mechanical properties of individual and bulk grain are directly affected by the moisture content, which decrease their values when the humidity is raised from 10 to 20%, with the Ramis variety having a higher breaking point compared to the Cupi and Illpa varieties. -INIA. Regarding the thermal properties, there is a significant effect of humidity on the values studied, which behave in different ways between varieties, in some cases their values increase while in others they decrease. It is recommended to take into account the moisture content in productive processes of the cañihua grain. The data generated can be used in: formulations of new food mixes, milling parameters and obtaining flour, heat transfer processes and the effect of temperature.

**Key Words:** *Chenopodium pallidicaule* Aellen, varieties, thermal properties, mechanical properties and chemical properties.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), es un cultivo andino que contiene grandes bondades nutricionales (Chirinos et al., 2018). Se considera un cultivo con potencial agronómico y agroindustrial, que por su versatilidad puede ser utilizado para la obtención de nuevas matrices alimentarias que potencien sus cualidades nutricionales y organolépticas. La Cañihua es un cultivo que aún carece de estudios tecnológicos agroindustriales. En tal motivo, se requiere de estudios variados de sus principales propiedades y variedades existentes, que en la actualidad son relativamente pocos o se encuentran desactualizados.

Conocer sus propiedades químicas ayuda no solo a valorar su contenido nutricional. Sino también, estructurar procesos de producción los cuales estén orientados a la transformación de materias primas, en la que interviene la información y tecnología. Es imprescindible por ello contar con estudios y datos numéricos que nos faciliten el proceso.

Así también, Identificar las características de fractura, ruptura y energía necesaria para el fraccionamiento, son valiosos para un diseño útil y racional de sistemas de molienda eficientes, así como la optimización del proceso y los parámetros del producto para minimizar el daño mecánico que reduce la calidad física, fisiológica y sanitaria (Arozarena et. al, 2012). Diseñar dichos equipos sin tener en cuenta las características mecánicas del grano puede producir pérdidas cualitativas y cuantitativas (Serpil & Gülüm, 2006). Utilizar los datos generados en este estudio promovería desarrollo de recursos apropiados, eficientes y ahorro de energía en los procesos.

Por otro lado, conocer las propiedades térmicas es importante para comprender procesos que involucren tratamiento térmico de transformación y conservación de



alimentos. Son, además, parámetros requeridos para llevar a cabo cálculos de transferencia de calor, diseño de equipos y almacenes, optimización de condiciones de proceso y mejoramiento la calidad final de los productos (Ellepola & Ma, 2006).

Finalmente, cabe señalar, las propiedades termales y mecánicas están estrechamente relacionadas y dependen de las propiedades químicas del alimento (Kingsly, Singh, Manikantan, & Jain, 2006). Por lo que, conocer estos datos nos permite expandir conocimientos que podrán ser aplicados en procesos de transformación eficiente del grano que facilitan la tarea de dar valor agregado para su posterior comercialización.

Dentro de este contexto, se plantean los objetivos de la presente investigación:

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar las propiedades químicas, mecánicas y termales de los granos de las tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) cultivadas en la Región Puno.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición química proximal y contenido de minerales de los granos de tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).
- Evaluar las propiedades mecánicas de los granos de tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y su efecto con relación al contenido de humedad.
- Evaluar las propiedades térmicas en las harinas de tres variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y su efecto con relación al contenido de humedad.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **2.1. INTERÉS DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, MECÁNICAS Y TERMALES DE CULTIVOS ANDINOS.**

La región Puno, desde el punto de vista de la producción de granos andinos es un escenario privilegiado. Se trata de una zona con mayor productividad. Además, constituye fuente de mayor variabilidad genética de este cultivo andino. Esta productividad requiere de conocimientos actualizados y avances en ciencia y tecnología (Velásquez, 2018). Por consiguiente, para conocer y realzar sus atributos, promover su expansión de cultivo y comercio, aplicar los granos andinos en la alimentación diaria y garantizar la seguridad alimentaria de la población, se requiere de estudios diversos.

En tal manera, el estudio de las propiedades químicas, mecánicas y termales contribuye a alcanzar alguno de estos objetivos de transformación de granos andinos como la cañihua. Ya que estos parámetros, son importantes en el proceso y diseño del equipo necesario para procedimientos de cosecha, transporte, clasificación, secado, almacenamiento, posterior procesamiento y transformación materias primas (Rico et al., 2016; Seifi & Alimardani, 2010).

#### **2.2. CAÑIHUA**

La cañihua es un cultivo andino que pertenece a la familia de las chenopodiaceae (Peñarrieta, Alvarado, Akesson, & Bergenstahl, 2008). Se trata de granos de alto valor nutricional, teniendo en cuenta, su contenido proteico y un balance de aminoácidos esenciales. Es un alimento considerado nutraceutico, ya que su consumo tiende a mejorar la salud y prevenir enfermedades por los compuestos bioactivos que posee (Bartolo, 2014).



Cabe destacar, que se trata de un cultivo muy resistente, que progresa en climas semidesérticos de 3600 a 4300 m.s.n.m. (Velásquez, 2018). Además, es un cultivo poco exigente en términos de fertilización e irrigación (Apaza, 2010). Algunos autores lo consideran como una especie olvidada y subutilizada porque su cultivo es relativamente para consumo propio (Apaza, 2010; Benique, 2019; Bravo, Valdivia, Andrade, Padulosi, & Jäger, 2010; Mamani, 2013; Velásquez, 2018).

### **2.2.1. Nombres comunes**

Apaza (2010), indica que la cañihua tiene una gran variedad de nombres locales, esto dependiendo de la región y el idioma. Por ejemplo:

- En Perú: “kañiwa”.
- En Bolivia: “Cañahua”.
- Quechua: “kañiwa”, “kañawa”, “kañahua”, “kañagua”, “quitacañigua”, “ayara”.
- Español: “cañihua”, “cañigua”, “cañahua”, “cañagua”, “kañiwa”.
- Inglés: “kaniwa”, “cañihua”

### **2.2.2. Variedades de Cañihua**

Una variedad de cañihua es definida como un grupo de plantas similares que, debido a sus características morfológicas y su comportamiento, se pueden diferenciar de otras dentro de la misma especie (Apaza, 2010).

Las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA son las variedades de mayor área cultivada y consideradas más comerciales. Además, estas variedades cuentan con métodos de mejoramiento por selección individual (panoja, surco) y estudios de estabilidad y rendimiento realizado por el Instituto Nacional de Investigación Agraria. Lo que motivó a considerar estas tres variedades en este estudio.

A continuación, en la Tabla 1 se muestran algunas características resaltantes de los granos de las tres variedades de cañihua a estudiar, en la que destaca la variedad Ramis



ya que se diferencia notablemente a las variedades Cupi e Illpa-INIA.

**Tabla 1:** Características resaltantes del grano de cañihua alcanzada la madurez fisiológica

Características	Cupi	Ramis	Illpa-INIA
Perigonio*	Cerrada	Abierto leve	Cerrado
Color del perigonio*	Gris Crema ligero	Gris oscuro	Crema suave
Color del epispermo*	Café claro	Café oscuro	Café claro
Diámetro del grano limpio*	1.0 mm a 1.1 mm	1.1 mm a 1.2 mm	1.0 mm a 1.1 mm
Peso de 1000 granos	0.5510 G	0.8566 g	0.5511 g

(\*) en la madurez fisiológica

Fuente: Apaza (2010).



**Figura 1:** a) Planta de cañihua variedad Cupi en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Cupi en crecimiento.



**Figura 2:** a) Planta de cañihua variedad Ramis en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Ramis en crecimiento.



**Figura 3:** a) Planta de cañihua variedad Illpa-INIA 406 en madurez fisiológica, Fuente: Apaza (2010). b) Planta de cañihua variedad Illpa-INIA 406 en crecimiento.

### 2.2.3. Valor nutricional de la Cañihua

La cañihua es un alimento considerado nutraceutico (Bartolo, 2014). Se caracteriza por un alto valor nutricional, incluso mayor que la quinua (Mamani 2017). En la actualidad, su potencial como sustituto de cereal sin gluten ha comenzado a atraer atención industrial y científica (Gallagher et al., 2004). Algunos reportes del contenido químico proximal previos a este estudio se presenta en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Componentes nutricionales de los granos de cañihua.

Componente(%)	Referencia 1	Ref. 2	Ref. 3	Referencia 4		
Proteína	16.2*	18.7**	16.7	13.99**	18.46**	18.47°
Grasa	6.0*	4.5**	6.8	8.68**	5.09**	5.11°
Fibra	5.8*	5.5**	5.4	4.83**	6.38**	6.32°
Ceniza	4.1*	4.5**	3.7	5.1**	4.78**	4.44°
Carbohidratos	56.3*	55.7**	56.4	64.0**	58.59**	58.31°
Humedad	11.6*	11.0**	n. d.	12.3**	6.69**	7.35°
Energía (kcal)	344.3*	267.0**	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

Referencia1: Mujica (2012) citado por Moscoso et al.(2017).

Referencia2: Repo-Carrasco-Valencia, Espinoza, & Jacobsen (2003).

Referencia 3: (Higinio, 2011)

Referencia4: Pauro (2017).

\*: V. Ramis, \*\*: V. Cupi, °: V. Illpa-INIA.

n. d.: no determinado



### **2.1.6.1. Proteínas**

La cañihua se caracteriza por su contenido proteínico de elevada calidad y cantidad nutricional (Moscoso et al., 2017). Sus principales proteínas son de tipo albúmina y globulina; estas tienen una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecidas a la composición de aminoácidos de caseína, proteína de la leche (Velásquez, 2018).

La cañihua es considerada como un pseudocereal por algunos investigadores (Repo-Carrasco-Valencia & Valdez, 2017). Porque, Los pseudocereales contienen un contenido proteico similar o, a veces, ligeramente superior al de los cereales verdaderos (D'Amico, Schoenlechner, Tömöskösi, & Bernadett, 2017). Y esto se aplica fielmente a la Cañihua, Quinoa y Kiwicha.

### **2.2.3.2. Materia grasa**

El contenido de materia grasa en la Cañihua es relativamente alto, 6.4 - 7.6% (Collazos et al., 2004). Esta materia grasa (72.9%) es rico en ácidos grasos insaturados y tocoferoles, siendo el ácido linoleico (omega 6) el principal ácido graso (42,6%), el ácido oleico (omega 9) es el segundo ácido graso más común (23.5%), el contenido de ácido linolénico (omega 3) es del 6,0% y el contenido de ácido palmítico es del 17,94% (Repo-Carrasco et al., 2003).

### **2.2.3.3. Fibra**

El grano de cañihua tiene un contenido de fibra cruda de 6.1% (Repo-Carrasco, 2003). Además, es una excelente fuente de fibra dietética especialmente de fracción insoluble (Repo-Carrasco et al., 2009). El contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en Cañihua es de aproximadamente 26 - 27, 4.1 - 4.4 y 22 - 24%, respectivamente (Glorio et al., 2008). Los granos de cañihua también tienen un alto contenido de fibra dietética y grasas no saturadas, considerándose a esta especie como



uno de los componentes estratégicos para la seguridad alimentaria, del cual se podrían elaborar productos innovadores (FAO/oms,2011).

#### **2.2.3.4. Ceniza**

El contenido de cenizas en los alimentos refleja la riqueza en el contenido de minerales, tales como el hierro y calcio (Repo-Carrasco, 2011). Higinio (2017), indica que los granos de cañihua poseen aproximadamente 5.1 %. Repo-Carrasco-Valencia et al. (2009) afirman que el contenido de ceniza en la cañihua oscila entre 4.33 y 5.03 % y que los valores pueden diferir con respecto al estudio de diferentes variedades y eco tipos.

#### **2.2.3.5. Carbohidratos**

El contenido de Carbohidratos presentes en los granos de Cañihua es elevado, y constituye la mayor parte del grano (Mamani, 2013). La cañihua contiene alrededor de 60 % de carbohidratos (Verastegui, (2009) citado por Mamani, ( 2013)). Siendo el almidón el carbohidrato predominante (Repo-Carrasco-Valencia & Valdez, 2017). Otros carbohidratos presentes en la cañihua son, Sacarosa (2.60 g/100g ms), Glucosa (1.80 g/100g ms), maltosa (1.70 g/100g ms) y Fructosa (0.40 g/100g ms) según Repo-Carrasco (1992) citado por Bartolo (2014).

#### **2.2.3.6. Minerales**

La cañihua es una muy buena fuente de minerales, y micronutrientes especialmente de hierro y calcio (Repo-Carrasco-Valencia et al., 2003; Tapia, 2000). Además, es fuente rica en Fosforo, Zinc y magnesio (Bartolo, 2014).

Según Collazos et al. (2004) la cañihua tiene un contenido de calcio de 141 mg/100g, un contenido de fosforo de 387 mg/100g y un contenido de y hierro de 12 mg/100g. Con respecto a estos nutrientes, la cañihua se compara favorablemente con cereales comunes como el trigo, la cebada, la avena y el arroz. También concentra,



vitaminas del complejo B, vitamina E, por lo que es comparada muchas veces con la leche (Velásquez, 2018).

### **2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS**

Las propiedades mecánicas son importantes en diseños y operaciones que involucran el manejo y la deformación de alimentos sólidos. Pueden evaluarse mediante tres tipos de pruebas, es decir, pruebas cuasi-estáticas, dinámicas y empíricas (Saravacos & Maroulis, 2012). En este estudio se usó pruebas cuasi-estáticas de compresión.

Las propiedades mecánicas son aquellas características que tienen que ver con el cambio en la forma y el tamaño de un material cuando se aplican fuerzas (Shelef & Mohsenin, 1969). Cuando se habla de las propiedades mecánicas de los granos, es necesario distinguir entre las propiedades mecánicas de los granos a granel y la de los granos individuales, ya que tienen implicaciones y aplicaciones bastante diferentes (Arozarena et al., 2012).

#### **2.3.1. Medición de propiedades mecánicas del grano a granel**

El grano a granel se comporta como materiales granulares. Las propiedades de los granos a granel están fuertemente influenciadas por las propiedades elásticas de los granos individuales (Arozarena et al., 2012). Es una medición útil en el diseño de equipos como silos primarios para material agrícola granular (Rusinek y Molenda 2007 citado por Arozarena et al. 2012). La medición de estas propiedades permite diseñar y optimizar sistemas de almacenamiento y plantas de procesamiento de granos (Molenda y Stasiak 2002; Stasiak et al., 2007).

Existen varios métodos de prueba para la evaluación de propiedades de granos a granel, y muchos de ellos han sido adaptados de los métodos utilizados en la mecánica de suelos. Los métodos habituales para su medición son las pruebas triaxiales y biaxiales.





### **2.3.2. Medición de las propiedades mecánicas del grano individual**

Las propiedades mecánicas de los granos individuales están más relacionadas con los parámetros de calidad característicos de los diferentes cereales (Arozarena et al., 2012). El estudio de la relación de fuerza y deformación del grano individual es útil para comprender las implicaciones durante la fractura de un grano cuando es sometida a fuerzas destinadas a reducir el tamaño. Los métodos utilizados para estudiar las propiedades mecánicas de los granos individuales son la prueba de compresión y la prueba de flexión (Arozarena et al., 2012). En este trabajo se usó la prueba de compresión.

### **2.3.3. Prueba de compresión uniaxial**

La prueba de compresión mide la distancia que se comprime un alimento, bajo una fuerza de compresión estándar o la fuerza requerida para comprimir un alimento a una distancia estándar (Figura & Teixeira, 2007; Serpil & Gülüm, 2006). Las pruebas de compresión de materiales biológicos intactos, proporcionan un método objetivo para determinar las propiedades mecánicas, significativas en la evaluación, control de calidad y la carga estática máxima permitida para minimizar el daño mecánico (ASAE, 2008).

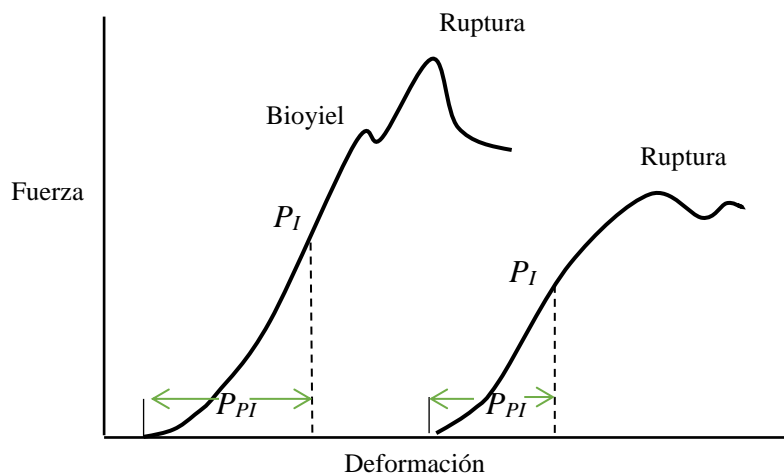
La extensión uniaxial usa dos placas planas paralelas (Voicu, Ungureanu, & Constantin, 2013), en el que un extremo es estacionario y el otro extremo se mueve a cierta velocidad (Steffe, 1996). Investigaciones a nivel mundial, han demostrado que, es el método más apropiado para determinar las propiedades mecánicas de las semillas y granos. Ya que, estas pruebas proporcionan información muy útil para determinar cuantitativamente las diferencias causadas por factores como la variedad, la humedad, la temperatura de secado, la técnica de almacenamiento, la madurez y la técnica de procesamiento.

### 2.3.3.1. Fuerza de fractura (bioyield)

La fuerza fractura se determina en la región de límite de deformación lineal, por lo tanto, antes de que los granos se fracturaran plásticamente (Yu et al., 2019) (Figura 04). Donde un aumento en la deformación resulta en una disminución o ningún cambio en la fuerza (ASAE, 2008; ASTM, 2008; Serpil & Gülüm, 2006). Es la falla de la macro estructura (Moghssenin, 1986). La pendiente en esta región se denomina también rigidez, según, Noraphaiphaksa, Sochu, Manonukul, & Kanchanomai, (2016).

### 2.3.3.2. Fuerza de ruptura - dureza

La fuerza máxima se define también como dureza durante el primer ciclo de compresión (Serpil & Gülüm, 2006). Se determina durante las pruebas de compresión, utilizando los datos registrados automáticamente por el equipo en cada ensayo de la curva Fuerza-Deformación (Rojas, 2012). Es un punto en la curva de fuerza y deformación en el que, la muestra cargada uniaxialmente se rompe bajo una carga (Serpil & Gülüm, 2006).



**Figura 4:** Curvas de fuerza – deformación de materiales con o sin punto de falla biológica.  $P_I$  = punto de inflexión.  $D_{PI}$  = deformación en el punto de inflexión (ASAE, 2008).

### 2.3.3.3. Deformación en el punto de ruptura

Es el desplazamiento relativo que sufren los puntos de un cuerpo sometido a una carga. Es una magnitud vectorial y va acompañada, en general, por una variación de volumen o de forma (Sharma, 2003). La deformación (mm) se puede determinar automáticamente en las pruebas de compresión al instante en que la semilla se fractura o rompe (Rojas, 2012).

### 2.3.3.4. Energía absorbida

La energía absorbida es la resistencia a la compresión hasta la fractura o ruptura del material. Denominado también como el trabajo requerido para causar la fractura o ruptura (Noraphaiphaksa et al., 2016; Shirmohammadi, Yarlagadda, Gudimetla, & Kosse, 2012). La energía adsorbida por la semilla se calcula en cada ensayo como el área bajo la curva fuerza-deformación registrada por el equipo durante el ensayo de compresión (Ruíz, 2000).

$$W = \frac{F \cdot D}{2} \quad (1)$$

Donde:

W: energía absorbida (mJ).

F: fuerza en el punto requerido (N).

D: Deformación en el punto requerido (mm).

### 2.3.4. Curva de fuerza-deformación

Diagrama trazado con valores de deformación como abscisas y valores de fuerza como ordenadas como se muestra en la Figura 4, (ASAE, 2008; ASTM, 2008).

Las pruebas estáticas normales son en realidad quiasistáticas, ya que se trata de la aplicación de cualquier fuerza a las condiciones dinámicas del cuerpo.





### 2.3.5. Esfuerzo y deformación

#### 2.3.5.1. Esfuerzo (Stress)

Se define como fuerza por unidad de área. Puede ser de tracción, compresión o corte (Steffe, 1996; Wilhelm et al., 2013). Generalmente es expresado en Pascal (N/m<sup>2</sup>) (Bourne, 2003).

$$\text{Stress } (\sigma) = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo (N/mm}^2\text{)}$$

$$F = \text{Fuerza (N)}$$

$$A = \text{Área (mm}^2\text{)}$$

#### 2.3.5.2. Deformación (Strain)

La deformación ( $\epsilon$ ) es la unidad de cambio de tamaño o forma de un material referido a su tamaño o forma original cuando se aplica una fuerza (Serpil and Gülüm, 2006; Wilhelm et al., 2013). Esta puede determinarse con la ecuación 3, La deformación normal puede ser de tracción o compresión (Figura 5).

La deformación que no se recupera durante la descarga se denomina deformación plástica, mientras que la deformación que se recupera se denomina deformación elástica.

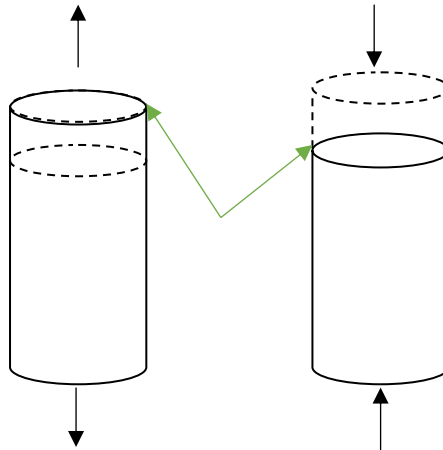
$$\text{strain } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{l_0} \quad (3)$$

Donde:

$$\Delta L = \text{Variación de longitud}$$

$$L_0 = \text{Longitud inicial}$$

$$E = \text{Deformación}$$



**Figura 5:** Esfuerzo normal de tensión y compresión.

### 2.3.6. Relación de Poisson

Es la relación de deformación transversal a la deformación axial correspondiente (Wilhelm et al., 2013). Cuando se aplica una fuerza de tensión o compresión a un cuerpo, el diámetro se ve afectado, este puede aumentar o disminuir (Lewis, 1991).

Los valores de la proporción de Poisson del material alimenticio varía de 0 a 0.5 para la mayoría de los materiales (Mohsenin, 1986; Peleg, 1987 citado por Agulheiro & Roseiro, 2012; Figura & Teixeira, 2007). La técnica descrita por Sitkei (1986) se usa a menudo para determinar la relación de Poisson, antes de iniciar las pruebas se debe registrar la longitud y el diámetro originales de las muestras estudiadas.

$$V = \frac{\textit{tension lateral}}{\textit{tension axial}} = \frac{\delta L/R_o}{\delta L/L_o} \quad (5)$$

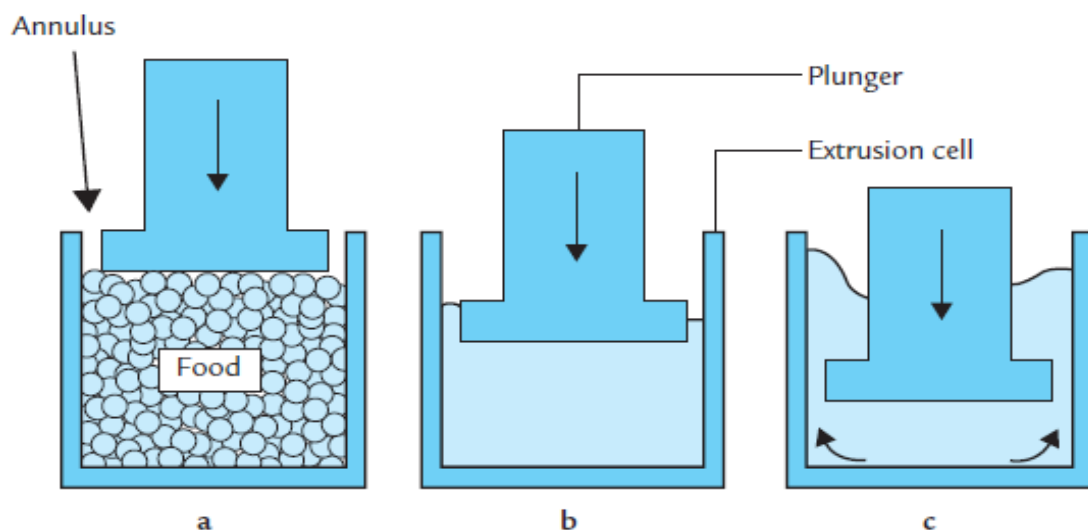
Para los materiales biológicos, la relación de Poisson depende del contenido de humedad, la magnitud del esfuerzo y la velocidad de carga (Agulheiro & Roseiro, 2012).

### 2.3.7. Celda de extrusión inversa (back extrusión)

Este aparato de prueba (Figura 6), es un dispositivo utilizado comúnmente para conocer el comportamiento de alimentos que fluyen bajo presión (Bourne, 2003). La

prueba de compresión-extrusión consiste en aplicar fuerza a un alimento hasta que fluya a través del anillo formado entre el émbolo y el recipiente cilíndrico (Steffe, 1996).

Se llama "prueba de extrusión inversa" porque la comida se mueve en la dirección opuesta al émbolo (Bourne, 2003). Los datos de muestra consisten en una curva que relaciona la fuerza sobre el émbolo versus la distancia del recorrido del émbolo (o el tiempo de viaje). Las curvas de diferentes muestras, que implican diferentes tratamientos o variedades, se comparan con establecer diferencias en la textura del producto (Steffe, 1996).



**Figura 6:** Diagrama esquemático de una celda simple para pruebas de retro extrusión. (a) El émbolo baja y comienza a tocar la superficie del alimento; (b) La comida está empacada y se puede exprimir algo de líquido; (c) La comida se extruye a través del anillo. Fuente: Bourne (2003).

### 2.3.8. Modulo aparente de elasticidad

La ecuación 7 se usa para estimar el valor del módulo aparente de elasticidad (E), de los materiales alimenticios que son relativamente firmes y homogéneos. Esta ecuación se basa en la ecuación de Hertz para tensiones de contacto utilizadas en mecánica de sólidos (ASAE, 2008).

Las ecuaciones de Hertz suponen que las deformaciones son pequeñas y el material que se está comprimiendo es elástico. Sin embargo, son útiles para hacer comparaciones

del comportamiento de deformación de los materiales viscoelásticos cuando las deformaciones y las tasas de carga son similares para todas las muestras analizadas.

$$E = \frac{0.338K_U^{3/2} F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[ \left( \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R'_L} \right)^{1/3} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Donde:

E= Modulo de deformabilidad o elasticidad (Pa)

D = Deformación del grano (m)

u = relación de Poisson (adimensional)

F= fuerza (N).

$R_U, R'_U$  = radios de curvatura de la superficie convexa de la muestra en el punto de contacto con la placa superior, (m).

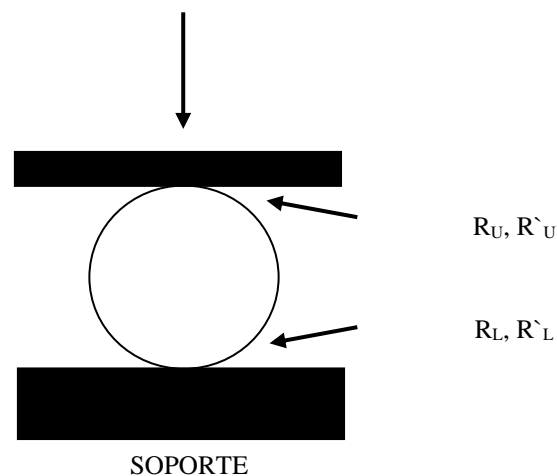
$R_L, R'_L$  = radios de curvatura de la superficie convexa de la muestra en el punto de contacto con la placa inferior (m).

K = constante, se determina a partir de  $\cos \beta$ .

**Tabla 3:** Valores de  $C_1, C_2$  y K (adimensionales) para varios valores de  $\beta$  (grados).

$\theta$	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Cos $\theta$	0.6428	0.5736	0.5000	0.4226	0.3420	0.2588	0.1736	0.0872	0.0
$C_1$	1.754	1.611	1.486	1.378	1.284	1.202	1.128	1.061	1.000
$C_2$	0.641	0.678	0.717	0.759	0.802	0.846	0.893	0.944	1.000
K	1.198	1.235	1.267	1.293	1.314	1.331	1.342	1.349	1.351

Fuente: ASAE (2008).



**Figura 7:** Diagrama de compresión del grano (ASAE, 2008).

### 2.3.9. Humedad

La humedad indica la cantidad de agua presente en una muestra, puede expresarse en base seca o en base húmeda (Singh & Heldman, 2014). Humedad en base húmeda ( $MC_{bh}$ ) es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra húmeda, entonces:

$$MC_{bh} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de muestra húmeda}} \quad (8)$$

$$MC_{bh} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de agua} + \text{Masa de solido seco}} \quad (9)$$

Humedad en base seca ( $MC_{bs}$ ) es la cantidad de agua por unidad de masa de solido seco en la muestra, entonces:

$$MC_{bs} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de solido seco}} \quad (10)$$

La relación útil para calcular  $MC_{bh}$  cuando se conoce  $MC_{bs}$ . y De manera similar, si se conoce  $MC_{bh}$ , se pueden calcular a partir de las siguientes ecuaciones:

$$MC_{bh} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1} \quad (11)$$

$$MC_{bs} = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (12)$$

## 2.4. PROPIEDADES TERMALES

### 2.4.1. Análisis termal

Fue definido por el ICTAC (the International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry) en el 2014 como: “El análisis termal (TA) es el estudio de la relación entre la propiedad de una muestra y su temperatura cuando la muestra se calienta o enfría de manera controlada”

### 2.4.2. DSC (Differential Scanning Calorimetry)

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) significa la medición del cambio de la diferencia en el caudal de calor a la muestra y a una muestra de referencia mientras están



sujetos a un programa de temperatura controlada (Höhne, Hemminger, & Flammersheim, 2003).

El DSC te permite detectar efectos endotérmicos y exotérmicos, determinar las áreas de los picos (entalpías de transición y reacción), determinar las temperaturas que caracterizan un pico u otros efectos y medir la capacidad calorífica específica (Wagner, 2017).

### **2.4.3. Curva DSC**

La curva DSC es, de hecho, una curva de diferencia: el crisol “muestra” contiene la muestra y el crisol “referencia” está vacío o contiene un material inerte. Es importante comprender que DSC mide el cambio de una propiedad, es decir, de una diferencia de velocidad de flujo de calor, que normalmente se libera debido a una alteración de la temperatura de la muestra. Cuando no hay alteración de la temperatura de la muestra, no se puede medir el cambio de una diferencia de velocidad de flujo de calor (excepto por las posibles tasas de flujo de calor de reacción química) (Höhne et al., 2003).

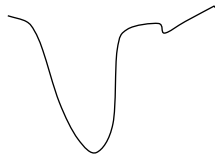

Las mediciones en DSC utilizan crisoles de aluminio estándar, estos pueden estar sellados herméticamente, con orificio de 50  $\mu\text{m}$  o sin tapa, esto depende básicamente de que es lo que se necesita conocer o a que la presión que genera el medio y si se desea o no el intercambio de gases. En general: el gas inerte es nitrógeno. Algunas apreciaciones a tener en cuenta se presentan en la Tabla 4 y Tabla 5.

**Tabla 4:** Efecto de la tasa de calentamiento en la curva DSC.

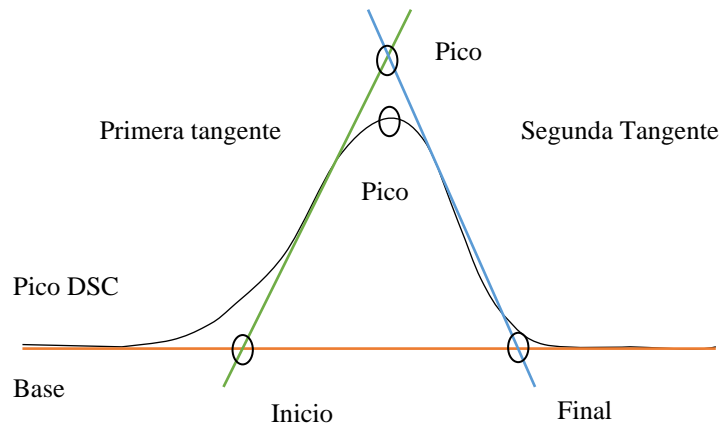
Tasas de calentamiento más bajas	Mayores tasas de calentamiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La resolución es mejor.</li> <li>• La relación señal / ruido es peor.</li> <li>• Los gradientes de temperatura son más pequeños.</li> <li>• Se pueden medir muestras más grandes.</li> <li>• el tiempo de medición es más largo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La resolución es más pobre.</li> <li>• La relación señal / ruido es mejor.</li> <li>• Los gradientes de temperatura en las muestras son más grandes.</li> <li>• Se pueden medir muestras más pequeñas.</li> <li>• El tiempo de medición es más corto.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El ancho de pico y la relación señal / ruido aumentan al aumentar la velocidad de calentamiento</li> <li>• La relación señal / ruido aumenta al aumentar la velocidad de calentamiento.</li> </ul>	

Fuente: Nijman et al. (2016).

**Tabla 5:** Expresión técnica y definición de resolución y sensibilidad en curvas DSC.

	Resolución	Sensibilidad
		
Definición	La resolución es la capacidad de separar los efectos cercanos.	la sensibilidad es la capacidad de detectar de manera confiable los efectos débiles.
Expresión técnica	Constante de tiempo de señal (relación pico altura-ancho).	relación señal-ruido (Signal-to-noise ratio: SNR)
Cómo mejorar la resolución o la sensibilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use tasas de calentamiento más bajas.</li> <li>• Use crisoles más ligeros.</li> <li>• Use una masa de muestra más pequeña.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejore el contacto entre la muestra y el crisol.</li> <li>• Seleccione gases con alta conductividad térmica (por ejemplo, helio) como atmósfera.</li> <li>• Use una frecuencia de muestreo más alta</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• usar mayores tasas de calentamiento</li> <li>• Use una masa de muestra más grande.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compense la capacidad calorífica de la muestra utilizando un material inerte como el polvo de <math>Al_2O_3</math> en el lado de referencia.</li> <li>• Use una frecuencia de muestreo más alta</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: Nijman et al. (2016).



**Figura 8:** Puntos característicos de un pico DSC (temperatura con mediciones dinámicas, tiempos con mediciones isotérmicas). La diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura máxima extrapolada a veces puede ser bastante grande.

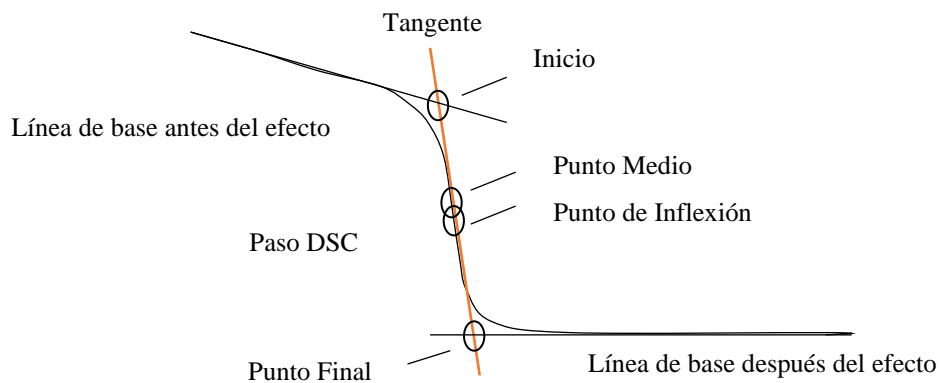
#### 2.4.3.1. Transición vítrea ( $T_g$ )

La temperatura de transición vítrea es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica. Dentro de esta región, muchas propiedades macroscópicas, que pueden tener gran importancia práctica, cambian sus valores (viscosidad, propiedades dieléctricas y especialmente mecánicas).

El valor de  $T_g$  sobre la curva DSC es detectable mediante un cambio escalonado de la capacidad calorífica  $\Delta c_p$  al calentar o enfriar (Höhne et al., 2003). O también, en cualquier otra propiedad térmica (González y Orrego, 2005) (Figura 9).

El conocimiento de este fenómeno, y su dependencia respecto a algunos factores intrínsecos o extrínsecos a los procesos de transformación, son parámetros importantes para el almacenamiento y la manipulación de matrices alimentarias (Rodríguez et al., 2011 citado por (Mosquera, Arias, Jimenez, Lopez, & Osorio, 2015). Con miras a preservar sus características, propiedades sensoriales y alargar su vida útil.





**Figura 9.-** Temperaturas características de un paso DSC, por ejemplo, debido a una transición vítrea, la diferencia entre el punto de inflexión y el punto medio puede ser bastante grande dependiendo de la forma de la curva. el punto medio se define de diferentes.

#### 2.4.3.2. Calor específico

El calor específico es la cantidad de calor que gana o pierde el material alimenticio para lograr un cambio unitario de temperatura, sin un cambio de estado (Singh & Heldman, 2014). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Cp = \frac{Q}{m (\Delta T)} \quad (13)$$

Donde:

Q = calor ganado o perdido (kJ).

M = masa (kg).

$\Delta T$  = cambio de la temperatura en el material (°C).

Cp = calor específico (kJ/Kg °C).

#### 2.4.4. Conductividad térmica

La conductividad térmica de un alimento es una propiedad importante del material que se utiliza en los cálculos que involucran la tasa de transferencia de calor. En términos cuantitativos, esta propiedad da la cantidad de calor que se conducirá por unidad de tiempo a través de una unidad de espesor del material si existe un gradiente de temperatura unitario en ese espesor (Singh & Heldman, 2014). En el SI se expresa W/m °C.



$$Q = \frac{A K (T_1 - T_2)}{L} \quad (14)$$

Donde:

Q = cantidad de flujo de calor (W).

A = área de transferencia de calor del alimento (m<sup>2</sup>).

K = conductividad térmica (W/m °C).

T<sub>1</sub> = temperatura del alimento en la superficie a un tiempo dado (°C).

T<sub>2</sub> = temperatura del alimento en la superficie a un tiempo dado (°C).

L = espesor del alimento (m).

$$pendiente = \frac{1}{R + R_{DSC}} \quad (14.1)$$

Donde:

R = resistencia térmica del sensor DSC medida sin el polvo.

$$K = \frac{\varepsilon}{\pi R} \left( \frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_p} \right) \quad (14.2)$$

Donde:

D<sub>m</sub>: diámetro de la referencia esférica de metal (indio)

D<sub>p</sub>: diámetro del plato o crisol utilizado

E: 1, para un plato cilíndrico y semiesférico (obtenido resolviendo la ecuación de transporte de calor en estado estacionario en una gama de bandejas con diferentes relaciones de altura y diámetro y diferentes tamaños de perlas de referencia).

#### 2.4.4.1. Difusividad térmica

La difusividad térmica ( $\alpha$ ) es un concepto útil en el análisis de transferencia de calor. Se define como la relación entre la conductividad térmica y la "capacidad calorífica volumétrica" del material. La capacidad calorífica volumétrica se obtiene multiplicando el calor específico de masa (C<sub>p</sub>) por la densidad ( $\rho$ ) (Berk, 2009).

Físicamente, la difusividad térmica se puede interpretar como la relación entre la capacidad del material para transferir calor y su capacidad para almacenar calor. En el SI se expresa  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = \text{m}^2/\text{s}$ .

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \quad (15)$$

Donde:

$C_p$ : calor específico (KJ/Kg °C).

$\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$K$ : conductividad térmica (W/m °C).

## 2.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (PCA) pertenece a una clase de técnicas estadísticas llamada métodos multivariados. Este análisis simplifica un conjunto de datos inicial (de variables correlacionadas), en un nuevo conjunto reducido de nuevas variables independientes llamadas “componentes principales” (Medina, Skurtys, & Aguilera, 2010). Ordenadas según su varianza y explican la mayor variabilidad de datos (Amat, 2017). De tal forma que estas dos o tres de ellas mantengan prácticamente la misma variación de la matriz de datos original. Estos componentes principales serán combinaciones lineales de los datos originales y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra; son además, independientes y no correlacionadas entre sí (Gil, 2018).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La determinación de las propiedades químicas de los granos de Cañihua de tres Variedades (V. Cupi, V. Ramis y V. Illpa-INIA), se realizó en “La Molina calidad total Laboratorios” de la Universidad Agraria la Molina – Lima.

Los ensayos respectivos para la determinación de las propiedades mecánicas y termales de los granos de cañihua (V. Cupi, V. Ramis y V. Illpa-INIA), se realizó en el “Laboratorio de Propiedades Físicas y Análisis Reológico” de unidad descentralizada del Mega laboratorio ubicado en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1. Materiales de laboratorio

- Micro pipeta de 100 – 1000 uL.
- Micro pipeta de 0.5 a 10 ml.
- Crisoles de aluminio de 40 ul.
- Set de manipulación completo para crisoles, ME-51142765.
- Kit de calibración para equipo DSC, ME-51142760.
- Fiola 1 l y 100 ml.
- Tubos de digestión 50 mL.
- Vasos de precipitado (100 ml, 200 ml, 500 ml).
- Pizeta (500 ml).
- Matraz Erlenmeyer (250 ml, 500 ml, 750 ml).
- Pipetas Volumétricas (1.0 ml, 5.0 ml y 10.0 ml).
- Papel Aluminio.
- bolsas con cerrado hermético (capacidad 1 Kg y 100 g.).
- Frascos herméticos (capacidad 100 g).



- Frascos cónicos 1 litro.
- Recipientes de plástico (capacidad 2 Lt).
- Buchner embudo, embudo para tomar papeles de 11 cm, y bomba aspiradora.
- Crisoles de porcelana.
- Dedales de extracción.
- Bandeja de goteo de alimentos (S21883).
- herramienta de adaptación de sonda.
- Sonda de punción Magnus Taylor.
- Extensión de la sonda Magnus Taylor (adaptado para granos).

#### **3.2.1.1. Equipo**

- Equipo de pruebas universal Texturómetro INSTRON® (modelo 3365, USA).
- Celda de 500 N (Inglaterra).
- Celda de 5 kN (Inglaterra).
- Calorímetro diferencial de barrido METLER TOLEDO® (modelo DSC 3+ STAR<sup>e</sup> System, Suiza).
- Estufa de Secado OVENS MEDIC® (modelo ELAS-50 LTS, Perú).
- Estereoscopio ZEISS® (modelo Stemi 508, Alemania) acoplado con cámara Axiocan 105 color 5v DC/1,7W (MODELO 37081, Alemania).
- Balanza Analítica ACCULAB Sartorius group (modelo ALC-210.4, USA).
- Balanza analítica de 0.00001 de precisión METLER TOLEDO® (MS105DU, Suiza).
- Analizador de humedad electrónico METLER TOLEDO® (HX204, Suiza).
- Prensa de sellado de crisol (Suiza).
- Termómetro.
- Desecador.
- Horno de mufla.
- Aparato de destilación al vapor de Markham, semi-micro Kjendahl.
- sistema de digestión (1007 Digester).
- Aparato de extracción Soxhlet

#### **3.2.1.2. Reactivos**

- Agua destilada.
- Agua oxigenada.



- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 1.6%.
- Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) 0.5 M.
- Peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 3%.
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 98%.
- Soluciones estándar de calibración.
- Éter de petróleo.
- Ácido sulfúrico, 0.255 N, estandarizado.
- Solución de hidróxido de sodio, libre de carbonatos, 0.31 3 N, estandarizado.
- Etanol, 95% di etílico.
- Ácido clorhídrico 1%.
- Catalizador: sulfato de cobre, sulfato de sodio.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de hidróxido de sodio 0.5 M.
- Solución de ácido sulfúrico 0,1 N.
- Solución de hidróxido de sodio 0,02 N (estandarizada frente al ácido 0,1 N solución).
- Indicador de rojo de metilo / azul de metileno.
- Nitrógeno de alta pureza

### 3.2.1.3. Software

- Microsoft Office Profesional Excel 2016.
- Paquete estadístico Sthatgrafics® centurión XVI.
- Software Bluehill universal® versión 4.08 de INSTRON®
- Software Stare Evaluation® versión 16.20 de Mettler Toledo

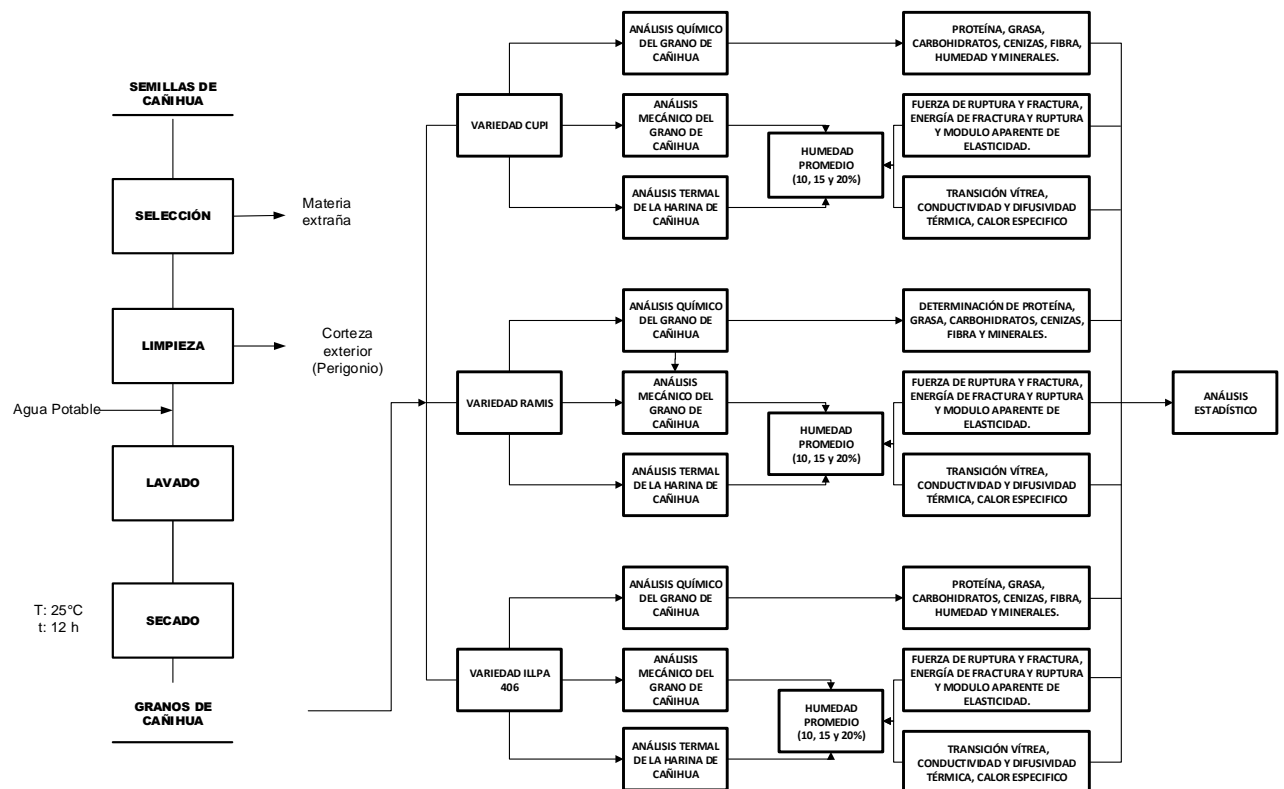
### 3.2.2. Material Biológico

Las semillas de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de las variedades Cupi e Illpa-INIA se adquirió a granel del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) de Puno, las cuales contaban con una pureza de variedad de 99 %, tratamiento orgánico y campaña agrícola 2017. A su vez, la semilla de cañihua variedad Ramis fue adquirida a granel de “Agropecuaria Capallino” con una pureza de variedad de 95 %, tratamiento orgánico, campaña agrícola 2018.

### 3.3. MÉTODOS

#### Método experimental

En la figura 10, se muestra el diagrama de flujo para la obtención de granos limpios y los diferentes análisis realizados, tanto para grano y harina de cañihua de tres variedades de cañihua.



**Figura 10:** Diagrama de flujo de operaciones para la obtención de granos de Cañihua y el diagrama experimental del estudio.

**Selección:** En este proceso se retiró materiales extraños e impurezas en las semillas de Cañihua (paja, piedras, tierra, etc.). Además, se removió semillas rotas e inmaduras de manera manual.

**Limpieza:** Se realizó una limpieza en seco por abrasión de forma manual para retirar la corteza exterior (perigonio) previo al proceso de lavado.

**Lavado:** Este proceso se realiza por abrasión manualmente para obtener un grano limpio. Los granos fueron lavados haciendo uso de agua potable, relación 1:3 de grano: agua.



**Secado:** El secado se realizó en dos fases. La primera con luz solar durante 4 a 5 horas. Y se complementó con secado en estufa a 25 °C por 16 horas. (Velásquez (2018) recomienda un secado de al menos 24 horas para secado con luz solar). Posteriormente los granos fueron almacenados en un ambiente aislado y cerrado por un periodo de 30 días a temperatura ambiente para equilibrar la humedad.

### **Método de Análisis**

A continuación, se describe la metodología empleada para la determinación de las propiedades químicas, mecánicas y termales.

#### **3.3.1. Determinación de las propiedades químicas**

- **Proteína**

Las proteínas contenidas en los granos de cañihua fueron determinadas mediante el método Kjendahl detallado por NTP 205.005:2018 (2018), el cual consta de tres etapas: digestión, destilación y titulación. Digestión: se pesó 0.5 g de muestra y se colocó en tubos Kjendahl, se adiciona 4 g de catalizador mezcla de sulfato de sodio y sulfato de cobre ( $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{CuSO}_4$ ) (9:1), se agrega 14 ml de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{c})$ ) (98%). Se enciende y programa el equipo digestor (Unidad de Digestión Kjeldahl Científica DK 8), donde las muestras son calentadas a una temperatura de 450°C por 1 h o hasta la aparición de un color verde esmeralda en los tubos de Kjendahl. Destilación: En matraces de 250 ml se adicionó 40 ml de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) al 4% y 3 - 5 gotas de indicador verde de bromocresol, luego los matraces fueron colocados al final de la manguera de condensación del equipo destilador (Unidad de Destilación Kjeldahl Científica UDK 129). Se colocó el tubo de Kjeldahl con la muestra digerida en el equipo destilador quien adicionó NaOH al 50% (50 ml aprox.), para alcalinizar el medio por un





periodo de 5 min. El término del proceso se confirma por la aparición de una coloración azul en los matraces y una solución de color negro en los tubos de Kjeldahl.

Titulación: Esta es la última etapa, se titularon las muestras más el blanco con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N, hasta el viraje de color azul a amarillo intenso. Los gastos de volumen de HCl utilizados para el blanco y las muestras fueron anotados para el cálculo del porcentaje (%) de proteínas. Se utilizó el valor de 6.25 como factor proteico. El contenido de proteína se calcula con la ecuación 16:

$$\% \text{ proteínas} = \left( \frac{14 * N * (V_m - V_b) * fp * 100}{m} \right) \quad (16)$$

Donde:

N: normalidad de ácido clorhídrico (HCL)

V<sub>m</sub>: volumen gastado de HCL de la muestra (ml)

V<sub>b</sub>: volumen gastado de HCL del blanco (ml)

fp: factor proteico 6.25

m: peso de la muestra (mg).

- **Grasa**

El contenido de grasa presente en los granos fue determinado mediante la NTP 205.006:2017 (2017) método de Soxhlet. Se pesó 3 g de muestra en cartuchos de papel filtro y se colocaron dentro del Soxhlet. Se pesan los balones vacíos de 150 ml y se anota los resultados, este se conecta al sistema anterior y se adiciona 70 ml de éter de petróleo. Luego se conecta al sistema Soxhlet bajo una campana de extracción verificando que esté herméticamente cerrado. Posteriormente, se abrió el flujo de agua fría y se corroboró que ésta circule de manera constante por el condensador. Seguidamente se enciende las cocinillas a 250°C por 4 h. una vez transcurrido el tiempo se deja enfriar el sistema y se lleva los balones con solución al rota vapor hasta alcanzar la sequedad. Seguidamente, se lleva los balones a la estufa a 120 °C por 30 min, con el fin de eliminar cualquier resto de



solvente orgánico, a continuación, se les colocó en el desecador. Finalmente se pesó del balón y se determinó el porcentaje (%) de grasa mediante la ecuación 17.

$$\%Grasa = 100 \left( \frac{A-B}{C} \right) \quad (17)$$

Donde:

A: peso del balón vacío, limpio y seco (g)

B: peso del balón con muestra (grasa) (g)

C: peso de la muestra (g).

- **Carbohidratos**

El contenido de carbohidratos fue mediante calculo por diferencia, Collazos (1993). Se toma como referencia el valor de la unidad (100%) y se resta la suma de los demás componentes analizados expresados como proteínas, humedad, fibra y cenizas utilizando la ecuación 18.

$$\% Carbohidratos = 100 - (\%P + \%H + \%G + \%F + \%C) \quad (18)$$

Donde:

% P: porcentaje de proteínas.

% H: porcentaje de humedad.

% G: porcentaje de grasa total.

% F: porcentaje de fibra total.

% C: porcentaje de cenizas.

- **Ceniza**

El contenido de ceniza presente en los granos de cañihua se determinó mediante el método AOAC Internacional (2011). Se pesó 0.5 g de muestra en un crisol previamente acondicionado y pesado, se somete la muestra a calentamiento hasta calcinarla, en mufla a 600 °C por 3 h trascurrido el tiempo, el residuo la materia mineral exento de carbón se coloca en un desecador por 30 min para obtener un peso constante. Finamente el crisol se pesa y se calcula el porcentaje de cenizas con la ecuación 19.



$$\%Cenizas = 100 * \frac{m_2 - m_1}{m} * \frac{100}{100 - h} \quad (19)$$

Donde:

m: masa de la muestra (g).

m<sub>1</sub>: masa del crisol vacío (g).

m<sub>2</sub>: masa del crisol con cenizas (g).

h: porcentaje de humedad de las muestras.

- **Fibra**

El contenido de fibra Cruda en las muestras se determinará mediante el método de la norma técnica peruana (NTP 205.003:1980, 2011), Se pesó 1 g de muestra desengrasada en matraces de 250 ml, luego se agregó 200 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 1.25% más 3 - 5 gotas de octanol. Se dejó hervir por 30 min (a partir de ebullición), asegurándose en todo momento que la muestra esté en contacto con la solución. Posteriormente, se filtra el contenido a través de papel filtro Whatman N° 42. Luego se procedió a lavar el contenido con agua destilada caliente, se trasvasó el contenido con ayuda de hidróxido de sodio (NaOH) al 1.25 %, previamente calentado, al matraz inicial, se enrasó a 200 ml con NaOH al 1.25 % y se dejó hervir por 30 min. Luego de la misma manera se filtró la solución y se lavó el contenido con agua destilada caliente por 3 veces. Por otro lado, se acondicionó papel filtro Whatman N° 42 en la estufa a 130°C por 30 min, luego se colocó al desecador y se tomó el peso. Seguidamente, en este papel filtro se vertió el contenido y se terminó de lavar con una porción de 25 ml de agua tipo I y una porción de 25 ml de acetona. Se llevó el papel filtro a la estufa a 130°C por 2 h y al término de este tiempo se dejó enfriar en el desecador. Finalmente se tomó el peso y se determinó mediante la ecuación 20 el porcentaje (%) de fibra.

$$\% Fibra = \left( \frac{m_2 - m_1}{m} \right) * 100 \quad (20)$$



Donde:

$m_2$ : peso del papel con muestra (g).

$m_1$ : peso del papel vacío (g).

$m$ : peso de la muestra (g).

- **Humedad**

Se determina mediante el método de la norma técnica peruana (NTP 205.002:1979, 2016), Método gravimétrico: Consiste en la determinación de la pérdida de masa experimentada por la muestra cuando es sometida a la acción de temperatura, la humedad se determinó por peso usando la ecuación 21:

$$\% \textit{Humedad} = (m - m_1) / m \times 100 \quad (21)$$

Donde:

$m$ : masa inicial de la muestra (g).

$m_1$ : masa de la muestra seca (g)

- **Minerales**

Para la determinación de minerales se utilizó el método oficial AOAC 968.08 se utilizan soluciones comerciales estándar para cada mineral a determinar. Se utilizan 10 g de cenizas secas en un plato de porcelana esmaltada, llevar a 550 °C, y mantener 4 h, enfriar y agregar 10 ml de 3M HCL cubrir con reloj de vidrio y hervir suavemente 10 minutos, enfriar, filtrar en un matraz volumétrico de 100 ml y diluir a volumen con H<sub>2</sub>O. La dilución final de calcio debe contener la solución suficiente para proporcionar una concentración de 1% después de la dilución al volumen con H<sub>2</sub>O. Digestión húmeda: Se procede agregando 25 ml de HNO<sub>3</sub> al 1 % por cada porción de prueba de 2.5 g y diluyendo a 100 ml con H<sub>2</sub>O. La digestión se puede hacer a baja temperatura en una placa usando un vaso de precipitado de 600 ml recubierto con un reloj de vidrio. Finalmente se lleva al equipo a un espectrofotómetro de absorción atómica para determinar.

### 3.3.2. Determinación de las propiedades mecánicas

Primeramente, se determinó el contenido de humedad inicial de los granos para las tres variedades de cañihua, seguido a ello se procedió a acondicionar el contenido de humedad (10, 15 y 20 %).

#### 3.3.2.1. Determinación de humedad

Se tomó una muestra aleatoria representativa de 45 g por variedad, distribuidas en bandejas de 15 gramos cada una, para realizar tres repeticiones por variedad. Se determinó el contenido de humedad empleando el método de secado en horno a 103 °C durante 24 horas, Según la norma ASAE (ASAE S352.2, 2006). Este es un procedimiento para determinar la humedad en granos y semilla de grano entero.

Se utilizó platos de materiales no higroscópicos, el horno se mantuvo aislado y mantuvo un calentamiento uniforme con una precisión de  $\pm 0.5$  °C. Se utilizó una balanza de precisión de 0.0001 g. Los platos de aluminio se secaron por 30 minutos a la temperatura de prueba y posteriormente se pesaron para determinar el peso de tara, se colocaron 15 g de muestra en cada plato, al finalizar la prueba se enfrió a temperatura ambiente en un desecador, luego se pesaron y se calculó el porcentaje de humedad mediante la ecuación 22. Los resultados de humedad se expresan en base seca. Las muestras utilizadas para determinar la humedad no volvieron a usarse para otro tipo de análisis.

$$Hf = \frac{(Pi - Pf) * 100}{Pi} \quad (22)$$

Donde:

Hf: humedad final, % b.h.

Pi: peso inicial, g.

Pf: peso final, g.

### 3.3.2.2. Acondicionamiento de humedad

Este procedimiento se realizó para efectuar la compresión de los granos con diferentes contenidos de humedad y evaluar el efecto de la humedad en las propiedades mecánicas del mismo.

Para obtener semillas con 10% de humedad b.s. no se realizó ningún tipo de acondicionamiento, ya que, el contenido de humedad de los granos se encontraba en 10.4 (Cupi), 10.5 (Ramis) y 10.8 % (Illpa-INIA) de humedad.

Para obtener semillas con 15 y 20 % de humedad, conociendo la humedad inicial y peso de las muestras, se cálculo (ecuación 23) la cantidad de agua que debe suministrarse a los granos de cada variedad (Cupi, Ramis e Illpa-INIA). Las muestras preparadas se sellaron herméticamente en envases de vidrio y se almacenaron a 4 °C durante al menos 38 horas con agitación ocasional suave para que la humedad se distribuya uniformemente. Además, el contenido de humedad final de las muestras, también se obtuvo conociendo el peso final de las semillas utilizando la ecuación 24, detallada por Murthy and Bhattacharya, (1998).

$$MC_{wb} = \frac{M}{M + M_1} \quad (23)$$

Donde:

$MC_{wb}$ : Humedad en base húmeda.

M: Masa de agua

$M_1$ : Masa se dolido seco

$$W1(100 + M1) = W2(100 + Mo) \quad (24)$$

Donde:

$Mo$ : contenido de humedad inicial (% base seca).

$W1$ : peso inicial de los granos con un contenido de humedad  $Mo$  (g).

$W2$ : peso final de los granos con un contenido de humedad  $W1$  (g).



### 3.3.2.3. Medición de algunas propiedades físicas

Las dimensiones físicas se determinaron por procesamiento de imagen. Se seleccionaron de 30 granos por variedad de cañihua, cuidando que estos granos no presenten daños visibles. Las imágenes fueron adquiridas con una cámara microscópica portátil utilizando un patrón de medida en la imagen adquirida. Los granos fueron expuestos a la cámara con dos orientaciones: horizontal y vertical. Se utilizó el programa de procesamiento científico y digital de imágenes *Imaje J*, desarrollado en el National Institutes of Health. Las dimensiones principales obtenidas fueron, diámetro mayor (longitud), intermedio (ancho), menor (espesor) y área de la semilla. El cálculo del porcentaje de esfericidad se realizó con la ecuación 25.

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (25)$$

Donde:

L: longitud (mm)

T: espesor (mm)

W: ancho (mm)

### 3.3.2.4. Ensayos de compresión Uniaxial

Las propiedades mecánicas de los granos de cañihua, se determinaron mediante curvas de fuerza – deformación. Se utilizó una máquina de prueba universal INSTRON (modelo 3365 – USA).

Se crearon métodos diferentes para la determinación de las propiedades mecánicas de grano individual y a granel en el software Bluehill Universal® versión 4.08. del cual se recabaron los datos sin procesar.



- **Determinación de propiedades mecánicas para granos individuales**

Los granos se encontraron en posición de reposo colocadas sobre una superficie plana y lisa, la compresión se realizó con una sonda de punción con extensión adaptado para granos pequeños (Anexo E, Fig. E.7). Los ensayos se realizaron a una velocidad de cruceta de 1 mm/min, utilizando una celda de carga con una capacidad máxima de 500 N, el grano se deformó hasta un 60 %. El número de granos individuales sometidos a las pruebas mecánicas fueron 50 unidades por cada nivel de humedad (10, 15 y 20%) de las tres variedades de Cañihua, con un total de 450 ensayos diferentes.

Los granos comprimidos se observaron mediante un microscopio estereoscópico (Carl Zeiss® modelo Stemi 508), con el fin de apreciar visualmente el grado de daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa.

Se determinó fuerza de fractura y ruptura del grano, energía necesaria para la fractura y ruptura del grano, deformación requerida para la fractura y ruptura del grano, todas ellas a diferentes niveles de humedades (10, 15 y 20 %). Además, se calculó módulo aparente de elasticidad en el punto de ruptura del grano. Así mismo, se calculó también esfuerzo y deformación del grano para las tres variedades de cañihua y diferentes niveles de humedad.

- **Determinación de propiedades mecánicas para granos a granel**

Se pesaron 15 g de muestra los cuales fueron colocados en un cilindro de prueba de compresión inversa (back extrusión) de 50 mm de diámetro x 70 mm de profundidad con un émbolo de 42 mm de diámetro (Anexo E, Fig. E.8). Los ensayos de compresión se realizaron a una velocidad de 1 mm/min, una deformación de 60 %, se utilizaron dos celdas de carga con capacidad máxima de 500 N y 5 kN. Se realizaron 5 repeticiones por



nivel de humedad (10, 15 y 20%) para las tres variedades, dando un total de 45 ensayos diferentes.

Se determinó fuerza y energía necesaria en el área de reordenamiento (región elástica) en los granos a granel, fuerza y energía necesaria al punto máximo.

- **Calculo del módulo aparente de elasticidad**

El modulo aparente de elasticidad (E) se basa en las ecuaciones de Hertz para geometría de contacto de placa paralela (ASAE, 2008). Asumiendo que los radios de curvatura en de los granos en contacto con los platos paralelos sean iguales, la ecuación 26 queda de la siguiente manera (Cheng, Yan, & Hu, 2016).

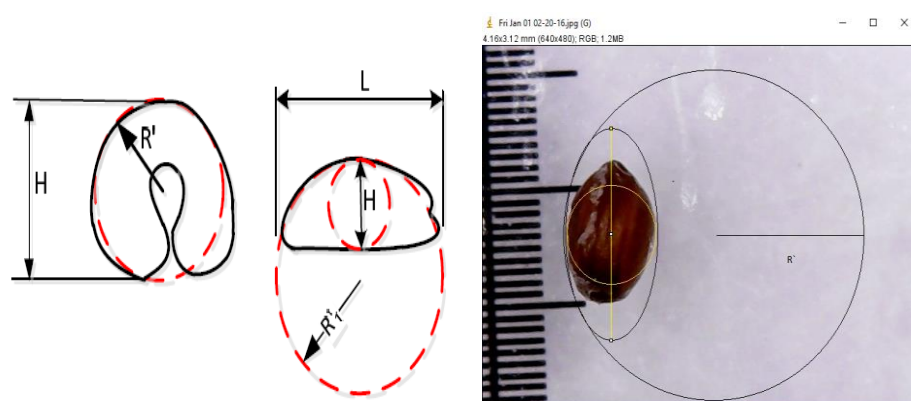
$$E = \frac{0.338F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \left[ k \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (26)$$

El valor de la constante K, se calculó del ángulo formado entre el plato normal del plato de compresión (ecuación 27) y la curvatura del cuerpo de las ecuaciones 28 y 29. La relación Poisson para granos se asumió un valor de 0.4 (Cheng, Yan & Hu, 2016).

$$\cos \theta = \frac{\left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R'} \right)}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}} \quad (27)$$

Donde:

$\theta$  = Angulo de las superficies de contacto.



**Figura 11:** Estimación del radio de curvatura



$$R = \frac{H}{2} \quad (28)$$

$$R' = \frac{H^2 + \frac{L^2}{4}}{2H} \quad (29)$$

Dónde:

H: grosor de la semilla (m)

L: longitud de la semilla (m)

### 3.3.3. Determinación de las propiedades termales

#### 3.3.3.1. Obtención de harina de Cañihua

Los granos de cañihua limpios se molieron en un molino de anillos. La harina molida obtenida fue llevada a un tamiz electrónico. Se obtuvieron partículas entre 180 y 250  $\mu\text{m}$  las cuales fueron destinadas para los análisis térmicos, (Anexo F, Fig. F.1 y Fig. F.1).

#### 3.3.3.2. Acondicionamiento de humedad

Para el acondicionamiento de la humedad de la harina de cañihua, se realizaron los mismos procedimientos descritos en el inciso 3.3.2.2. para este caso se utilizó harina obtenida en el proceso de molienda.

- **Calibración del equipo**

Para la determinación de las propiedades termales de los granos de cañihua, se utilizó un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC 3+) y el software Stare Evaluation<sup>®</sup> 16.20 de Mettler Toledo. El calorímetro se calibró para la temperatura y el flujo de calor usando indio (punto de fusión = 156,6 ° C, entalpía = 28,45 J / g) (Zhang, Kang, & Che, 2019; Micić, Ostojić, Simonović, Pezo, & Simonović, 2015). Las curvas se encuentran en el sistema ICTA (Endotérmica hacia abajo, exotérmica hacia arriba) establecido por ICTAC (International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry).



- **Determinación de la Temperatura de Transición Vítrea (Tg)**

Tg fue determinado siguiendo las recomendaciones de ASTM internacional (ASTM E 1356, 2008). Tg se consideró como el punto de inflexión de la línea base, causado por la discontinuidad de la capacidad calorífica de la muestra (Anexo Fig. F.9). En el software se creó un método dinámico con un rango de temperaturas de 30 a 150 °C a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. Para el análisis se usaron crisoles de aluminio de 40 µL estándar. En una Semi microbalanza se pesaron  $6.5 \pm 0.05$  mg. Se añadió 20 µL de agua destilada usando una micro pipeta. Se sellaron semi herméticamente los crisoles, se hizo un orificio de 1 mm en la tapa del crisol justo antes del análisis. Las mediciones de DSC se realizaron por triplicado y los resultados se presentan como valores medios.

Cabe Señalar, la transición vítrea de disoluciones alimenticias no ocurre a una única temperatura. Sino a lo largo de un amplio rango de temperaturas. Por esta razón, es más correcto hablar de una determinación de rangos de Tg, y no de un valor puntual para esta propiedad (Bhandari, 2001; Simperler et al., 2006). Por esta razón, se determina la Tg relacionado a la desnaturalización de la proteína.

- **Determinación de calor específico (Cp)**

Se determinó por calculo (ecuación 30) el calor ganado o perdido se extrajo del termograma obtenido de cada ensayo realizado. Este dato se recabo en el punto de comienzo de la discontinuidad o variación de la capacidad calorífica (Anexo Fig. F.9). En el software se creó un método dinámico con un rango de temperaturas de 30 a 150 °C a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min. En una Semi microbalanza se pesaron  $6.5 \pm 0.05$  mg. Se añadió 20 µL de agua destilada usando una micro pipeta. Para el análisis se usaron crisoles de aluminio de 40 µL estándar. Estos se sellaron semi herméticamente.

Las mediciones de DSC se realizaron por triplicado y los resultados se presentan como valores medios.

$$Cp = \frac{Q}{m(\Delta T)} \quad (30)$$

Donde:

Q = calor ganado o perdido (kJ).

M = masa (kg).

$\Delta T$  = cambio de la temperatura en el material (°C).

Cp = calor específico (kJ/Kg °C).

- **Determinación de Conductividad térmica ( $k$ )**

Se empleó el método desarrollado Camirand (2004), adaptado por Pujula (2016). Para la medición de la conductividad térmica ( $k$ ) en polvos y/o harinas utilizando un quipo calorímetro diferencial de barrido (DSC). Se pesaron  $10 \pm 0.05$  mg de harina de cañihua. Se utilizaron crisoles de aluminio estándar de 40  $\mu$ L. Se colocaron una referencia esférica de indio sobre la harina que llena el recipiente, como se muestra en la Figura 12, los crisoles son sellados herméticamente y se coloca en el equipo para el análisis. El programa de temperatura fue dinámico con un rango de temperaturas desde 30 a 185 °C. Una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Nota: Se debe conocer las dimensiones físicas de la esfera de indio y de los crisoles a utilizar en cada prueba. (el diámetro de la esfera de indio puro oscilo entre 0.68 a 0.82 mm).  $k$ , se obtiene del lado de descenso de temperatura del pico de fusión mediante la ecuación 31.

$$K = \frac{\varepsilon}{\pi R} \left( \frac{1}{D_m} - \frac{1}{D_p} \right) \quad (31)$$

Donde

$D_m$ : diámetro de la referencia esférica de metal (indio).

$D_p$ : diámetro del plato o crisol utilizado.

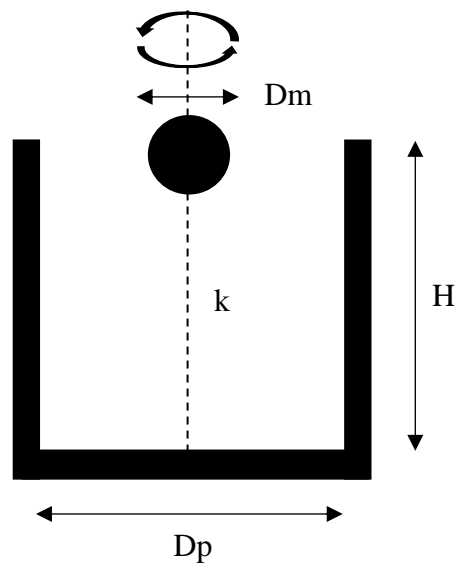
E: 1, para un plato cilíndrico y semiesférico (obtenido resolviendo la ecuación de transporte de calor en estado estacionario en una gama de

bandejas con diferentes relaciones de altura y diámetro y diferentes tamaños de perlas de referencia).

**Tabla 6:** Cantidades de muestra recomendadas para las mediciones de DSC.

Tipo de muestra	Cantidad
Muestras orgánicas	2 a 10 mg
Muestras inorgánicas	5 a 50 mg
Muestras con fuertes efectos exotérmicos	0.5 a 1 mg
Muestras desconocidas	0,5 a 1 mg

Fuente: Nijman et al (2016).



**Figura 12:** Diagrama esquemático de un crisol cilíndrico lleno de harina de cañihua con una esfera de indio de referencia en la parte superior.

- **Determinación de la difusividad térmica ( $\alpha$ )**

Se determinó mediante la ecuación 32.

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \quad (32)$$

Donde:

$C_p$ : calor específico (KJ/Kg °C).

$\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>).

$K$ : conductividad térmica (W/m °C).



### 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las propiedades químicas (proteína, grasa, carbohidratos, cenizas, fibra, humedad y energía total), propiedades mecánicas (fuerza de fractura, fuerza de ruptura y energía y deformación para ambos casos) y propiedades termales de los granos ( $T_g$ ,  $C_p$ ,  $k$ ,  $\alpha$ ) se aplicó un diseño completo al azar. En todos casos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba múltiple de rangos Tukey ( $p < 0.05$ ), usando el paquete estadístico Statgraphics centurión. Los gráficos se obtuvieron mediante Microsoft Excel 2016 y Statgraphics centurión.

Se utilizó el método Análisis de Componentes Principales para analizar el conjunto de datos de 39 mediciones promedio obtenidas de 3 variedades de granos de cañihua. Las 39 medidas promediadas se componen de nueve propiedades químicas (proteína, grasa, carbohidratos, fibra, ceniza, energía total, kcal de proteína, kcal de grasa y kcal de carbohidratos), 6 minerales (calcio, hierro, magnesio, fosforo, potasio y zinc), doce características mecánicas (fuerza de fractura, fuerza de ruptura, energía de fractura y energía e ruptura a tres distintas humedades), doce propiedades termales (conductividad térmica, difusividad térmica, calor específico y T. de transición vítrea a tres diferentes humedades). Los datos se organizaron en una matriz de 3 por 39. Se utilizó una matriz de correlación de datos estandarizados para calcular los valores propios, las cargas (vectores propios) y los componentes principales relacionados con las variables originales. En este estudio se trazaron los dos componentes principales para mostrar y subrayar datos similares en un gráfico de dispersión.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

Se presentan los resultados obtenidos respecto a las propiedades químicas para las tres variedades de cañihua estudiadas (Tabla 7). Se observa que los componentes químicos cuantificados difieren respecto a la variedad que se estudia.

**Tabla 7:** Propiedades químicas de granos de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de las tres variedades estudiadas.

Componentes químicos (%)	V. Cupi	V. Ramis	V. Illpa-INIA
Proteína cruda	14.90 ± 0.013 <sup>a</sup>	14.87 ± 0.050 <sup>a</sup>	15.50 ± 0.082 <sup>b</sup>
grasa	7.73 ± 0.014 <sup>c</sup>	7.02 ± 0.022 <sup>b</sup>	4.67 ± 0.018 <sup>a</sup>
carbohidratos 44	65.73 ± 0.017 <sup>a</sup>	66.68 ± 0.065 <sup>b</sup>	65.85 ± 0.083 <sup>a</sup>
cenizas	2.42 ± 0.010 <sup>b</sup>	2.53 ± 0.013 <sup>c</sup>	2.31 ± 0.013 <sup>a</sup>
fibra	3.20 ± 0.082 <sup>a</sup>	3.05 ± 0.129 <sup>a</sup>	3.93 ± 0.05 <sup>b</sup>
humedad (b.s.)	10.14 ± 0.016 <sup>b</sup>	9.69 ± 0.075 <sup>a</sup>	12.92 ± 0.381 <sup>c</sup>
energía total (kcal)	391.83 ± 0.501 <sup>c</sup>	389.29 ± 0.057 <sup>b</sup>	367.43 ± 0.098 <sup>a</sup>
%kcal proveniente de proteínas	15.22 ± 0.049 <sup>a</sup>	15.27 ± 0.052 <sup>a</sup>	16.93 ± 0.082 <sup>b</sup>
%kcal proveniente de grasa	17.72 ± 0.050 <sup>c</sup>	16.20 ± 0.006 <sup>b</sup>	11.45 ± 0.058 <sup>a</sup>
%kcal de carbohidratos	67.07 ± 0.050 <sup>a</sup>	68.52 ± 0.051 <sup>b</sup>	71.67 ± 0.96 <sup>c</sup>

Valores presentados en media de cuatro repeticiones ± SD, a, b, c expresados por contenido de propiedades químicas ( $p < 0.05$ ).

#### Contenido de Proteína

Los resultados para el contenido de proteína indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre las tres variedades estudiadas. Ante la significancia estadística se realizó una prueba múltiple de rangos Tukey (Anexo Tabla H.2). La variedad Illpa-INIA tiene un contenido de proteína 15.50 %, siendo, además, el valor más alto ( $p < 0.05$ ). Seguido por las variedades Cupi y Ramis con valores de 14.90 y 14.87 %. A su vez, representan valores inferiores ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados son ligeramente inferiores a los reportados con anterioridad. Repo-Carrasco et al. (2009) indica que el contenido de proteína en los granos de cañihua oscila entre 15 y 21 %. Mientras que Peñarrieta et al. (2008) afirma que su contenido se encuentra entre 15-18 %. Higinio (2011) reporta un 13.99 % para la variedad Cupi. Mientras que, Pauro (2017) un 18.46% para Cupi y un 18.47 % para Illpa-INIA. Mujica (2012) citado por Moscoso et al. (2017), reportan un 16.2% para la variedad Cupi y 18.7% para Ramis.

La diferencia en el contenido proteína en granos de cañihua, se atribuye principalmente a la genética de la variedad que se estudia, y al tamaño del cotiledón (Fuentes et al., 2019). Existen otros factores que lo afectan, como su lugar de procedencia, la calidad de nutrientes en la tierra donde fue cultivada (Gajardo, 2005; Repo-Carrasco, 2011). Otro punto a considerar es el método de cuantificación. Aunque la cantidad de proteína difiere la mayoría de estudios, los autores destacan la calidad de la proteína de cañihua (Moscoso, Zabaleta y Mujica, 2017).

#### Contenido de materia grasa

En referencia al contenido de materia grasa. Ante la significancia estadística, la prueba Tukey (Anexo Tabla H.4), indica que la variedad Cupi mostro el valor más alto ( $p < 0.05$ ) con 7.73 %, seguido de la variedad Ramis con 7.02 y 4.67 % para la variedad Illpa-INIA.

Estos valores son similares a resultados anteriores. Collazos et al. (2004) indica que el contenido de grasa en la cañihua se encuentra entre 6.4 – 7.6 %. Mujica (2012) citado por Moscoso et al. (2017) reporta un contenido de grasa de 6.0 % para la variedad Ramis, mientras que para la variedad Cupi reporta 4.5 %. Repo-Carrasco, Espinoza y Jacobsen (2003) expresan que el contenido de grasa es de 6.8%. Higinio (2017) reporta el valor





más alto con un 8.68% de materia grasa para la variedad Cupi. Así mismo, INIA (2004) indica que el contenido de grasas para la Variedad Illpa-INIA es de 4.57%.

Las diferencias encontradas en el contenido de materia grasa serían por varias razones, una de ellas es el tamaño del embrión dicotiledóneo y el perispermo, que son principales depósitos de materia grasa en granos de cañihua, Prego et al. (1998) (citado por D'Amico et al. 2017). Otra razón es variedad de Cañihua o su procedencia genética. Así también, el lugar de procedencia y de cultivo. Además, Berganza et al. (2003) (citado por D'Amico, et al. 2017) sostiene que existe un efecto de la ubicación, en particular en la altitud sobre el nivel del mar en que se cultiva. Manifiesta, que los granos de Amaranto fueron afectados significativamente en el contenido de grasa de acuerdo a la altura en la que fueron cultivadas.

#### Contenido de Carbohidratos

En cuanto al contenido de carbohidratos, existe significancia entre variedades. La prueba Tukey (Anexo Tabla H.6) manifiesta que no hubo diferencia significativa entre las variedades Cupi e Illpa-INIA con valores 65.73 y 65.85 % siendo, además, estos los valores más bajos ( $p > 0.05$ ), mientras que la variedad Ramis mostro el valor más alto ( $p > 0.05$ ) con 66.68 %.

El contenido de carbohidratos de la presente investigación reporta valores superiores a estudios realizados en años anteriores. Moscoso et al. (2017) reporta valores entre 56.3 y 55.7% para las variedades Ramis y Cupi. Pauro (2017) reporta valores de 58.59 y 58.31 % para las variedades Cupi e Illpa-INIA. A su vez, Higinio (2017) presenta valores de 64.0% para la variedad Cupi. Mientras que INIA (2004) reporta un contenido de carbohidratos para Illpa-INIA de 65.92% y Repo-Carrasco et al. (2003), afirma que la cañihua posee entre 63 - 66 % de carbohidratos.



Repo-Carrasco-Valencia & Valdez (2017), indica que uno de los componentes principales en los granos de cañihua y quinua, son los carbohidratos y el carbohidrato principal es el almidón. Según, Berghofer y Schönelechner (2002), el contenido de carbohidratos en la cañihua se encuentra principalmente en el perispermo y la razón principal de la variación es por la genética del grano.

### Contenido de Cenizas

Para el contenido de Cenizas existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) ante la significancia la prueba Tukey (Anexo Tabla H.8) indica que la variedad Ramis es quien reporta el valor más alto ( $p > 0.05$ ) con 2.53 %, seguido por la variedad Cupi con 2.42 % e Illpa-INIA con 2.31 %.

Los valores de ceniza obtenidos en esta investigación son inferiores a los reportados con anterioridad. Por ejemplo, Repo-Carrasco (2003) presenta un contenido de Cenizas de 3.7%. Pauro (2017) indica que la variedad Cupi posee un contenido de cenizas de 4.78 % y para la variedad Illpa-INIA un 4.44%. A sí mismo, INIA (2004), expresa que la variedad Illpa-INIA tiene un contenido de cenizas de 5.0%. Higinio (2017), reporta un 5.1%. Bartolo (2014), indica que en contenido de cenizas para Cupi es de 3.8%.

La diferencia existente se atribuye a la ausencia de perigonio en los granos para este estudio, ya que las cenizas es equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica (Marquez, 2014). Por ejemplo: al refinar la harina la cantidad de cenizas disminuye considerablemente (Navarro, 2007). Según Gonzales y Cari (2018), otro factor importante es la calidad del suelo en la que se cultiva el grano.

### Contenido de fibra

En referencia al contenido de fibra, el análisis de varianza indica que existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Según la prueba Tukey (Anexo Tabla



H.10) las variedades Cupi con 3.20 % y Ramis con 3.05 % no tienen diferencia significativa. Por otro lado, la variedad Illpa-INIA mostro el valor más alto ( $p < 0.05$ ) con 3.93 %.

El contenido de fibra cruda obtenida en la presente investigación es inferior a valores reportados anteriormente, Mujica (2012) citado por Moscoso (2017), indica que el contenido de fibra para la variedad Ramis es de 5.8% y para la variedad Cupi 5.5%. Por otro lado, INIA (2004) reporta un valor de 7.7% de fibra para la variedad Illpa-INIA.

Las variaciones del contenido de fibra total en los granos de cañihua depende principalmente del perigonio que cubre el grano el cual contiene celulosa que contribuye al contenido de fibra y fibra dietética (Repo-Carrasco-Valencia, 2017). A sí mismo, el contenido de fibra puede variar por la procedencia de los granos y la variedad de las mismas.

#### Contenido de humedad

Acerca del contenido de humedad los resultados son expresados en humedad base seca, apreciamos que existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre las tres variedades de granos de Cañihua. La prueba múltiple de rangos Tukey (Anexo Tabla H.12) indica que lo valores oscilan desde 9.69 a 12.92 %.

Gonzales & Cari (2018), reportan un contenido de humedad b.h. para los granos de cañihua variedad Illpa-INIA de 9.73 % y para la variedad Cupi es de 9.40 %. Huamani (2018), informa para ecotipos de cañihua, (“chilliwa” “planta purpura” y “cóndor saya”) que la humedad oscila de 11 a 12 % b.h.

Los valores encontrados del contenido de humedad para las variedades estudiadas, son valores inferiores a límites máximos permisibles establecidos por el Codex



Alimentarius donde se indica que el contenido de humedad en granos y cereales deberá ser menor a 11% b.h.

El contenido de humedad es un valor analítico de gran importancia en los alimentos, es considerada un índice de estabilidad ya que un elevado de contenido de esta hace más susceptible al deterioro microbiológico. Según el Codex Alimentarius (2007), el contenido de humedad en los granos debe ser suficientemente bajo como para asegurar la estabilidad microbiológica. Así mismo, que, por razones de clima, duración del almacenamiento o transporte, se deberá requerir límites de humedad más bajos.

### Contenido de energía

En referencia al contenido de energía total existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) entre las tres variedades de granos de Cañihua. La prueba múltiple de rangos Tukey (Anexo Tabla H.14) manifiesta que la variedad Cupi mostro el valor más alto ( $p < 0.05$ ) con 391.83 kcal/100g, seguido de la variedad Ramis con 389.29 kcal/100g para y 367.43 kcal/100g para la variedad Illpa-INIA, siendo este el valor más bajo ( $p < 0.05$ ).

Los valores reportados para el contenido de energía total de las tres variedades estudiadas, son valores aproximados a estudios realizados anteriormente. INIA (2004), señala que el contenido de energía para la Variedad Illpa-INIA es de 350 Kcal/100g mientras que Gonzales & Cari (2018) reportan valores de 370.92 kcal/100g. para la variedad Cupi, y para la variedad Illpa-INIA un contenido de energía de 372.19 kcal/100g.

#### 4.1.1. Contenido de minerales en los granos de cañihua

Por otro lado, un factor importante en los granos de cañihua es el contenido de minerales.

En la Tabla 8, se muestran resultados del contenido de minerales presentes en los granos de cañihua de tres variedades.

**Tabla 8:** Contenido de minerales de granos de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) de tres variedades estudiadas.

Minerales (mg/100 g)	V. Cupi	V. Ramis	V. Illpa-INIA
Calcio	95.693 ± 0.134 <sup>a</sup>	99.636 ± 3.238 <sup>b</sup>	100.003 ± 0.431 <sup>c</sup>
Fosforo	891.583 ± 1.258 <sup>a</sup>	918.156 ± 0.516 <sup>b</sup>	916.312 ± 32.816 <sup>b</sup>
Hierro	6.587 ± 0.226 <sup>b</sup>	8.175 ± 0.049 <sup>c</sup>	5.722 ± 0.212 <sup>a</sup>
Magnesio	192.965 ± 1.039 <sup>c</sup>	184.367 ± 9.093 <sup>b</sup>	181.083 ± 7.594 <sup>a</sup>
Potasio	552.897 ± 16.263 <sup>b</sup>	583.197 ± 19.791 <sup>c</sup>	518.363 ± 16.312 <sup>a</sup>
Zinc	3.662 ± 0.417 <sup>b</sup>	4.207 ± 0.113 <sup>c</sup>	3.391 ± 0.487 <sup>a</sup>

Valores presentados en media de dos repeticiones ± SD, a, b, c expresados por contenido de minerales ( $p < 0.05$ ).

Los minerales son importantes para una amplia gama de funciones metabólicas del cuerpo humano. En este estudio se analizaron 6 minerales más comúnmente presentes en alimentos.

En cuanto al contenido de calcio, ante la significancia, la prueba Tukey (Anexo Tabla H.22) indica que la variedad Illpa-INIA con un contenido de calcio de 100.003 mg/100g presenta el valor más alto ( $p < 0.05$ ), seguido por la variedad Ramis con 99.636 mg/100g y la variedad Cupi con 95.693 mg/100g.

Moneo (2018), afirma que la cañihua aporta hasta 110 mg/100g de calcio, este valor le permite compararse a la leche. Gonzales & Cari (2018), reportan un contenido de Calcio en la variedad Cupi de 207.14 mg/100 g y para la variedad Illpa-INIA de 189.79 mg/100 g. En otro estudio se reportó 127 mg/100 g para granos de cañihua y 217 mg/100



g para la kiwicha (Brassani (1990) citado por Ayala (2015). Por otro lado, Según la FAO (2004). La quinua posee 148,7 mg/100 g de calcio y el amaranto 159 m/100 g.

Según, Repo-Carrasco (2017) el contenido de minerales depende principalmente del perigonio y epispermo del grano, los estudios anteriores fueron hechos en el grano integro. Cabe Señalar, el contenido de cenizas en los alimentos refleja la riqueza en el contenido de minerales (González & Cari 2018).

Con relación al contenido de fósforo ante la significancia ( $p > 0.05$ ), la prueba Tukey (Anexo Tabla H.24) indica que hay igualdad entre las variedades Ramis e Illpa-INIA con valores 918.156 mg/100 g y 916.312 mg/100 g, siendo estos los valores más altos ( $p > 0.05$ ), mientras que la variedad Cupi mostro el valor más bajo ( $p > 0.05$ ) con 895.183 mg/100 g.

Moneo (2018) afirma que, el contenido de fósforo de la cañihua puede elevarse y llegar a ser el doble al de los granos de quinua. Gonzales & Cari (2018), reportan un contenido de fósforo en la variedad Cupi de 119.00 mg/100 g y un contenido de fosforo para la variedad Illpa-INIA de 79.84 mg/100 g. Esta diferencia se asocia a la calidad de la fibra (Gonzales & Cari 2018). Generalmente la procedencia de fosforo en la alimentación es de origen animal. Pero existen alternativas suficientes para obtenerlo desde los legumbre, granos y vegetales.

En referencia al contenido de hierro ante la diferencia significativa, la prueba Tukey (Anexo Tabla H.26) indica que la variedad Ramis reporta el valor más alto ( $p > 0.05$ ), 8.175 mg/100 g, seguido por la variedad Cupi con 6.587 mg/100 g posteriormente la Variedad Illpa-INIA con un valor de 5.722 mg/100 g.

Gonzales & Cari (2018), reportan un contenido de hierro en la variedad Cupi de 9.76 mg/100 g para la variedad Illpa-INIA un contenido de hierro de 9.05 mg/100 g.



Blanco & Alvarado, 2014 reporta en granos de quinua 12 mg/100 g y en granos de kiwicha un 21 mg/100 g. PromPerú (2016), indica que el hierro contenido en los granos de cañihua es un elemento de fácil absorción al tratarse de un alimento de origen vegetal.

En cuanto al contenido de magnesio ante la significancia existente, la prueba Tukey (Anexo Tabla H.28) manifiesta que la variedad la variedad Cupi es quien reporta el valor más alto ( $p > 0.05$ ) con un contenido de magnesio de 192.965 mg/100 g, Mientras que la variedad Ramis se encontró un 184.397 mg/100 g, y 181.083 mg/100 g para la variedad Cupi.

Para este caso es Según PromPerú (2016), los granos de cañihua poseen un contenido de magnesio de 200 mg/100 g. Según, Blanco & Alvarado (2014) los granos de cañihua procedentes de la región Puno tienen un contenido de magnesio de 267.63 mg/100 g, seguidos por granos de cañihua procedentes de la región Junín con 223.02 mg/100 g, Cuzco con 201.06 mg y Ayacucho con 157.90 g/100 g.

En referencia al contenido de Potasio, los cálculos realizados muestran una diferencia significativa, la prueba Tukey (Anexo Tabla H.30) afirma que la variedad Ramis reporta el valor más alto ( $p > 0.05$ ), con un valor de 583.197 mg/100 g, seguido por la variedad Cupi con 552.897 mg/100 g y posteriormente la Variedad Illpa-INIA con un valor de 518.363 mg/100 g.

Finalmente, para el contenido de Zinc los cálculos realizados muestran la existencia de una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) y la prueba Tukey que la variedad Ramis quien reporta el valor más alto ( $p > 0.05$ ), con un valor de 4.207 mg/100 g, seguido por la variedad Cupi con 3.662 mg/100 g y posteriormente la Variedad Illpa-INIA con un valor de 3.391 mg/100 g.

Ayala (2015) reporta un contenido de zinc para la quinua de 4.8 mg/100 g y para la kiwicha un 3.4 mg/100g. Gonzales & Cari (2018) 9.912 mg/100 g para la variedad Illpa-INIA y para la variedad Cupi 16.35 mg/100 g.

Al respecto, una paradoja es que el proceso de descascarado, al igual que el refinado de harina de trigo u otros cereales, tienen efectos negativos ya que despoja al grano de la mayoría de sus micronutrientes (Hama et al., 2011) citado por (Awika, 2017). Los micro elementos son esenciales en la dieta diaria para una serie de funciones metabólicas, por lo que, consumirlos es beneficioso para la salud (Ranilla, Apostolidis, Genovese, Lajolo, & Shetty, 2009).

#### 4.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL GRANO DE CAÑIHUA

En la Tabla 9, se muestran algunas características físicas de los granos de cañihua. Estos parámetros geométricos son necesarios para conocer las dimensiones del grano que permite la determinación de las propiedades mecánicas de granos individuales.

**Tabla 9:** Algunas características físicas de los granos de tres variedades de cañihua.

Variedades	Longitud media (mm)	Ancho medio (mm)	Espesor medio (mm)	Área media(mm <sup>2</sup> )	Esfericidad (%)	Nº granos en 1 g
Cupi	1.23 ± 0.064	1.11 ± 0.066	0.79 ± 0.059	1.06 ± 0.082	83.17 ± 0.025	2031
Ramis	1.42 ± 0.055	1.27 ± 0.074	0.89 ± 0.049	1.40 ± 0.115	87.39 ± 0.02	1345
Illpa-INIA	1.23 ± 0.070	1.10 ± 0.058	0.78 ± 0.054	1.06 ± 0.090	83.15 ± 0.029	2014

Valores presentados en media de 30 repeticiones por variedad ± SD.

En las características físicas mostradas en la Tabla 9. La variedad Ramis es la variedad de mayor tamaño, con características diferenciadoras, a comparación de las variedades Cupi e Illpa-INIA, la principal razón es: la variedad Illpa-INIA es una variedad





mejorada a partir de la variedad Cupi (INIA, 2004). Por lo tanto, poseen características intrínsecas similares.

Las propiedades físicas de los granos, como la longitud, el ancho, el espesor, el diámetro geométrico, el área de superficie y la esfericidad son parámetros necesarios para la determinación de sus propiedades mecánicas. Además, los granos pueden disminuir con un descenso del contenido de humedad (Razavi & Edalatian, 2012). Este efecto puede explicarse la contracción del grano como resultado de la disminución de la humedad (Altuntaş & Yildiz, 2007).

### **Grano individual**

En la Tabla 10, se presentan los resultados respecto a las propiedades mecánicas del grano individual acondicionado a tres niveles de humedad diferente. En general, el contenido de humedad en el grano crea un efecto significativo sobre comportamiento mecánico del grano individual.

**Tabla 10:** Propiedades mecánicas (Fuerza de Ruptura y Fuerza de Fractura, Energía FR y FF, Desplazamiento FR y FF) de los granos de tres variedades de cañihua respecto al contenido de humedad (10, 15 y 20 % b.s.).

V. Cupi			
Humedad base seca [%]	10.4	15.5	21.4
Fuerza de fractura [N]	13.563 ± 1.5 <sup>a</sup>	6.851 ± 1.11 <sup>a</sup>	3.894 ± 0.72 <sup>a</sup>
Energía FF [mJ]	0.343 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.142 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.082 ± 0.02 <sup>a</sup>
Deformación FF [mm]	0.057 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.044 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.043 ± 0.01 <sup>a</sup>
Fuerza de Ruptura [N]	35.019 ± 3.33 <sup>b</sup>	27.251 ± 4.20 <sup>b</sup>	19.574 ± 2.79 <sup>b</sup>
Energía FR [mJ]	6.428 ± 1.35 <sup>a</sup>	4.997 ± 1.03 <sup>b</sup>	3.148 ± 0.45 <sup>c</sup>
Deformación FR [mm]	0.295 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.333 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.334 ± 0.01 <sup>b</sup>
V. Ramis			
Humedad base seca [%]	10.5	15.3	21.3
Fuerza de fractura [N]	19.198 ± 2.32 <sup>c</sup>	7.814 ± 2.05 <sup>b</sup>	5.114 ± 0.90 <sup>b</sup>
Energía FF [mJ]	0.587 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.193 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.140 ± 0.04 <sup>b</sup>
Deformación FF [mm]	0.067 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.053 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.056 ± 0.01 <sup>c</sup>
Fuerza de Ruptura [N]	32.408 ± 3.56 <sup>a</sup>	23.954 ± 6.07 <sup>a</sup>	15.924 ± 2.89 <sup>a</sup>
Energía FR [mJ]	4.795 ± 1.27 <sup>a</sup>	4.349 ± 1.16 <sup>a</sup>	2.734 ± 0.50 <sup>b</sup>
Deformación FR [mm]	0.231 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.312 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.307 ± 0.02 <sup>a</sup>
V. Illpa-INIA			
Humedad base seca [%]	10.8	16.0	21.07
Fuerza de fractura [N]	14.878 ± 1.70 <sup>b</sup>	6.936 ± 1.28 <sup>a</sup>	3.834 ± 0.52 <sup>a</sup>
Energía FF [mJ]	0.389 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.1467 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.081 ± 0.02 <sup>a</sup>
Deformación FF [mm]	0.062 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.048 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.045 ± 0.01 <sup>b</sup>
Fuerza de Ruptura [N]	32.931 ± 4.47 <sup>a</sup>	26.759 ± 4.27 <sup>b</sup>	14.791 ± 2.33 <sup>a</sup>
Energía FR [mJ]	5.529 ± 1.51 <sup>b</sup>	4.375 ± 0.63 <sup>a</sup>	2.402 ± 0.33 <sup>a</sup>
Deformación FR [mm]	0.269 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.307 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.309 ± 0.02 <sup>a</sup>

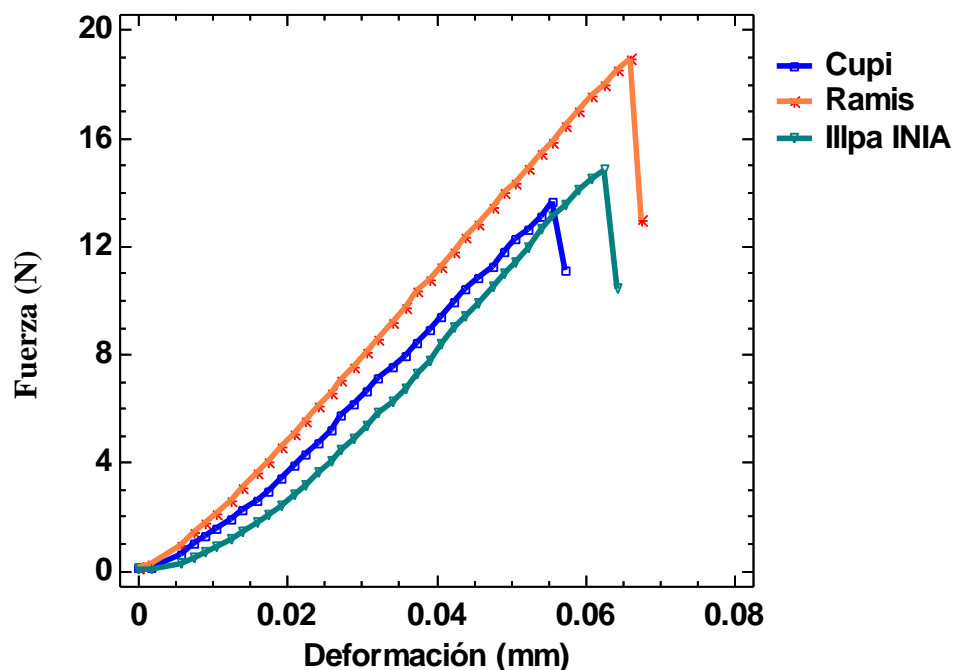
Valores presentados en media de cincuenta repeticiones ± SD, a, b, c expresados por contenido de propiedades mecánicas (p<0.05).

### Características de fuerza – deformación al punto de fractura

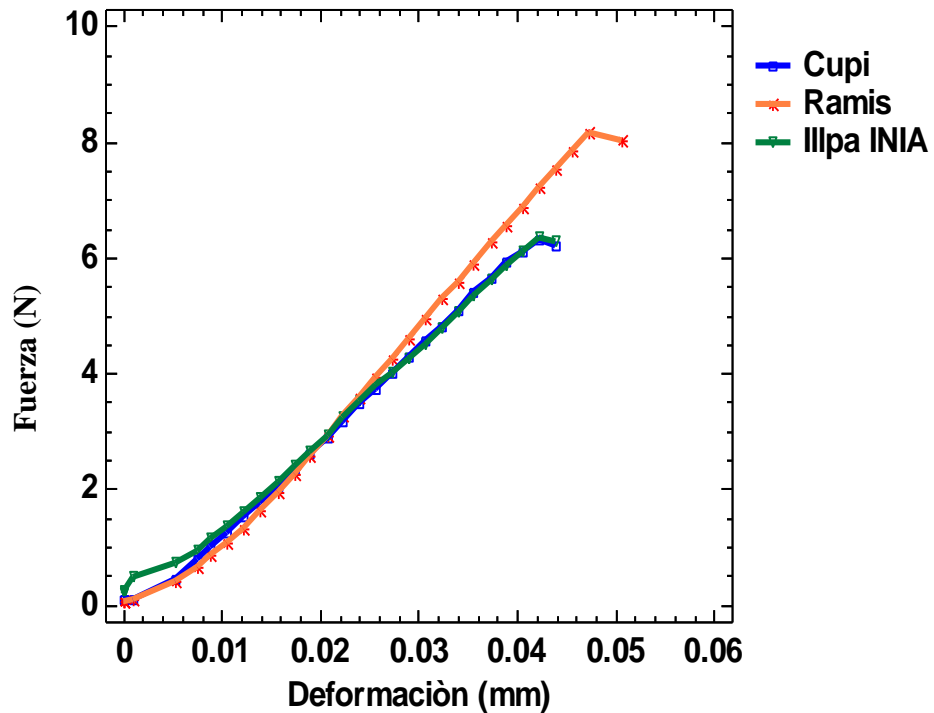
#### Fuerza de fractura

De acuerdo con la Tabla 10, los efectos de la interacción del contenido de humedad en los granos de tres variedades de cañihua, tuvieron diferencias significativas (P<0.005).

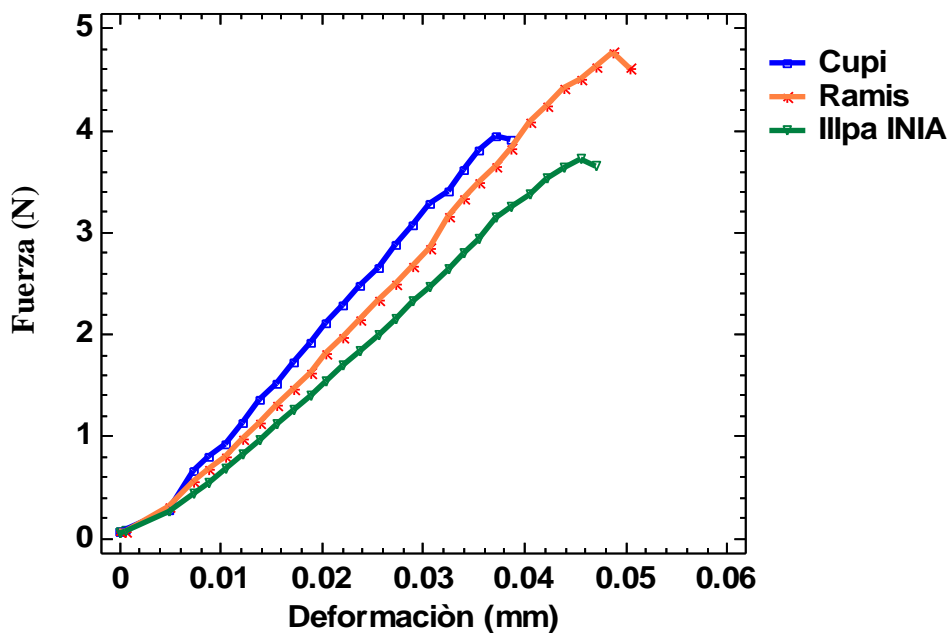
A continuación, se describe los resultados de los factores estudiados (variedad y humedad). A un contenido promedio de 10 % de humedad b.s. la variedad Cupi requiere una fuerza promedio de 13.563 N, la variedad Ramis requiere 19.198 N y la variedad Illpa-INIA 14.878 N, existiendo una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades siendo la variedad Ramis la que muestra un valor alto. Para un nivel de 15 % de humedad la variedad Cupi requiere una fuerza promedio de 6.851 N, la variedad Ramis 7.814 N y la variedad Illpa-INIA 6.936 N, existiendo una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades estudiadas, la variedad Ramis muestra el valor más elevado, seguido por la variedad Illpa-INIA y Cupi. Y para un contenido de 20 % de humedad b.s. la variedad Cupi requiere una fuerza de compresión promedio de 3.894 N, la variedad Ramis de 5.114 N e Illpa-INIA de 3.834 N, existiendo una igualdad significativa ( $P < 0.005$ ) entre las variedades Cupi e Illpa-INIA. Las curvas generales pueden ser apreciadas en las figuras 13, 14 y 15.



**Figura 13:** Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 10 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.



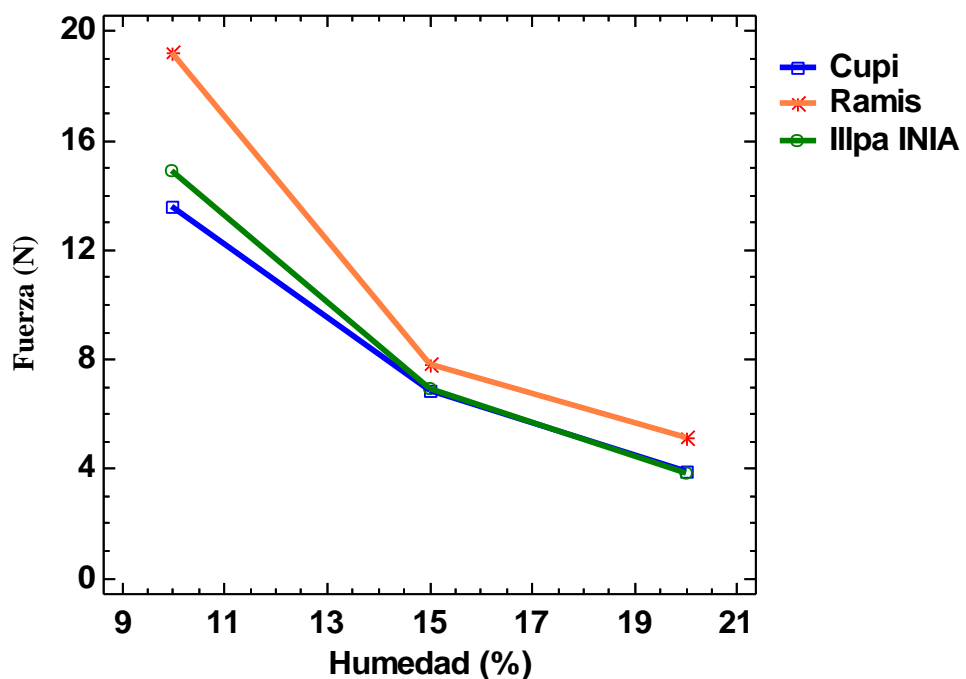
**Figura 14:** Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 15 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.



**Figura 15:** Características de fuerza y deformación al punto de fractura en función al contenido de humedad (promedio 20 % b.s.) en diferentes variedades de granos de Cañihua.

La Figura 16 (fuerza y contenido de humedad), muestra la fuerza requerida para iniciar la fractura del grano de cañihua a diferentes contenidos de humedad y variedades. Se observa que, la fuerza necesaria decrece al incrementar la humedad.

En el caso de la variedad Cupi, si elevamos el contenido promedio de humedad de 10 % a 15 %, la fuerza de compresión requerida disminuye hasta en un 49.5 %. En cambio, si incrementamos la humedad de 15 % a 20 % la fuerza disminuye en menor proporción a 43.2 %. La variedad Ramis se comporta de manera similar, al elevar la humedad de 10 % a 15 % la fuerza disminuye en un 59.3 %, y de 15 % a 20 % disminuye un 34.6 %. En la variedad Illpa-INIA al elevar el contenido de humedad de 10 % a 15 %, la fuerza necesaria disminuye en un 53.4 % y de 15 % a 20 % disminuye un 44.7 %. Los granos de las variedades Cupi e Illpa-INIA requirieron la menor fuerza de fractura y la variedad Ramis requirió una fuerza mayor en los tres niveles de humedad.



**Figura 16:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la Fuerza de Fractura, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.



Una caída en la fuerza se define como la fractura de la semilla (Noraphaiphaksa et al., 2016). La causa por la que la fuerza de fractura decrece depende por la densidad del endospermo (Hrusková, (2009), citado por Ponce-Garcia et al. (2016)). Además, según Murthy & Bhattacharya (1998) porque la humedad altera en cierta medida la resistencia mecánica del grano, ablandando la matriz de almidón / proteína.

Ocurre que, cuando se aplica una fuerza a un alimento sólido, su estructura se tensiona hasta alcanzar un punto crítico: la acción de una fuerza externa provoca la fractura de las paredes de la estructura celular que comienzan a vibrar (Cueto et al., 2015). A medida que aumenta el grado de compresión, la semilla se fractura repentinamente en dos segmentos (este es el punto de falla) posterior a ello la fuerza disminuye drásticamente para volver a recuperarse. El punto de falla biológica está relacionado con una falla en la microestructura del material asociada con una interrupción inicial de la estructura celular (Steffe, 1996).

Para este estudio no se encontraron antecedentes de propiedades mecánicas de la cañihua. Sin embargo, el método de compresión uniaxial se aplicó ampliamente en muchos granos y semillas diferentes.

Generalmente, a medida que aumenta el contenido de humedad de las semillas, la fuerza de compresión aplicada disminuye (Voicu et al., 2013). Este comportamiento se informa en semillas Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) (Baümler, Cuniberti, Nolasco, & Riccobene, 2006), semillas de guisantes (*Pisum Sativum* L.) (Kulig, Łysiak, & Skonecki, 2015), granos de trigo (Gorji, Rajabipour, & Tavakoli, 2010). Además, los ejes en los cuales se realiza la compresión, afecta la fuerza necesaria, se reportan variaciones significativas a orientaciones diferentes de compresión uniaxial del grano.

Cabe señalar que no todos los granos poseen el punto de falla biológica. Los materiales que exhiben un punto de falla comúnmente son compuestos hechos de más de una sustancia homogénea uniforme o de una estructura compleja (Wilhelm et al., 2013).

### Energía de fractura

En los resultados (Tabla 10) se aprecia que el contenido de humedad es un factor importante y tiene un efecto significativo ( $P < 0.005$ ) en las variedades de cañihua estudiadas, los promedios obtenidos se encuentran graficados en las Figuras 13, 14 y 15.

A un contenido de 10 % de humedad b.s. (Figura 13) para la variedad Cupi se requiere una energía de 0.343 mJ, para la variedad Ramis 0.587 mJ y para la variedad Illpa-INIA 0.389 mJ, existiendo una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades, siendo la variedad Ramis, la que muestra un valor alto, seguido por la variedad Illpa-INIA y Cupi respectivamente. Para un 15 % de humedad promedio b.s. (Figura 14) la variedad Cupi requiere una energía promedio de 0.142 mJ, para la variedad Ramis se requiere una energía de 0.193 mJ y para la variedad Illpa-INIA un 0.146 mJ, existiendo una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades, la variedad Ramis muestra el valor más elevado seguido por la variedad Illpa-INIA y Cupi respectivamente. Y para un contenido promedio de 20 % de humedad b.s. (Figura 15) para la variedad Ramis se requiere una energía de fractura de 0.140 mJ, para Cupi 0.082 mJ y para Illpa-INIA 0.081 mJ, existiendo una igualdad significativa ( $P < 0.005$ ) entre las variedades Cupi e Illpa-INIA, representando además los valores más bajos; la variedad Ramis es quien requiere más energía para la llegar fractura, por lo tanto, es un grano más resistente.

La Figura 17 (energía y contenido de humedad), muestra la energía necesaria para iniciar la fractura del grano. Este difiere al elevar el contenido de humedad y existe una

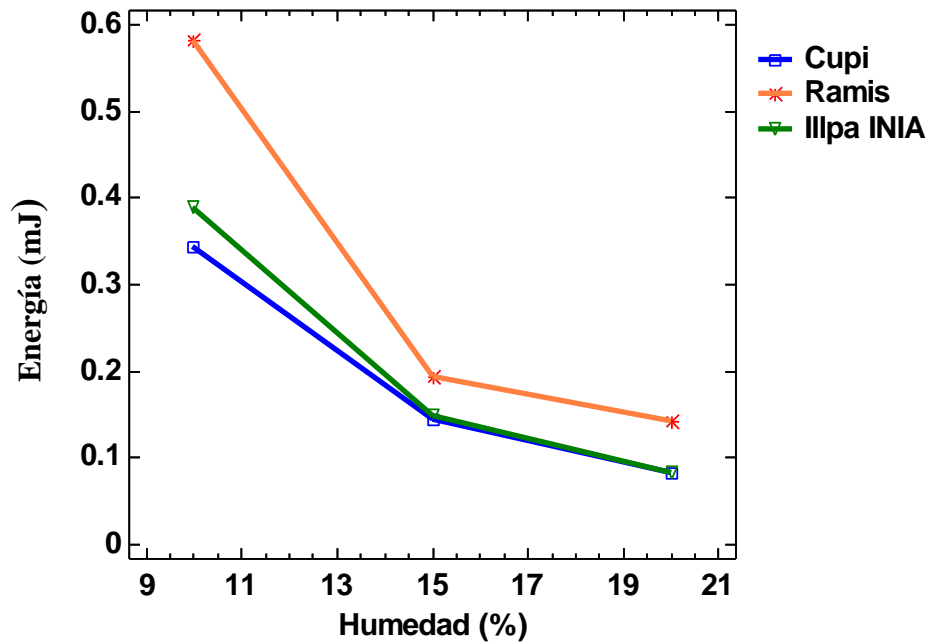


estrecha relación de comportamiento entre las variedades. Se observa que para las tres variedades la energía necesaria decrece al incrementar la humedad. El comportamiento de las tres variedades sigue la misma tendencia, se observa una disminución mucho mayor al incrementar la humedad promedio de 10 a 15 % y una disminución más baja al llevar la humedad de 15 a 20 %.

Se reportó que el tamaño del grano tiene influencia directa en el comportamiento mecánico del grano (Gorji et al., 2010). En el caso de este estudio, la variedad Ramis es la de mayor tamaño, y este factor podría ser uno de los responsables del requerimiento de una fuerza y energía de fractura mayor en comparación a las variedades Cupi e Illpa-INIA.

Clement, (2014) reporta que la energía de fractura en semillas frijol oleaginoso africano, disminuyó con un aumento en el contenido de humedad; la energía de fractura fue mayor bajo carga transversal que en carga longitudinal. Este efecto también se observó en semillas de cártamo (Baümler et al., 2006). Y guisantes forrajeros (*Pisum Sativum* L.) (Kulig et al., 2015). Por otro lado, la energía requerida en granos de trigo aumenta de 19.32 a 28.35 mJ, (Gorji et al., 2010) al elevar la humedad.





**Figura 17:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la energía necesaria, a humedad promedio de 10 %, de 15 %. y 20 %.

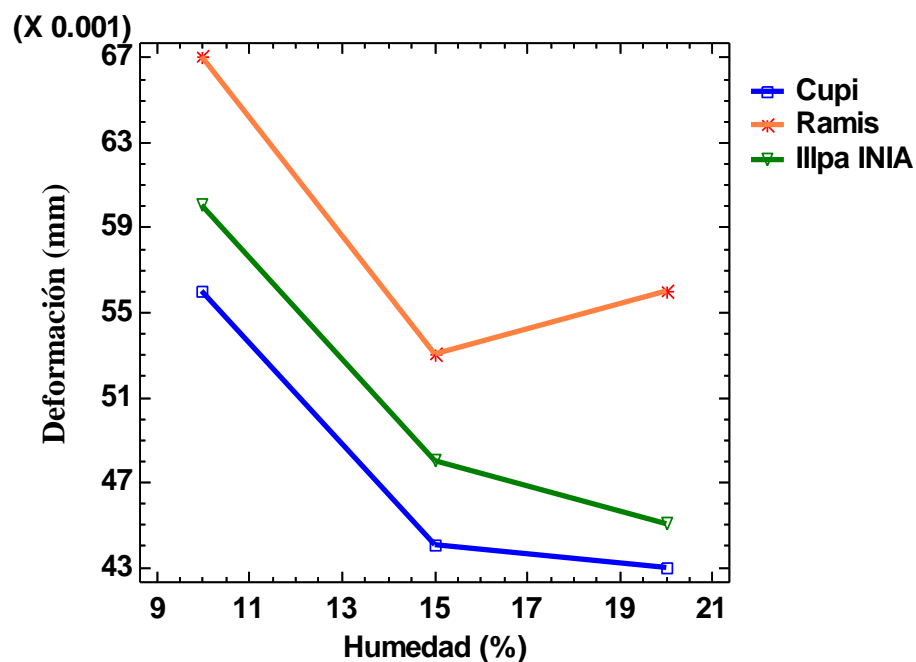
#### Deformación al punto de fractura

En la Tabla 10, vemos que a un contenido de 10 % de humedad, la variedad Cupi llega al punto de quiebre o falla a una distancia promedio de deformación de 0.057 mm (7.12 %) con respecto a la altura del grano (Tabla 9), la variedad Ramis a 0.067 mm (7.05 %), y la variedad Illpa-INIA a 0.062 mm (7.75 %), existe una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades, siendo la variedad Ramis la que muestra un valor alto, seguido por la variedad Illpa-INIA y Cupi respectivamente. Para un 15 % de humedad. La variedad Cupi requiere una deformación promedio de 0.044 mm (5.5 %), la variedad Ramis 0.053 mm (5.57%) y la variedad illpa-INIA una deformación de 0.048 mm (6 %), existiendo una diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades, la variedad Ramis muestra el valor más elevado seguido por la variedad Illpa INIA y Cupi. Y para un contenido promedio de 20 % de humedad b.s. para la variedad Cupi se requiere deformación promedio de 0.043 mm (5.37 %), para la variedad Ramis se requiere una deformación de 0.056 mm (5.89 %) y la variedad Illpa-INIA un 0.045 mm (5.62%),

existiendo diferencia significativa ( $P < 0.005$ ) entre las tres variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA.

La Figura 18 (deformación y contenido de humedad), se observa que, al incrementar la humedad, la deformación desciende para las tres variedades. Esto indica que, las semillas exhibirían un menor grado de comportamiento elástico a altos niveles de humedad. Por lo tanto, fallarían a niveles menores de compresión, es decir, en punto de falla se acorta.

Al elevar la humedad promedio desde 10 a 15 % la deformación (mm) para la fractura disminuye hasta en un 1.62% (0.013 mm) y 1.75 % (0.014 mm) en menor proporción al incrementar la humedad de 15 a 20 % en que se reduce solo un 0.13 % (0.001 mm) y (0.003 mm) para las variedades Cupi e Illpa-INIA respectivamente. En cambio, la variedad Ramis en la primera sección disminuye su deformación hasta en 1.52 % (0.014 mm) y en la última sección manifiesta una elevación de la deformación (mm) hasta en un 0.34 % (0.003 mm).



**Figura 18:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la deformación, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.



Estas características mecánicas de los granos de cañihua, revela que los granos de las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA exhiben un menor comportamiento elástico a altos niveles de humedad (10 y 15 %), lo que no sucedería con la variedad Ramis a partir de los 15 % de humedad ya que su comportamiento elástico se eleva, este efecto se manifiesta generalmente los materiales harinosos o con mayor contenido de carbohidratos (Kulig et al. 2015).

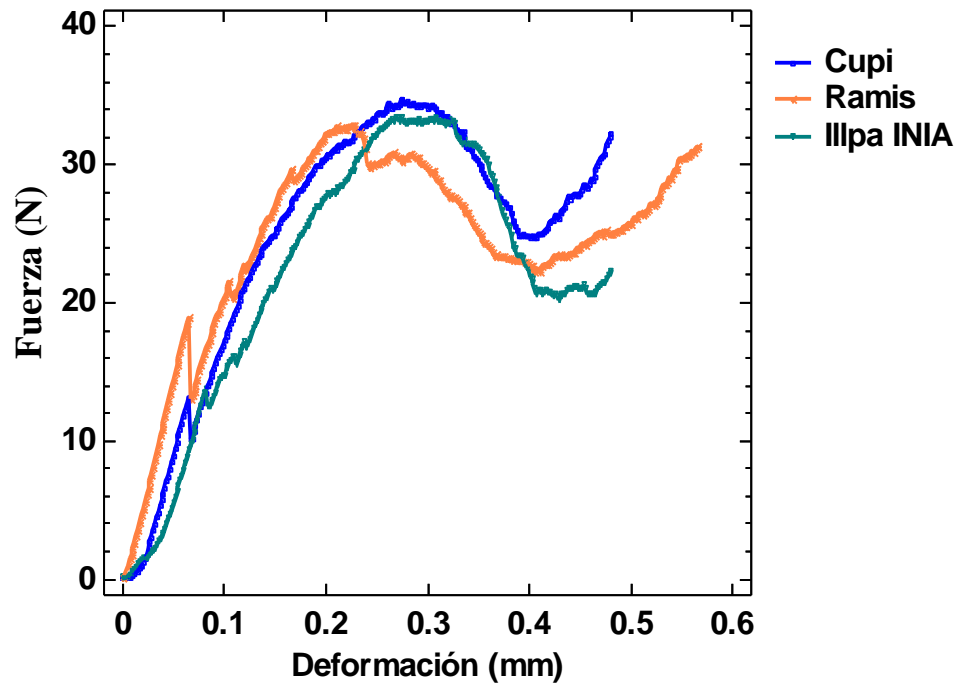
Se reporta para semillas de cártamo un comportamiento elástico menor al elevar la humedad de las semillas (Baümler et al., 2006). En semillas comerciales como el trigo sucede lo contrario, ya que la deformación se incrementa por efecto de la humedad (Voicu et al. 2013; Gorji et al., 2011). Kulig et al. (2015) informan que la deformación total aumentó casi diez veces, de 0.249 a 2.284 mm en semillas de guisantes (*Pisum Sativum* L.). La deformación se eleva para granos de habas (*Vicia faba* L.) (Altuntaş & Yildiz, 2007). Y semillas de girasol (Gupta & Das, 2000). Grezgorz y Laskowski (2007), citado por Voicu et al. (2013), indica que la deformación tiene un aumento mayor, especialmente después del 16 % de humedad.

Cabe señalar, algunos autores manifiestan que, la porción de la curva hasta del punto de falla ofrece información valiosa del comportamiento mecánico del grano, posterior a él, la curva tiene poca importancia en procesos que no requieran molturación (Murthy & Bhattacharya, 1998).

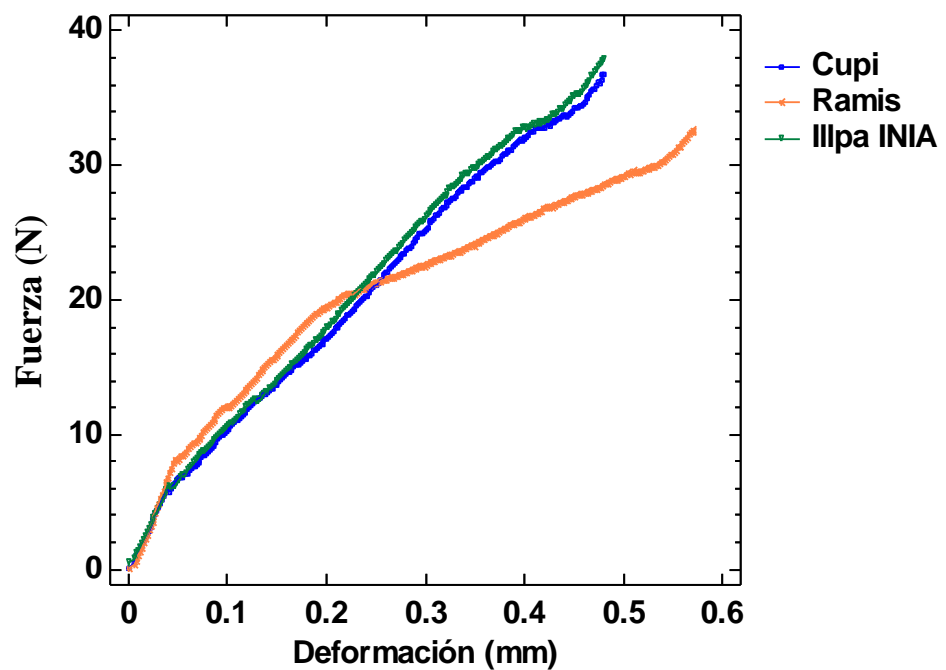
### **Características de fuerza – deformación en el punto de ruptura.**

#### Fuerza de Ruptura

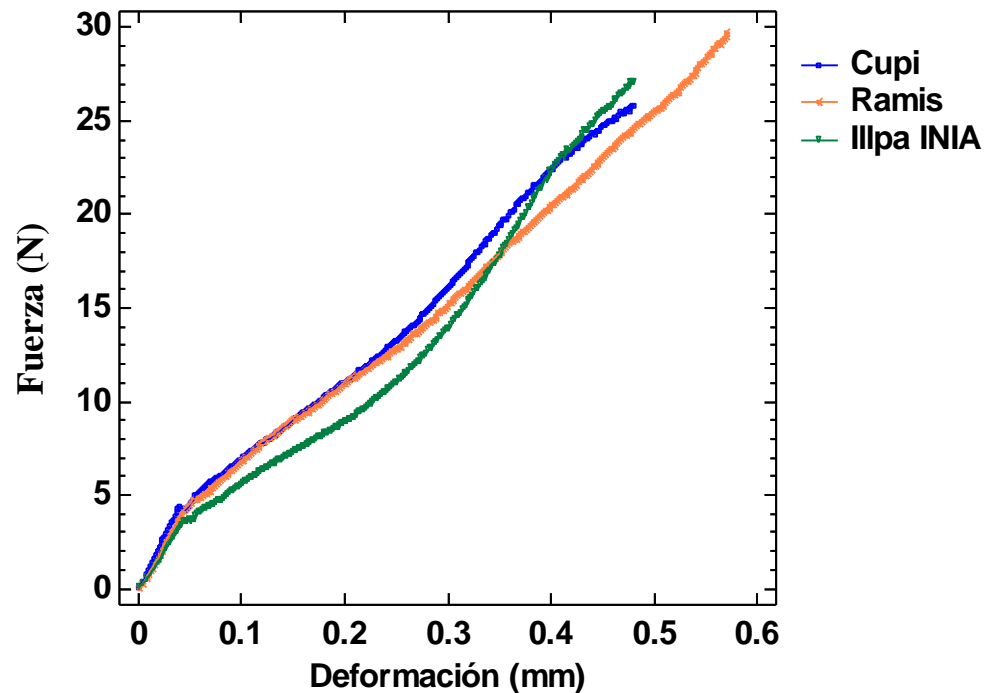
Los resultados se aprecian en la Tabla 10, una vez que ocurre fractura del grano se denota el comportamiento plástico, la fuerza que sufrió una caída considerable se recupera para dar lugar a la ruptura. Las curvas promedio se presentan en las Figuras 19, 20 y 21.



**Figura 19:** Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 10% b.s.



**Figura 20:** Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 15% b.s.



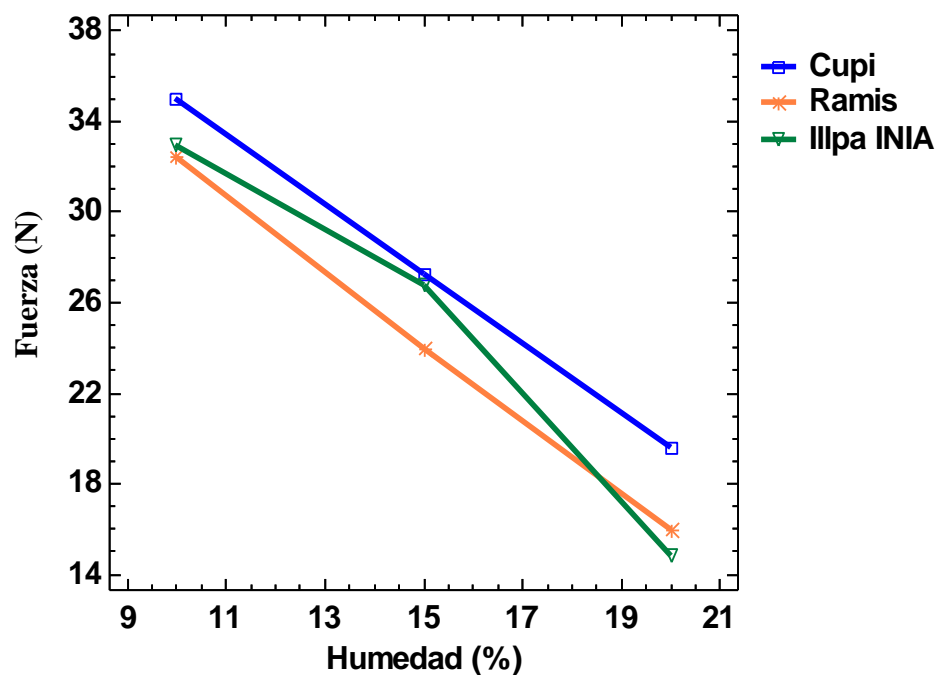
**Figura 21:** Características de fuerza – deformación en función a la variedad de cañihua, a una humedad promedio de 20% b.s.

En las Figuras 20 y 21 se muestra el comportamiento a niveles de humedad de 15 y 20 %, el comportamiento mecánico es diferente en estos niveles de humedad, los granos en esta sección exhiben un mayor grado de comportamiento elástico, por lo que, la pendiente de la curva tiende a la linealidad. Determinar la fuerza de ruptura implica la intervención visual al momento del ensayo.

El contenido de humedad crea un efecto significativo ( $P < 0.005$ ), un aumento de la humedad redujo los valores de fuerza de ruptura. La fuerza promedio para romper un grano de cañihua con un contenido de humedad promedio de 10%, para la variedad Cupi es de 35.019 N, para Ramis es de 32.408 N y para Illpa-INIA es de 32.931 N; existe una igualdad estadísticamente significativa ( $p < 0.005$ ) entre la variedad Illpa-INIA y Ramis con valores menores, mientras que la variedad Cupi, representa el valor más elevado. Los resultados estadísticos del comportamiento mecánico a un nivel de humedad del 15 % b.s. expresan la existencia de una igualdad significativa entre las variedades Cupi e Illpa-

INIA, con valores de 27.257 N y 26.759 N mientras que la variedad Ramis necesita una fuerza de 23.954 N, es, además, el valor más bajo ( $p < 0.05$ ). A un nivel de humedad de 20 % b.s. la variedad Cupi requiere una fuerza de 19.574 N, la variedad Ramis una fuerza de 15.924 N y la variedad Illpa-INIA una fuerza de 14.791 N.

En la Figura 22, se observa que la fuerza de ruptura disminuye con el aumento de humedad en los granos, esto sucede para las tres variedades. La humedad alteró la resistencia mecánica del producto al plastificar y ablandar la matriz de almidón / proteína (Serpil & Gülüm, 2006). La dureza del grano está determinada principalmente por el grado de adhesión entre los gránulos de almidón y la matriz de proteínas (Yu et al., 2019). Así mismo, a mayor contenido de humedad el endospermo se suaviza o la semilla se torna más suave y por lo tanto necesita menos fuerza para romperse.



**Figura 22:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la fuerza de ruptura del grano, a humedad promedio de 10 , 15 y 20 %.

Mohsenin (1986) y Multon (1981) indican que las semillas con mayor humedad se deforman en mayor magnitud, lo que les permite soportar una mayor cantidad de energía



durante la colisión por impacto sin experimentar ruptura. Materiales biológicos harinosos comúnmente tienen menor dureza que materiales vítreos (Tipler y Mosca, 2005; Rico, Santos, Mancera, Carballo, & Salazár, 2016).

El punto de ruptura del material, está definido y correlacionado con la falla macroscópica en la muestra. Este suceso indicaría el grado de comportamiento elástico de la matriz interna del grano. Las características físicas, estructurales, químicas y viscoelásticas de los alimentos tienen un profundo efecto sobre las propiedades mecánicas (Awolu & Manohar, 2018).

La dureza del grano se rige también por factores genéticos (Altuntaş & Yildiz, 2007; Ponce-García, Ramírez-Wong, Escalante-Aburto, Torres-Chávez, & Figueroa-Cárdenas, 2016). También por el área de contacto entre el grano y las placas de compresión (Awolu & Manohar, 2018; Naji, Razavi, & Karazhiyan, 2012). Por la orientación de la semilla en la que se aplica la fuerza (Noraphaiphaksa et al., 2016). Y por sus características geométricas (Altuntaş & Yildiz, 2007).

Se informó, Además, que la etapa de madurez y el tamaño influyen en el comportamiento mecánico del grano; a su vez, cuanto mayor sea el tamaño, o cuanto más madura sea la semilla, mayor será la fuerza de fractura y ruptura (Subramanian et al., 1990). Citado por (Awolu & Manohar, 2018).

Resultados similares a los nuestros fueron reportados por Saiedirad et al. (2008), para semillas de comino donde la fuerza disminuye al incrementar la humedad. También se informa este efecto en granos de pistachos (Razavi & Edalatian, 2012). En semillas de sorgo (Mwithiga & Sifuna, 2006). Granos de karité (*Vitellaria paradoxa*) (Manuwa & Muhammad, 2011). Maíz variedad Sc 704 (Seifi y Alimardani, 2010). Arroz integral (Bagheri et al., 2011). Semillas de granada cultivada en la India (*Punica granatum L.*)



(Kingsly, Singh, Manikantan, & Jain, (2006). Semillas de soya (Paulsen, 1978; Hoki y Tomita 1976; y Liu et al. 1990). Granos de maíz cristalino (Rico et al., 2016) en semillas de trigo (Muhamad & Campbell, 2004), Se atribuye este efecto posible rompimiento o ablandamiento de la matriz de proteína.

Existen también informes opuestos sobre el efecto del contenido de humedad en las semillas en la que la fuerza de ruptura se incrementa. Por ejemplo, en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y semillas de maíz harinoso y semi-harinoso (Rico et al., 2016).

Por otro lado, la orientación de la semilla es también un punto importante a tener en cuenta. Noraphaiphaksa et al. (2016) indica que la resistencia de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica* L.) depende de la orientación en la cual se aplique fuerza. Así mismo, la dureza de los granos de *Jatropha curcas* L. (Karaj & Müller, 2010). En granos de cebada (Tavakoli et al., 2009). En granos de trigo (Gorji et al., 2010). Esto se debe a la disminución del área de contacto de la semilla con la placa de carga y probablemente al fenómeno de pandeo que ocurre. Además, la fuerza de ruptura y la energía de los granos disminuyeron con un aumento en la velocidad de carga.

#### Energía al punto de ruptura

Según la Tabla 10 de resultados. La energía de ruptura promedio del grano de cañihua con un contenido de humedad de 10% b.s. para la variedad Cupi es de 6.428 mJ, para la variedad Ramis es de 4.795 mJ, y para la variedad Illpa-INIA es de 5.529 mJ, existe diferencia significativa ( $p < 0.005$ ) entre las tres variedades. A un nivel de humedad del 20 % la energía requerida es de 4.997 mJ para la variedad Cupi, para la variedad Ramis la energía necesaria es de 4,349 mJ, y para la variedad Illpa-INIA es de 4.375 mJ, existe una igualdad estadísticamente significativa ( $p < 0.005$ ) entre las variedades Illpa-INIA y Ramis, representando además los valores más bajos, mientras que la variedad

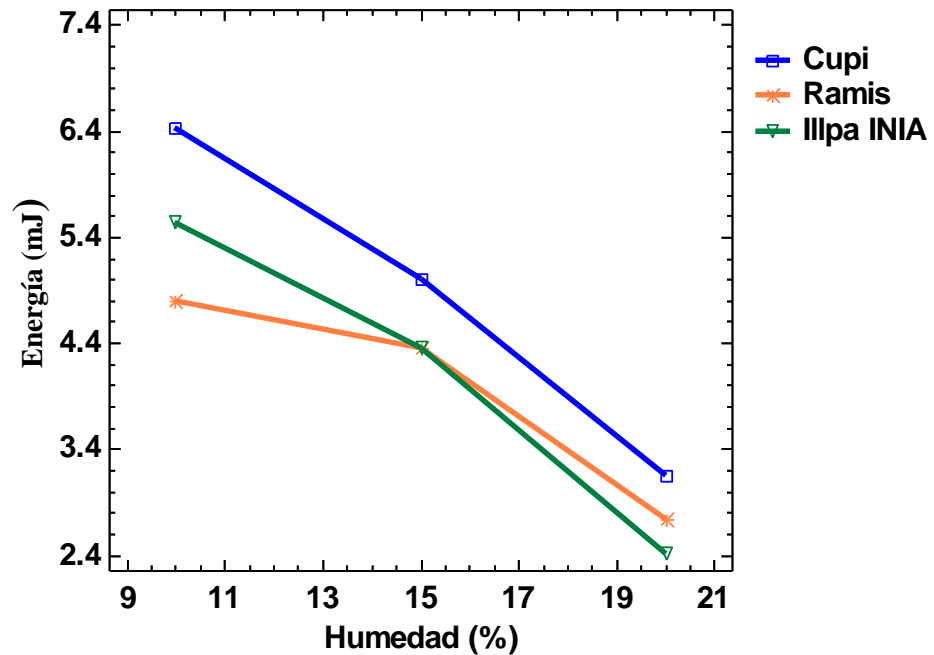




Cupi representa el valor más alto. Con un 20 % de humedad la energía requerida para la variedad Cupi es de 3.148 mJ, para la variedad Ramis la energía necesaria es de 2.734 mJ, y para la variedad Illpa-INIA es de 2.402 mJ, existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.005$ ) entre las variedades Cupi, Illpa-INIA y Ramis.

La energía absorbida en la ruptura es la energía requerida para romper la semilla (Voicu et al., 2013). El descenso de la energía absorbida para contenido de humedad ascendente del grano puede deberse al ablandamiento del grano a contenidos de humedad más altos (Razavi & Edalatian, 2012). La capacidad de absorción de energía de los granos húmedos en comparación con los secos es mayor en granos harinosos, lo que lleva a una mayor resistencia mecánica de ruptura durante la carga de compresión. Por otro lado, la razón del aumento en la energía puede ser que, si se aumenta la humedad, aumentan las fuerzas cohesivas dentro de los granos y, como resultado, también aumenta su resistencia al agrietamiento (Addo, Akowuah, & Ampah, 2012).

Otros estudios también obtuvieron resultados similares; Kingsly, Singh, Manikantan, & Jain, (2006) afirman una disminución de la energía en semillas de granada (*Punica granatum L.*), y granos de pistacho (Razavi & Edalatian, 2012). Por otro lado, En granos de karite (Addo et al., 2012) y granos de maíz (Tarighi et al. 2011 citado por Addo, 2012) la energía necesaria aumentó al incrementar la humedad.



**Figura 23:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre la fuerza de ruptura, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.

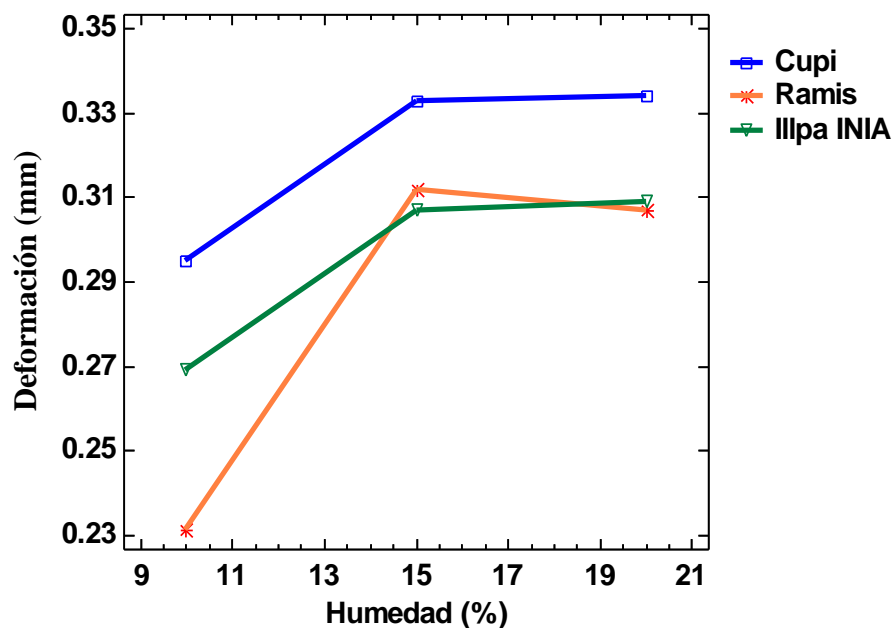
Según Awolu & Manohar (2018), la energía en el punto de fractura y ruptura, además, el módulo de Young siguen la misma tendencia que la fuerza en la ruptura; y son directamente proporcionales a esta.

#### Deformación al punto de ruptura

La deformación nos ayuda a estimar la distancia que el grano debe ser comprimido para alcanzar el punto de ruptura. La deformación (mm) de ruptura nos muestra que los granos de cañihua a un contenido de humedad promedio de 10 % b.s. se rompe alrededor de 24.3 y 36.3 % de deformación, es decir, por ejemplo, la variedad Cupi alcanza la deformación plástica a una distancia de 0.295 mm (36.25 %), con respecto a la altura del grano (Tabla 9), recordando que todas las pruebas de compresión se realizaron a un 60 % de deformación, la variedad Ramis se deforma a una distancia de 0.231 mm (24.3%) con respecto a la altura del grano y la variedad Illpa-INIA a 0.269 mm (33.25 %), existiendo diferencia significativa ( $p < 0.005$ ) entre las tres variedades. A una humedad de 15 % los granos de cañihua se deforman entre 32.8 y 41.6 %, la variedad Cupi alcanza la

deformación a un 0.333 mm (41.6 %), la variedad Ramis a un 0.312 mm (32.8 %) y la variedad Illpa-INIA a un 0.307 mm (38.4 %), en este caso existe una igualdad ( $p < 0.005$ ) entre las variedades Ramis e Illpa-INIA. Para un 20 % de humedad los granos de cañihua se deforman entre 32.6 y 41.7 %, la variedad Cupi alcanza la deformación a un 0.334 mm (41.7 %), la variedad Ramis a un 0.307 mm (32.3 %) y la variedad Illpa-INIA a un 0.309 mm (38.6 %), en este caso existe también una igualdad ( $p < 0.005$ ) entre las variedades Ramis e Illpa-INIA, resultados reportados en la Tabla 10.

En la Figura 24, se observa el comportamiento del límite de deformación respecto al contenido de humedad y las variedades estudiadas. La deformación (mm) aumenta al incrementar la humedad de los granos de un 10 a un 15 %, mientras que si elevamos la humedad hasta los 20 % la deformación se incrementa en menor grado.



**Figura 24:** Efecto del contenido humedad y la variedad de cañihua sobre deformación del grano, a humedad promedio de 10, 15 y 20 %.

Cabe señalar, la deformación está relacionado con la altura del grano, en granos pequeños como lo es la cañihua. Además, influye en la capacidad de absorción de agua. Una adición adecuada de humedad permite que el núcleo interno absorba la humedad

gradualmente de forma homogénea. Por lo tanto, con el aumento en el contenido de humedad, el núcleo interno se volverá notablemente más blanda y la deformación puede ser mayor o menor.

Generalmente, a niveles altos de humedad los granos y semillas aumentan el grado de deformación lineal, tal es el caso de la pimienta negra, (Murthy & Bhattachayra, 1998). Y granos de Karite (Addo et al., 2012). En otros casos la deformación disminuye, tal es el caso del grano pistacho (Razavi & Edalatian, 2012).

Se comprueba que el contenido de humedad de la semilla o grano, juega un papel importante en las propiedades mecánicas de las mismas. A menor contenido de humedad se aprecian mejores características mecánicas (Awolu & Manohar, 2018). Con materiales más frágiles, el punto de ruptura puede estar muy cerca del punto de falla biológica: estos puntos pueden estar ampliamente separados en materiales duros (Steffe, 1996).

Otra propiedad importante en el estudio del comportamiento mecánico del grano es el módulo aparente de elasticidad, que proporciona una visión general del comportamiento del mismo.

**Tabla 11:** Módulo aparente de elasticidad (E) para las tres variedades de cañihua a diferentes contenidos de humedad.

Humedad promedio	Módulo aparente de Elasticidad (Mpa)		
	Variedad Cupi	Variedad Ramis	V. Illpa-INIA
10 %	198.336 ± 37.278 <sup>b</sup>	261.881 ± 59.354 <sup>c</sup>	189.264 ± 39.925 <sup>a</sup>
15 %	129.15 ± 129.532 <sup>c</sup>	117.83 ± 27.783 <sup>a</sup>	122.508 ± 19.528 <sup>b</sup>
20 %	92.38 ± 11.618 <sup>c</sup>	80.952 ± 16.009 <sup>b</sup>	67.048 ± 9.392 <sup>a</sup>

Valores presentados en media de 50 repeticiones ± SD, a, b, c expresados por propiedad mecánica (p<0.05).

Según la Tabla 11, se describe los resultados de los factores estudiados (variedad y humedad) respecto a la fuerza de ruptura. A un contenido promedio de 10 % de humedad b.s. E tiene valores de 204.82, 267.267 y 190.774 Mpa. Para una humedad de 15 % b.s.



E se reporta 130.075, 122.07 y 123.485 Mpa. Y para un 20% de humedad E es de 92.705, 83.864 y 67.583 para las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA respectivamente.

El módulo aparente de elasticidad disminuyo notablemente por efecto de la humedad en las tres variedades estudiadas; por lo tanto, siguieron la misma tendencia que la fuerza en la ruptura; y fueron directamente proporcionales a esta. Addo et al. (2012) Indica que existe una relación entre el Módulo de elasticidad y el contenido de humedad con una tendencia decreciente. El tamaño del grano también tiene un efecto sobre E (Ponce-García et al., 2016; Saiedirad et al., 2008). Yu et al. (2019) afirman que E podría ser dependiente de la cristalinidad del almidón y la morfología del grano.

Según, Khodabakhshian & Emadi, (2011) Indica, que existe una relación simple entre las características de ruptura y el módulo de elasticidad (E), por lo que se puede estimar si los parámetros de ruptura están disponibles. Que también fue utilizado por muchos autores para determinar el módulo de elasticidad en granos de soya, trigo, maíz y otros (Khodabakhshian & Emadi, 2011). El módulo de elasticidad es conocido también como el módulo de Young, este se define como el índice de firmeza del producto (Chakespari et al., 2010 citado por Awolu & Manohar, 2018). Es la capacidad de los materiales para resistir la deformación bajo la acción de las cargas. Cuanto mayor sea el módulo de Young, más rígido será el material.

Existen estudios diversos realizados a una amplia variedad de semillas, muchas de estas muestran el efecto de la humedad sobre E, en estos estudios se aprecia una gran diferencia de comportamiento que puede existir al tratarse de materiales biológicos complejos. Por ejemplo: Clement, (2014), estudio las propiedades mecánicas de la semilla de frijol oleaginoso africano, el módulo de elasticidad aumentó con el incremento de la humedad. Este efecto se informa también para semillas de trigo (Elbatawi & Arafa, 2008



citado por Ponce-García, 2016). En vainas de cacao  $E$  aumenta si el diámetro de la vaina es mayor (Dzudié Fonsso, Nzie, Ntamack, & Kenmeugne, 2016). Afkari-Sayyah y Minaei (2004) informan que en granos de trigo  $E$  oscila entre 486 y 1631 MPa y se correlacionaba inversamente con el aumento de la humedad, según (Addo et al., 2012). Yu et al., (2019) estimaron el módulo de elasticidad en granos de arroz cocidos y recalentados, para el arroz recién cocinado,  $E$  varía de 0.3 a 1.5 MPa y mientras que para el arroz recalentado,  $E$  varía de 0.62 a 8.2 MPa con un promedio.

Es importante tener en cuenta la teoría usada para la determinación del módulo de elasticidad (Hooke, Hertz o Boussinesq) ya que en un estudio realizado por Emadi, Khodabakhshian, & Abbaspour, (2012), en semillas de calabaza encontró que existe una variación significativa en estas teorías.

Por otro lado, la siguiente tabla muestra resultados de esfuerzo y deformación, los cuales provienen de cálculos de la fuerza de fractura y ruptura, cuyo promedio se presentó en la Tabla 10. Estos datos son complementarios a los parámetros de fuerza, energía y deformación ya presentados.

**Tabla 12:** Características mecánicas de los granos de cañihua de tres variedades respecto al contenido de humedad, (Esfuerzo FR y FF Deformación FR y FF, Energía FR y FF).

	V. Cupi	V. Ramis	V. Illpa-INIA
10% de humedad			
Esfuerzo FF [MPa]	12.79 ± 1.45	13.71 ± 1.64	14.03 ± 1.58
Deformación FF [%]	7.17 ± 0.97	7.39 ± 0.82	7.34 ± 1.34
Energía FF [mJ]	0.34 ± 0.07	0.58 ± 0.13	0.388 ± 0.08
Esfuerzo FR [MPa]	33.33 ± 311	21.67 ± 2.52	31.06 ± 4.37
Deformación FR [%]	36.86 ± 4.71	25.71 ± 6.29	33.67 ± 9.24
Energía FR [mJ]	6.43 ± 1.36	4.80 ± 1.27	5.53 ± 1.51
15% de humedad			
Esfuerzo FF [MPa]	6.46 ± 1.03	5.58 ± 1.45	6.54 ± 1.19
Deformación FF [%]	5.52 ± 0.93	5.87 ± 0.84	6.03 ± 1.23
Energía FF [mJ]	0.14 ± 0.04	0.19 ± 0.06	0.15 ± 0.05
Esfuerzo FR [MPa]	25.71 ± 3.92	17.11 ± 4.29	25.24 ± 3.98
Deformación FR [%]	41.60 ± 3.94	34.68 ± 2.29	38.39 ± 1.14
Energía FR [mJ]	4.95 ± 1.01	4.35 ± 1.16	4.38 ± 0.63
20% de humedad			
Esfuerzo FF [MPa]	3.67 ± 0.67	3.65 ± 0.64	3.61 ± 0.58
Deformación FF [%]	4.73 ± 0.69	6.20 ± 1.02	6.20 ± 1.06
Energía FF [mJ]	0.08 ± 0.02	0.14 ± 0.04	0.09 ± 0.04
Esfuerzo FR [MPa]	18.46 ± 2.60	11.37 ± 2.05	13.95 ± 2.17
Deformación FR [%]	37.11 ± 2.64	34.13 ± 2.63	38.64 ± 2.21
Energía FR [mJ]	3.15 ± 0.45	2.73 ± 0.50	2.4 ± 0.33

Valores presentados en media de 50 repeticiones ± SD.

Muchas veces conocer solo la fuerza de compresión no es un criterio suficiente si se trata de comparar muestras, ya que el esfuerzo proviene del cálculo de la fuerza y el área donde se aplica, en estos casos es mejor considerar el esfuerzo (Muller, 1973).

La Tabla 12, muestra los resultados que complementan las características mecánicas de los granos de cañihua. Estas siguen la misma tendencia de la curva de Fuerza-deformación. Por ejemplo: Para la variedad Cupi hasta el punto de fractura a una

humedad de 10 % se requiere un esfuerzo de  $12.79 \text{ N/mm}^2$  por unidad de área, a un 15 % de humedad un esfuerzo de  $6.46 \text{ N/mm}^2$  y a un 20 % un  $3.67 \text{ N/mm}^2$ .

La cañihua hoy en día se usa tradicionalmente en diversos productos, utilizando principalmente la harina obtenida de la molienda de los granos. Dichos productos a menudo requieren un procesamiento que incluye varias combinaciones de procesos mecánicos. Dependiendo de la combinación de procesos utilizados, el impacto en el perfil nutricional del grano será diferente (Dalton, 2017).

Los procesos mecánicos en los granos son realmente importantes, la molienda y el fraccionamiento de semillas con almidón es un paso importante que influye en la calidad del producto final, porque la mayoría de los productos alimenticios provenientes de granos, no están hechos de granos enteros o semillas, sino de fracciones de harina (Schoenlechner, 2017). Generalmente, antes de su consumo los granos de cañihua pasan por procesos térmicos (tostado) y mecánicos (molienda). En comparación con los granos de quinua (*Chenopodium quinoa*). Los granos de cañihua tienen menor cantidad de saponinas, por lo que pueden ser consumidos sin tener que retirar el perigonio (Haros & Wronkowska, 2017).

Además, los granos andinos como la cañihua y la quinua cuentan con una matriz de almidones/proteína muy interesante y de alto valor nutricional. Estos constituyen fuentes potenciales de harina y almidón de gránulos pequeños incluyen amaranto y trigo sarraceno (Steffolani et al. 2013; R. Repo-Carrasco-Valencia, 2017).

### **Propiedades mecánicas del grano a granel**

Otra propiedad mecánica importante, es el estudio de los granos a granel. En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos. En general, el contenido de humedad crea un efecto significativo sobre el comportamiento mecánico de granos a granel.



**Tabla 13:** Características de comportamiento mecánico para granos a granel de tres variedades de Cañihua respecto al contenido de humedad.

V. Cupi			
Humedad b.s. [%]	10.4	15.5	21.4
Fuerza RE [N]	5.463 ± 1.59 <sup>a</sup>	14.415 ± 2.25 <sup>a</sup>	136.301 ± 19.11 <sup>a</sup>
energía RE [mJ]	3.701 ± 2.68 <sup>a</sup>	6.298 ± 1.43 <sup>a</sup>	102.001 ± 20.91 <sup>a</sup>
Desplazamiento RE [mm]	1.891 ± 0.53 <sup>a</sup>	1.891 ± 0.23 <sup>a</sup>	5.007 ± 0.22 <sup>a</sup>
Fuerza PM [N]	73.894 ± 36.67 <sup>a</sup>	103.366 ± 23.25 <sup>a</sup>	275.722 ± 31.61 <sup>a</sup>
energía PM [mJ]	108.998 ± 34.98 <sup>a</sup>	264.73 ± 17.72 <sup>a</sup>	897.927 ± 59.957 <sup>a</sup>
V. Ramis			
Humedad b.s. [%]	10.5	15.3	21.3
Fuerza RE [N]	10.137 ± 3.38 <sup>b</sup>	41.152 ± 9.44 <sup>b</sup>	614.261 ± 87.45 <sup>c</sup>
energía RE [mJ]	4.621 ± 2.40 <sup>b</sup>	18.235 ± 6.31 <sup>b</sup>	709.535 ± 74.89 <sup>c</sup>
Desplazamiento RE [mm]	1.841 ± 0.44 <sup>a</sup>	2.262 ± 0.51 <sup>b</sup>	5.938 ± 0.58 <sup>b</sup>
Fuerza PM [N]	94.712 ± 45.56 <sup>b</sup>	191.007 ± 43.71 <sup>c</sup>	1773.991 ± 143.87 <sup>c</sup>
energía PM [mJ]	210.66 ± 39.09 <sup>b</sup>	710.97 ± 94.33 <sup>b</sup>	3394.171 ± 234.65 <sup>c</sup>
V. Illpa-INIA			
Humedad b.s. [%]	10.8	16	21.07
Fuerza RE [N]	15.786 ± 2.27 <sup>c</sup>	53.701 ± 11.58 <sup>c</sup>	251.397 ± 76.54 <sup>b</sup>
energía RE [mJ]	8.103 ± 2.65 <sup>c</sup>	27.405 ± 8.74 <sup>c</sup>	185.171 ± 108.93 <sup>b</sup>
Desplazamiento RE [mm]	1.952 ± 0.36 <sup>a</sup>	2.371 ± 0.42 <sup>c</sup>	5.031 ± 0.42 <sup>a</sup>
Fuerza PM [N]	122.741 ± 40.37 <sup>c</sup>	160.881 ± 25.07 <sup>b</sup>	460.408 ± 99.69 <sup>b</sup>
energía PM [mJ]	256.88 ± 29.54 <sup>c</sup>	605.434 ± 40.709 <sup>c</sup>	1433.481 ± 99.69 <sup>b</sup>

Valores presentados en media de 6 repeticiones por variedad y nivel de humedad ± SD, a, b, c expresados por características mecánicas (p<0.05).

En la Tabla 13, se presenta los resultados obtenidos de las pruebas realizadas. Las curvas generales de fuerza de compresión frente a la deformación del grano se muestran en la Figuras 25, 26 y 27. En dichas figuras se aprecia la influencia de la variedad de grano y el efecto de contenido de humedad presente. Se observa en las curvas



mencionadas, la formación de una serie de picos de distintos tamaños que corresponde a la resistencia del grano frente a la fuerza externa aplicada el cual se requiere para dar movimiento continuo a los granos.

En cuanto a la región elástica a granel (RE), los granos se acomodan de tal forma que la porosidad existente disminuye. El desplazamiento se extiende hasta en 1.891, 1.841 y 1.952 mm a un contenido promedio de 10 % de humedad b.s. Hasta en 1.891, 2.262 y 2.371 mm a una humedad de 15 % y hasta en 5.007, 5.938 y 5.031 mm a 20 % de humedad para las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA respectivamente. Existe una relación positiva entre la fuerza de compresión y la deformación. Indicando que, si la fuerza de compresión aumenta, la deformación también lo hará. Este efecto viene influenciado del comportamiento mecánico del grano individual

En cuanto a la fuerza RE los valores son 5.463, 10.137 y 15.786 N a un 10 % de humedad. 14.415, 41.152 y 53.701 N a un 15 % de humedad y 136.301, 614.261 y 251.397 a un 20 % de humedad y los valores para la energía necesaria son 3.701, 4.621 y 8.103 mJ. 6.298, 18.235, 27.405 mJ. 102.001, 709.535 y 185.171 mJ. Para las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA humedades de 10, 15 Y 20 % respectivamente.

En cuanto a la energía necesaria este también incrementa sus valores de 108.998, 210.66 Y 256.88 mJ Para una humedad del 10%, 264.73, 710.97 y 605.434 mJ para una humedad del 15 %. Y para una humedad del 20 % 264.73, 710.97 Y 605.434 para Cupi, Ramis e Illpa-INIA respectivamente.

En esta región de fuerza máxima los granos al ver reducida la porosidad ofrecen una leve resistencia que luego fluyen en dirección inversa a la fuerza aplicada. En los resultados gráficos se aprecia que la humedad afecta considerablemente la capacidad de movimiento de los granos.

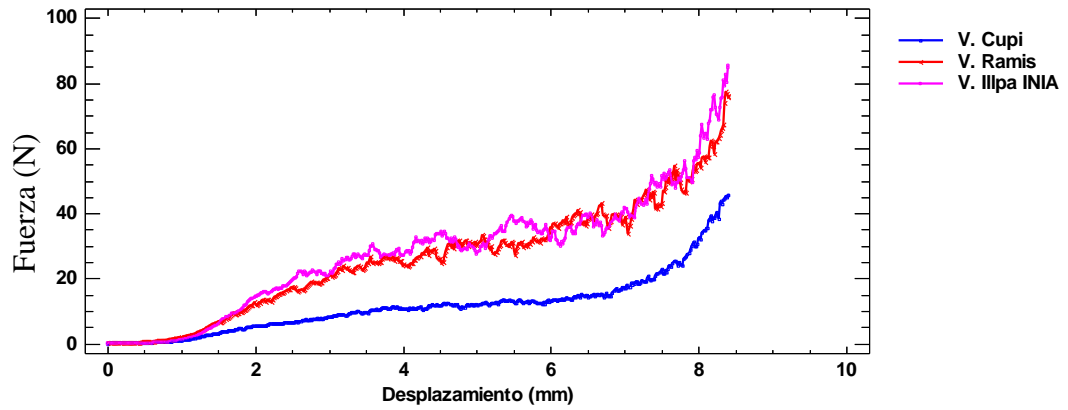


La humedad afecta considerablemente la capacidad de movimiento de los granos. Su densidad se eleva y su movimiento se dificulta lo que hace requerir una fuerza y energía mayor.

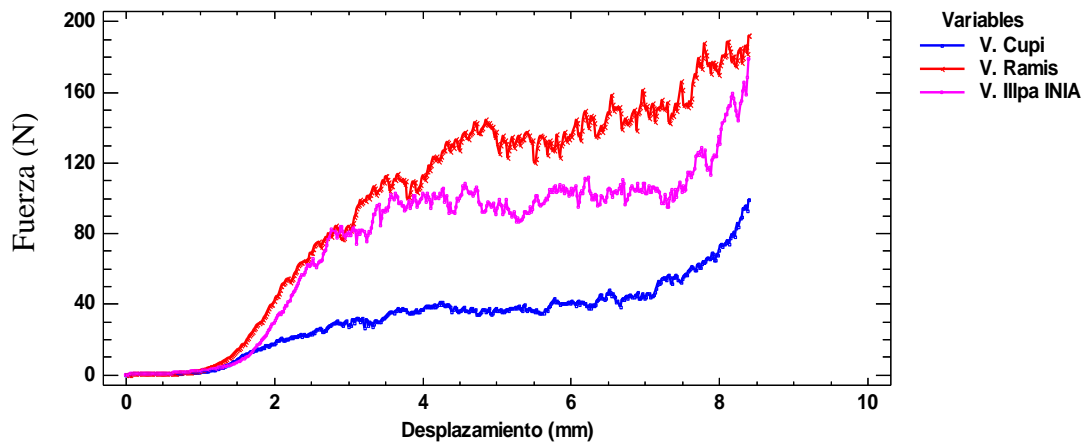
Las propiedades de los granos a granel están fuertemente influenciadas por las propiedades elásticas de los granos individuales (Arozarena et al., 2012). La compresión de materiales a granel se lleva a cabo con el fin de mejorar sus densidades de volumen y energía (Miao et al. 2015, citado por Akangbe & Herak, 2017).

Algunos autores (Akangbe & Herak, 2017; Herak, Kabutey, Divisova, & Simanjuntak, 2013; Kabutey, Herák, Chotěborský, Sigalingging, & Mizera, 2015) estudiaron el comportamiento mecánico de guisantes (*Pisum sativum* L.), lupino blanco (*Lupinus albus* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merr.) y *Jatropha curcas* L. A humedades de entre 8 y 10 % (b.s). Se informa para tales casos que tanto la resistencia al esfuerzo y la energía de deformación variaron significativamente entre los tipos de cultivos.

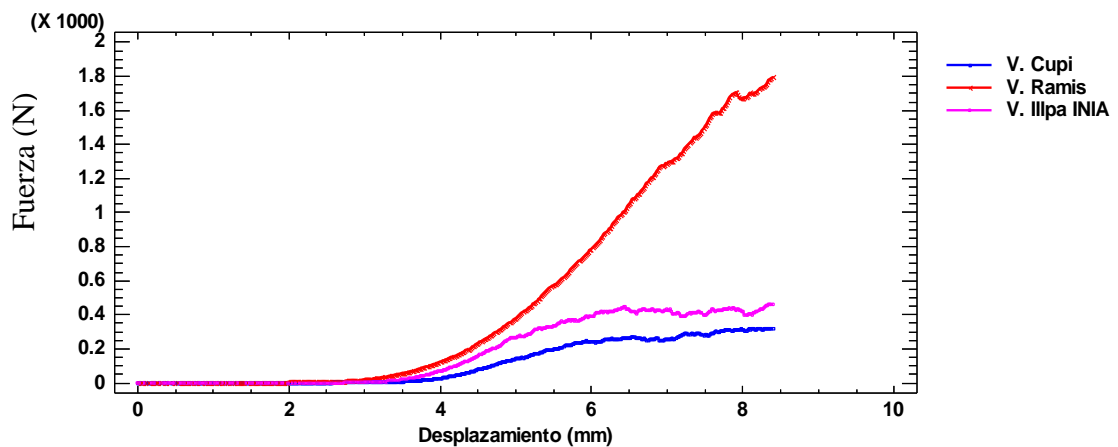
Las propiedades mecánicas de granos a granel son necesarias en procesos que impliquen almacenamiento, secado reducción del tamaño de partícula, operación vital para la producción de harina en las industrias de cereales (Murthy & Bhattacharya, 1998). Para obtener productos intermedios que puedan utilizarse posteriormente en la fabricación de productos a base de cereales, pseudocereales y granos andinos, reduciendo el consumo de energía en los procesos.



**Figura 25:** Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 10 %.



**Figura 26:** Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 15 %.



**Figura 27:** Comportamiento de los granos de cañihua de tres variedades a una humedad promedio de 20%.

### 4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES TERMALES DE LA HARINA DE CAÑIHUA

En la Tabla 14, se presentan los resultados obtenidos para las propiedades termales de los granos de cañihua a tres niveles de humedad diferente. En general, la humedad presente en la harina de cañihua tienen un efecto significativo sobre los parámetros térmicos analizados.

**Tabla 14:** Resultados de las propiedades termales de la harina de cañihua de tres variedades.

V. Cupi			
C. humedad (% b.s.)	9.31	15.32	19.76
T. transición vítrea (°C)	95.164 ± 2.657 <sup>b</sup>	88.661 ± 3.562 <sup>a</sup>	82.332 ± 3.522 <sup>b</sup>
Calor específico (kJ/kg°C)	1.191 ± 2.987 <sup>a</sup>	4.552 ± 2.845 <sup>c</sup>	2.502 ± 5.006 <sup>b</sup>
Conductividad térmica (W/m°C)	1.059 ± 7.432 <sup>b</sup>	1.427 ± 5.091 <sup>b</sup>	0.938 ± 5.132 <sup>a</sup>
Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	1.79 x10 <sup>-4</sup> ± 7.312 <sup>b</sup>	7.79 x10 <sup>-4</sup> ± 5.046 <sup>b</sup>	5.08 x10 <sup>-4</sup> ± 4.081 <sup>a</sup>
V. Ramis			
C. humedad (% b.s.)	9.82	14.32	19.12
T. transición vítrea (°C)	97.832 ± 2.537 <sup>c</sup>	89.336 ± 4.252 <sup>b</sup>	82.083 ± 4.912 <sup>b</sup>
Calor específico (kJ/kg°C)	4.599 ± 2.342 <sup>c</sup>	2.305 ± 4.403 <sup>b</sup>	2.071 ± 2.863 <sup>a</sup>
Conductividad térmica (W/m°C)	1.914 ± 5.985 <sup>c</sup>	1.475 ± 8.352 <sup>c</sup>	1.027 ± 7.913 <sup>b</sup>
Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	1.04 x10 <sup>-3</sup> ± 5.153 <sup>c</sup>	8.06 x10 <sup>-4</sup> ± 5.429 <sup>c</sup>	5.61 x10 <sup>-4</sup> ± 6.527 <sup>b</sup>
V. Illpa-INIA			
C. humedad (% b.s.)	10.24	15.41	20.56
T. transición vítrea (°C)	95.084 ± 2.325 <sup>a</sup>	91.913 ± 3.887 <sup>c</sup>	83.582 ± 3.943 <sup>c</sup>
Calor específico (kJ/kg°C)	1.362 ± 2.345 <sup>b</sup>	1.088 ± 1.525 <sup>a</sup>	2.861 ± 2.909 <sup>c</sup>
Conductividad térmica (W/m°C)	0.957 ± 4.002 <sup>a</sup>	1.182 ± 6.934 <sup>a</sup>	1.059 ± 4.345 <sup>c</sup>
Difusividad térmica (m <sup>2</sup> /s)	5.23x10 <sup>-4</sup> ± 4.052 <sup>a</sup>	6.46x10 <sup>-4</sup> ± 5.098 <sup>a</sup>	5.79 x10 <sup>-4</sup> ± 4.022 <sup>b</sup>

Valores presentados en media de tres repeticiones ± SD, a, b, c expresados por propiedad termal (p<0.05).

Los efectos de la interacción del contenido de humedad y variedades estudiadas en las diferentes propiedades termales de la harina de cañihua, fueron significativas (P<0.005). El aumento en el contenido de humedad influye los valores estudiados (k, α, tg y Cp).



### Temperatura de transición vítrea (Tg)

En los termogramas obtenidos de las diferentes corridas realizadas en el equipo DSC, se observó un solo pico endotérmico. Este pico desapareció al volver a hacer la corrida con la misma muestra, lo que indica que la transición térmica observada es un proceso irreversible. Que por la temperatura a la que ocurre este efecto, se asocia a la medida de la temperatura para desnaturalizar las proteínas presentes.

La harina de cañihua contiene también otros componentes como la materia grasa, que podrían ser responsables del pico observado. Sin embargo, la temperatura a la cual tiene lugar la transición térmica y el hecho de tratarse de un proceso irreversible hacen descartar esta posibilidad, ya que los lípidos experimentan transiciones irreversibles a temperaturas más bajas.

A continuación, se describe los resultados de los factores estudiados (variedad y humedad). Los resultados obtenidos indican que, a un contenido promedio de 10 % de humedad b.s. Tg para la variedad Ramis presentó el valor más alto con 97.832 °C seguido por la variedad Cupi e Illpa-INIA con 95.164 y 95.084 °C respectivamente. A un contenido de humedad promedio de 15 % Tg disminuye a en los tres casos. Así mismo, implementar a 20 % humedad promedio Tg continúa descendiendo (Tabla 14). Este efecto se aprecia en la Figura 31.

El rango de temperaturas de transición vítrea de los productos agroindustriales depende principalmente de la composición (Recondo et al., 2006). Por encima de la temperatura de transición vítrea, el alimento se encuentra en un estado amorfo desordenado; mientras que, por debajo de este límite, el alimento está en condiciones vítreas más estables, bajo las cuales se reducen significativamente las velocidades de deterioro (Baroni et al., 2003; Gharsallaoui et al., 2007; López et al., 2009). Tg supone



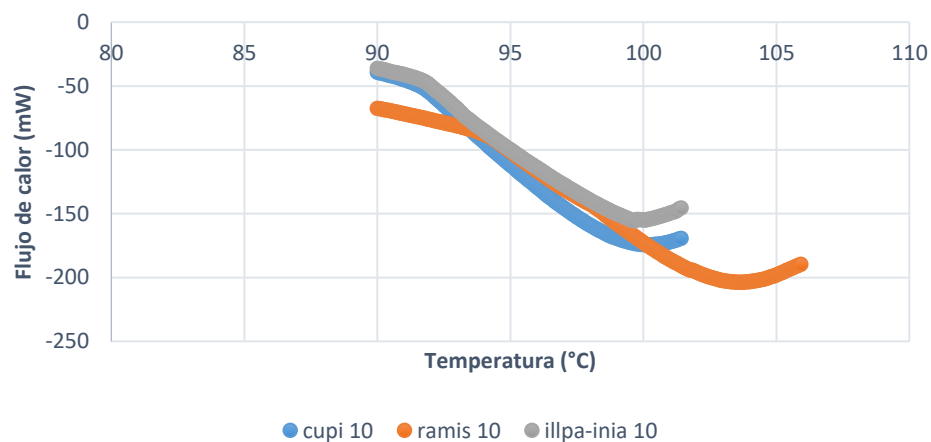
una información muy importante a la hora de predecir y controlar las condiciones de almacenamiento óptimas, con miras a preservar sus características y propiedades sensoriales y alargar su vida útil (Mosquera et al., 2015).

Una de las razones por la que Tg es influenciado por la humedad es precisamente por el agua, un componente químico que actúa como agente plastificante, puesto que el estado físico de una disolución está cuantitativamente definido por las propiedades fisicoquímicas del solvente (Gómez- Díaz y Navaza, 2002). Y afecta la estabilidad térmica de las proteínas. Además, si las moléculas de soluto pueden moverse con facilidad, menor cantidad de calor habrá que suministrarles para que sus cadenas empiecen a vibrar y puedan pasar de un estado vítreo rígido a otro blando y flexible (gomoso). Por otra parte, al aumentarse el contenido de agua, crece la movilidad de las moléculas y la Tg disminuye o puede suceder lo contrario.

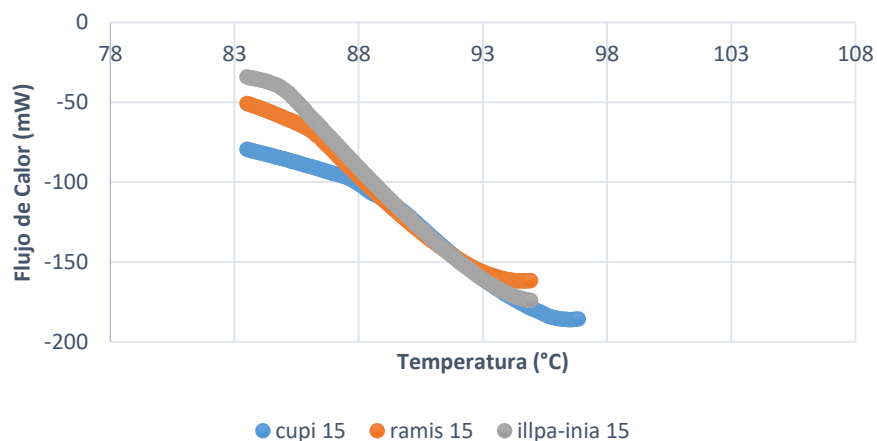
Además, la estabilidad en la estructura y las propiedades funcionales del alimento están fuertemente condicionadas por el contenido de humedad, así como por los solutos que interactúan con la molécula de agua (Correia-Calpe et al., 2011). Otro factor que lo afecta es la tasa de calentamiento o enfriamiento, por lo que si la temperatura en proceso cambia provoca una variación del estado vítreo, es decir hay una transición de fases provocando cambios fisicoquímicos importantes.

Al respecto los estudios en harina de cañihua son relativamente escasos. Huichi (2019) reportó que, un grano de cañihua sin perigonio requiere más temperatura de pico que un grano con perigonio. Salas-Valero, Tapia-Blácido, & Menegalli (2015) estudiaron la temperatura de inicio, pico y temperatura final en harinas de cañihua de las variedades Cupi e Illpa-INIA y reportan temperaturas de fusión de 64.8 °C para Cupi y 62.8 °C para Illpa-INIA, en el método acondicionaron matraces herméticamente cerrados con solución

saturada de NaBr (58% HR). Betalleluz-Pallardel et al. (2017) aislaron y determinaron la temperatura de desnaturalización de la proteína de cañihua, el cual fue de  $93,46 \pm 0,02$  °C con una temperatura de inicio de desnaturalización de alrededor de  $89,6 \pm 0,06$  °C para la proteína cañihua extraída a pH 10. Para la harina de quinua se reportó que la temperatura de desnaturalización fue entre 98.8 a 99,2 °C inducida por la temperatura (Gajardo, 2005). Para el grano de trigo se reportó una temperatura de desnaturalización de la proteína de 84 °C (Lupano, 1986).

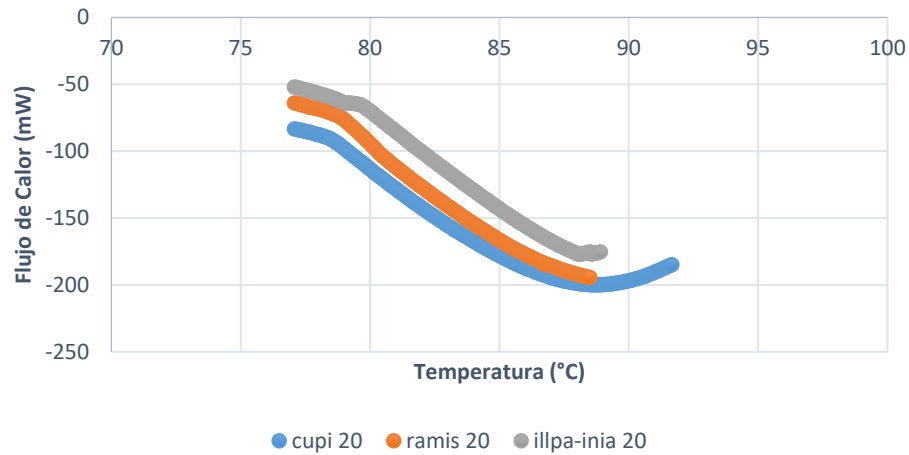


**Figura 28:** Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 10 % de humedad.

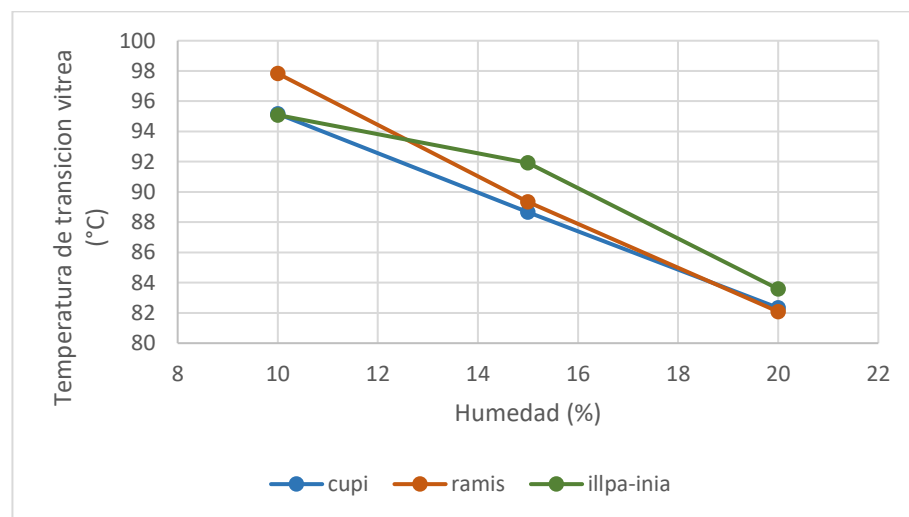


**Figura 29:** Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 15 % de humedad.





**Figura 30:** Estimación de Tg y Cp para tres variedades de harina de cañihua a 20 % de humedad.



**Figura 31:** Efecto de la humedad sobre la Temperatura de transición vítrea en las tres variedades de cañihua.

### Calor específico

Los resultados para la determinación de Cp muestran un efecto de la humedad que influencia perceptiblemente las características termales de la harina de cañihua. A una humedad de 10 % la variedad Ramis presenta un valor de 4.599 (kJ/kg°C) siendo el valor más elevado obtenido en este nivel de humedad, seguido por las variedades Illpa-INIA y Cupi con 1.362 y 1.191 (kJ/kg°C) respectivamente. Al elevar la humedad la harina exhibe una disminución y en otros casos una elevación de Cp. La variedad Cupi se eleva mientras



que Ramis e Illpa-INIA disminuyen. Un caso similar sucede al incrementar la humedad a 20 %.

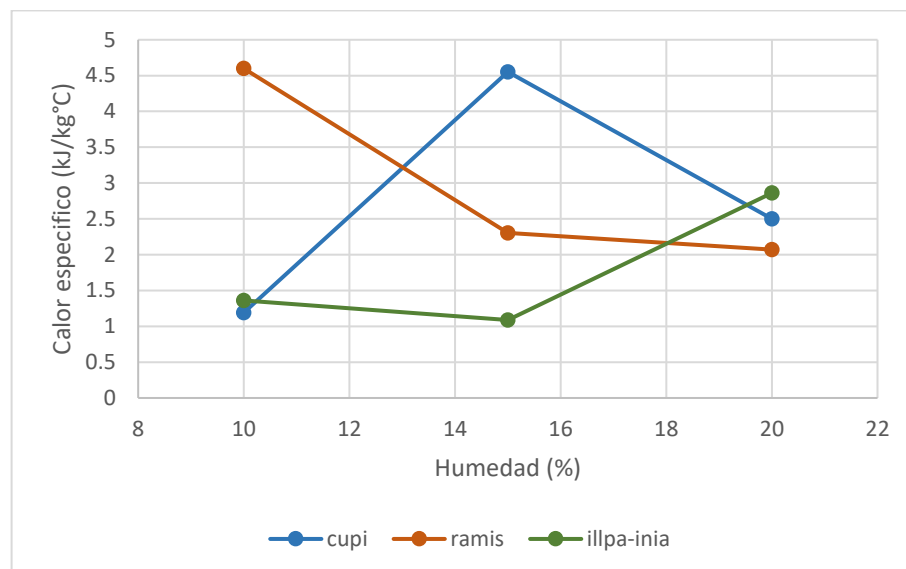
La humedad juega un papel crucial al momento de la determinación de  $C_p$ , sin embargo, no es el único factor que lo afecta ya que también está en función de los diversos componentes que constituyen un alimento como, la grasa, el contenido de aire o porosidad, temperatura, presión y el comportamiento de los componentes en un rango de temperaturas. Generalmente, el calor específico de un alimento aumenta a medida que aumenta el contenido de humedad del producto (Singh & Heldman, 2014).

Huichi, (2018) reporta valores de  $C_p$  para granos de cañihua con y sin perigonio para las variedades Cupi e Illpa-INIA, e indica que Cupi con perigonio requiere 1.50 kJ/Kg°C, mientras que, sin perigonio requiere 1.41 kJ/Kg°C. a su vez, la variedad Illpa-INIA con perigonio requiere 0.54 kJ/Kg°C, mientras que, sin perigonio es 1.83 kJ/Kg °C. Medina et al. (2010), presentaron resultados de  $C_p$  para granos de Cañihua de variedades Cupi y Ramis determinados por un método de calor transitorio acoplado con termocupla,  $C_p$  vario de 3.616 a 3.78 kJ/Kg°C.

Durante el calentamiento, los alimentos se ven afectados de muchas maneras distintas. Los carbohidratos en presencia de agua se hinchan y gelatinizan cuando se calientan. En general, la grasa se derrite cuando se calienta y solidifica cuando se enfría en un rango de temperaturas relativamente estrecho. La proteína se coagula o se degrada cuando se calienta y algunas soluciones de proteína se gelifican al enfriarse (Rha, 1975). Estos elementos influyen en la determinación. Así mismo. Un factor importante es la porosidad de la muestra, el contacto entre el equipo y el crisol un buen contacto elimina la resistencia interracial y pueden contribuir en un error significativo.

Además, el calor específico varía de acuerdo al estado físico, es decir, será diferente de acuerdo en el estado físico en el que se encuentre, porque su estructura molecular incide en la transmisión del calor dentro del sistema de partículas (Rha, 1975).

$C_p$  es importante al diseñar procesos alimenticios y equipos de procesamiento, para ello se necesita valores numéricos del calor específico de los alimentos y otros materiales que se utilizarán (Singh & Heldman, 2014). En la mayoría de los métodos más comunes de procesamiento de alimentos, se debe suministrar energía tanto para elevar o reducir la temperatura del producto (Rha, 1975). En los resultados obtenidos se muestran que  $C_p$  tienen un comportamiento variable al descender y ascender sus valores.



**Figura 32:** Efecto de la humedad sobre el Calor específico en las tres variedades de cañihua.

### Conductividad térmica

En cuanto a los resultados para conductividad térmica de la harina, se observa que la humedad y la variedad tienen un efecto significativo sobre esta propiedad termal (Figura 33). Los valores encontrados son: 1.910 (W/m°C) para la variedad Ramis, 1.059 (W/m°C) para la variedad Cupi, y 0.957 (W/m°C) para la variedad Illpa-INIA. Al incrementar la humedad a 15 % se observa un aumento de la  $K$  para las variedades Cupi



e Illpa-INIA 1.427, 1.182 ( $W/m^{\circ}C$ ) y una disminución en la variedad Ramis a 1.475 ( $W/m^{\circ}C$ ). así mismo, la harina de cañihua con 20 % de humedad sufre una disminución en los valores de  $K$  para las tres variedades, a 0.938 ( $W/m^{\circ}C$ ) para Cupi, 1.027 ( $W/m^{\circ}C$ ) para Ramis, 1.059 ( $W/m^{\circ}C$ ) para Illpa-INIA.

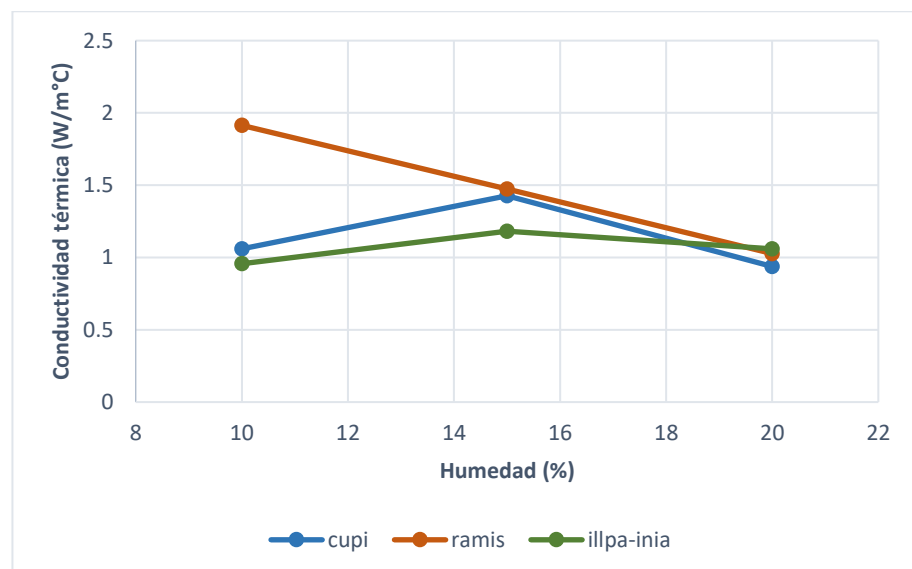
Existe trabajos de investigación referentes a  $k$  en granos de cañihua, mas no en harina. Medina et al. (2010) reporto valores de 0.0728 a 0.0897  $W/m^{\circ}C$ , para granos con humedades de 10, 15 y 20 %. Se conoce que,  $k$  es influenciado por la composición de alimento. Sin embargo, tienen también influencia otros factores como La mayoría de los alimentos con alto contenido de humedad tienen valores de conductividad térmica más cercanos a los del agua. Sin embargo, existen otros factores resaltantes como la porosidad, que está influenciada por la presencia de aire (Singh & Heldman, 2014).

Al incrementar la humedad en la harina, esta cambia su composición, existiendo un incremento de tamaño en las partículas individuales producto del hinchamiento lo que aumenta la porosidad, por lo que, la conductividad térmica disminuye. Además, la estructura física juega un papel valioso, definido por sus principales constituyentes y por el grado de interacción molecular existente entre los solutos (nutrientes) y el agua; así como por el tipo de pre tratamiento al que fue sometido la muestra antes de su análisis (Hui, 2006 citado por Mosquera, Arias, Jimenez, Lopez, & Osorio, 2015).

Un factor importante también, es la presencia de fibra en la harina de cañihua ya que este tiene un efecto sobre valores de la conductividad termal al tratarse de un alimento anisotrópico. Así mismo, la temperatura también influye en  $k$  del alimento. Cuando la temperatura decrece por debajo del punto de congelación existe un incremento de la conductividad, un ejemplo de ello es que la conductividad del hielo es mayor a la del agua.

En semillas de *Kerstingiella geocarpa* acondicionadas de 10 al 30% b.s. la conductividad térmica de la semilla aumentó de  $5,13 \times 10^{-2}$  a  $4,87 \times 10^{-1} \text{ Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ . La difusividad térmica de la semilla también aumentó de  $2,35 \times 10^{-4}$  a  $3,66 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Cuando los valores de  $K$  se elevan al incrementar la humedad indica la capacidad de la semilla para retener el calor cuando se procesan (Ikegwu & Ezech, 2012).

El procesamiento, preparación y almacenamiento de alimentos de una forma u otra requiere la eliminación o adición de energía a los materiales alimenticios o el mantenimiento de la temperatura a un nivel determinado. Incluso los alimentos sin procesar o semielaborados requieren almacenamiento en refrigeración o congelación para prolongar la vida útil. De hecho, estas técnicas de procesamiento recurren a la manipulación de la temperatura para obtener el efecto deseado. Esto se debe a que la velocidad de reacción depende de la temperatura.



**Figura 33:** Efecto de la humedad sobre la Conductividad térmica en diferentes variedades de cañihua.

### Difusividad térmica

Por otro lado, los resultados de difusividad para la harina de cañihua con un contenido de humedad de promedio de 10 % fue como sigue: el valor más alto



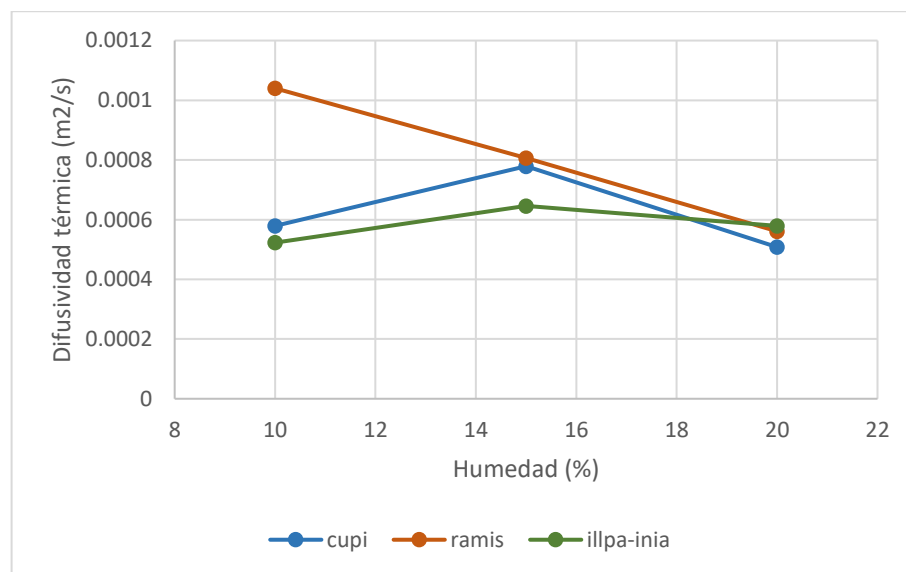
corresponde a la variedad Ramis con  $1.04 \times 10^{-3}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) seguidos por  $5.79 \times 10^{-4}$  y  $5.23 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) que corresponden a la variedad Cupi e Illpa-INIA respectivamente. A una humedad de 15 % la difusividad se ve alterada e incrementa sus valores para los tres casos estudiados siendo la variedad Ramis quien tiene el valor más alto con  $8.06 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ), seguidos por Cupi e Illpa-INIA con  $7.79 \times 10^{-4}$  y  $6.46 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) respectivamente. Para un nivel de 20 % de humedad los valores redujeron a  $5.08 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) para Cupi,  $5.61 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) para Ramis,  $5.79 \times 10^{-4}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) para Illpa-INIA, estos resultados también pueden apreciarse en la Figura 34.

Analizando los resultados de este estudio, la difusividad es directamente proporcional a la conductividad térmica. Según, Lide (2009) este comportamiento es común. Además, indica que  $\alpha$  es inversamente proporcional a su densidad y calor específico.

Huamán & Yupanqui (2016), informaron que la difusividad térmica de los granos de cañihua a 25 y 30 °C y humedades entre 10 y 20 % variaron entre  $7.5$  y  $8.9 \times 10^{-8}$   $\text{m}^2/\text{s}$  el cual fue determinando con un método transitorio de curvas de penetración de calor. Medina et al. (2010) determinaron por el mismo método la difusividad termal de granos de cañihua con humedades de 10, 15 y 20 % y los resultados se encuentran de  $0.773 \times 10^{-8}$  a  $1.0 \times 10^{-8}$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ). Diversos autores indican que la temperatura y humedad influyen en la variabilidad de la difusividad térmica. Así mismo, la porosidad afecta la difusividad, ya que el volumen de aire disperso es mayor, por ello la difusividad del aire ( $2.25 \times 10^{-5}$   $\text{m}^2/\text{s}$ ) es 150 veces mayor a la del agua ( $1.45 \times 10^{-7}$   $\text{m}^2/\text{s}$ ) a 25 °C.

Huamán & Yupanqui (2016) informan que el efecto de la humedad sobre la difusividad térmica, reduce esta propiedad conforme se incrementa el contenido de agua en los granos de cañihua y quinua. Otro estudio en granos de maíz informa este mismo

efecto. Sin embargo, se informó que en granos de soya sucede lo contrario, conforme se incrementa la humedad (14 a 30 %) la difusividad disminuye, y con la temperatura (50 a 150 °C) aumenta. Estos estudios nos permiten afirmar y concluir que esta propiedad térmica es un parámetro que está influenciado por la humedad, temperatura y porosidad, pero también por la microestructura, composición química y características físicas del alimento.



**Figura 34:** Efecto de la humedad sobre la Difusividad térmica en diferentes variedades de cañihua.

Conocer los valores de difusividad térmica de la harina de cañihua, contribuye a la determinación de las velocidades de transferencia de calor en alimentos sólidos de distintas formas (Orrego, 2003). Así mismo, nos permite conocer la capacidad de la transferencia de calor en estado no estacionario en operaciones que involucran temperatura, como el secado, extrusión, expansión, tostado y otros procesos de transformación. Por tal motivo, su determinación permite incrementar la eficiencia en un proceso productivo que relacione la transferencia de calor.

#### 4.4. Análisis de Componentes Principales

Para simplificar los resultados de las tres propiedades estudiadas para cada variedad de cañihua, se presenta el análisis de componentes principales.

Los componentes principales son el producto de combinaciones lineales procedentes de los datos originales (resultados obtenidos de las propiedades químicas, mecánicas y termales), por medio de ellas se logra reducir la dimensionalidad, extraer características y visualización de datos simplificados. Estos componentes principales ayudan a explicar y comprender con mayor facilidad los resultados obtenidos de forma general. El primer componente principal que se obtiene contiene la mayor varianza posible y las siguientes en menor grado.

**Tabla 15:** Número de componente y porcentaje de varianza.

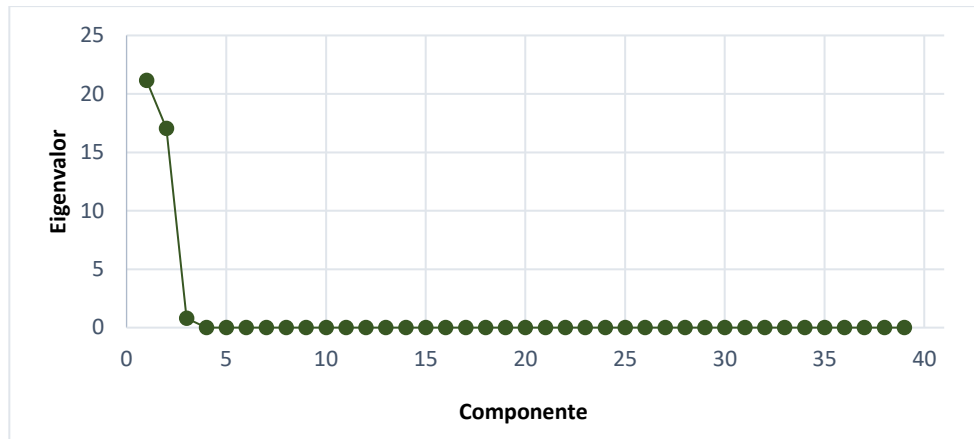
Componente	Eigenvalor	% de Varianza	% Acumulado
1	21.952	56.286	56.286
<b>2</b>	17.048	39.714	<b>96.00</b>

Eigenvalor: puntaje que mide cuánta varianza de las variables originales explica cada componente (valor propio).

El número de componentes principales que explican la mayor variabilidad de datos son 2, debido a que el porcentaje de varianza acumulada entre las dos componentes explica el 96.00 % de la variación total existente en la matriz de datos original.

En este caso, 39 variables (datos originales) han sido extraídas y dos componentes principales explican el 96.00 % de la variabilidad. Cuando pocos de los primeros componentes principales logran explicar la mayor variabilidad es porque los valores originales están altamente correlacionados. El eigenvalor ordena los componentes de mayor a menor varianza explicada (Figura 35).

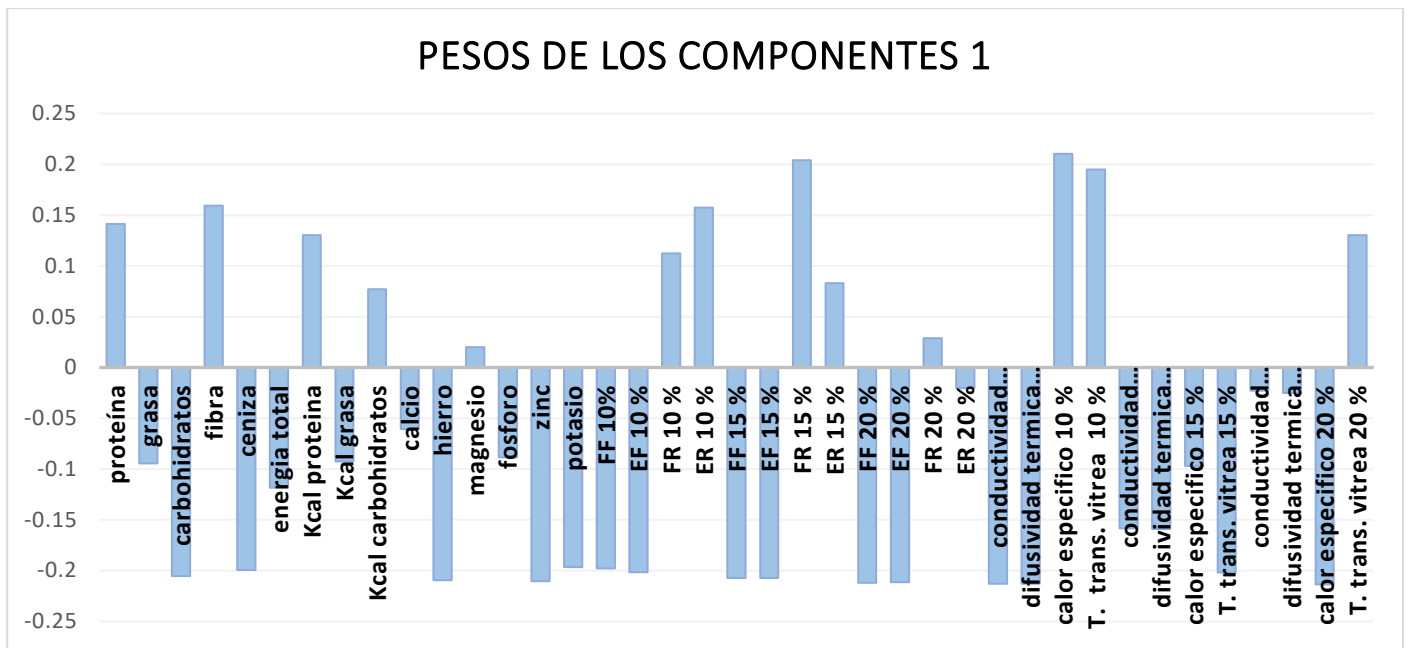




**Figura 35:** Grafico de sedimentación

En las Figuras 36 y 37, para comprender se debe analizar la magnitud y dirección de los componentes de los variables originales. los valores positivos indican, a mayor valor, mayor concentración.

En los resultados, la componente principal 1 (Figura 36) tiene asociaciones o influencias positivas con el contenido de proteína, kcal provenientes de la proteína de los carbohidratos, fibra, magnesio, fuerza de ruptura y de fractura a 10 y 15 % de humedad, calor específico y transición vítrea a 10 % de humedad. Y negativas con contenido de carbohidratos, ceniza, contenido de hierro, zinc, potasio fuerza de fractura y ruptura a 10, 15 y 20 % de humedad. Así mismo, las propiedades termales como conductividad, difusividad, transición vítrea y calor específico a distintos niveles de humedad.



**Figura 36:** Pesos del componente principal 1.

Mientras que la componente principal 2 (Figura 37) está ponderado más pesadamente por el contenido de proteína, fibra, calcio, fosforo y propiedades térmicas a humedades de 15 y 20 %.

La primera componente reúne el mayor porcentaje de la variación existente de los datos originales. La segunda componente reúne la variación que no fue explicada por la primera componente principal 1. Hay tantos componentes principales como variables originales.



Figura 37: Pesos del componente principal 2.

En la Figura 38, muestra la influencia de las componentes principales 1 y 2. Los datos que se encuentran agrupados tienen influencia entre ellas. Ejemplo: el contenido de minerales esta correlacionada con el contenido de ceniza. Y las propiedades mecánicas con las propiedades termales.

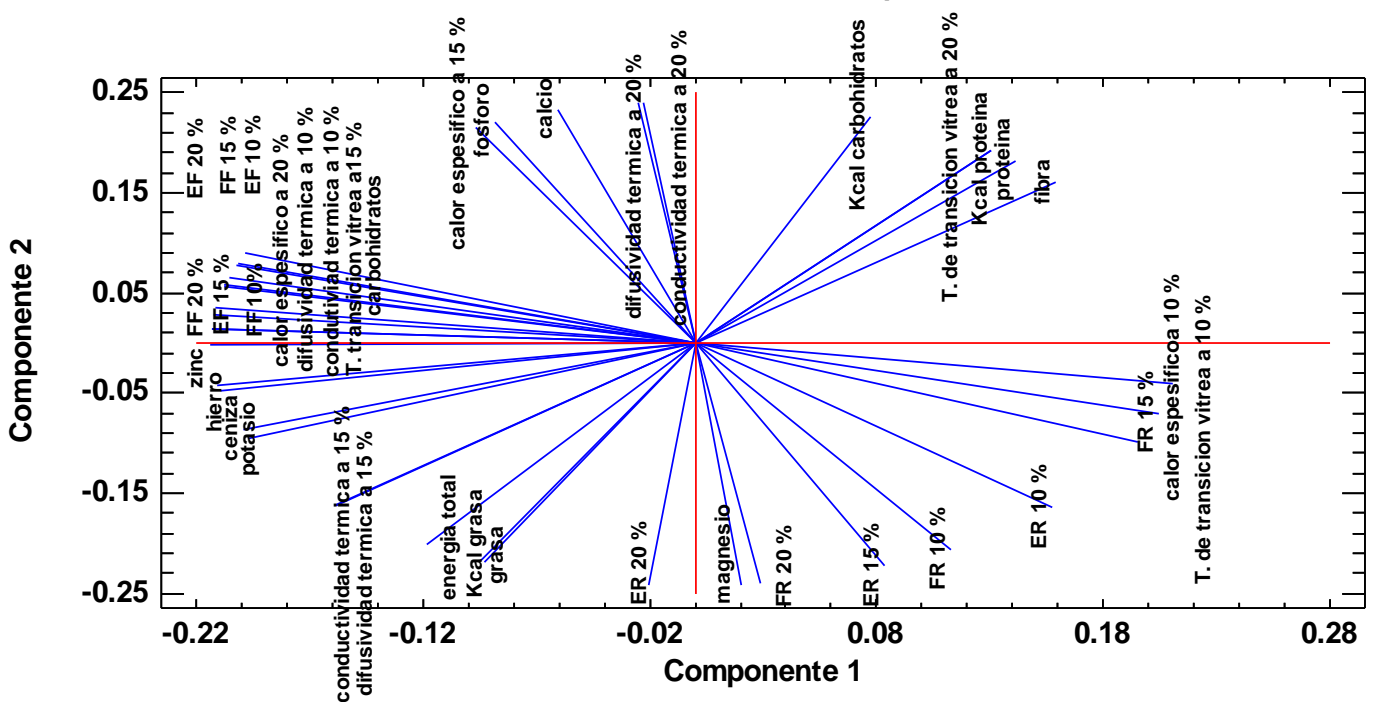
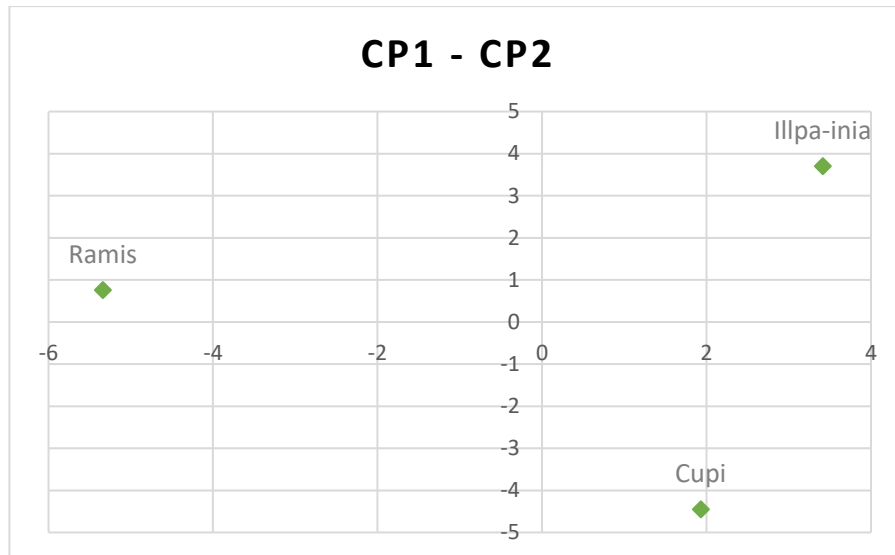


Figura 38: Grafica pesos del componente



**Figura 39:** Varianza entre variedades de cañihua.

La Figura 39, muestra de manera gráfica la diferencia existente entre las tres variedades de cañihua estudiadas, apreciamos que son diferentes. Por lo tanto, las propiedades químicas, termales y mecánicas son características propias de cada una, que si bien, podrían comportarse de maneras similares los resultados finales siempre serán distintos.



## V. CONCLUSIONES

- Las propiedades químicas de las variedades de cañihua Cupi, Ramis e Illpa-INIA contienen valores que las hacen destacar de manera individual. La variedad Illpa-INIA destaca por su contenido de proteína (15.50 %) y fibra (3.93 %). La variedad Cupi por su contenido de grasa (7.73 %) y energía (391.83 %). La variedad Ramis por su contenido de carbohidratos (66.68 %) y cenizas (2.53 %). En cuanto al contenido de minerales, la variedad Ramis posee un contenido mayor de fósforo (918.15 mg/100 g), hierro (8.17 mg/100 g), potasio (583.19 mg/100 g) y zinc (4.207 mg/100 g) y las variedades Illpa-INIA y Cupi poseen contenido mayor de calcio y magnesio (100.03 y 192.96 mg/100 g) respectivamente.
- El contenido de humedad afecta significativamente las propiedades mecánicas del grano individual. A medida que la humedad se eleva (10 a 20 %), la fuerza de fractura decrece tanto para la variedad Cupi (13.56 a 3.89 N), Ramis (19.198 a 5.114 N) e Illpa-INIA (14.878 a 3.834 N), la energía necesaria para la fractura también reduce sus valores (0.34 a 0.08, 0.587 a 0.140, 0.38 a 0.081 mJ) y la deformación del grano tiende a incrementarse. La variedad Ramis requiere una fuerza de fractura mayor, seguido por las variedades Illpa-INIA y Cupi. Estos efectos se presentan también en la fuerza ruptura del grano. En cuanto al grano a granel, este exhibe un incremento de la región elástica y la humedad ralentiza su movimiento, a mayor humedad se requiere de una fuerza y energía mayor.
- Respecto a las propiedades térmicas, la humedad del grano tiene un efecto significativo sobre las variedades estudiadas. Las propiedades térmicas ( $T_g$ ,  $C_p$ ,  $k$  y  $\alpha$ ) al incrementar la humedad (10 a 20 %) se comportan de maneras diferentes.  $T_g$  reduce sus valores (95.16 a 82.33; 97.83 a 82.08; 95.08 a 83.58 °C),  $C_p$  y  $k$  tienen la capacidad de elevar y reducir sus valores en menor grado (1.19 a 2.50,



4.59 a 2.07, 1.36 a 2.86 kJ/kg°C; 1.05 a 0.93, 1.91 a 1.02, 0.95 a 1.05 W/m°C)  
mientras que  $\alpha$  sigue la misma tendencia a la conductividad térmica para las variedades Cupi, Ramis e Illpa-INIA respectivamente. Siendo la variedad Ramis quien presenta valores mucho más notables.



## VI. RECOMENDACIONES

El grano de cañihua está dotado de excelentes bondades nutricionales, motivo por el cual se sugiere fomentar su consumo en la población general. La cañihua es versátil y puede ser utilizado en diversos productos y procesos de producción. Por ejemplo: en formulaciones de complementos alimenticios junto a otros granos andinos, que potencien sus atributos nutricionales. Además, aprovechar el contenido de minerales como el hierro para combatir altos índices de anemia y desnutrición que existe en la región. Así mismo, se recomienda incentivar su cultivo para asegurar la producción y demanda de este grano andino.

Por otro lado, en procesos de producción que implican transformación del grano interviene la utilización de tecnología e información oportuna de datos. Conocer las propiedades mecánicas como la fuerza necesaria para romper/fracturar un grano y la energía requerida, son útiles para cuantificar el tiempo, fuerza y consumo de energía principalmente en la molienda de este grano andino.

Así mismo, las propiedades térmicas de la harina de cañihua, son importantes y los resultados obtenidos pueden ser utilizados en procesos donde interviene transferencia de calor. Con el fin de aumentar su estabilidad, potenciar sus propiedades organolépticas y dar valor agregado a este grano andino se crea un abanico de posibilidades para fomentar su consumo. Al tratarse de un grano andino versátil puede ser utilizado en procesos de panificación, extrusión, elaboración de pastas, bebidas, sucedáneos, sopas, mezclas alimenticias, y muchos productos más. Así mismo, estos valores pueden ser utilizados en el diseño de equipo para el manejo y transformación del grano.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addo, A., Akowuah, J. O., & Ampah, J. (2012). Some Moisture Dependent Compressive Properties of Shea Kernel ( *Vitellaria Paradoxa* L ). *Canadian Journal of Pure & Applied Sciences*, 6, 2113–2119. Retrieved from [www.researchgate.net/publication/266389508](http://www.researchgate.net/publication/266389508)
- Agulheiro, A., & Roseiro, C. (2012). Rheological Properties of Food. In *Physical Properties of Foods: Novel Measurement Techniques and Applications* (p. 30). Dublin, Irlanda: Contemporary Food Engineering.
- Akangbe, O. L., & Herak, D. (2017). Mechanical Behaviour of Bulk Seeds of Some Leguminous Crops under Compression Loading. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 48(4), 238–244. <https://doi.org/10.1515/sab-2017-0031>
- Altuntaş, E., & Yildiz, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.013>
- Amat, J. (2017). Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE. Retrieved from Ciencia de Datos website: [https://www.cienciadedatos.net/documentos/35\\_principal\\_component\\_analysis](https://www.cienciadedatos.net/documentos/35_principal_component_analysis)
- Apaza, V. (2010). *Manejo y mejoramiento de la Kañiwa*. Retrieved from [www.cirnma.org](http://www.cirnma.org)
- Arozarena, I., Iguaz, A., Noriega, M. J., Bobo, G., & Virseda, P. (2012). Physical Properties of Cereal Products: Measurement Techniques and Applications. In C. Press (Ed.), *Physical Properties of Foods: Novel Measurement Techniques and Applications* (p. 34). Dublin, Irlanda: Contemporary Food Engineering.
- ASAE, standard 368. . (DEC 2000). (2008). Compression test of food materials of convex shape. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- ASAE standard S 352.2 (DEC 92). (2006). Moisture Measurement - Unground Grain and Seeds. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- ASTM, D.-15. (2008). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. *Annual Book of ASTM Standards*, i, 1–8. <https://doi.org/10.1520/D0695-15.2>
- ASTM E 1356. (2008). Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperatures by Differential Scanning Calorimetry. *ASTM International*, 08(E1356), 1–4. <https://doi.org/10.1520/E1356-08R14.2>
- Awika, J. (2017). Sorghum: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In *Gluten-Free Ancient Grains Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and Health-Promoting Foods for the 21st Century*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Awolu, O. O., & Manohar, B. (2018). Mechanical characteristics and grinding studies of





- mango seed kernel. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4), 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.08.004>
- Ayala, G. (2015). Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. In *Raíces Andinas: un aporte al conocimiento y a la capacitación* (p. 13). Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Bartolo, D. E. (2014). *Influencia de la temperatura de tostado sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de la cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) variedad Cupi*. Universidad Peruana Union - Lima.
- Bäumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S. M., & Riccobene, I. C. (2006). Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 72(2), 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.029>
- Benique, E. (2019). Impacto del Cambio Climático en el rendimiento de la producción de Cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en la región Puno -. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 21(2), 10.
- Berk, Z. (2009). Food Process Engineering and Technology. In Steve L. Taylor (Ed.), *Food Process Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373660-4.X0001-4>
- Betalleluz-Pallardel, I., Inga, M., Mera, L., Pedreschi, R., Campos, D., & Chirinos, R. (2017). Optimisation of extraction conditions and thermal properties of protein from the Andean pseudocereal cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen). *International Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 1026–1034. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13368>
- Blanco, T., & Alvarado, U. (2014). *Evaluación de la composición nutricional de la maca y cañihua, procedente de diversos departamentos del Perú* (p. 11). p. 11. Universidad San Martín de Porres.
- Bourne, M. (2003). *Food Texture and Viscosity* (2da edición). New York: Academic Press.
- Bravo, R., Valdivia, R., Andrade, K., Padulosi, S., & Jäger, M. (2010). *Graos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañihua y kiwicha en Perú*. Roma, Italia: Biodiversity International.
- Camirand, C. P. (2004). Measurement of thermal conductivity by differential scanning calorimetry. *Thermochimica Acta*, 417(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.12.023>
- Cheng, X. D., Yan, X. J., & Hu, M. Z. (2016). The effect of storage pressure on the mechanical properties of paddy grains. *Journal of Stored Products Research*, 68, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.03.003>
- Chirinos, R., Ochoa, K., Aguilar-Galvez, A., Carpentier, S., Pedreschi, R., & Campos, D. (2018). Obtaining of peptides with antioxidant and antihypertensive properties from cañihua protein (Aellen). *Journal of Cereal Science*.



- Clement, O. (2014). Effects of moisture content and loading orientation on some mechanical properties of the african oil bean seed (*Pentaclethra Macrophylla* Benth). *African Journal of Agricultural Research*, 9(49), 3504–3510. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9109>
- Collazos, C., White, P., White, H., Viñas, E., Alvistur, E., Vasquez J, ... Quiros, A. (2004). *La composicion de los alimentos peruanos* (Ministerio). Ministerio. Lima-Peru.
- Cueto, M., Porrás-saavedra, J., Farroni, A., Alamilla-beltrán, L., Schöenlechner, R., Schleining, G., & Buera, P. (2015). Physical and mechanical properties of maize extrudates as affected by the addition of chia and quinoa seeds and antioxidants. *JOURNAL OF FOOD ENGINEERING*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.027>
- D'Amico, S., Schoenlechner, R., Tömöskösi, S., & Bernadett, L. (2017). Proteins and Amino Acids of Kernels. In C. Haros & R. Schoenlechner (Eds.), *Pseudocereals Chemistry and technology*. USA.
- Dalton, T. (2017). Global Supply of Ancient Grains in the 21st Century: Keys to Unlocking Their Full Potential. In J. Taylor (Ed.), *Gluten-Free Ancient Grains Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and Health-Promoting Foods for the 21st Century*. Manhattan, United States: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Dzudié Fonsso, J., Nzie, W., Ntamack, D., & Kenmeugne, B. (2016). Hertz Theory Application in Modeling and Analysis of Mechanical Rupture Force of Cocoa Pod. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 4(5), 182. <https://doi.org/10.11648/j.ijmea.20160405.13>
- Ellepola, S. W., & Ma, C. Y. (2006). Thermal properties of globulin from rice (*Oryza sativa*) seeds. *Food Research International*, 39(3), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.07.015>
- Emadi, B., Khodabakhshian, R., & Abbaspour, M. H. (2012). Experimental comparison of applying different theories in elasticity for determination of the elasticity modulus of agricultural produce, Pumpkin seed as a case study. *Journal of Agricultural Technology*.
- Figura, L. O., & Teixeira, A. A. (2007). Food physics: Physical properties - Measurement and applications. In *Food Physics: Physical Properties - Measurement and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34194-9>
- Fuentes, C., Perez-Rea, D., Bergenstahl, B., Carballo, S., Sjöo, M., & Nilsson, L. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 829–838. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.120>
- Gajardo, P. (2005). *Caracterización y determinación de la estabilidad durante el almacenamiento de las proteínas de harina de quinua orgánica pulida y sin pulir* (Universidad de Chile). Retrieved from [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/gajardo\\_p/sources/gajardo\\_p.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/gajardo_p/sources/gajardo_p.pdf)



- Gil, C. (2018). Analisis de Componentes principales (PCA). Retrieved from Rstudio website: [https://rpubs.com/Cristina\\_Gil/PCA](https://rpubs.com/Cristina_Gil/PCA)
- Glorio, P., Repo-Carrasco, R., Velesmoro, C., Anticona, S., Huaranga, R., Martinez, P., & Melgarejo, S. (2008). Dietary fiber en fruits, roots, tubers, ceals and pulses from peruvian cultivars. *Sociedad Quimica Del Peru*.
- Gonzales, E., & Cari, G. (2018). *Determinación de metales pesados por voltamperometría y el valor nutricional en semillas de cañihua, Puno - 2018*. Universidad Privada Autónoma del Sur.
- Gorji, A., Rajabipour, A., & Tavakoli, H. (2010). Fracture resistance of wheat grain as a function of moisture content, loading rate and grain orientation. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 448–452.
- Gupta, R. K., & Das, S. K. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00061-3)
- Haros, C., & Wronkowska, M. (2017). Pseudocereal Dry and Wet Milling: Processes, Products and Applications. In C. Haros & R. Schoenlechner (Eds.), *Pseudocereals Chemistry and technology*. USA.
- Herak, D., Kabutey, A., Divisova, M., & Simanjuntak, S. (2013). Mathematical model of mechanical behaviour of *Jatropha curcas* L. seeds under compression loading. *Biosystems Engineering*, 114(3), 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.007>
- Higinio, V. (2011). *Elaboracion de una mezcla instantanea de arroz (Oriza sativa), cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) y kiwicha (Amarantus caudatus) por el método de coocion por extrusión*.
- Höhne, G., Hemminger, W., & Flammersheim, H. (2003). *Differential Scanning Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-06710-9>
- Huamán, N., & Yupanqui, G. (2016). Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la difusividad termica en granos andinos. *SciELO*.
- Huichi, A. (2018). *determinacion de las isothermas de sorción de agua, propiedades microestructurales y termicas de dos variedades de granos de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) con y sin perigonio* (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11136/Huiche\\_Mamani\\_Amparo\\_Lilliam\\_Gisella.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11136/Huiche_Mamani_Amparo_Lilliam_Gisella.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ikegwu, O. J., & Ezech, C. Q. (2012). Thermal Properties of *Kerstingiella geocarpa* Seeds as Influenced by Moisture Content. *Nigerian Food Journal*, 30(2), 100–105. [https://doi.org/10.1016/s0189-7241\(15\)30042-4](https://doi.org/10.1016/s0189-7241(15)30042-4)
- INIA, P. (2004). *Cañihua INIA 406 Illpa, nueva variedad de cañihua* (p. 2). p. 2. Puno, Perú: Direccion General de Extencion Agraria, Estacion Expeimental Agraria Illpa - Puno.



- Kabutey, A., Herák, D., Chotěborský, R., Sigalingging, R., & Mizera, Č. (2015). Effect of compression speed on energy requirement and oil yield of *Jatropha curcas* L. bulk seeds under linear compression. *Biosystems Engineering*, 136, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.05.003>
- Karaj, S., & Müller, J. (2010). Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops and Products*, 32(2), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.001>
- Khodabakhshian, R., & Emadi, B. (2011). Determination of the modulus of elasticity in agricultural seeds on the basis of elasticity theory. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 7(3), 367–373. Retrieved from [http://www.idosi.org/mejsr/mejsr7\(3\)11/19.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr7(3)11/19.pdf)
- Kingsly, A. R. P., Singh, D. B., Manikantan, M. R., & Jain, R. K. (2006). Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (Anardana). *Journal of Food Engineering*, 75(4), 492–496. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.033>
- Kulig, R., Łysiak, G., & Skonecki, S. (2015). Prediction of pelleting outcomes based on moisture versus strain hysteresis during the loading of individual pea seeds. *Biosystems Engineering*, 129(2004), 226–236. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.10.013>
- Lide, R. (2009). *Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Lupano, C. (1986). *Deterioro bioquímico durante el secado del trigo*. Universidad Nacional de la Plata.
- Mamani, E. (2013). *Caracterización Molecular de 26 accesiones de Cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) con mayor rendimiento en grano: Altiplano - Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Manuwa, S. I., & Muhammad, H. A. (2011). Effects of moisture content and compression axis on mechanical properties of Shea kernel. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 144–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.017>
- Marquez, B. (2014). *Cenizas y Grasas, teoría del muestreo* (Universidad Nacional de San Agustín). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, W., Melin, Foraquita, L., & Lipa, N. (2010). *thermal properties from two varieties of cañihua (chenopodium canihua Cook)*. Puno, Perú y Chillán, Chile.
- Medina, W., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2010). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.07.010>
- Micić, D. M., Ostojić, S. B., Simonović, M. B., Pezo, L. L., & Simonović, B. R. (2015). Thermal behavior of raspberry and blackberry seed flours and oils. *Thermochimica Acta*, 617, 7. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.08.017>



- Moneo, L. (2018). Kañiwa, una semilla con múltiples propiedades. Retrieved from revista de salud y bienestar website: [https://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/alimentos-saludables/beneficios-de-la-kaniwa-para-la-salud#book\\_content](https://www.webconsultas.com/dieta-y-nutricion/alimentos-saludables/beneficios-de-la-kaniwa-para-la-salud#book_content)
- Moscoso, A., Zavaleta, A. I., & Mujica, A. (2017). Fraccionamiento y caracterización electroforética de las proteínas de la semilla de kañihua ( *Chenopodium pallidicaule* Aellen ). *Revista Chilena de Nutricion*, (January), 11. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000200005>
- Mosquera, L., Arias, S., Jimenez, D., Lopez, D., & Osorio, A. (2015). Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos. *Revista Vector*, 9(2014), 24. Retrieved from [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector9\\_4.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector9_4.pdf)
- Muhamad, I. I., & Campbell, G. M. (2004). Effects of kernel hardness and moisture content on wheat breakage in the single kernel characterisation system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(1), 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2003.10.003>
- Murthy, C. T., & Bhattacharya, S. (1998). Moisture dependent physical and uniaxial compression properties of black pepper. *Journal of Food Engineering*.
- Mwithiga, G., & Sifuna, M. M. (2006). Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 480–486. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.053>
- Naji, S., Razavi, S. M. A., & Karazhiyan, H. (2012). Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidium sativum*) and xanthan gums: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.11.012>
- Navarro, M. (2007). *ANALISIS DE ALIMENTOS 1* (p. 63). p. 63. Retrieved from <http://www.etpcba.com.ar/DocumentosDconsulta/ALIMENTOS-PROCESOS Y QUÍMICA/Manual de prácticos en alimentos.pdf>
- Nijman, M., Fedelich, N., Hammer, A., Hempel, E., Jing, N., Riesen, R., ... Wrana, C. (2016). Thermal Analysis in Practice - Tips and Hints. *Perkin Elmer*, 2, 48 pp.
- Noraphaiphaksa, N., Sochu, W., Manonukul, A., & Kanchanomai, C. (2016). Experimental and numerical investigations to determine the modulus and fracture mechanics of tamarind seed (*Tamarindus indica* L.). *Biosystems Engineering*, 151, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.021>
- NTP 205.002:1979. (2016). *CEREALES Y MENESTRAS. Determinación del contenido de humedad. Método usual. 1a Edición.*
- NTP 205.003:1980. (2011). *CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de la fibra cruda. 1a Edición.*
- NTP 205.005:2018. (2018). *CEREALES Y MENESTRAS. Cereales. Determinación de proteínas totales (método de Kjeldahl).*





- NTP 205.006:2017. (2017). *CEREALES Y MENESTRAS. Determinación de materia grasa. 2ª Edición.*
- Orrego, E. (2003). *Procesamiento de Alimentos.* Colombia.
- Pauro, T. (2017). Evaluación del comportamiento de almidones y harinas de dos variedades de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) procesada para la preparación de harinas precocidas. Universidad Nacional del Altiplano.
- Peñarrieta, M., Alvarado, A., Akesson, B., & Bergenstahl, B. (2008). Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular Nutrition & Food Research*, 10. <https://doi.org/DOI10.1002/mnfr.200700189>
- Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Escalante-Aburto, A., Torres-Chávez, P. I., & Figueroa-Cárdenas, J. de D. (2016). Mechanical Properties in Wheat (*Triticum aestivum*) Kernels Evaluated by Compression Tests: A Review. *Viscoelastic and Viscoplastic Materials*, (September). <https://doi.org/10.5772/64171>
- Pujala, M., Sánchez-Rodríguez, D., Lopez-Olmedo, J. P., Farjas, J., & Roura, P. (2016). Measuring thermal conductivity of powders with differential scanning calorimetry: A simplified method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125(2), 571–577. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5274-4>
- Ranilla, L. G., Apostolidis, E., Genovese, M. I., Lajolo, F. M., & Shetty, K. (2009). Evaluation of indigenous grains from the Peruvian Andean region for antidiabetes and antihypertension potential using in vitro methods. *Journal of Medicinal Food*, 12(4), 704–713. <https://doi.org/10.1089/jmf.2008.0122>
- Razavi, S. M. A., & Edalatian, M. R. (2012). Effect of moisture contents and compression axes on physical and mechanical properties of pistachio kernel. *International Journal of Food Properties*, 15(3), 507–517. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.492541>
- Repo-Carrasco-Valencia, R. (2017). Dietary Fibre and Bioactive Compounds of Kernels. In C. Haros & R. Schoenlechner (Eds.), *Pseudocereals Chemistry and technology.* USA.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>
- Repo-Carrasco-Valencia, Ritva, Acevedo de La Cruz, A., Icochea Alvarez, J. C., & Kallio, H. (2009). Chemical and functional characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 64(2), 94–101. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0109-0>
- Repo-Carrasco-Valencia, Ritva, & Valdez, J. (2017). Carbohydrates of kernels. In C. M. Haros & R. Schoenlechner (Eds.), *Pseudocereals* (Chemistry, p. 263). USA.



- Repo-Carrasco, R. (2011). *Andean indigenous food crops: nutritional value and bioactive compounds*. Turku, Finland.
- Rico, A. M., Santos, G. G. D. L., Mancera, H. A. Z., Carballo, A. C., & Salazar, J. A. C. (2016). *Resistencia a ruptura y calidad fisiológica en semillas de maíz bajo compresión axial \* Fracture resistance and physiological quality of corn seeds under axial compression Resumen Introducción*. 7, 45–57.
- Rojas, B. (2012). Efecto del contenido de humedad sobre algunas propiedades mecánicas de la semilla de Vitabosa (Macuna deeringiana). *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 6.
- Saiedirad, M. H., Tabatabaeefar, A., Borghei, A., Mirsalehi, M., Badii, F., & Ghasemi-Varnamkhashti, M. (2008). Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static loading. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.021>
- Salas-Valero, L. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2015). Biofilms based on canihua flour (*Chenopodium Pallidicaule*): Design and characterization. *Quimica Nova*, 38(1), 14–21. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140275>
- Saravacos, G., & Maroulis, Z. (2012). *Food Process Engineering Operations* (D.-W. Sun, Ed.). CRC press, Taylor and Francis group.
- Schoenlechner, R. (2017). Quinoa: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In J. Taylor & J. Awika (Eds.), *Gluten-Free Ancient Grains Cereals, Pseudocereals, and Legumes: Sustainable, Nutritious, and Health-Promoting Foods for the 21st Century*. Viena, Austria: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Seifi, M. R., & Alimardani, R. (2010). The Moisture Content Effect on Some Physical and Mechanical Properties of Corn (Sc 704). *Journal of Agricultural Science*, 2(4). <https://doi.org/10.5539/jas.v2n4p125>
- Serpil, S., & Gülüm, S. (2006). *Physical Properties of Food* (Middle Eas). Ankara, Turquia: Springer Science.
- Shelef, L., & Mohsenin, N. (1969). *Effect of moisture content on mechanical properties of shelled corn* (p. 12). p. 12. Retrieved from [https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1969/documents/chem46\\_242.pdf](https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1969/documents/chem46_242.pdf)
- Shirmohammadi, M., Yarlagadda, P. K. D. V., Gudimetla, P., & Kosse, V. (2012). Mechanical behaviours of pumpkin peel under compression test. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 337, 1–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.337.3>
- Singh, P., & Heldman, D. (2014). *Introduction to Food Ingeniering* (Fifth Edit). Lincoln, USA: Academic Press and Elsevier.
- Steffe, J. (1996). Rheological Methods in Food Process Engineering. In *Freeman Press*



- (2da ed.). Michigan, USA: Freeman Press.
- Tapia, M. (2000). Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentacion. *Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Alimentacion*. Retrieved from [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro10/home10.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro10/home10.htm)
- Velásquez, R. (2018). *Cosecha orgánica de granos andinos* (M. Bustincio, Ed.). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Voicu, G., Ungureanu, N., & Constantin, G. A. (2013). Some mechanical characteristics of wheat seeds Obtained By Uniaxial Compression Tests. *Scientific Bulletin*, (January), 15.
- Wagner, M. (2017). *Thermal Analysis in Practice* (Mettler To). Schwerzenbach.
- Wilhelm, Luther R., Dwayne A. Suter, and Gerald H. Brusewitz, Wilhelm, Luther R., ... and Gerald H. Brusewitz. (2013). Physical Properties of Food Materials. *Food & Process Engineering Technology*, 23–52. <https://doi.org/10.13031/2013.17550>
- Yu, L., Witt, T., Rincon Bonilla, M., Turner, M. S., Fitzgerald, M., & Stokes, J. R. (2019). New insights into cooked rice quality by measuring modulus, adhesion and cohesion at the level of an individual rice grain. *Journal of Food Engineering*, 240(July 2017), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.010>
- Zhang, Z. shan, Kang, Y. jie, & Che, L. (2019). Composition and thermal characteristics of seed oil obtained from Chinese amaranth. *Lwt -Food Science and Technology*, 111(January), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.007>



## ANEXOS

### ANEXO A

#### VARIETADES DE CAÑIHUA LIBRE DE PERIGONIO



Fig. A.1: Grano de cañihua variedad Cupi.



Fig. A.2: Grano de cañihua variedad Ramis.



Fig. A.1: Grano de cañihua variedad Illpa-INIA 406.

## ANEXO B

### CARACTERÍSTICAS DE LAS SEMILLAS DE CAÑIHUA UTILIZADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO

<b>"AGROPECUARIA CAPALLINO"</b>			
De: Ingeniero Agrónomo Bartolomé Poma Machaca			
<b>REGISTRO DE PRODUCTOR DE SEMILLA N° 063 - 2014 - INIA</b>			
Especie	<i>CHENOPODIUM PALLIDICAVLE</i>	Fecha de análisis de calidad	<i>15-07-2019</i>
Cultivar	<i>RAMIS</i>	Pureza varietal	<i>96 %</i>
Categoría	<i>NC</i>	% Germinación	<i>95 %</i>
Código de lote	<i>001/19</i>	Peso neto	<i>2,0 Kg.</i>
Condiciones de almacenamiento	<i>NORMALES</i>	Tratamiento	<i>ORGANICO</i>
		Campaña Agrícola	<i>2018-19</i>
Predio	<i>CAPALLINO QUECHUATE</i>	Ubicación	<i>HUANCANE - TARACO</i>
DIRECCIÓN: JR. MARIANO H. CORNEJO N° 133 - PUNO Telf: 051-364780 / CEL: 950-906808 E-mail: bapoma1@hotmail.com			

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO			
	MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO		<b>E.E.A.ILLPA</b> PUNO - PERÚ
<b>PRODUCCIÓN DE SEMILLAS PLANTONES Y REPRODUCTORES</b>			
Nombre o Razón Social del productor: INIA Registro Productor de Semilla N° 072 - 2001 - AG - SENASA			
Especie:	<i>cañihua</i>	Fecha de Análisis de calidad:	<i>15-10-18</i>
Cultivar:	<i>ILLPA Inia</i>	Pureza Varietal:	<i>99,7 %</i>
Categoría:	<i>No-certificada</i>	% Germinación:	<i>97</i>
Código de lote:	<i>NC-1121-007-16</i>	Peso neto:	<i>6 Kls.</i>
Condiciones de almacenamiento:		Tratamiento:	
		Campaña Agrícola:	<i>2016-2017</i>
Dirección: Rinconada de Salcedo s/n, Fax: (051) 363812 E-mail: illpa@inia.gob.pe			

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO			
	MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO		<b>E.E.A.ILLPA</b> PUNO - PERÚ
<b>PRODUCCIÓN DE SEMILLAS PLANTONES Y REPRODUCTORES</b>			
Nombre o Razón Social del productor: INIA Registro Productor de Semilla N° 072 - 2001 - AG - SENASA			
Especie:	<i>cañihua</i>	Fecha de Análisis de calidad:	<i>16-10-18</i>
Cultivar:	<i>CUPI</i>	Pureza Varietal:	<i>99,9 %</i>
Categoría:	<i>No-certificada</i>	% Germinación:	<i>93</i>
Código de lote:	<i>NC-1111-006-16</i>	Peso neto:	<i>5 Kg.</i>
Condiciones de almacenamiento:		Tratamiento:	
		Campaña Agrícola:	<i>2016-17</i>
Dirección: Rinconada de Salcedo s/n, Fax: (051) 363812 E-mail: illpa@inia.gob.pe			

Fig. B.1: Proveedores de las semillas de cañihua para las tres variedades y algunas de sus características agronómicas.





## ANEXO C

### INFORME DE ENSAYOS REALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



**INFORME DE ENSAYOS**  
**N° 008911-2019**

<b>SOLICITANTE</b>	: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO
<b>DIRECCIÓN LEGAL</b>	: AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO RUC : 20145496170      Teléfono : 051-353482
<b>PRODUCTO</b>	: GRANOS DE CAÑIHUA
<b>NUMERO DE MUESTRAS</b>	: Uno
<b>IDENTIFICACIÓN/METRA</b>	: VARIEDAD ILLPA INIA
<b>CANTIDAD RECIBIDA</b>	: 500 g de muestra proporcionada por el solicitante.
<b>MARCAS</b>	: S.M.
<b>FORMA DE PRESENTACIÓN</b>	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.
<b>SOLICITUD DE SERVICIOS</b>	: S/S N°EN-005726-2019
<b>REFERENCIA</b>	: VIA EMAIL
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 22/10/2019
<b>ENSAYOS SOLICITADOS</b>	: FÍSICO / QUÍMICO
<b>PERIODO DE CUSTODIA</b>	: No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**  
ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1.- % Kcal proveniente de Grasa	11,5	11,4	11,5	11,5	11,4
2.- % Kcal proveniente de Proteínas	16,9	16,8	17,0	16,9	16,9
3.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	65,8	65,94	65,75	65,82	65,89
4.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	367,5	367,3	367,52	367,49	367,41
5.- Proteína Cruda (g/100 g de muestra original)(Factor: 6,25)	15,5	15,4	15,6	15,3	15,5
6.- Cenizas (g/100 g de muestra original)	2,3	2,32	2,30	2,33	2,32
7.- % Kcal proveniente de Carbohidratos	71,6	71,8	71,6	71,6	71,7
8.- Grasa (g/100g de muestra original)	4,7	4,66	4,68	4,69	4,65
9.- Humedad (g/100 g de muestra original)	11,7	11,68	11,67	11,66	11,64
10.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- Por Cálculo MS-INN Colazos 1993
- 2.- Por Cálculo MS-INN Colazos 1993
- 3.- Por Diferencia MS-INN Colazos 1993
- 4.- Por Cálculo MS-INN Colazos 1993
- 5.- NTP 205.005.2018
- 6.- NTP 205.004.2017
- 7.- Por Cálculo MS-INN Colazos 1993
- 8.- NTP 205.006.2017
- 9.- NTP 205.002.1979 (Revisado al 2016)
- 10.- NTP 205.003.1980 (Revisado al 2011)



CONTINUA INFORME DE ENSAYOS N° 008911-2019

Pág. 1/2

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



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

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



**INFORME DE ENSAYOS**

N° 008913-2019

**SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO - PUNO  
 RUC : 20145496170 Teléfono : 051-353482  
**PRODUCTO** : GRANOS DE CAÑIHUA  
**NÚMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA** : VARIEDAD CUPI  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 500 g de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.  
**SOLICITUD DE SERVICIOS** : S/S N°EN- 005726-2019  
**REFERENCIA** : VIA EMAIL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 22/10/2019  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO / QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**

**ALCANCE:** N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1.- % Kcal proveniente de Grasa	17,7	17,7	17,7	17,7	17,8
2.- % Kcal proveniente de Proteínas	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
3.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	65,8	65,75	65,74	65,73	65,72
4.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	392,1	392,17	391,95	392,09	392,14
5.- Pectina Cruda (g/100 g de muestra original) Factor: 0,25)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
6.- Celulosa (g/100 g de muestra original)	2,4	2,41	2,43	2,43	2,42
7.- % Kcal proveniente de Carbohidratos	67,1	67,1	67,1	67,1	67,0
8.- Grasa (g/100g de muestra original)	7,7	7,75	7,71	7,73	7,74
9.- Humedad (g/100 g de muestra original)	9,2	9,21	9,22	9,21	9,21
10.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	3,2	3,3	3,2	3,1	3,2

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- Per Cálculo MS-INN Colizos 1993
- 2.- Per Cálculo MS-INN Colizos 1993
- 3.- Per Diferencia MS-INN Colizos 1993
- 4.- Per Cálculo MS-INN Colizos 1993
- 5.- NTP 205.005.2016
- 6.- NTP 205.004.2017
- 7.- Per Cálculo MS-INN Colizos 1993
- 8.- NTP 205.006.2017
- 9.- NTP 205.002.1979 (Revisado al 2016)
- 10.- NTP 205.003.1980 (Revisada al 2011)



CONTINUA INFORME DE ENSAYOS N° 008913-2019

Pág. 1/2



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

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



**INFORME DE ENSAYOS**

N° 008912-2019

**SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO - PUNO  
 RUC : 20145496170 Teléfono : 051-353482  
**PRODUCTO** : GRANOS DE CAÑIHUA  
**NUMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MITRA** : VARIEDAD RAMIS  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 500 g de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.  
**SOLICITUD DE SERVICIOS** : S/S N°EN- 005726-2019  
**REFERENCIA** : VIA EMAIL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 22/10/2019  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO / QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1.- % Kcal. proveniente de Grasas	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
2.- % Kcal. proveniente de Proteínas	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
3.- Carbohidratos (g/100 g de muestra original)	66,7	66,63	66,78	66,66	66,68
4.- Energía Total (Kcal/100 g de muestra original)	389,4	389,21	389,32	389,33	389,52
5.- Fosforo Crudo (g/100 g de muestra original)(Factor: 6,25)	14,9	14,9	14,8	14,9	14,9
6.- Cenizas (g/100 g de muestra original)	2,5	2,52	2,54	2,53	2,53
7.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos	68,5	68,5	68,6	68,5	68,5
8.- Grasa (g/100g de muestra original)	7,0	7,01	7,00	7,01	7,00
9.- Humedad (g/100 g de muestra original)	8,9	8,94	8,88	8,90	8,89
10.- Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	3,0	3,1	3,0	3,0	2,9

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- Por Cálculo MS-INN Colozos- 1993
- 2.- Por Cálculo MS-INN Colozos- 1993
- 3.- Por Diferencia MS-INN Colozos 1993
- 4.- Por Cálculo MS-INN Colozos- 1993
- 5.- NTP 205.005:2018
- 6.- NTP 205.004:2017
- 7.- Por Cálculo MS-INN Colozos 1993
- 8.- NTP 205.006:2017
- 9.- NTP 205.002:1979 (Revisado al 2016)
- 10.- NTP 205.003:1980 (Revisado al 2011)



CONTINUA INFORME DE ENSAYOS N° 008912-2019

Pág. 1/2





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

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*

**INFORME DE ENSAYOS**

N° 008908-2019



**SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO - PUNO  
 RUC : 20145496170 Teléfono : 051-353482  
**PRODUCTO** : GRANOS DE CAÑHUA  
**NUMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MOTRA** : VARIEDAD ILLPA INIA  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 1109,5 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.  
**SOLICITUD DE SERVICIOS** : S/S N°EN-005728-2019  
**REFERENCIA** : VIA EMAIL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 22/10/2019  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO / QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Calcio (mg / kg de muestra original)	1006,0	1005,73	1006,34
2.- Fósforo (mg / kg de muestra original)	9163,1	9186,33	9139,92
3.- Hierro (mg / kg de muestra original)	57,2	57,37	57,07
4.- Magnesio (mg / kg de muestra original)	1810,8	1805,46	1816,20
5.- Potasio (mg / kg de muestra original)	5183,6	5172,10	5195,17
6.- Zinc (mg / kg de muestra original)	33,9	33,57	34,26

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 2.- AOAC 995.24 Cap. 50, Pág. 13-14, 21th Edition 2019
- 3.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 4.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 5.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 6.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019

**FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS:** Del 23/10/2019 Al 07/11/2019.

**ADVERTENCIA:**

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

La Molina, 07 de Noviembre de 2019



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM  
 Ing. Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral  
 DIRECTORA TÉCNICA  
 C.O.P. N° 835

Pág. 1/1



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

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*

**INFORME DE ENSAYOS**

N° 008910-2019



**SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO  
 RUC : 20145496170 Teléfono : 051-353482  
**PRODUCTO** : GRANOS DE CAÑIHUA  
**NUMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA** : VARIEDAD CUPU  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 1083,1 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.  
**SOLICITUD DE SERVICIOS** : S/S N°EN- 005728-2019  
**REFERENCIA** : VIA EMAIL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 22/10/2019  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO / QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Calcio (mg / kg de muestra original)	956,9	937,03	956,84
2.- Fósforo (mg / kg de muestra original)	8915,8	8916,72	8914,94
3.- Hierro (mg / kg de muestra original)	65,9	66,03	65,71
4.- Magnesio (mg / kg de muestra original)	1929,7	1928,92	1930,39
5.- Potasio (mg / kg de muestra original)	5529,0	5540,47	5517,47
6.- Zinc (mg / kg de muestra original)	36,6	36,92	36,33

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 2.- AOAC 986.24 Cap. 50, Pág. 13-14, 21th Edition 2019
- 3.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 4.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 5.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 6.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019

**FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS:** Del 23/10/2019 Al 07/11/2019.

**ADVERTENCIA:**

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

La Molina, 07 de Noviembre de 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM

*[Signature]*  
 Ing.-Mg.-Quím. MARY FLORE CÉSARE CORAL  
 DIRECTORA TÉCNICA  
 C.D.P. N° 635

Pág. 1/7

Av. La Molina S/N (tranco a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú  
 Telf.: (511) 3495640 - 3492007 Fax: (511) 3495784  
 E-mail: mitp@lamolina.edu.pe - Páginas Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad total



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

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



**INFORME DE ENSAYOS**

N° 008909-2019

**SOLICITANTE** : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AV. EL SOL NRO. 329 BARRIO BELLAVISTA PUNO - PUNO - PUNO  
 RUC : 20145496170 Teléfono : 051-353482  
**PRODUCTO** : GRANOS DE CAÑIHUA  
**NUMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA** : VARIEDAD RAMIS  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 1047,2 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada.  
**SOLICITUD DE SERVICIOS** : S/S N°EN- 005728-2019  
**REFERENCIA** : VIA EMAIL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 22/10/2019  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO / QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : No aplica

**RESULTADOS:**

**ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:**

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2
1.- Calcio (mg / kg de muestra original)	996,4	998,65	994,07
2.- Fósforo (mg / kg de muestra original)	9181,6	9181,20	9181,93
3.- Hierro (mg / kg de muestra original)	81,8	81,79	81,72
4.- Magnesio (mg / kg de muestra original)	1843,7	1850,10	1837,24
5.- Potasio (mg / kg de muestra original)	5832,0	5845,97	5817,98
6.- Zinc (mg / kg de muestra original)	42,1	42,15	41,99

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:**

- 1.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 2.- AOAC 986.24 Cap. 50, Pág. 13-14, 21th Edition 2019
- 3.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 4.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 5.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019
- 6.- AOAC 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 21th Edition 2019

**FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS:** Del 21/10/2019 Al 07/11/2019

**ADVERTENCIA:**

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

La Molina, 07 de Noviembre de 2019



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS-UNALM  
 Dirección Técnica  
 Ing. Mg. Guim Mary Flor Cásero Coral  
 DIRECTORA TÉCNICA  
 C.D.F. N° 835

Pág. 1/1



## ANEXO D

### DAÑO MECÁNICO EN LOS GRANOS DE CAÑIHUA DIFERENTES CONTENIDOS DE HUMEDAD



Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Cupi con 10 % de humedad b.s. promedio.

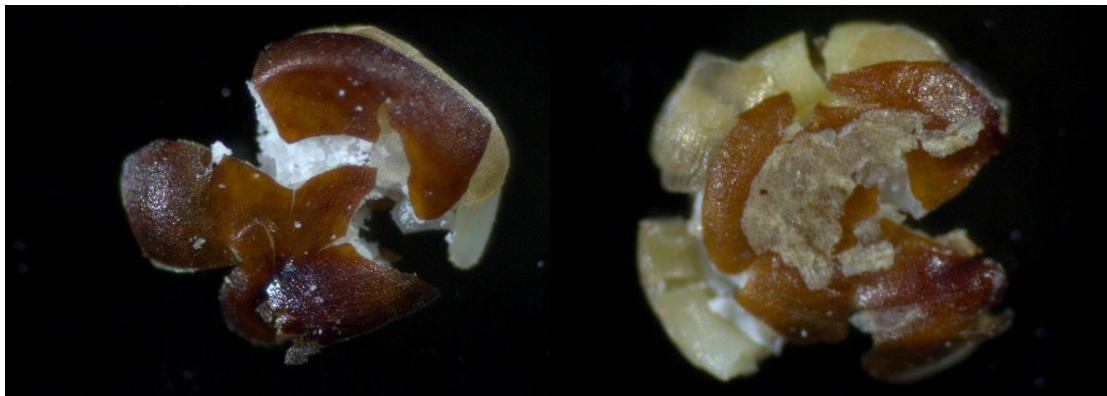


Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Illpa-INIA con 10 % de humedad b.s. promedio.



Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Ramis con 10 % de humedad b.s. promedio.

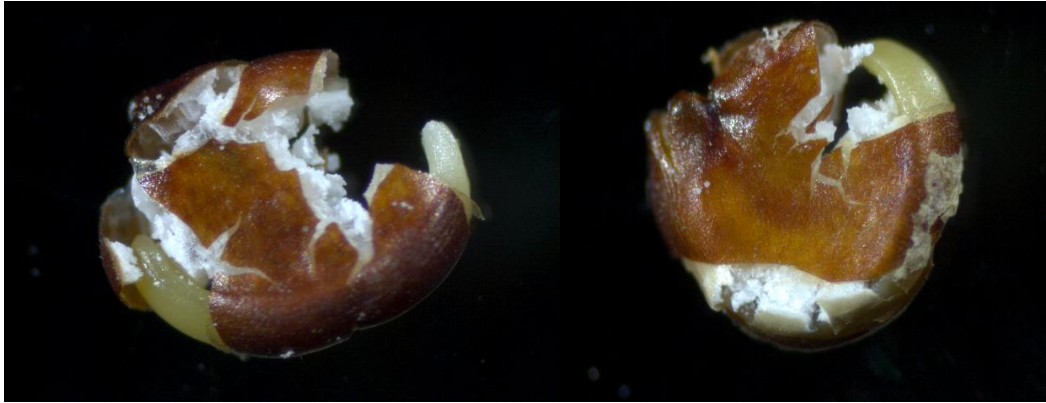


Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Cupi con 15 % de humedad b.s. promedio.

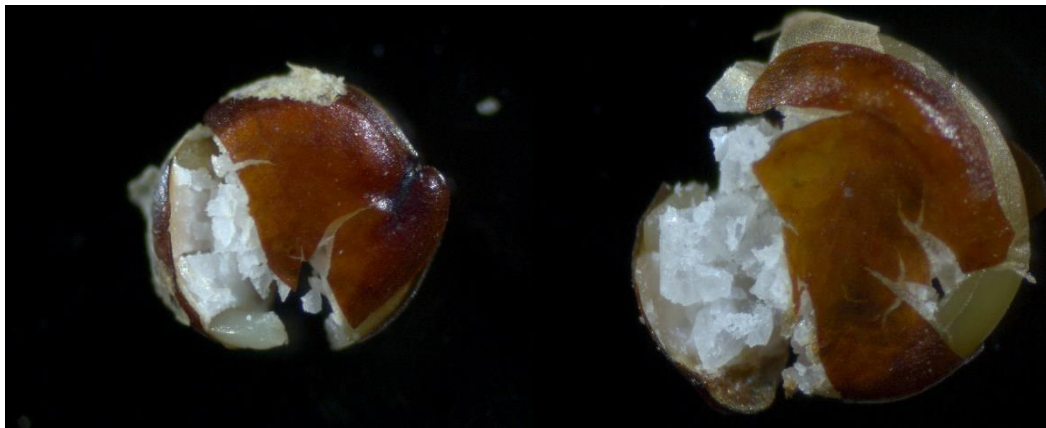


Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad illpa-INIA con 15 % de humedad b.s. promedio.

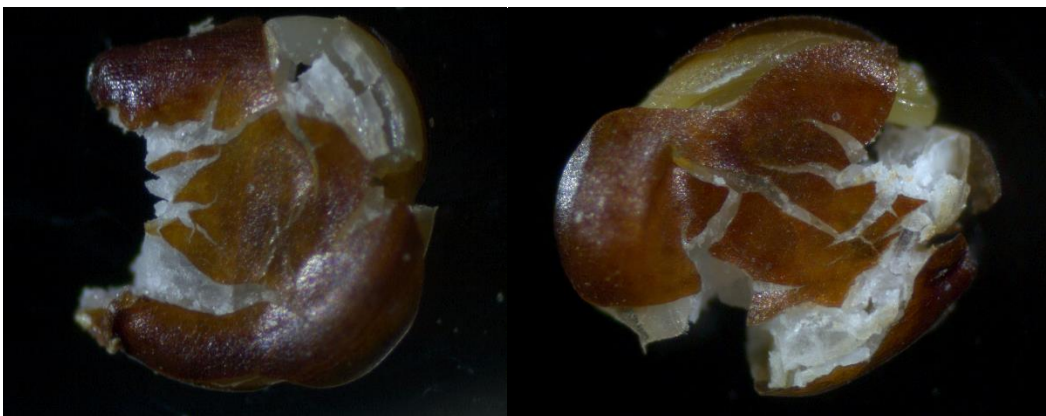


Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Ramis con 15 % de humedad b.s. promedio.



Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Cupi con 20 % de humedad b.s. promedio.

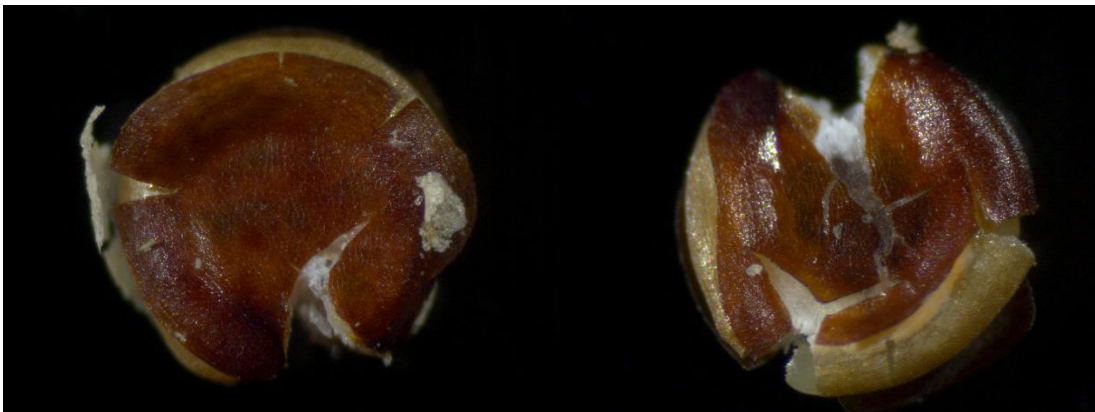


Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Illpa-INIA con 20 % de humedad b.s. promedio.



Fig. D.1: Daño mecánico ocasionado por la aplicación de fuerza externa a granos de la variedad Ramis con 20 % de humedad b.s. promedio.



## ANEXO E

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS



Fig. E.1: Pesado de los granos de cañihua para el acondicionamiento de humedad.



Fig. E.2: Acondicionamiento de humedad (15% y 20%) para las pruebas de compresión.

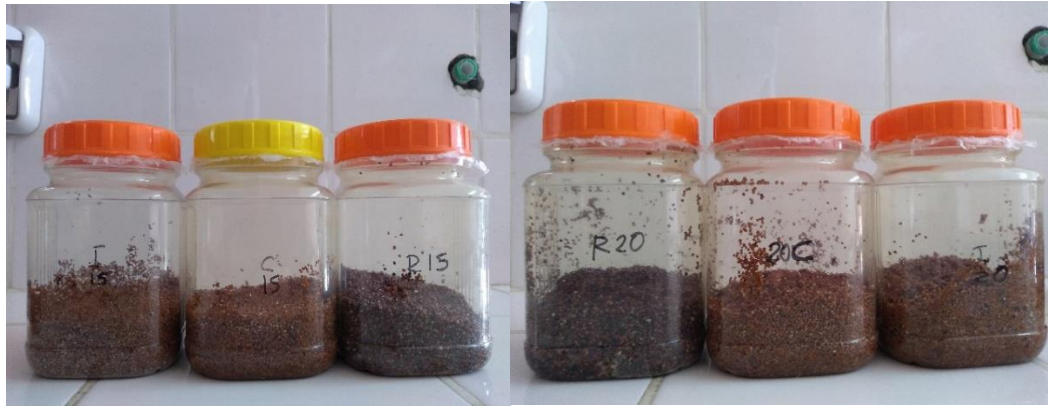


Fig. E.3: Acondicionamiento de humedad (15% y 20).



Fig. E.4: Almacenamiento de las muestras a 4 °C por 38 horas para la distribución homogénea de la humedad con agitación paulatina.

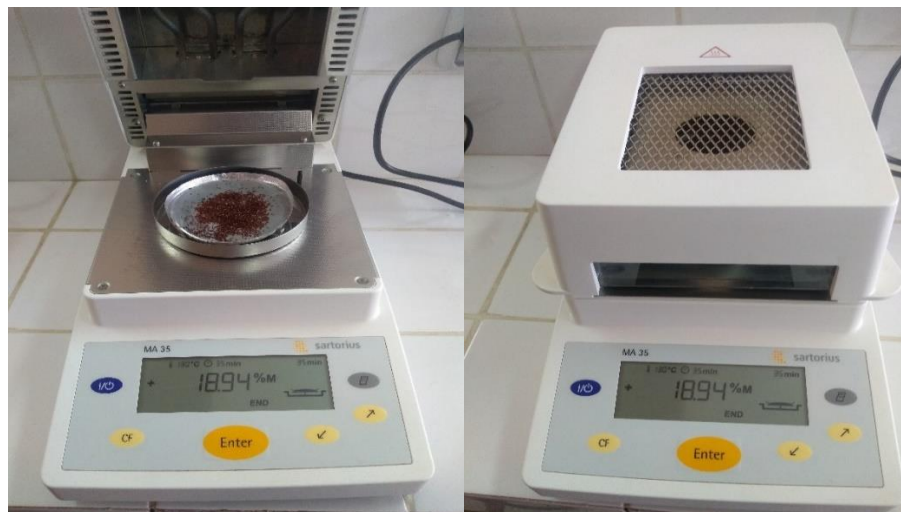


Fig. E.5: Medición de la humedad de los granos, además de los cálculos realizados.

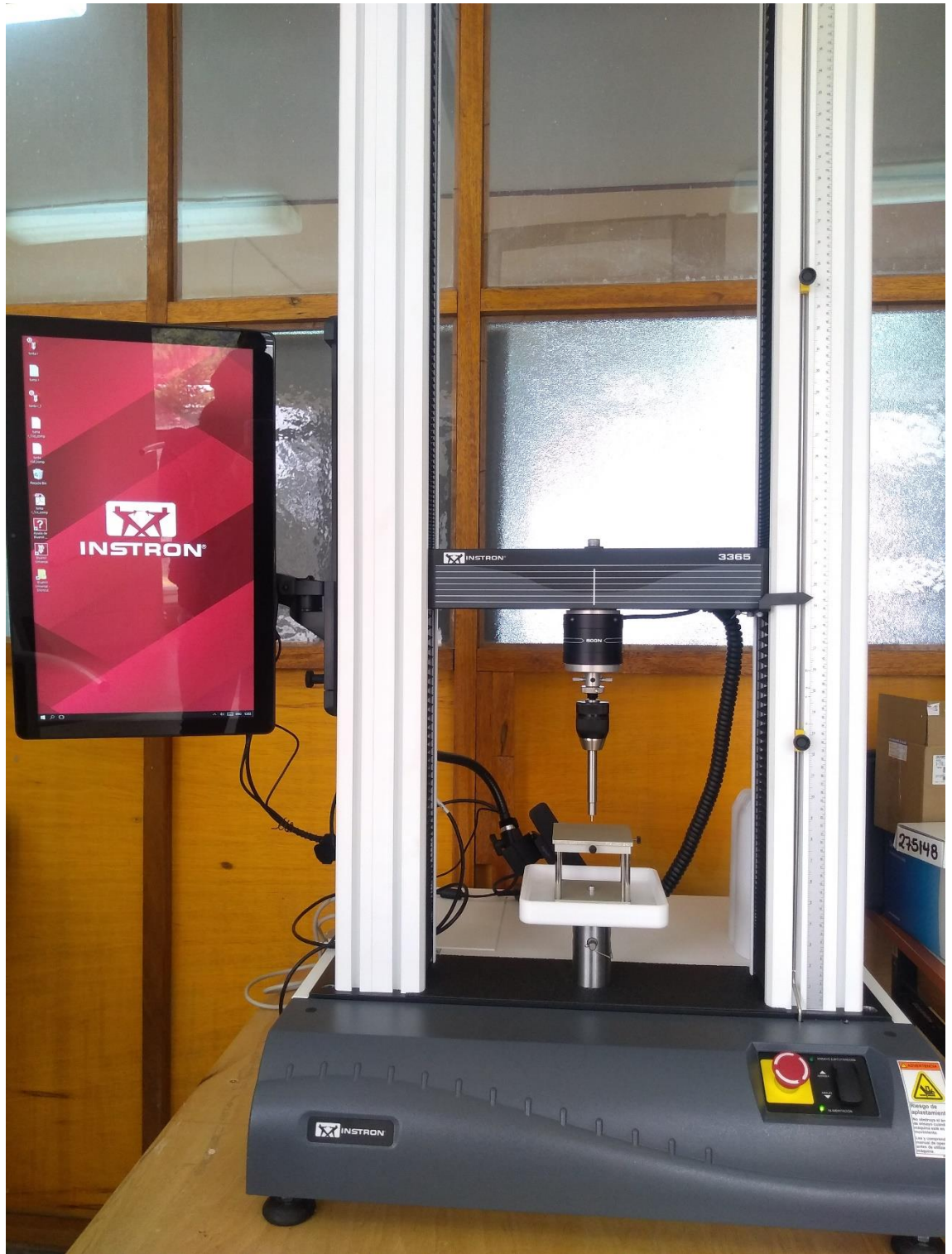


Fig. E.6: Equipo texturómetro INSTRON modelo 3365





Fig. E.7: Equipo texturómetro INSTRON preparado para las pruebas de compresión en los granos individuales.



Fig. E.8: Equipo texturómetro INSTRON preparado para las pruebas de compresión en los a granel.



Fig. E.9: Estereomicroscopio para la adquisición de imagen.



Fig. E.9: Observación de daño mecánico producido por la aplicación de fuerza externa.



## ANEXO F

### FOTOGRAFÍAS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMALES



Fig. F.1: Molino de anillos de 10 gramos de capacidad utilizado para la molienda de granos de cañihua



Fig. F.2: Tamizador electrónico para obtener partículas de diferentes tamaños.



Fig. F.3: Balanza de humedad para la determinación de humedad de harina de cañihua.



Fig. F.4: Microbalanza utilizada para pesar las muestras



Fig. F.5: Medición del diámetro de la esfera de indio.

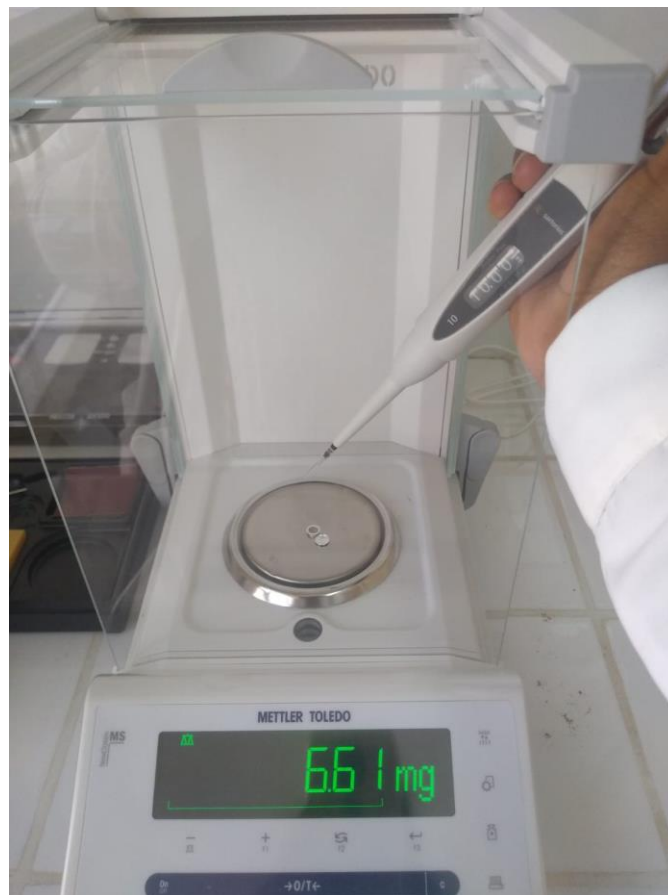


Fig. F.6: Adición de agua destilada con la ayuda de una micropipeta de 10 µl.

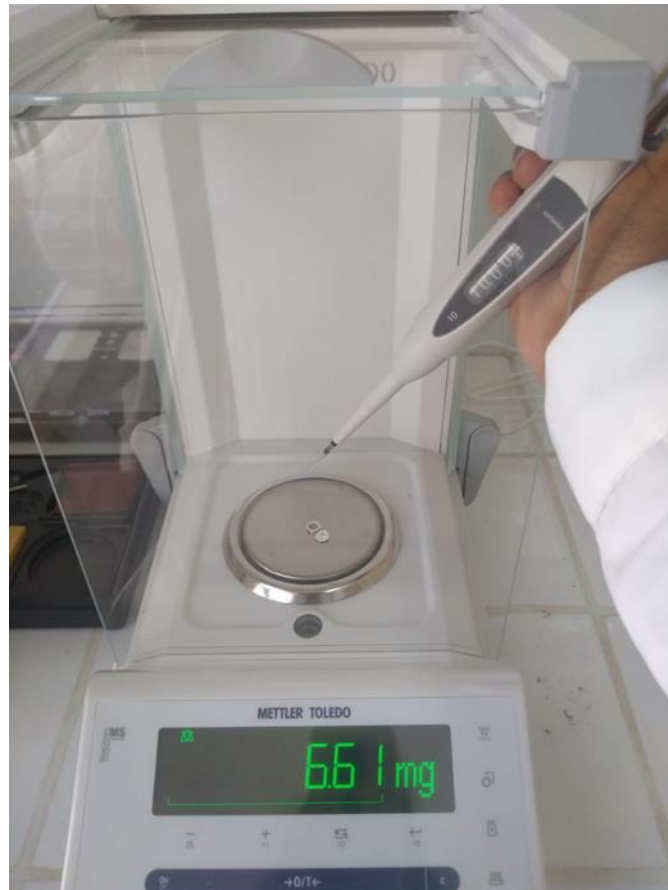


Fig. F.7: Soldado en frío de los crisoles de aluminio de 40  $\mu$ l.



Fig. F.8: Análisis de las propiedades termales en el equipo calorímetro diferencial de barrido (DSC)

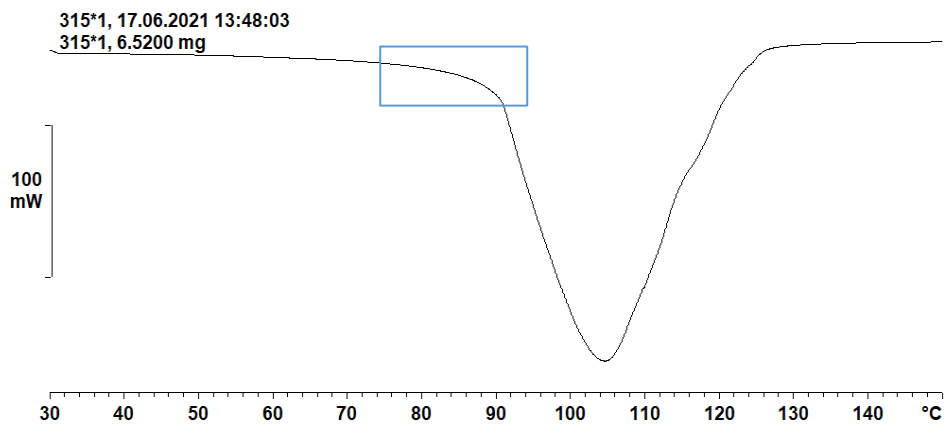


Fig. F.9: Termograma para la determinación de  $C_p$  y  $T_g$  con fines de ejemplo. El área resaltada corresponde al comienzo de discontinuidad de la capacidad calorífica.

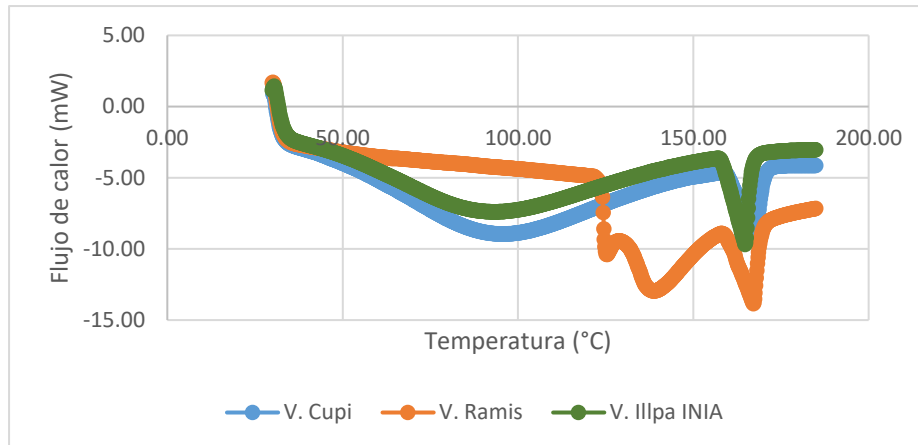


Fig. F.10: Termograma obtenido para tres variedades de harina de cañihua a 10 % de humedad en el equipo calorímetro diferencial de barrido.

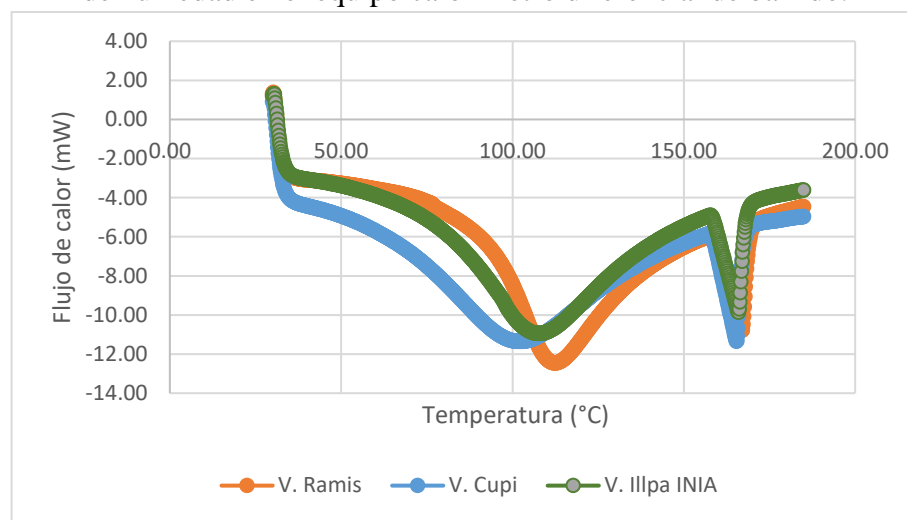


Fig. F.11: Termograma obtenido para tres variedades de harina de cañihua a 15 % de humedad en el equipo calorímetro diferencial de barrido.

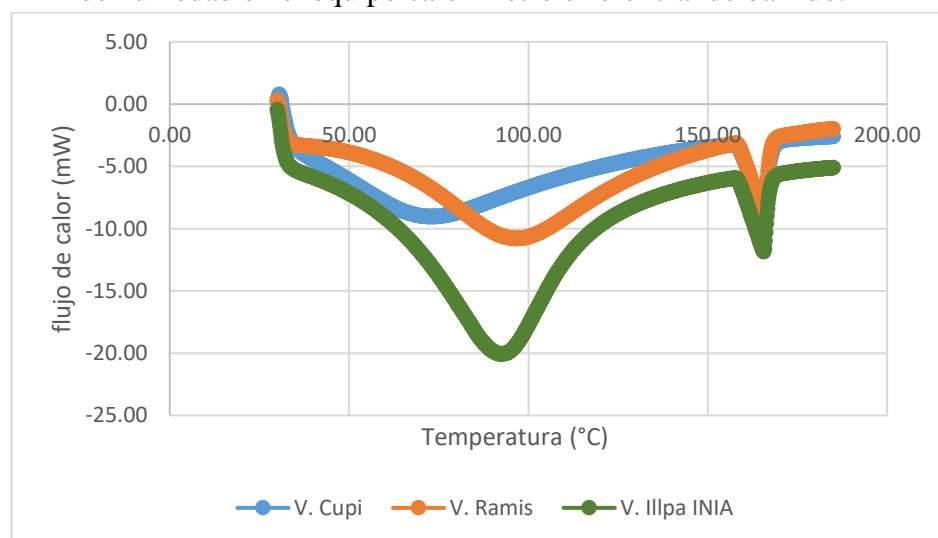


Fig. F.12: Termograma obtenido para tres variedades de harina de cañihua a 20 % de humedad en el equipo calorímetro diferencial de barrido.





## ANEXO G

TABLA DE PESOS DE LOS COMPONENTES (graficados en las fig. 35 y 36)

Tabla G.1: pesos de los componentes principales 1 y 2.

	Componente 1	Componente 2
proteína	0.14148	0.18133
grasa	-0.094551	-0.21713
carbohidratos	-0.20541	0.065788
fibra	0.15928	0.16121
ceniza	-0.1994	-0.086392
energía total	-0.11833	-0.20156
Kcal proteína	0.13031	0.19181
Kcal grasa	-0.092442	-0.2183
Kcal carbohidratos	0.076997	0.22588
calcio	-0.060598	0.23222
hierro	-0.20934	-0.047211
magnesio	0.019999	-0.24112
fosforo	-0.088378	0.22045
zinc	-0.21024	-0.041751
potasio	-0.19638	-0.094856
FF 10%	-0.19791	0.090682
EF 10 %	-0.20142	0.080127
FR 10 %	0.1125	-0.20581
ER 10 %	0.15751	-0.16344
FF 15 %	-0.20739	0.057252
EF 15 %	-0.2072	0.058116
FR 15 %	0.20405	-0.071019
ER 15 %	0.083153	-0.22305
FF 20 %	-0.21197	0.028346
EF 20 %	-0.21123	0.034767
FR 20 %	0.028961	-0.23995
ER 20 %	-0.020347	-0.24109
conductividad térmica 10 %	-0.21303	0.014924
difusividad térmica 10 %	-0.21305	0.014523
calor específico 10 %	0.21038	-0.04084
T. trans. vítrea 10 %	0.19494	-0.09862
conductividad térmica 15 %	-0.15833	-0.16241
difusividad térmica 15 %	-0.15904	-0.16152
calor específico 15 %	-0.096948	0.21576
T. trans. vítrea 15 %	-0.20198	0.078268
conductividad térmica 20 %	-0.02273	0.24081
difusividad térmica 20 %	-0.025217	0.24049
calor específico 20 %	-0.21343	-0.0017843
T. trans. vítrea 20 %	0.13036	0.19177

Tabla G.2: resumen de diferencia entre las variedades estudiadas.

Fila	Etiqueta	Componente 1	Componente 2
1	Cupi	1.9298	-4.4541
2	Ramis	-5.3419	0.75419
3	Illpa-INIA	3.4121	3.6999

## ANEXO H

### TABLAS ANOVA Y PRUEBA MÚLTIPLE DE RANGOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS

Tabla H.1: Tabla ANOVA para Contenido de Proteína por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.98595	2	0.49297	156.50	0.0000
Intra grupos	0.02835	9	0.00315		
Total (Corr.)	1.0143	11			

Tabla H.2: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Proteína por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	4	14.878	a
V. Cupi	4	14.908	a
V. Illpa-INIA	4	15.5	b

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tabla H.3: Tabla ANOVA para Contenido de Grasa por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	20.531	2	10.266	30045.68	0.0000
Intra grupos	0.003075	9	0.00034167		
Total (Corr.)	20.534	11			

Tabla H.4: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Grasa por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	4	4.67	a
V. Ramis	4	7.0225	b
V. Cupi	4	7.73	c



Tabla H.5: Tabla ANOVA para Contenido de Carbohidratos por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.1625	2	1.0813	288.12	0.0000
Intra grupos	0.033775	9	0.0037528		
Total (Corr.)	2.1963	11			

Tabla H.6: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Carbohidratos por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	4	65.735	a
V. Illpa-INIA	4	65.85	a
V. Ramis	4	66.688	b

Tabla H.7: Tabla ANOVA para Contenido de Ceniza por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.090317	2	0.045158	427.82	0.0000
Intra grupos	0.00095	9	0.00010556		
Total (Corr.)	0.091267	11			

Tabla H.8: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Ceniza por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	4	2.3175	a
V. Cupi	4	2.4225	b
V. Ramis	4	2.53	c

Tabla H.9: Tabla ANOVA para Contenido de fibra por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.7731	2	0.88653	101.51	0.0000
Intra grupos	0.0786	9	0.0087333		
Total (Corr.)	1.8517	11			

Tabla H.10: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Fibra por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	4	3.05	a
V. Cupi	4	3.2	a
V. Illpa-INIA	4	3.93	b

Tabla H.11: Tabla ANOVA para Humedad (b.s.) por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	24.461	2	12.23	242.10	0.0000
Intra grupos	0.45465	9	0.050517		
Total (Corr.)	24.915	11			

Tabla H.12: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Humedad (b.s.) por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	4	9.695	a
V. Cupi	4	10.143	b
V. Illpa-INIA	4	12.922	c

Tabla H.13: Tabla ANOVA para Contenido de Energía Total por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1440.4	2	720.18	7980.56	0.0000
Intra grupos	0.81218	9	0.090242		
Total (Corr.)	1441.2	11			

Tabla H.14: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Contenido de Energía Total por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Ca sos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	4	367.43	a
V. Ramis	4	389.29	b
V. Cupi	4	391.84	c

Tabla H.15: Tabla ANOVA para Cont. Energía (kcal) provenientes de proteínas por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	7.1405	2	3.5703	832.98	0.0000
Intra grupos	0.038575	9	0.0042861		
Total (Corr.)	7.1791	11			

Tabla H.16: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Cont. energía (kcal) provenientes de proteínas por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Ca sos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	4	15.253	a
V. Ramis	4	15.275	a
V. Illpa-INIA	4	16.9	b



Tabla H.17: Tabla ANOVA para energía (kcal) provenientes de materia grasa por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	86.859	2	43.43	10126.08	0.0000
Intra grupos	0.0386	9	0.0042889		
Total (Corr.)	86.898	11			

Tabla H.18: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para energía (kcal) provenientes de materia grasa por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	4	11.45	a
V. Ramis	4	16.215	b
V. Cupi	4	17.775	c

Tabla H.19: Tabla ANOVA para energía (kcal) provenientes de carbohidratos por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	44.092	2	22.046	4181.52	0.0000
Intra grupos	0.04745	9	0.0052722		
Total (Corr.)	44.139	11			

Tabla H.20: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para energía (kcal) provenientes de carbohidratos por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	4	67.082	a
V. Ramis	4	68.532	b
V. Illpa-INIA	4	71.675	c

Tabla H.21: Tabla ANOVA para Calcio por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2705.8	2	1352.9	379.60	0.0002
Intra grupos	10.692	3	3.5641		
Total (Corr.)	2716.5	5			

Tabla H.22: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Calcio por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Ca sos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	2	956.93	a
V. Ramis	2	996.36	b
V. Illpa-INIA	2	1006.0	c



Tabla H.23: Tabla ANOVA para fosforo por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	88073.	2	44037.	122.46	0.0013
Intra grupos	1078.8	3	359.6		
Total (Corr.)	89152.	5			

Tabla H.24: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para fosforo por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	2	8915.8	a
V. Illpa-INIA	2	9163.1	b
V. Ramis	2	9181.6	b

Tabla H.25: Tabla ANOVA para Hierro por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	619.41	2	309.71	9418.37	0.0000
Intra grupos	0.09865	3	0.032883		
Total (Corr.)	619.51	5			

Tabla H.26: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Hierro por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	2	57.22	a
V. Cupi	2	65.87	b
V. Ramis	2	81.755	c

Tabla H.27: Tabla ANOVA para Magnesio por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	15061.	2	7530.4	159.72	0.0009
Intra grupos	141.44	3	47.148		
Total (Corr.)	15202.	5			

Tabla H.28: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Magnesio por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	2	1810.8	a
V. Ramis	2	1843.7	b
V. Cupi	2	1929.7	c

Tabla H.29: Tabla ANOVA para Potasio por Variedades de cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>G l</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.2094E5	2	2.1047E5	684.58	0.0001
Intra grupos	922.33	3	307.44		
Total (Corr.)	4.2186E5	5			

Tabla H.30: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Potasio por Variedades de cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	2	5183.6	a
V. Cupi	2	5529.0	b
V. Ramis	2	5832.0	c

Tabla H.31: Tabla ANOVA para Zinc por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	68.997	2	34.499	243.58	0.0005
Intra grupos	0.4249	3	0.14163		
Total (Corr.)	69.422	5			

Tabla H.32: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Zinc por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	2	33.915	a
V. Cupi	2	36.625	b
V. Ramis	2	42.07	c

### TABLAS ANOVA Y PRUEBAS MÚLTIPLE DE RANGOS PARA PROPIEDADES MECÁNICAS

10 % de humedad

Tabla H.32: Tabla ANOVA para Punto de Fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	869.12	2	434.56	121.80	0.0000
Intra grupos	524.49	147	3.5679		
Total (Corr.)	1393.6	149			

Tabla H.33: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Punto de Fractura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	50	13.563	a
V. Illpa-INIA	50	14.878	b
V. Ramis	50	19.198	c

Tabla H.34: Tabla ANOVA para Energía al punto de fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.6346	2	0.81729	91.55	0.0000
Intra grupos	1.3124	147	0.0089276		
Total (Corr.)	2.9469	149			

Tabla H.35: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Energía al punto de fractura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Caso</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos</i>
	<i>s</i>		<i>Homogéneos</i>
V. Cupi	50	0.34264	a
V. Illpa-INIA	50	0.38809	b
V. Ramis	50	0.58329	c

Tabla H.36: Tabla ANOVA para deformación al punto de fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0021545	2	0.0010773	13.63	0.0000
Intra grupos	0.011622	147	0.000079064		
Total (Corr.)	0.013777	149			

Tabla H.38: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto de fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Caso</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos</i>
	<i>s</i>		<i>Homogéneos</i>
V. Cupi	50	0.05742	a
V. Illpa-INIA	50	0.06038	a
V. Ramis	50	0.06652	b

Tabla H.39: Tabla ANOVA para punto de ruptura por Variedades de Cañihua (humedad 10 %)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	190.81	2	95.405	6.20	0.0026
Intra grupos	2263.8	147	15.4		
Total (Corr.)	2454.6	149			

Tabla H.40: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para punto de ruptura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos</i>
			<i>Homogéneos</i>
V. Ramis	50	32.408	a
V. Illpa-INIA	50	32.931	a
V. Cupi	50	35.019	b

Tabla H.41: Tabla ANOVA para Energía al punto de Ruptura por Variedades de Cañihua (humedad 10 %)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	66.843	2	33.422	17.50	0.0000
Intra grupos	280.7	147	1.9095		
Total (Corr.)	347.55	149			

Tabla H.42: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Energía al punto de Ruptura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	50	4.7954	a
V. Illpa-INIA	50	5.5291	b
V. Cupi	50	6.4278	c

Tabla H.43: Tabla ANOVA para deformación al punto de ruptura por Variedades de cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.10278	2	0.05139	31.32	0.0000
Intra grupos	0.24122	147	0.0016409		
Total (Corr.)	0.344	149			

Tabla H.44: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto de ruptura por Variedades de cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	50	0.23136	a
V. Illpa-INIA	50	0.2694	b
V. Cupi	50	0.29508	c

15 % DE HUMEDAD

Tabla H.45: Tabla ANOVA para el punto de fractura por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	28.434	2	14.217	6.03	0.0030
Intra grupos	346.58	147	2.3577		
Total (Corr.)	375.01	149			

Tabla H.46: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para punto de fractura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	50	6.8513	a
V. Illpa-INIA	50	6.9358	a
V. Ramis	50	7.8142	b

Tabla H.47: Tabla ANOVA para energía punto de fractura por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.079647	2	0.039824	15.65	0.0000
Intra grupos	0.37397	147	0.002544		
Total (Corr.)	0.45362	149			

Tabla H.48: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para energía punto de fractura por Variedades de Cañihua

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
V. Cupi	50	0.14246	a
V. Illpa-INIA	50	0.14673	a
V. Ramis	50	0.19334	b

Tabla H.49: Tabla ANOVA para deformación al punto de fractura por Variedades de Cañihua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0018858	2	0.00094291	13.13	0.0000
Intra grupos	0.010555	147	0.000071805		
Total (Corr.)	0.012441	149			

Tabla H.50: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto de fractura por Variedades de Cañihua

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
V. Cupi	50	0.0442	a
V. Illpa-INIA	50	0.04828	b
V. Ramis	50	0.05288	c

Tabla H.51: Tabla ANOVA para punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	316.21	2	158.11	6.53	0.0019
Intra grupos	3561.6	147	24.229		
Total (Corr.)	3877.8	149			

Tabla H.52: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
V. Ramis	50	23.954	a
V. Illpa-INIA	50	26.759	b
V. Cupi	50	27.25	b

Tabla H.53: Tabla ANOVA para energía al punto de ruptura por Variedades de Cañihua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13.441	2	6.7205	7.35	0.0009
Intra grupos	134.36	147	0.91403		
Total (Corr.)	147.8	149			



Tabla H.54: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para energía al punto de ruptura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	50	4.3491	a
V. Illpa-INIA	50	4.3752	a
V. Cupi	50	4.9967	b

Tabla H.55: Tabla ANOVA para deformación punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.018525	2	0.0092625	18.05	0.0000
Intra grupos	0.075418	147	0.00051305		
Total (Corr.)	0.093943	149			

Tabla H.56: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Caso</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	50	0.30714	a
V. Ramis	50	0.31216	a
V. Cupi	50	0.33282	b

#### 20 % DE HUMEDAD

Tabla H.57: Tabla ANOVA para punto de fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	52.198	2	26.099	49.26	0.0000
Intra grupos	77.883	147	0.52982		
Total (Corr.)	130.08	149			

Tabla H.58: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para punto de fractura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa INIA	50	3.8343	a
V. Cupi	50	3.8927	a
V. Ramis	50	5.1138	b

Tabla H.59: Tabla ANOVA para Energía al punto Fractura por Variedades de Cañihua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.11607	2	0.058036	69.56	0.0000
Intra grupos	0.12265	147	0.00083434		
Total (Corr.)	0.23872	149			

Tabla H.60: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para Energía al punto Fractura por Variedades de Cañihua

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	50	0.080514	a
V. Cupi	50	0.082116	a
V. Ramis	50	0.14031	b

Tabla H.61: Tabla ANOVA para deformación al punto fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.005808	2	0.002904	41.46	0.0000
Intra grupos	0.010297	147	0.000070044		
Total (Corr.)	0.016105	149			

Tabla H.62: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto fractura por Variedades de Cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Cupi	50	0.04262	a
V. Ramis	50	0.05582	b
V. Illpa-INIA	50	0.05582	b

Tabla H.63: Tabla ANOVA para el punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	624.86	2	312.43	43.46	0.0000
Intra grupos	1056.8	147	7.1892		
Total (Corr.)	1681.7	149			

Tabla H.64: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para punto de ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	50	14.791	a
V. Ramis	50	15.924	a
V. Cupi	50	19.574	b

Tabla H.65: Tabla ANOVA para energía al punto ruptura por tratamientos.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	14.0	2	7.0	37.72	0.0000
Intra grupos	27.278	147	0.18556		
Total (Corr.)	41.278	149			



Tabla H.66: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para energía al punto ruptura por variedades de cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Illpa-INIA	50	2.4016	a
V. Ramis	50	2.7336	b
V. Cupi	50	3.1484	c

Tabla H.67: Tabla ANOVA para deformación al punto Ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.022299	2	0.01115	30.19	0.0000
Intra grupos	0.054293	147	0.00036934		
Total (Corr.)	0.076592	149			

Tabla G.H.68: Pruebas de Múltiple Rangos Tukey para deformación al punto Ruptura por Variedades de Cañihua.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
V. Ramis	50	0.3072	a
V. Illpa-INIA	50	0.30914	a
V. Cupi	50	0.33398	b