



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



**“SIMULACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE SIETE  
VARIETADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*, Willd), PARA LA  
ETAPA DE LAVADO”.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. YELTSIN SANTO TIPO URURI**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2018**



## DEDICATORIA

*A Dios.*

*Por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi proyecto de tesis.*

*A mis padres.*

*Que sin ellos no hubiera logrado concluir este objetivo que me trace en mi vida profesional. **Mama**, gracias por estar a mi lado en esta etapa de mi vida universitaria, tu apoyo moral y entusiasmo que me brindaste para seguir adelante en mis propósitos. **Papa**, que me impartiste tus experiencias, conocimientos, consejos y tu amor incondicional.*



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a la “Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano”, que me ha iniciado en el mundo del aprendizaje y profesionalización.*

*A los docentes de la “Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial quienes contribuyeron con sus sabios consejos y conocimientos en mi formación profesional”.*

*A mi asesor de tesis Ing. Roenfi Guerra Lima, quien con su amplia experiencia, me dio una valiosa contribución en la concreción de este proyecto.*



## INDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**INDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**INDICE DE ACRONIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT..... 12**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. OBJETIVO GENERAL ..... 14**

**1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14**

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 MARCO TEORICO ..... 15**

2.1.1 La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ..... 15

2.1.2. Variedades comerciales de quinua en el Perú ..... 18

2.1.3. Variedades de quinua ..... 18

2.1.4. Saponina ..... 30

2.1.5. Desaponificación de quinua ..... 32

2.1.6. Eliminación de saponina ..... 33

2.1.7. Cinética..... 33

2.1.8. Viscosidad ..... 34

2.1.9. Reología ..... 35



2.1.10. Esfuerzo Cortante ( $\tau$ ) .....	36
2.1.11 Fluidos .....	36
2.1.12. Fluidos newtonianos.....	37
2.1.13. Fluidos no newtoniano .....	39
2.1.14. Dilatantes.....	39
2.1.15. Plásticos.....	40
2.1.16. Pseudoplásticos .....	40
2.1.17. Fluidos Viscoelásticos.....	41
2.1.18. Reómetro .....	41
2.1.19. Funcionamiento de un Reómetro .....	42
2.1.20. Numero de Reynolds.....	43

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2. MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4. EQUIPOS Y MATERIALES.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS.....</b>	<b>48</b>
3.5.1. Dilución.....	48
3.5.2. Determinación de numero de Reynolds .....	49
3.5.3. Determinación de Viscosidad.....	50
3.5.4. Determinación de densidad .....	51
3.5.5. Determinación de la saponina. ....	52
3.5.6. Análisis Estadístico .....	53
3.5.7. Evaluación de la viscosidad sometida a diluciones y temperatura.....	53
3.5.8. Variables de estudio .....	53



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

<b>4.1. VISCOSIDAD DE SIETE VARIEDADES.....</b>	<b>55</b>
4.1.1. Análisis estadístico viscosidad vs temperatura .....	57
4.1.2 Análisis estadístico para viscosidad vs dilución .....	58
<b>4.2. DENSIDAD DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA.....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Análisis estadístico para densidad vs temperatura.....	60
<b>4.3. NUMERO DE REYNOLDS DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA.....</b>	<b>61</b>
4.3.1. Análisis estadísticos de numero de Reynolds vs Temperaturas.....	63
4.3.2. Análisis estadístico de numero de Reynolds vs dilución.....	64
<b>4.4. SAPONINA DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA.....</b>	<b>65</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

**Área:** Ingeniería y tecnología

**Tema:** Propiedades físicas y estructurales

**Fecha de sustentación:** 13 de diciembre de 2018



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Sección longitudinal media del grano de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd). Donde PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla, EN: Endosperma, C: Cotiledones, H: Hipocotilo, SA: Apice del meristemo, R: Radicula, P: Perisperma, F: Funículo.....	16
<b>Figura 2.</b>	Tipos de Fluido.....	35
<b>Figura 3.</b>	Se muestra los diferentes tipos de fluido .....	37
<b>Figura 4.</b>	Curvas de Fluidez y Viscosidad para un Fluido Newtoniano. ....	38
<b>Figura 5.</b>	Muestra la figura entre el esfuerzo cortante frente a la velocidad de deformación se presenta la viscosidad en función de la velocidad de deformación ( $\mu$ vs D). ....	38
<b>Figura 6.</b>	Viscosidad en función de la velocidad de deformación .....	39
<b>Figura 7.</b>	Representa las curvas de fluidez y viscosidad para un fluido dilatante. ....	40
<b>Figura 8.</b>	Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido plástico .....	40
<b>Figura 9.</b>	Curvas de Fluidez y de viscosidad para un fluido pseudoplástico. ....	41
<b>Figura 10.</b>	Reómetro Viscotester iQ Air. ....	42
<b>Figura 11.</b>	Regímenes de Flujo .....	44
<b>Figura 12.</b>	Comportamiento del líquido a diferentes velocidades .....	45
<b>Figura 13.</b>	Distribuciones típicas de velocidad .....	45
<b>Figura 14.</b>	Preparación de muestras para el análisis reológico .....	49
<b>Figura 15.</b>	Simulación de la caída de la presión de un líquido en una tubería.....	50
<b>Figura 16.</b>	Interacciones de siete variedades de quinua con la temperatura (20°C, 35°C y 50°C), en donde la viscosidad varía según la temperatura. ....	57
<b>Figura 17.</b>	Interacciones de las variedades de quinua con dilución. ....	58



<b>Figura 18.</b> Intersecciones de densidad para siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 a tres diferentes temperaturas. ....	60
<b>Figura 19.</b> Interacción de numero de Reynolds para siete variedades de quinua a tres temperaturas (20°C, 35°C y 50°C). ....	63
<b>Figura 20.</b> Interacciones de numero de Reynolds para cada variedad de quinua a dos diluciones (1:5 y 1:10). ....	64



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Variedades comerciales de quinua en el Perú.....	18
<b>Tabla 2.</b>	Valor nutricional de la Variedad Altiplano.....	20
<b>Tabla 3.</b>	Valor nutricional de la Variedad Negra Collana.....	22
<b>Tabla 4.</b>	Valor nutricional de la variedad Pasankalla.....	24
<b>Tabla 5.</b>	Valor Nutricional de la Variedad Illpa INIA .....	26
<b>Tabla 6.</b>	Valor Nutricional de la Variedad Kankolla. ....	27
<b>Tabla 7.</b>	Valor Nutricional de la Variedad Salcedo INIA.....	30
<b>Tabla 8.</b>	Funciones básicas de un reómetro .....	43
<b>Tabla 9.</b>	Valores de velocidad mínima y máxima para cada régimen .....	45
<b>Tabla 10.</b>	Viscosidad (Pa.s) de siete variedades de quinua a una dilución (1:5) y temperatura (20°C, 35°C y 50°C).....	55
<b>Tabla 11.</b>	Viscosidad (Pa.s) de siete variedades de quinua a una dilución (1:10) y temperatura (20°C, 35°C y 50°C).....	56
<b>Tabla 12.</b>	Densidad de siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 a diferentes Temperaturas.....	59
<b>Tabla 13.</b>	Se muestra los resultados de densidad de siete variedades de quinua a una dilución de 1:10 a diferentes Temperaturas. ....	60
<b>Tabla 14.</b>	Número de Reynolds de siete variedades de quinua a una dilución de 1:10 a diferentes Temperaturas.....	62



## INDICE DE ACRONIMOS

$\eta$	Viscosidad
Pa.s	Pascales por segundo
$\rho$	Densidad del Líquido
Re	Número de Reynolds
Cp	Centipoise
$\sigma$	Gradiente de Velocidad
$\dot{\gamma}$	Esfuerzo Cortante o Fuerza de Cizalla
1/s	Velocidad de Cizallamiento
n	Índice de Comportamiento al Flujo
k	Índice de Consistencia
°C	Grados Celsius



## RESUMEN

En los últimos años no se han logrado desarrollar nuevas tecnologías para optimizar procesos de desaponificado de quinua tanto en el uso de agua y la utilización de energía, en tal sentido es importante conocer las propiedades fundamentales de la operación con la finalidad de optimizar el proceso de lavado. “En el presente trabajo se determinó la propiedad reológica (Viscosidad) de siete variedades de quinua (Altiplano, Illpa INIA, Salcedo INIA, Pasankalla, Kancolla, Negra Collana y Rosado Choclo Taraco), en dos diluciones (1 gr de quinua / 5 ml de agua; 1 gr de quinua / 10 ml de agua) y tres temperaturas (20°C, 35°C y 50°C), con el objetivo de optimizar parámetros de desaponificado. La viscosidad se determinó mediante el Reómetro Viscotester iQ Air, observando que al aumentar la cantidad de agua y la temperatura la viscosidad disminuye; los resultados de viscosidad a una dilución de 1:10 y temperatura 50°C se encuentra en un rango de 0.25 a 0.62 Pa.s”. Se determinó la densidad por el método del picnómetro, en dos diluciones (1 gr de quinua/5 ml de agua; 1 gr de quinua/10 ml de agua) y tres temperaturas (20°C, 35°C y 50°C), observando que la dilución y la temperatura no tiene influencia estadísticamente significativa, las siete variedades con dos diluciones y tres temperaturas está en un rango de 1003 a 1015 Kg/m<sup>3</sup>. Se determinó el número de Reynolds usando los resultados de viscosidad y densidad mediante el programa de simulación Wólfram desmostration; las siete variedades de quinua se encuentran en un rango de 4123 - 12235, determinando que el flujo de las siete variedades de quinua en la etapa de lavado es completamente turbulento. Se evaluó la mejor dilución y la mejor temperatura para una mayor eliminación de saponina mediante el método Afrosimétrico, llegando a la conclusión que la dilución 1:10 y la temperatura 50°C son las óptimas para el desaponificado. Logrando eliminar la saponina en un 87%.

**Palabras Claves:** Quinua, Saponina, Afrosimetria, Viscosidad, Numero de Reynolds.



## ABSTRACT

In recent years they have not been achieved. New technologies have been implemented to improve the quinoa depletion both in the use of water and in the use of energy, in the important sense of ownership, in the operation in order to optimize the washing process. determined the rheological property (Viscosity) of seven varieties of quinoa (Altiplano, Illpa INIA, Salcedo INIA, Pasankalla, Kancolla, Negra collana and Rosado choclo taraco), and in two dilutions (1 gr of quinoa / 5 mi of water; of quinoa: 10 mi of water) and three temperatures (20 ° C, 35 ° C and 50 ° C), with the aim of optimizing the parameters of desaponificado. The viscosity was determined by means of the Viscotester iQ Air Rheometer, observing that when increasing the amount of water and the temperature the viscosity is important; The results of viscosity and a dilution of 1:10 and temperature 50 ° Care in a range of 0.25 to 0.62 Pa.s. The density was determined by the pycnometer method, in two dilutions (1 gr of quinoa / 5 mi of water, 1 gr of quinoa: 10 mi of water) and three temperatures (20 ° C, 35 ° C and 50 0 C), Observing that the dilution and the temperature do not have a significant statistical influence, the seven varieties with two dilutions and the temperatures are in a range of 1003 to 1015 Kg / m<sup>3</sup>. The Reynolds number was determined using the viscosity and density results by the Wolfram desmostration simulation program; the seven varieties of quinoa are in a range of 4123 to 12235, determining the flow of the seven varieties of quinoa in the washing stage is completely turbulent. The best dilution and the best temperature for a greater elimination of saponin by the Afrosimetric method was evaluated, observing that the dilution 1:10 and the temperature 50 ° C are the best ones for the desaponificado. Achieving eliminate the saponin by 81%.

**Key Words.** Quinoa, saponine, afrosimetric, viscosity, Reynolds number



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Perú es el segundo productor mundial de quinua, por detrás de Bolivia, que produce 50.000 hectáreas anuales. (El Peruano, 2013), “Puno se encuentra en Perú, uno de los principales productores de este cereal andino. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), como alimento de alto valor nutritivo basado en la calidad de su contenido nutricional, ha despertado la atención de la mayoría de las naciones de todo el planeta. En los últimos años, la elaboración de quinua ha incrementado debido a la creciente peticiones a nivel nacional y mundial”. (INIA, 2013).

“La saponina, que está contenida en el epispermo o cáscara del grano, es motivo de preocupación en la quinua para consumo directo o agroindustria; los niveles varían según la variación. Las técnicas más importantes para su eliminación son la desaponificación seca o húmeda, o una combinación de ambas”. (Marca & Chauca, 2011).

“El contenido de saponina de la quinua oscila entre agradable y bastante amargo. Antes de ser ingerida, la quinua debe ser desflorada mediante un riguroso lavado o pulido, procesos que no influyen sustancialmente en la composición final del grano”. (Gomez & Eguiluz, 2011).

“Para su erradicación, las organizaciones exportadoras de quinua están creando un procedimiento de separación en dos fases para eliminar el epispermo del grano. El primero se escarifica por acción mecánica entre los granos, produciendo un polvo rico en saponina conocido como lejía. El segundo en un procedimiento de lavado con agua para erradicar el epispermo restante” (Lozano & Ticona , 2012).



“Ante los escasos estudios sobre parámetros óptimos para el proceso de desaponificación para cada variedad de quinua; el estudio de tiempo, temperatura y cantidad de agua en el lavado, aportara a mejorar metodologías tradicionales en la etapa de desaponificación ya que se darán a conocer parámetros exactos” (MINAGRI, 2017).

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinación de las propiedades reológicas de siete variedades de quinua para la etapa de lavado.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la viscosidad, densidad y Número de Reynolds para la desaponificación de siete variedades de quinua.
- Evaluar la desaponificación de siete variedades de quinua a dos diluciones 1:5 y 1:10 y tres temperaturas de lavado 20°C, 35°C y 50°C.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEORICO

##### 2.1.1. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

“La quinua es una cosecha antigua de la región andina. Este grano exhibe gran adaptabilidad al clima extremo, Desde el nivel del mar hasta los 4000 ms, y es capaz de crecer en suelos pobres y marginales con baja precipitación anual” (Colin & Corke , 2016).

“La quinua tiene un embrión sustancialmente más grande que otros cereales, lo que probablemente explique su mayor concentración de aminoácidos. Como el endospermo es más pequeño, los hidratos de carbono de la quinua se localizan en el perispermo de la semilla; la quinua tiene un contenido de almidón algo inferior al del trigo (64,5% frente a 70%)”. (Briceño, 2014).

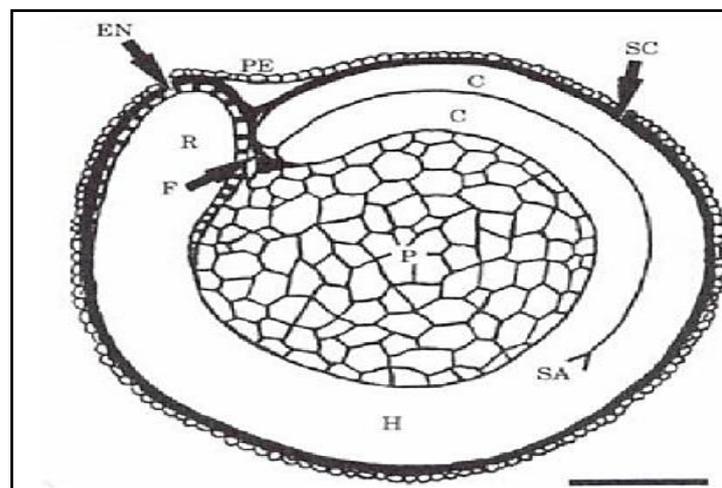
Presenta una amplia variabilidad genética con diferencias en forma, en color y tamaño de grano, rendimiento de grano y también en términos de sus subproductos. La quinua, es una cosecha de grano muy nutritiva, es un grano único, Que contiene el equilibrio correcto de elementos esenciales y vitaminas, y no tiene gluten (Colin & Corke , 2016). “Los principales fabricantes de quinua son Perú, Bolivia y Ecuador. Sin embargo, la producción se está agrandando a otros continentes Tales como África, Asia, Australia y Europa. La producción de quinua es de alrededor de 80000 tn anualmente” (Colin & Corke , 2016).

“Los alimentos procesados de quinua incluyen una amplia gama de tipo de pan, pastas, fideos, cereales para el desayuno, cerveza, gachas de avena, etc. La NASA ha designado la quinua como un cultivo capaz para su sistema de apoyo a la Vida Ecológica

Controlada (CELSS). La quinua muestra una elevada capacidad a fin de contribuir a la seguridad alimentaria y nutrición para la humanidad en varias regiones en todo el mundo”. (Colin & Corke , 2016).

### 2.1.1.1. Partes del grano de quinua

“El grano muestra tres partes bien concretas: episperma, embrión y perisperma. En la cual se muestra la fotografía de una semilla de quínoa, en la que es posible visualizar el episperma” (Grasso , 2015).



**Figura 1.** “Corte longitudinal media de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Donde PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla, EN: Endosperma, C: Cotiledones, H: Hipocotilo, SA: Apice del meristemo, R: Radicula, P: Perisperma, F: Funículo”.

**Fuente:** (Mujica & Izquierdo , 2011).

### Descripción taxonómica y botánica:

INIA (2013), menciona que la taxonomía y descripción botánica de la quinua es de la siguiente forma:

Reino	Vegetal
División	Fenerógamas
Clase	Dicotiledoneasx



Sub clase	Angiospermas
Orden	Centrospermales
Familia	Chenopodiaceae
Género	Chenopodium
Sección	Chenopodia
Sub sección	Cellulata
Especie	Chenopodium quinoa Willd

**Fuente:** (INIA, 2013)

“La clase *Chenopodium* es la más inmensa de la descendencia *Chenopodiaceae* y posee una distribución mundial, con cerca de 250 variedades. En cuanto a la representación botánica, la quinua es una planta anual gynomonoecious; logra desarrollar hasta 3 m de altura, dependiendo de la variedad y el medio ambiente. Las semillas pueden germinar muy deprisa, en escasas horas luego de haber estado propenso a la humedad” (Colin & Corke , 2016).

“Las raíces logran conseguir profundidades de hasta 0,30 m. El tallo es cilíndrico (0,03-0,05 m de diámetro); siempre son rectas o con ramas, y su color es variable. Dependiendo de la variedad, cambia de blanco, amarillo o marrón claro a rojo”. Están formados por pecíolos y lámina. La longitud de la panícula varía de 0,15 a 0,70 m (Colin & Corke , 2016).

## 2.1.2. Variedades comerciales de quinua en el Perú

Se tiene diferentes variedades de quinua comerciales en el Perú, en donde se brinda información técnica y científica para productores y público en general.

**Tabla 1.**

Variedades comerciales de quinua en el Perú.

Nombre de Variedad	de la	Color de Pericarpio	de Color de Episperma	de Tamaño de Grano	Zonas de Producción
<b>INIA Altiplano</b>	<b>431</b>	- Crema	Blanco	Grande	Altiplano Costa
<b>INIA Collana</b>	<b>420 - Negra</b>	Gris	Negro	Pequeño	Altiplano, Valles interandino
<b>INIA Pasankalla</b>	<b>425</b>	- Gris	Rojo	Mediano	Altiplano, Valles interandino
<b>Illpa INIA</b>		Crema	Blanco	Grande	Altiplano
<b>Salcedo INIA</b>		Crema	Blanco	Grande	Altiplano, Valles interandino
<b>Kankolla</b>		Crema	Blanco	Mediano	Altiplano
<b>Rosada Taraco</b>		Crema	Blanco	Grande	Altiplano

**Fuente:** (FAO, 2013)

## 2.1.3. Variedades de quinua

Para identificarlos y diferenciarlos se utiliza una descripción morfológica de cada uno de los siete tipos de quinua, que incorpora conocimientos sobre el tipo y hábito de incremento, el periodo vegetativo, la altura de la planta, el tamaño, el color y la forma de los granos.

### 2.1.3.1. Características de la quinua variedad Altiplano

“Región agroecológica circunlacustre y suni del Altiplano puneño entre los 3800 y 3950 m.s.n.m., con clima semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6° a 17°C, en superficies de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Hoy en día se cultiva en la costa” (INIA, 2013).

#### Principales usos

- Consumo tradicional: Sopas, ensaladas (hojas), guisos, postres y bebidas
- Agroindustria: Perlada, laminada, molienda, fideos.

#### Características del grano

Aspecto del grano	Opaco
Color del perigonio	Verde
Color del pericarpio	Crema
Color del episperma	Blanco
Color del perisperma	Blanco
Forma del grano	Esférico
Forma del borde del grano	Afilado
Uniformidad del color del grano	Bastante uniforme
Latencia de la semilla	Presente
Diámetro del grano	2,20 mm
Rendimiento de semillas por planta	30,50 g
Peso de 1 000 granos (g)	3,30 g

**Fuente:** (FAO, 2013)

## Características bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

### Tabla 2.

*Valor nutricional de la Variedad Altiplano.*

<b>Valor Nutricional (Análisis físico/químico)</b>		
<b>(g/100g, de muestra)</b>		
<b>Humedad</b>	%	8.44
<b>Proteína</b>	%	16.19
<b>Fibra</b>	%	1.84
<b>Cenizas</b>	%	2.00
<b>Grasa</b>	%	5.20
<b>Energía</b>	Kcal/100g	372.09

**Fuente:** (FAO, 2013).

### 2.1.3.2. Características de la quinua variedad Negra Collana

“Región agroecológica Suni del altiplano entre los 3800 y 3900 msnm, con un ambiente frío seco, precipitación pluvial de 400 a 550, con temperaturas de 4 a 15°C, en superficies de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 8,0. También se acomoda a valles interandinos y a la costa peruana” (INIA, 2013).



### Características del grano

Aspecto del grano:	Opaco
Color del perigonio:	Verde
Color del pericarpio:	Gris
Color del episperma:	Negro brillante
Color del perisperma:	Blanco
Forma del borde del grano:	Afilado
Forma del grano:	Esférico
Uniformidad del color del grano:	Uniforme
Latencia de la semilla:	Ausente
Diámetro del grano:	1,60 mm
Rendimiento de semillas por planta:	27,20 a 29,40 g
Peso de 1 000 granos (g):	2,03 g

**Fuente:** (FAO, 2013)

### Características bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

**Tabla 3.**

*Valor nutricional de la Variedad Negra Collana*

---

<b>Valor nutricional (Análisis físico/químico)</b>		
<b>(g/100g, de muestra)</b>		
<b>Humedad</b>	%	9.88
<b>Proteína</b>	%	17.62
<b>Fibra</b>	%	2.10
<b>Cenizas</b>	%	2.13
<b>Grasa</b>	%	5.94
<b>ELN</b>	%	62.33
<b>Energía</b>	Kcal/100g	368.61

---

**Fuente.** (FAO, 2013).

#### **2.1.3.3. Características de la quinua variedad Pasankalla.**

“La variedad es descendiente de la accesión Pasankalla, recolectada en 1978 en Caritamaya, Acora y Puno. De 2000 a 2005, la variedad fue seleccionada en la Estación Experimental Hipa de Puno. Además, presenta un comportamiento estándar en la industria durante la expansión, el tostado y la extrusión. Se hincha al tostarse, como las palomitas de maíz”. (INIA, 2013).



### Características del grano

Aspecto del grano	:	Opaco
Color del perigonio	:	Púrpura
Color del pericarpio	:	Plomo claro
Color del episperma	:	Vino oscuro
Color del perisperma	:	Blanco
Forma del grano	:	Esférico
Forma del borde del grano	:	Afilado
Uniformidad del color del grano:		Bastante uniforme
Latencia de la semilla	:	Ausente
Diámetro del grano	:	2,10 mm
Rendimiento de semillas por planta:		32,00 a 34,00 g
Peso de 1 000 granos (g)	:	3,51 a 3,72 g

**Fuente:** (INIA, 2013)

### Características bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

**Tabla 4.**

*Valor nutricional de la variedad Pasankalla.*

<b>Valor nutricional (Análisis físico/químico)</b>		
<b>(g/100g, de muestra)</b>		
<b>Humedad</b>	%	9.62
<b>Proteína</b>	%	17.83
<b>Fibra</b>	%	3.00
<b>Cenizas</b>	%	2.83
<b>Grasa</b>	%	6.29
<b>ELN</b>	%	60.43
<b>Energía</b>	Kcal/100g	364.68

**Fuente.** (FAO, 2013).

**2.1.3.4. Característica de la quinua variedad Illpa INIA**

Especie conseguida en 1997, “del cruce de Sajama con Blanca de Juli y por elección masal y panoja surco de la generación F8, tiene la costumbre de crecimiento erguido, planta de color verde negro, con una altitud de planta de 107 cm, panoja grande glomerulada, con un período vegetativo de 150 días (precoz), de tamaño de grano enorme, de color blanco, suelto de saponina (Dulce), rendimiento promedio de 3100 kg/ha, tolerante al mildiu y a las heladas. Zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano entre los 3800 a 3900 msnm, con un ambiente frío seco, precipitación pluvial de 450 a 600 mm, con temperaturas de 4° a 15°C, en superficies de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 8,0” (INIA, 2013).

### Características del grano

Aspecto del grano	:	Opaco
Color del perigonio	:	Verde
Color del pericarpio	:	Crema
Color del episperma	:	Blanco
Color del perisperma	:	Blanco
Forma del borde del grano	:	Afilado
Forma del grano	:	Esférico
Latencia de la semilla	:	Ausente
Diámetro del grano	:	2,20 mm
Rendimiento de semillas por planta:		36,80 a 43,00 g
Peso de 1 000 granos (g)	:	3,40 a 3,60 g

**Fuente:** (INIA, 2013)

### Características bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

**Tabla 5.***Valor Nutricional de la Variedad Illpa INIA*

<b>Valor nutricional (Análisis físico/químico)</b>		
<b>(g/100g, de muestra)</b>		
<b>Humedad</b>	%	8.42
<b>Proteína</b>	%	16.14
<b>Fibra</b>	%	1.66
<b>Cenizas</b>	%	1.99
<b>Grasa</b>	%	4.88
<b>ELN</b>	%	66.91
<b>Energía</b>	Kcal/100g	372.56

**Fuente.** (FAO, 2013).

#### **2.1.3.5. Características de la quinua variedad Kancolla**

Clasificada a partir del ecotipo específico de la zona de Cabanillas, Puno, “planta de color verde, de dimensiones medianas logrando 80 cm de alto, de periodo vegetativo retardado, más de 170 días, grano blanco, tamaño normal, con elevado contenido de saponina, panoja generalmente amarantiforme, firme al frío, granizo y al mildew, rendimiento promedio de 2500 kg/ha, separa a otros colores desde el verde hasta el púrpura, muy expandido en el altiplano peruano. Se usa generalmente para sopas y elaboración de kispino” (INIA, 2013).



### Característica Del Grano

Aspecto del grano	:	Opaco
Color del perigonio	:	Rojo claro
Color del pericarpio	:	Crema
Color del episperma	:	Blanco
Color del perisperma	:	Blanco
Forma del borde del grano	:	Afilado
Forma del grano	:	Cilíndrico
Latencia de la semilla	:	Ausente
Diámetro del grano	:	1,80 mm
Rendimiento de semillas por planta:		31,00 a 35,40 g
Peso de 1 000 granos (g)	:	2,70 g.

**Fuente:** (INIA, 2013)

### Características Bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

**Tabla 6.**

*Valor Nutricional de la Variedad Kankolla.*

<b>Valor nutricional (Análisis físico/químico (g/100g, de muestra))</b>		
<b>Humedad</b>	%	8.12
<b>Proteína</b>	%	16.11
<b>Fibra</b>	%	2.09
<b>Cenizas</b>	%	2.04
<b>Grasa</b>	%	5.84
<b>Energía</b>	Kcal/100g	399.56

**Fuente.** (FAO, 2013)

#### **2.1.3.6. Características de la quinua variedad Salcedo**

“Altiplano en el área agroecológica circunlacustre y suni del altiplano entre los 3800 y 3950 msnm, con un ambiente semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6° a 17°C, en superficies de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Valles interandinos y costa de 640 a 1314 msnm, temperatura máxima de 24 a 25°C en superficies de textura arenosa. La variedad Salcedo INIA se consiguió por selección del cruce de las variedades Real Boliviana y Sajama. primeramente se eligieron plantas apropiadas para las circunstancias agroecológicas de las áreas destinadas al cultivo de quinua en el Departamento de Puno” (INIA, 2013).



### Característica del grano

Aspecto del grano	:	Opaco
Color del perigonio	:	Verde
Color del pericarpio	:	Crema
Color del episperma	:	Blanco
Color del perisperma	:	Blanco
Forma del grano	:	Esférico
Uniformidad del color del grano	:	Bastante uniforme
Latencia de la semilla	:	Ausente
Diámetro del grano	:	2,00 mm
Peso de 1 000 granos (g)	:	3,10 a 3,70 g.

### Características bromatológicas

De acuerdo con la FAO, “la quinua es una semilla que contribuye más nutrientes por cada 100 calorías y la ONU la determino como extraordinario alimento por su alto valor nutricional.”

**Tabla 7.**

*Valor Nutricional de la Variedad Salcedo INIA*

<b>Valor nutricional (Análisis físico/químico (g/100g, de muestra))</b>		
<b>Humedad</b>	%	8.66
<b>Proteína</b>	%	16.23
<b>Fibra</b>	%	1.84
<b>Cenizas</b>	%	2.00
<b>Grasa</b>	%	5.20
<b>ELN</b>	%	66.07
<b>Energía</b>	Kcal/100g	372.19

**Fuente.** (FAO, 2013)

#### **2.1.4. Saponina**

“La denominación saponina deriva de la palabra latina sapo, que significa jabón, debido a su capacidad para crear espumas permanentes iguales al jabón en soluciones acuosas. Por lo general, se cree que las saponinas forman parte de un proceso protector de las plantas frente a las enfermedades y los herbívoros debido a su sensación amarga, pero su función biológica no se conoce por completo”. (Troisi, 2014).

“Las saponinas están compuestas por aglicona y azúcar, cada uno simbolizan aproximadamente el 50% del peso total de la molécula. En la quinua, las saponinas son una combinación compleja de glucósidos triterpénicos que provienen de siete agliconas: ácido oleanólico, hederagenina, ácido fitolacagénico, ácido serjánico, ácido 3 $\beta$ -Hidroxi-23-oxo-olean-12-en-28-oico, ácido 3 $\beta$ -Hidroxi-27-oxo-olean-12-en-28-oico, y ácido



3 $\beta$ ,23 $\alpha$ ,30 $\beta$ -Trihidroxi-olean-12-en-28-oico, en tanto que los azúcares mejor descritos logran ser la arabinosa, glucosa, y galactosa” (Troisi, 2014).

Numerosas especies vegetales contienen saponinas, como las espinacas, los espárragos, la alfalfa y la soja. La concentración de saponina de la quinoa oscila entre el 0,1 y el 5%. La saponina, que confiere un sabor agrio al pericarpio de la semilla de quinoa, debe eliminarse antes de poder ingerir el grano. “Además de su sabor amargo, las saponinas se distinguen por el desarrollo de espuma en soluciones acuosas. El sabor amargo de los granos de quinoa se atribuye a las saponinas. Son sustancias químicas de la clase de los esteroides o triterpenoides que, al enjuagarse con agua, producen espuma. La toxicidad de las saponinas está sujeto al tipo de saponina, del organismo destinado y de su sensibilidad, así como de la técnica de absorción.” (Gomez & Eguiluz, 2011).

Se utilizan en bebidas, champús, jabones, etc. debido a su capacidad para crear espumas estables a concentraciones muy bajas (0,01%). “Las saponinas son compuestos químicos de ascendencia mixta, ya que derivan de glucósidos triterpenoides (de reacción ligeramente ácida). Estas moléculas se concentran en la cáscara del grano y constituyen su principal componente antinutricional. Las saponinas solitarias de la quinoa amarga logran emplearse en el sector farmacéutico, cuyo provecho por las saponinas se basa en su capacidad para impulsar cambios en la permeabilidad intestinal, lo que puede favorecer la absorción de ciertos medicamentos, y en las propiedades hipocolesterolemiantes del grano”. (FAO, 2013)

Además, se analizan las actividades antibacteriana y antifúngica de la saponina, entre otras cualidades farmacológicas. “Debido a la obligación de la toxicidad variable de la saponina en diversas especies, se ha profundizado su empleo como un poderoso insecticida natural que no causa efectos dañinos en las personas ni en los animales,



distinguiéndose como un potencial uso en programas de gestión integrada de plagas. Se ha estudiado la eficacia de la saponina de quinoa como bioinsecticida”. (FAO, 2011).

### **2.1.5. Desaponificación de quinua**

De tantos esfuerzos iniciales para industrializar el proceso de des amargado de quinua se llevó a cabo en 1945 por Posnasky en Bolivia (Tapia, et al., 1999). “En 1972, en la Universidad Nacional Agraria de La Molina (Perú), tras investigar las técnicas empleadas por los pequeños empresarios de Lima y Cuzco para hacer menos amarga la quinua, se desarrolló una maquinaria que eliminaba la saponina de la quinua lavándola continuamente con agua fuerte”.

“Las saponinas acostumbran ser agrias, por lo que se necesita eliminar antes de ingerir quinua. Antes de su consumo, los granos de quinua suelen pelarse manualmente para eliminar el salvado, donde se encuentra la mayor parte de las saponinas, y/o enjuagarse con agua para reducir el amargor”. (Troisi, 2014).

Según se informa, “a lo largo las técnicas de lavado para suprimir las saponinas amargas se desaprovechan nutrientes esenciales y pueden alterar la composición química y el contorno de aminoácidos de los granos de quinua. La cantidad final de saponina en los granos de quinua que puede consumirse sigue siendo motivo de preocupación, ya que las hace amargas y puede tener efectos negativos en el organismo.” (Briceño, 2014).

“En países como Bolivia, Perú y Brasil se han estudiado las circunstancias ideales para la extracción de saponinas, incluyendo la duración del remojo, la turbulencia del extractante (agua), la temperatura del extractante, etc.” (Tapia , Mujica , Gangardillas , & Zanabria , 1999)



## **2.1.6. Eliminación de saponina**

### **2.1.6.1. Procesos húmedos**

“Chile llevó a cabo una investigación que desembocó en el uso de una célula de flotación para facilitar la extracción de saponina de las plantas. En primer lugar, la semilla se macera en agua para ablandar la capa exterior que contiene saponina. Al frotar los granos contra las palas fijas, éstas separan el pericarpio del endospermo. El disolvente tiende a impregnar en lo profundo de la semilla, ayudando a aumentar el contenido de humedad de la quinoa, en tanto que las saponinas conducen en sentido opuesto”. (Gunsha , 2013).

Una unión de escarificación y tratamientos húmedos elabora efectos superiores a las técnicas secas o húmedas realizadas por separado, “tanto en términos de eliminación de saponina como de uso de agua. Con un método mezclado, se logran obtener etapas de contacto de dos minutos con proporciones diminutivas de disolvente/alimentación (2:1 o incluso un poco inferiores). Arias y Nieto han perfeccionado con éxito el método combinado en Ecuador”. (Gunsha , 2013).

### **2.1.7. Cinética**

“La anulación de saponinas de los granos de quinoa a lo largo un proceso de lavado con agua logra caracterizarse empleando las leyes predominantes de la extracción sólido-líquido y los formulas matemáticos empleados habitualmente para estudiar la cinética del proceso. Después de la lixiviación temprana, la acumulación de saponina total en los granos de quinua se aproxima a un valor asintótico”. (Troisi, 2014).

(Troisi, 2014), “Demuestran que este valor asintótico disminuye a medida que aumentan las temperaturas de lavado. De acuerdo con la ecuación, la relación de saponina (SR) es la métrica más utilizada para presagiar la cinética de lixiviación de la saponina de los granos de quinua. SR es una dedicación adimensional usada para inspeccionar la



cinética de lixiviación bajo la suposición de un proceso de difusión al interior del sólido y poca entrega de masa externa al interior de un fuerte batido”.

### 2.1.8. Viscosidad

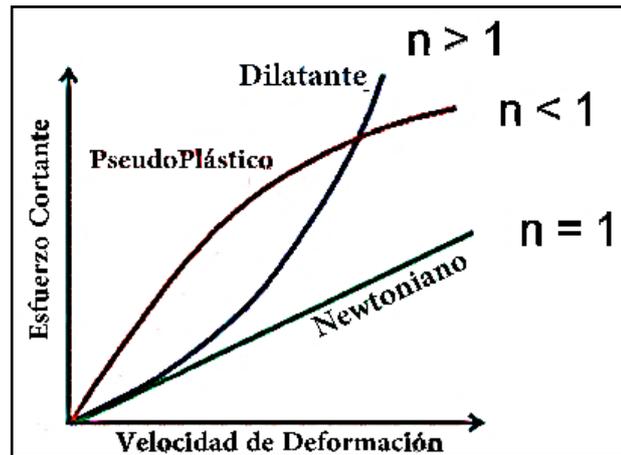
“La viscosidad describe la facilidad con la que un fluido fluye en respuesta a un empuje externo. El coeficiente de viscosidad absoluta, o viscosidad absoluta, mide la resistencia de un fluido al deslizamiento, al cizallamiento o a la deformación angular. La viscosidad de cualquier líquido se reduce al aumentar la temperatura, pero la de cualquier gas aumenta”. (Marcano , 2011).

La viscosidad es la conexión entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de deformación medida.

$$\eta = \frac{\tau_{ij}}{\gamma_{ij}}$$

El comportamiento newtoniano suele observarse en fluidos atómicos y moleculares, pero no en fluidos muy viscosos próximos a la transición vítrea o en fluidos complicados. Típicamente, en estas situaciones se encuentra una conexión de potencia dentro de la velocidad de deformación y el esfuerzo cortante.

“Cuando  $n$  es el denominado exponente que disminuye con el perfil de velocidad y la viscosidad aparente del fluido incrementa con el gradiente de velocidad, los materiales suelen tener una respuesta elástica apreciable, que es más significativa cuanto más sólido es el material, por lo que también se denominan materiales viscoelásticos”. (Gonzales H, 2009).



*Figura 2.* Tipos de Fluido

**Fuente:** (Gonzales H, 2009)

### 2.1.9. Reología

“La reología es el análisis de la deformación y el flujo de la materia, existiendo la viscosidad, que cuantifica la rigidez interna que presenta un líquido al desplazamiento relativo de sus porciones constituyentes, su propiedad más distintiva. Numerosos sectores, como plásticos, pinturas, alimentos, tintas de impresión, detergentes y aceites lubricantes, necesitan su investigación”. (Gonzales H, 2009).

Describir los modelos del comportamiento reológico en alimentos, también influye en distintos factores como en el comportamiento reológico de alimentos tipo fluidos: temperatura y concentración (Ballesteros, 2011).

#### **Aplicaciones:**

- Garantía en la inocuidad de los alimentos
- Investigación sobre la estructura y firmeza de los productos
- Producción de cola
- Elaboración de pinturas
- Fabricación de cosméticos y artículos de higiene personal



- Elaboración de medicamentos
- Caracterización de polímeros y elastómeros tipo PVC
- Continuidad de emulsiones y suspensiones
- Identificación de gasolina y otros hidrocarburos
- Caracterización de metales (a altas temperaturas) y cristal líquido
- Regulación del movimiento de fluidos a través de un contenedor cilíndrico (para prevenir el reflujo)
- investigación del magma en vulcanología.

#### **2.1.10. Esfuerzo Cortante ( $\tau$ )**

“Existen tensiones de tracción, compresión y cizallamiento, según que los componentes de la fuerza se dirijan radialmente hacia fuera o hacia dentro del plano sobre el que actúan. La tensión se mide en términos de fuerza por unidad de superficie. La ley de viscosidad de Newton proporciona la fórmula matemática que caracteriza el esfuerzo cortante en términos de flujo, cuando éste se crea en una sola dirección, paralela al plano”. (Canut & Guerra, 2008).

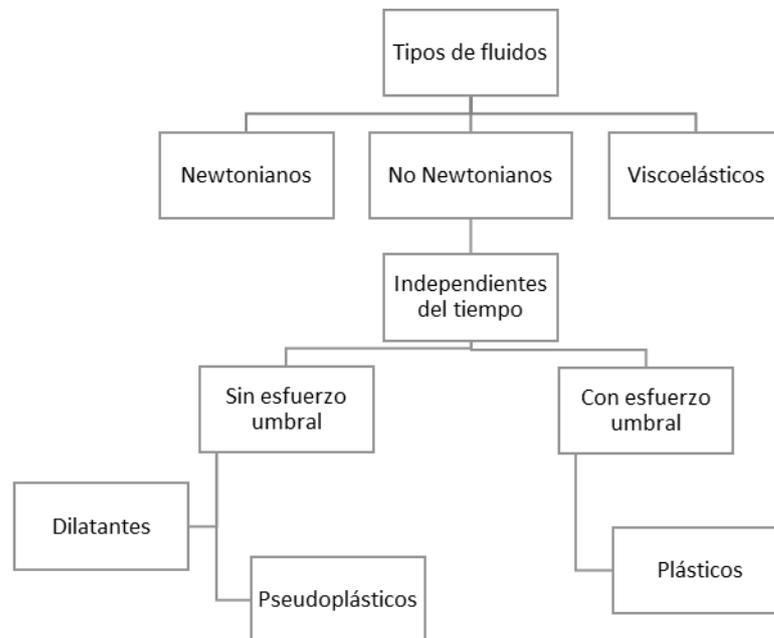
#### **2.1.11. Fluidos**

“Un fluido es un material que experimenta una deformación continua cuando se le aplican fuerzas de cizallamiento. Las cualidades reológicas de un fluido son un factor trascendente en la elaboración de productos industriales. A menudo determinan el funcionamiento y contribuyen a garantizar la calidad”. (Gonzales H, 2009).

#### **Existen 3 tipos de fluidos**

- “Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación)”.

- “No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación)”.
- “Viscoelásticos (actúan como líquidos y sólidos, mostrando propiedades del uno y del otro)”.



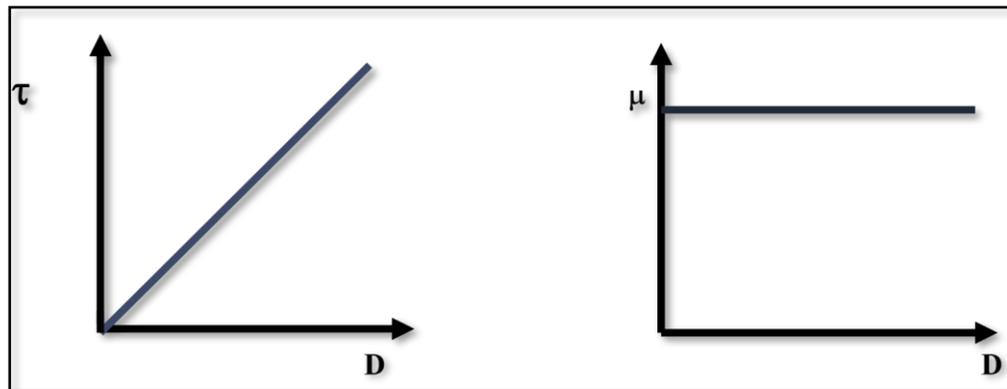
**Figura 3.** Se presenta los diferentes tipos de fluido

**Fuente:** (Gonzales H, 2009)

### 2.1.12. Fluidos newtonianos

“Un fluido newtoniano se representa por medio de la Ley de Newton, que plantea que el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación tienen una conexión lineal. Este tipo de fluido tiene una viscosidad constante que es independiente del esfuerzo cortante aplicado. No se sujeta del tiempo de la aplicación del esfuerzo, pero puede verse perjudicado por la temperatura y la presión de su ámbito. El agua y el aceite son modelos de líquidos newtonianos.” (Gonzales H, 2009).

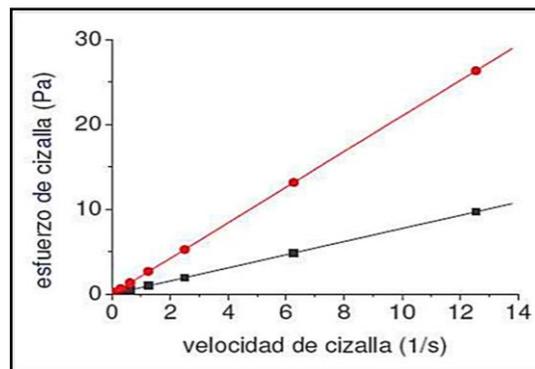
Para un mejor entendimiento de esta clase de fluido se interpretan dos tipos de gráficas, la “Curva de Viscosidad” y la “Curva de Fluidez”. “En la Curva de Fluidez se grafica el esfuerzo cortante de cara a la velocidad de deformación ( $\tau$  vs  $D$ ), en tanto que en la Curva de Viscosidad se representa la viscosidad en capacidad de la velocidad de deformación ( $\mu$  vs  $D$ ). Para un fluido newtoniano se alcanzan las siguientes curvas” (Aldas, 2013).



**Figura 4.** Curvas de Fluidez y Viscosidad para un Fluido Newtoniano.

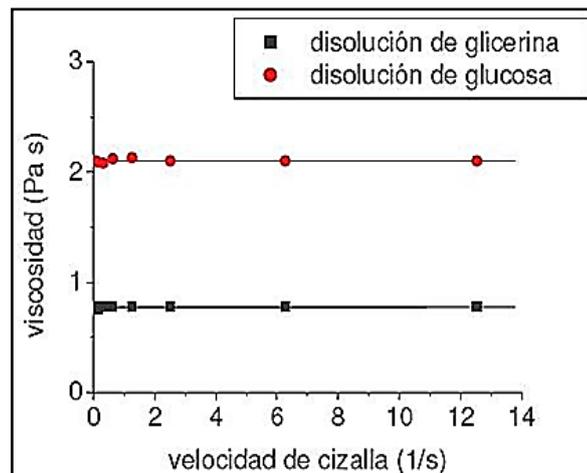
**Fuente.** (Gonzales H, 2009)

El esfuerzo cortante de cara a la velocidad de deformación se ve graficada en la curva de fluidez.



**Figura 5.** Muestra la figura entre el esfuerzo cortante de cara a la velocidad de deformación se presenta la viscosidad en función de la velocidad de deformación ( $\mu$  vs  $D$ ).

**Fuente:** (Gonzales H, 2009)



**Figura 6.** Viscosidad en labor de la velocidad de deformación

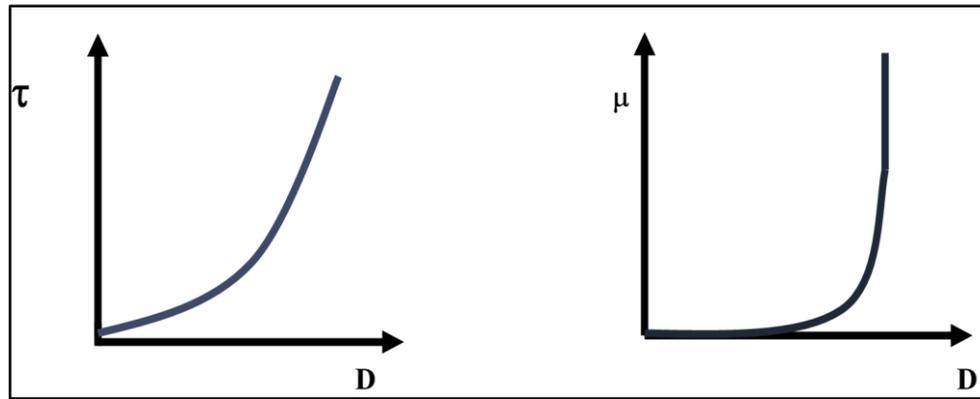
**Fuente:** (Gonzales H, 2009)

### 2.1.13. Fluidos no newtoniano

La viscosidad de un fluido no newtoniano se modifica con el gradiente de tensión que se le emplea. A desigualdad de los fluidos newtonianos, los fluidos no newtonianos no tienen una valoración de viscosidad específico y continuo. “Los fluidos no newtonianos son aquellos en los que la conexión entre la viscosidad y el esfuerzo cortante no es lineal, como constituye la ley de Newton. Estos fluidos se diferencian por sus características reológicas, que se refieren a la interacción entre los tensores de tensión y esfuerzo en circunstancias de flujo variables”. (Gonzales H, 2009).

### 2.1.14. Dilatantes

Los fluidos dilatantes son suspensiones cuya viscosidad aumenta con la rapidez de deformación, en otras palabras, el esfuerzo cortante se intensifica con la velocidad de deformación. Esto pasa cuando el aumento de la velocidad de cizallamiento se impulsa la viscosidad del fluido.

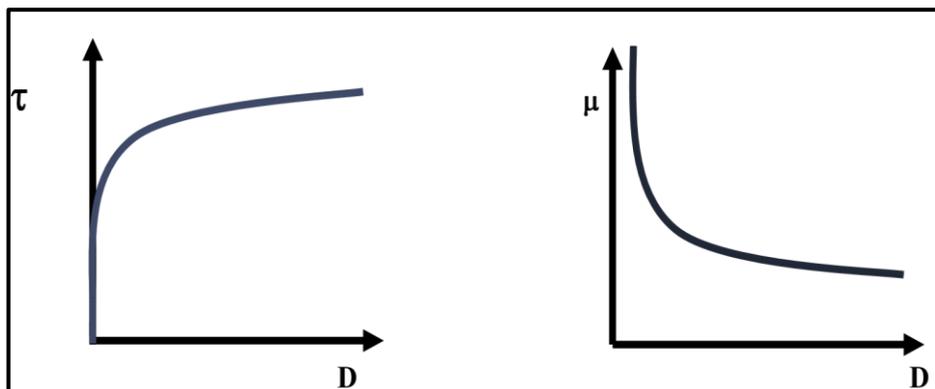


**Figura 7.** Representa las curvas de fluidez y viscosidad para un fluido dilatante.

**Fuente:** (Gonzales H, 2009)

### 2.1.15. Plásticos

Este tipo de fluido actúa como un sólido hasta que supera un determinado umbral de tensión de cizallamiento, momento en el que se transforma en líquido. “Tiene lugar cuando un material se expone a presiones inferiores a un umbral determinado y retiene energía. Sin embargo, si se vence el umbral, el material se altera continuamente como un fluido, quedando la tensión una función lineal o no lineal de la velocidad de deformación”.



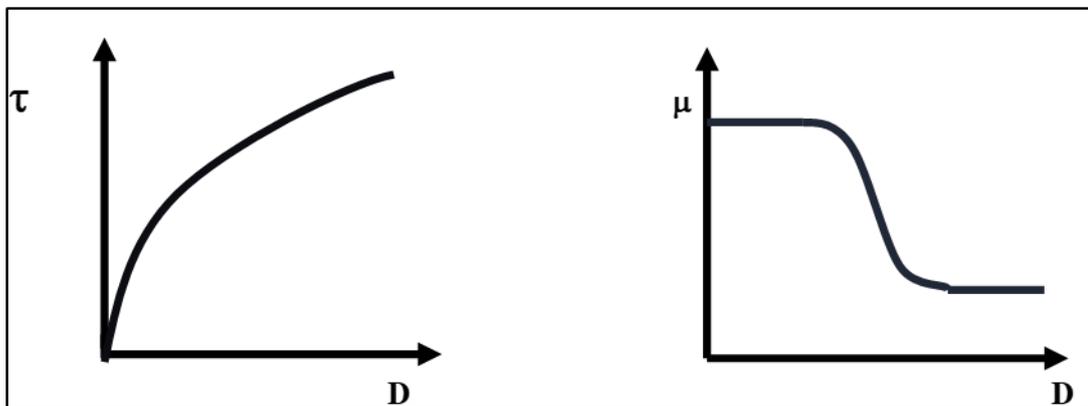
**Figura 8.** Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido plástico

**Fuente.** (Gonzales H, 2009)

### 2.1.16. Pseudoplásticos

“Esta clase de fluido muestra una reducción de la viscosidad y del esfuerzo cortante a medida que aumenta la velocidad de deformación. Ocurre cuando la viscosidad

de un material se reduce al aumentar la velocidad de deformación. Es la conducta más usual a nivel industrial y puede observarse en superior o inferior medida en función de la repartición del peso molecular y la estructura del material”. (Gonzales H, 2009).



**Figura 91.** Curvas de Fluidez y de viscosidad para un fluido pseudoplástico.

**Fuente:** (Gonzales H, 2009)

#### 2.1.17. Fluidos Viscoelásticos

Los fluidos viscoelásticos se distinguen por sus características viscosas y elásticas. Esta variedad de características puede deberse a la presencia de moléculas muy largas y flexibles en el fluido, así como a la presencia de partículas líquidas o sólidas dispersas. Algunos materiales que presentan a la vez características viscosas y elásticas cuando se deforman muestran un comportamiento viscoelástico.

#### 2.1.18. Reómetro

El Reómetro Viscotester iQ Air, se basa en una tecnología revolucionaria para la reología. El idea de motor CE, el cojinete neumático de difusión y el sensor de fuerza común patentado han sido mejorados a lo largo del tiempo para cumplir con los requisitos más exigentes de la reología, permitiendo la realización de todos los ensayos reológicos, tanto en la oscilación como también en la rotación (NAOTEC C. , 2015).

El sistema de reómetro de estructura modular posibilita la utilización de distintos dispositivos de atemperado y de numerosas cámaras de medición especiales. Las

innovadoras funciones patentadas Toolmaster™ y TruGap™ representan un salto cuántico en la facilidad de operación (NAOTEC C. , 2015).

“Tolera entender el proceder de las suspensiones en rangos de esfuerzo y velocidad mucho más extensos, así como las condiciones estacionarias”.



*Figura 10.* Reómetro Viscotester iQ Air.

**Fuente:** (NAOTEC, 2014)

### **2.1.19. Funcionamiento de un Reómetro**

El reómetro tiene un desempeño básico de diseño vigoroso, desde controles rápidos de un solo trazo en designaciones de curva y punto de fluencia a investigaciones reológicas complejas.



**Tabla 8.**

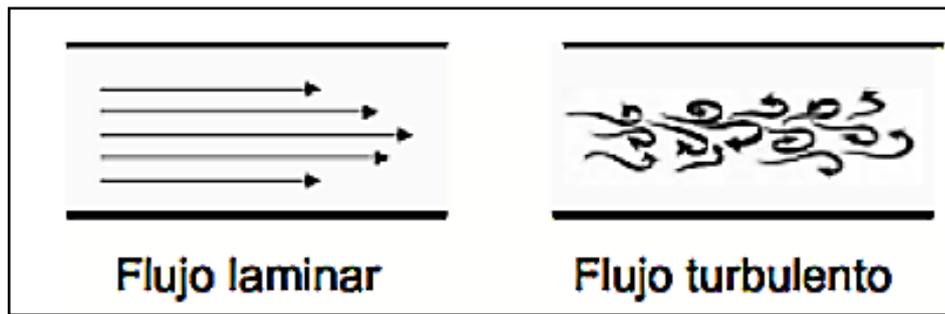
*Funciones básicas de un reómetro*

Absolutas	Relativas
“Condiciones del ensayo muy controladas: gradiente de velocidad, flujo laminar, etc. <sup>2</sup> ”	“Condiciones del ensayo no tan controladas”
Se cuantifican magnitudes físicas	Se cuantifican magnitudes físicas”
Obtienen viscosidad mediante fórmula matemática sin correlaciones/mediciones	Obtienen viscosidad mediante correlaciones/mediciones
Por tanto: son exactos.	La velocidad de cizalla no es constante
	Por tanto, no sirve para obtener curvas de flujo

**Fuente.** (NAOTEC C. , 2015).

### 2.1.20. Numero de Reynolds

Cuando un líquido fluye por una tubería a baja velocidad, lo hace en líneas paralelas a lo largo del eje de la tubería; esto se entiende como "flujo laminar". “A medida que sube la velocidad y se alcanza la llamada rapidez crítica, el flujo se separa para desarrollar un desplazamiento de remolino caracterizado por la formación de corrientes cruzadas y remolinos; esta normativa se conoce como flujo turbulento (véase la figura 2.1). El camino del régimen laminar al turbulento no es rápido, sino que esta tiene una conducta indefinida, nombrado conducción de transición”. (Torres, 2008).



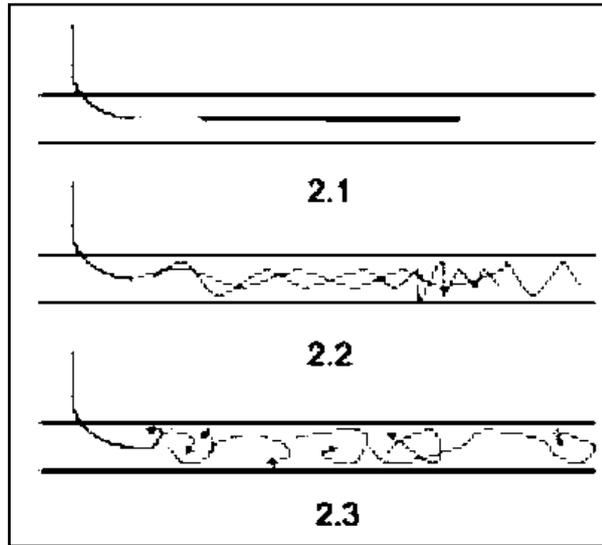
*Figura 11.* Conducciones de Flujo

**Fuente.** (Torres, 2008)

“Si se introduce una corriente muy sutil de un líquido coloreado en un tubo translucido que transporta un líquido acromático, se pueden contemplar las distintas conductas del líquido coloreado a medida que cambia la rapidez. A lo que el fluido se localiza en el régimen laminar (disminución de velocidades), el colorante aparece como una línea claramente definida. Cuando el fluido se encuentra en la zona de transición (velocidades medias), el colorante se extiende por toda la tubería”. (Torres, 2008).

“La curva de velocidad proporcional a la distancia de las paredes para el flujo laminar es una parábola, y la rapidez media es exactamente la mitad de la velocidad total. Para el flujo turbulento, la curvatura de distribución de la velocidad es más parejo, y la zona más cercana a la pared es la que presenta el mayor cambio de velocidad”. (Torres, 2008).

Las curvas particulares de la repartición de velocidades a través de conductos en la siguiente imagen.



Donde:

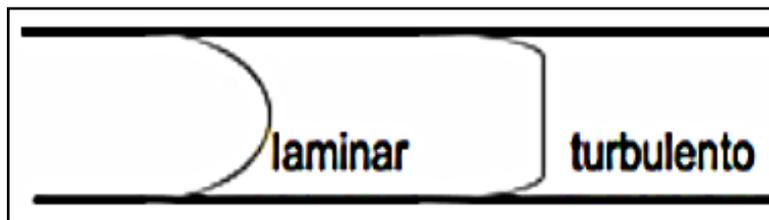
2.1: flujo de régimen laminar

2.2: flujo de régimen transitorio

2.3: flujo de régimen turbulento

**Figura 12.** Comportamiento del líquido a diferentes velocidades

**Fuente.** (Torres, 2008)



**Figura 13.** Distribuciones típicas de velocidad

**Fuente.** (Torres, 2008)

**Tabla 9.**

*Valores de velocidad mínima y máxima para cada reglamento*

Régimen	Re
Laminar	0
	2099
Transición	2100
	4000
turbulento	4001
	$\alpha$

**Fuente:** (Canut & Guerra, 2008)



En 1883, Osborne Reynolds reveló por primera vez los distintos regímenes de flujo y los valores numéricos asignados a cada uno. Reynolds reconoció que la clase de flujo obtenido por un fluido que viaja a través de una tubería depende de la velocidad del fluido, del diámetro del conducto y de ciertas características físicas del fluido.

En consecuencia, el número de Reynolds es un número adimensional que relaciona los parámetros físicos del fluido, su velocidad y la geometría de la tubería por la que circula, y se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \dots\dots\dots \text{Eq. 1}$$

**Donde:**

$Re$  = Número de Reynolds

$D$  = Diámetro del Ducto (L)

$v$  = Velocidad promedio del líquido (L/T)

$\rho$  = Densidad del Líquido

$\mu$  = Viscosidad del Líquido

“En general, cuando el número de Reynolds es inferior a 2100, el flujo es laminar; en medio de 2100 y 4000, el flujo es de transición; y por sobre los 4000, el flujo es turbulento. Este conjunto adimensional es uno de los factores más empleados en bastantes ámbitos de la ingeniería química, incluido el desplazamiento de fluidos”. (Canut & Guerra, 2008).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La actual investigación se efectuó el análisis de Saponina y densidad en el laboratorio de ingenierías de la “Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano Puno”.

El estudio reológico se efectuó en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Pontificia Universidad Católica del Perú- Lima.

#### 3.2. MATERIAS PRIMAS

Se utilizó siete variedades de quinua adquiridas del “instituto nacional de innovación agraria (INIA) – Puno”, la cantidad adquirida fue de 3kg por cada Variedad:

- Salcedo INIA
- Illpa INIA
- Kankolla
- Rosado choclo de taraco
- Altiplano
- Pasankalla
- Negra Collana



### 3.4. EQUIPOS Y MATERIALES

#### Equipos

- Reómetro Viscotester iQ Air (Geometría de cilindro de doble separación para medir fluidos de baja viscosidad).
- Balanza analítica digital (Meter tolado PB3002 - S)
- Termómetro digital - Ako Electronica (-50 a + 500°C)
- Cocina Eléctrica
- Horno Microondas – Electrolux (capacidad 17L – 1200 W)

#### Materiales

- Tubos de ensayo con cierres de rosca, 160 mm de largo y 16 mm de diámetro
- Probeta o jeringa de 10ml
- Gradilla o portatubos
- Pipeta volumétrica de 5 mL
- Cronometro o reloj
- Regla (sensibilidad 0.1 cm.)
- Porta tubos
- Vasos precipitados de 250 ml

### 3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS

#### 3.5.1. Dilución

El siguiente método se realizó en el laboratorio de Industrias Alimentarias – Pontificia Universidad Católica del Perú – Lima. Se preparó diluciones de quinua en agua de 1:5 y 1:10 (1 gramo de quinua con 5 y 10 ml de agua destilada), estas fueron sometidas y calibradas a tres Temperaturas (20, 35 y 50°C) para las siete variedades de quinua, en

donde los análisis realizados por el Reómetro Viscotester modelo iQ Air, en donde se obtuvieron datos de gradientes de Velocidad y esfuerzo cortante o fuerza de cizalla.



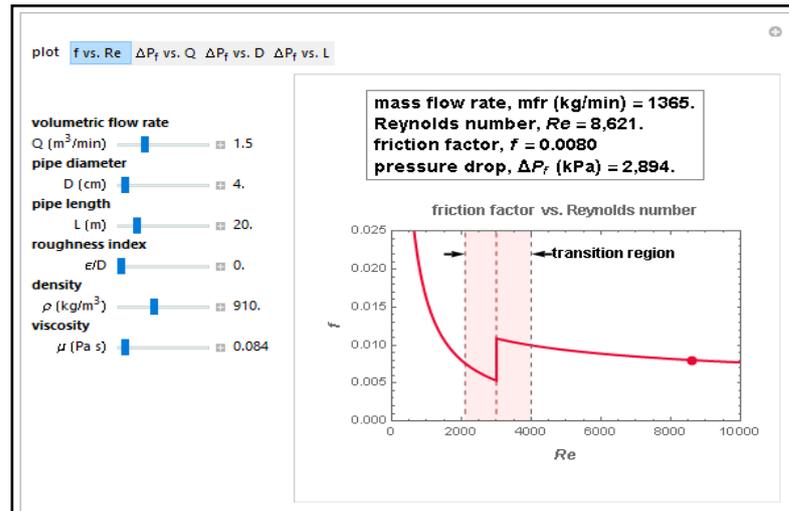
*Figura 14.* Preparación de muestras para el análisis reológico

**Fuente.** Elaboración propia

### 3.5.2. Determinación de número de Reynolds

Para la definición de Número de Reynolds se tuvo que utilizar la ecuación de Micha Peleg (Frictional Pressure Drop in a Pipe), utilizando un programa de simulación (Wolfram Demonstration Projejt), para determinar el Número de Reynolds.

La simulación calcula y muestra la presión en una tubería debido a la fricción en función de la tasa de flujo volumétrico del líquido, el diámetro, la longitud y el grado de rugosidad de la tubería y la densidad y viscosidad del líquido, también calcula y muestra la tasa del flujo másico del líquido, el número de Reynolds y el causante de fricción de cara al número de Reynolds (Diagrama de moddy) o la caída de presión en función del caudal, el diámetro de la tubería y su longitud, se tomó en cuenta el número de Reynolds para la investigación ya que es el único valor que se determinara con este método.



**Figura 15.** Simulación de la caída de la presión de un líquido en una tubería.

**Fuente:** Wolfram Demonstration Project, Programa de Simulación

### 3.5.3. Determinación de Viscosidad

Para determinar la viscosidad se usó el “Modelo de Oswald de Waele” (Ley de la Potencia).

$$\mu = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad , \text{ unidades de medida (Pa.s)} \quad \dots\dots\dots \text{Eq. 3}$$

Donde:

$\sigma$  = Gradiente de Velocidad

$\dot{\gamma}$  = Esfuerzo Cortante o Fuerza de Cizalla

De las cuales las constantes reológicas de las variedades de quinua obtenidos a través del viscosimétrico se identifican gradiente de velocidad y esfuerzo cortante. Para poder determinar viscosidad.



### 3.5.4. Determinación de densidad

“En tres casos distintos, sólo se necesita la masa del líquido para calcular la densidad de un líquido mediante la técnica del picnómetro. Todas las masas deben medirse utilizando una balanza analítica con la tapa cerrada”. (Huerta, 2013).

#### Procedimiento

- Pesar y registrar la masa del picnómetro vacío (MP).
- Rellena el picnómetro con agua (el fluido principal) y chequear la masa total (MP+W). Para nivelar el picnómetro hay que rellenarlo completamente, evitando que se produzcan burbujas de aire. Al cerrar el capilar, el nivel de agua aumentará y rebosará, dejando el capilar también lleno de agua. Antes de pesar, hay que secar el exterior del picnómetro una vez que se haya derramado el agua.
- Igualar el picnómetro con disolución (líquido cuya densidad deseamos hallar) y registrar su masa (mp+d). Se seguirá el procedimiento similar y se tendrán las mismas cautelas que al igualar el picnómetro con agua.
- Para poder determinar la densidad de la solución de la quinua se debe tener tres datos de masa: “Mp, Mp+w” y “Mp+d”.

La ecuación que se presenta permite hallar la densidad de la dilución simplemente reemplazando en ella los tres datos de masa definidos (Mp, Mp+w y Mp+d). Para esto se tiene que sustituir el dato de la densidad del agua, que para sintetizar suele aceptarse como 1g/ml.

$$Pd = \frac{M(p + s) + Mp}{M(p + a) + Mp} * 1 \dots\dots\dots \text{Eq. 4}$$



### **3.5.5. Determinación de la saponina.**

Con la finalidad de determinar el análisis de saponina se usó el método Afrosimétrico (método de la espuma), se realizó en el Laboratorio de Ingenierías – Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

#### **Fundamento**

El método Afrosimetrico o medida de espuma se basa en medir la altura de la espuma producida por la saponina cuando es sometida a condiciones estandarizadas de extracción y agitado, y es comparado por la producción de espuma originada por la digitonina en concentraciones variables.

#### **Reactivo**

- Agua destilada o agua de Pureza equivalente.

#### **Procedimiento.**

- Pesar 0,50 +/- 0,02 g de semillas completas de quinua y situarlos en un tubo de ensayo.
- Agregar 5,0 mL de agua destilada y cerrar el tubo. Poner en movimiento el cronómetro y agitar vigorosamente el tubo a lo largo de 30 segundos.
- Poner el tubo en reposo a lo largo de 30 minutos, luego agitar otra vez durante 20 segundos.
- Dejar en descanso durante 30 minutos más, después agitar otra vez durante 30 segundos.
- Dale al tubo una última agitada como el que se da a los termómetros orales.
- Dejar el tubo en descanso durante 5 minutos, después cuantificar la altura de la espuma al 0,1 cm más cercano.



### **Cálculos.**

$$\% \text{ de Saponina} = \frac{0.646 \times (\text{altura de la espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de la muestra en gramos}) \times 10}$$

**Fuente.** (INDECOPI, 2014)

#### **3.5.6. Análisis Estadístico**

En este trabajo se empleó un DCA (diseño completo aleatorizado) para el ensayo factorial, con tres reiteraciones por tratamiento y se utilizó el coeficiente de variación para cuantificar su variabilidad.

Utilizando el software Statgraphics Plus 16.1, se realizó un análisis de varianza para ver si esta diferencia significativa en medio de tratamientos, así como una prueba para igualar la comparación múltiple para determinar si existe diferencia entre tratamientos.

#### **3.5.7. Evaluación de la viscosidad sometida a diluciones y temperatura.**

Se examina el dominio de las siete variedades de quinua (Altiplano, Kancolla, Illpa INIA, Negra Collana, Pasankalla, Rosado Choclo Taraco y Salcedo); dos diluciones (1 gramo de quinua: 5 agua destilada y 1 gramo de quinua: 10 ml de agua destilada) y tres temperaturas (20°C, 35°C y 50°C) en la viscosidad y Numero de Reynolds de las muestras elaboradas, utilizando un diseño totalmente al azar con un ajuste factorial de 7A x 2B x 3C x 3 repeticiones.

#### **3.5.8. Variables de estudio**

##### **Variables de estudio A: Variedades**

- Altiplano
- Kancolla



- Illpa INIA
- Negra Collana
- Pasankalla
- Rosado Choclo Taraco
- Salcedo

#### **Variables de estudio B: Diluciones**

- 1 gramo de quinua / 5 ml de agua (1:5)
- 1 gramo de quinua / 10 ml de agua (1:10)

#### **Variables de Estudio C: Temperatura**

- 20°C
- 35°C
- 50°C

#### **Variable de Respuesta**

- Viscosidad
- Densidad
- Numero de Reynolds



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. VISCOSIDAD DE SIETE VARIEDADES

Se determinó la viscosidad de siete variedades de quinua sometidas a dos diluciones 1:5 y 1:10 (1gramo de quinua: 5/10 ml de agua), y temperatura 20°C, 35°C y 50°C, como se puede evidenciar en la tabla 10 y 11.

**Tabla 10.**

*Viscosidad (Pa.s) de siete variedades de quinua a una dilución (1:5) y temperatura (20°C, 35°C y 50°C).*

VARIEDADES	VISCOSIDAD (Pa.s)		
	Dilución 1:5		
	20°C	35°C	50°C
<b>Altiplano</b>	0.8	0.7	0.58
<b>Kancolla</b>	0.43	0.48	0.5
<b>Illpa</b>	0.57	0.53	0.56
<b>Negra Collana</b>	0.83	0.53	0.51
<b>Pasankalla</b>	0.47	0.46	0.45
<b>Rosado choclo taraco</b>	0.73	0.67	0.58
<b>Salcedo</b>	0.56	0.4	0.5

**Tabla 11.**

*Viscosidad (Pa.s) de siete variedades de quinua a una dilución (1:10) y temperatura (20°C, 35°C y 50°C).*

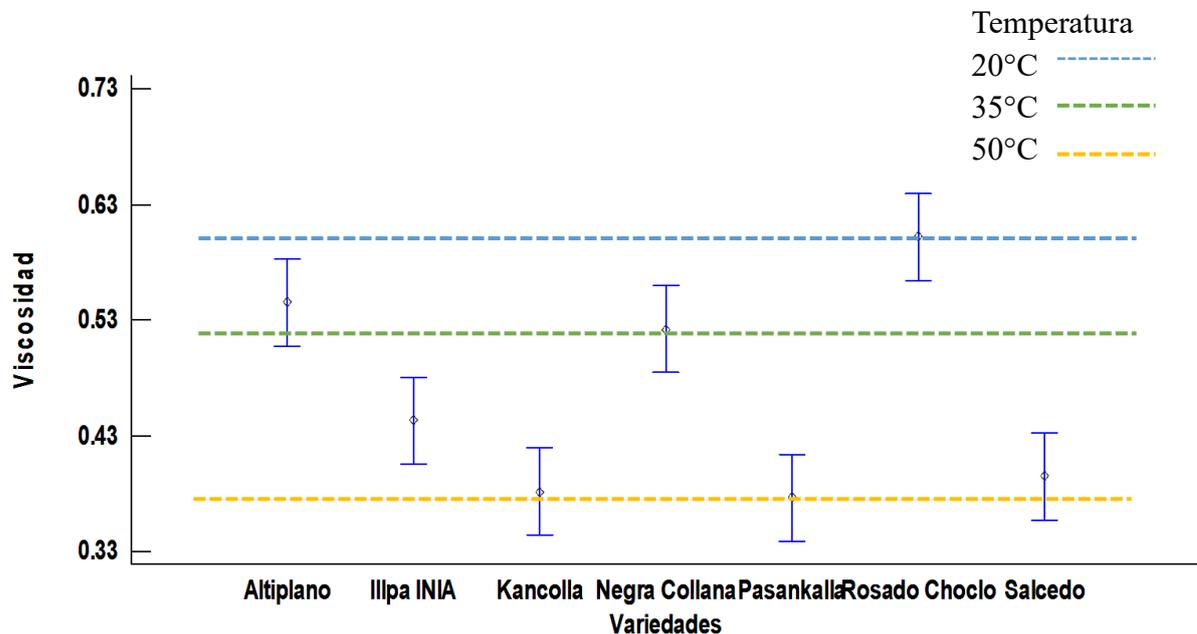
VARIEDAD	VISCOSIDAD (Pa.s)		
	Dilución 1:10		
	20°C	35°C	50°C
<b>Altiplano</b>	0.53	0.38	0.28
<b>Kancolla</b>	0.29	0.3	0.29
<b>Illpa INIA</b>	0.37	0.32	0.31
<b>Negra Collana</b>	0.5	0.34	0.42
<b>Pasankalla</b>	0.25	0.3	0.33
<b>Rosado Choclo Taraco</b>	0.62	0.34	0.3
<b>Salcedo</b>	0.33	0.3	0.28

Según (Mott, 2007), “un fluido a temperaturas elevadas tiende a disminuir su índice de viscosidad ya que es muy sensible a la temperatura esto se debe a que las moléculas empiezan a dispersarse poco a poco (expansión térmica), al realizar esto, pueden moverse más libremente y se disminuye la fricción”.

“Para mejorar parámetros de saponificación de las siete variedades de quinua, se necesita obtener viscosidades bajas, para lo cual se podría decir que a menos viscosidad mayor número de Reynolds (flujo turbulento) y a mayor número de Reynolds mejor se lograra eliminar la saponina y así optimizar el proceso de desaponificado”.

#### 4.1.1. Análisis estadístico viscosidad vs temperatura

En la Figura 16 se ejemplifica el análisis estadístico de la viscosidad de siete variedades de quinua a tres diferentes temperaturas.



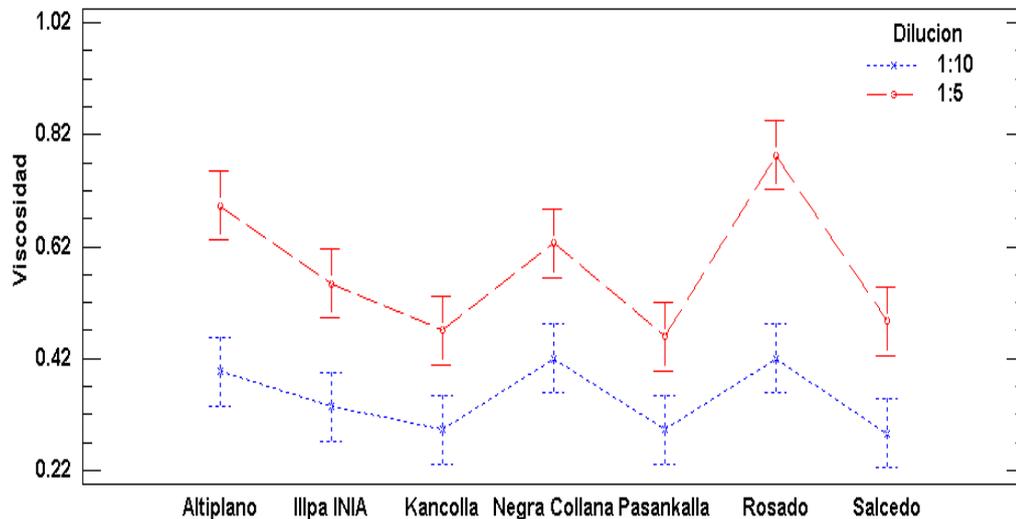
**Figura 16.** Interacciones de siete variedades de quinua con la temperatura (20°C, 35°C y 50°C), en donde la viscosidad varía según la temperatura.

“Conforme al análisis de varianza (ANVA) (descrita en anexos C, cuadro C1), se muestra que existe pruebas estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) para variedad y temperaturas sobre viscosidad, por motivos de estimar la variedad con mejor temperatura mejor viscosidad, se hace una prueba con equiparaciones” (descrita en anexo C, C2 y C4).

Conforme a la prueba Tukey respecto a la influencia de la variedad de quinua sobre la temperatura, podemos observar la disminución de la viscosidad al aumentar la temperatura para cada variedad; obteniendo así una viscosidad baja a temperatura de 50°C; indicando que a una viscosidad baja se logra obtener un número de Reynolds mayor a 4000 en donde tenemos un flujo completamente turbulento y así mejorar resultados para el lavado de quinua.

#### 4.1.2 Análisis estadístico para viscosidad vs dilución

En la figura 17 se ejemplifica el gráfico de la viscosidad de siete variedades de quinua a dos diluciones (1:5 y 1:10).



**Figura 17.** Interacciones de las variedades de quinua con dilución.

Conforme al análisis de varianza (ANVA) (referido en Anexos C, cuadro C1), se muestra que si hay una prueba estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), para variedades y dilución encima de la viscosidad, con motivo de estimar la variedad con superior dilución, mejor viscosidad, se efectuó una prueba de comparaciones (descritas en el anexo C, cuadro C2 y C3).

Conforme a la prueba Tukey respecto a la influencia de la dilución sobre la viscosidad (figura 17), “podemos observar que a una dilución de 1:5 se obtiene valores de viscosidad de 0.80 – 0.50 Pa.s, pasa lo contrario en la dilución 1:10 ya que esta muestra valores desde 0.40 a 0.25 Pa.s. En donde podemos decir que la dilución óptima para el lavado de quinua es de 1:10, ya que a esta dilución se podrá obtener valores de viscosidad bajos, para así lograr un número de Reynolds por encima de los 4000 y lograr desaponificado óptimo”.



#### 4.2. DENSIDAD DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA.

Se determinó la densidad de las siete variedades de quinua sometidas a dos diluciones 1:5 y 1:10 (1 gramos de quinua: 5/10 ml de agua), temperatura 20°C, 35°C y 50°C, como se puede apreciar en la tabla 12 y 13.

**Tabla 12.**

*Densidad de siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 a diferentes Temperaturas.*

VARIEDADES	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Dilución 1 : 5		
	20°C	35°C	50°C
<b>Altiplano</b>	1011	1012	1013
<b>Kancolla</b>	1010	1011	1013
<b>Illpa INIA</b>	1010	1011	1012
<b>Negra Collana</b>	1008	1009	1011
<b>Pasankalla</b>	1012	1013	1015
<b>Rosado Choclo</b>	1005	1006	1012
<b>Taraco</b>			
<b>Salcedo</b>	1010	1011	1012

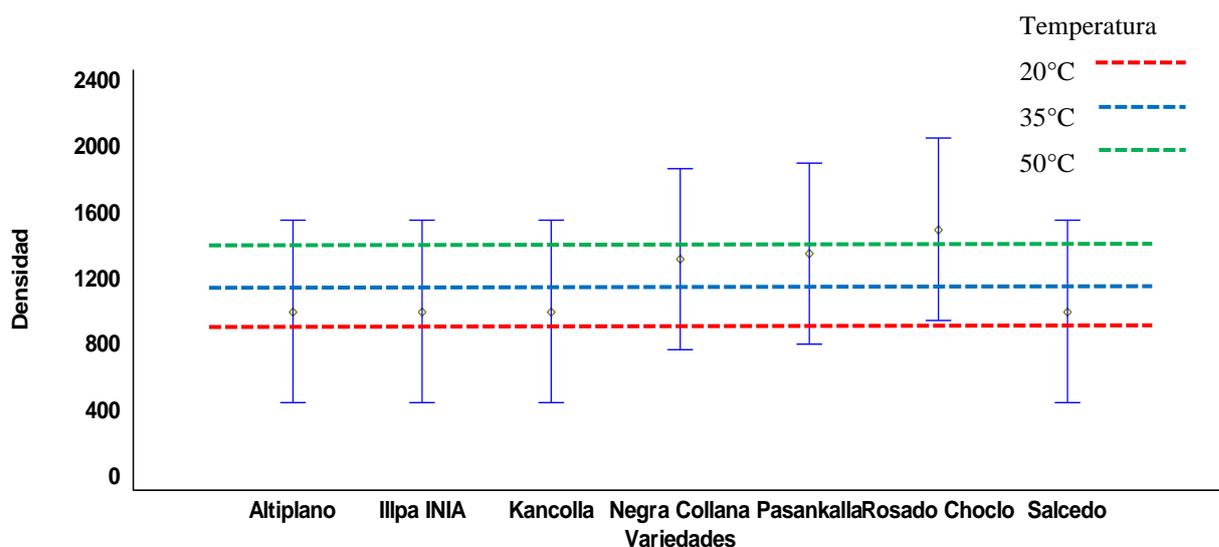
**Tabla 13.**

*Se muestra los resultados de densidad de siete variedades de quinua a una dilución de 1:10 a diferentes Temperaturas.*

VARIEDAD	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )		
	DILUCIÓN 1 : 10		
	20°C	35°C	50°C
<b>Altiplano</b>	1003	1004	1009
<b>Kancolla</b>	1004	1005	1007
<b>Illpa INIA</b>	1004	1005	1006
<b>Negra Collana</b>	1007	1008	1009
<b>Pasankalla</b>	1006	1007	1009
<b>Rosado Choclo Taraco</b>	1003	1003	1006
<b>Salcedo</b>	1006	1006	1007

#### 4.2.1 Análisis estadístico para densidad vs temperatura.

En la figura 18 se observa el análisis estadístico de la densidad de siete variedades de quinua a tres temperaturas 20°C, 35°C y 50°C.



**Figura 18.** Intersecciones de densidad para siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 a tres diferentes temperaturas.



Conforme al análisis de varianza (ANVA) (descrita en Anexos C, cuadro C8), se muestra que no se encontró evidencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), para temperatura sobre la densidad, con motivos de estimar la variedad con mejor temperatura, se realizó una prueba de comparaciones (descritas en el anexo C, cuadro C9).

En la tabla 12 y 13 se puede apreciar que los valores de densidad están dentro del rango de 1003 a 1015  $\text{Kg/m}^3$  para las dos diluciones (1:5 y 1:10) y temperaturas (20°C, 35°C y 50°C) indicando que estos valores no influirán para la determinación del número de Reynolds.

#### 4.3. NUMERO DE REYNOLDS DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA

Se determinó número de Reynolds de siete variedades de quinua sometidas a dos diluciones 1:5 y 1:10 (1 gramo de quinua: 5/10 ml de agua), Temperatura 20°C, 35°C y 50°C, como se puede observar en la tabla 14 y 15. Se utilizó la ecuación de Micha Peleg para determinar número de Reynolds.

**Tabla 14.**

*Numero de Reynolds de siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 a diferentes Temperaturas.*

TEMPERATURA	DILUCIÓN 1: 5		
	20°C	35°C	50°C
ALTIPLANO	4345	4909	5930
KANCOLLA	7975	7151	6879
ILLPA INIA	6016	6477	6136
NEGRA COLLANA	4123	6464	6731
PASANKALLA	7311	7477	7658
ROSADO CHOCLO TARACO	4674	5098	5924
SALCEDO	6124	8582	6872

**Tabla 14.**

*Número de Reynolds de siete variedades de quinua a una dilución de 1:10 a diferentes Temperaturas.*

TEMPERATURA	DILUCIÓN 1: 10		
	20°C	35°C	50°C
ALTIPLANO	6425	8971	12235
KANCOLLA	11755	11374	11790
ILLPA INIA	9213	10663	11018
NEGRA COLLANA	6838	10066	8157
PASANKALLA	13663	11397	10381
ROSADO CHOCLO TARACO	5493	10016	11386
SALCEDO	10351	11386	12211

En la tabla 14 y 15 los resultados muestran que la máxima dilución y temperatura para la desaponificación es a una dilución de 1:10 a una temperatura de 50°C, para las siete variedades de quinua, a medida que aumenta tanto la dilución y temperatura se logra mayor número de Reynolds desde 5493 hasta 12235 Re.

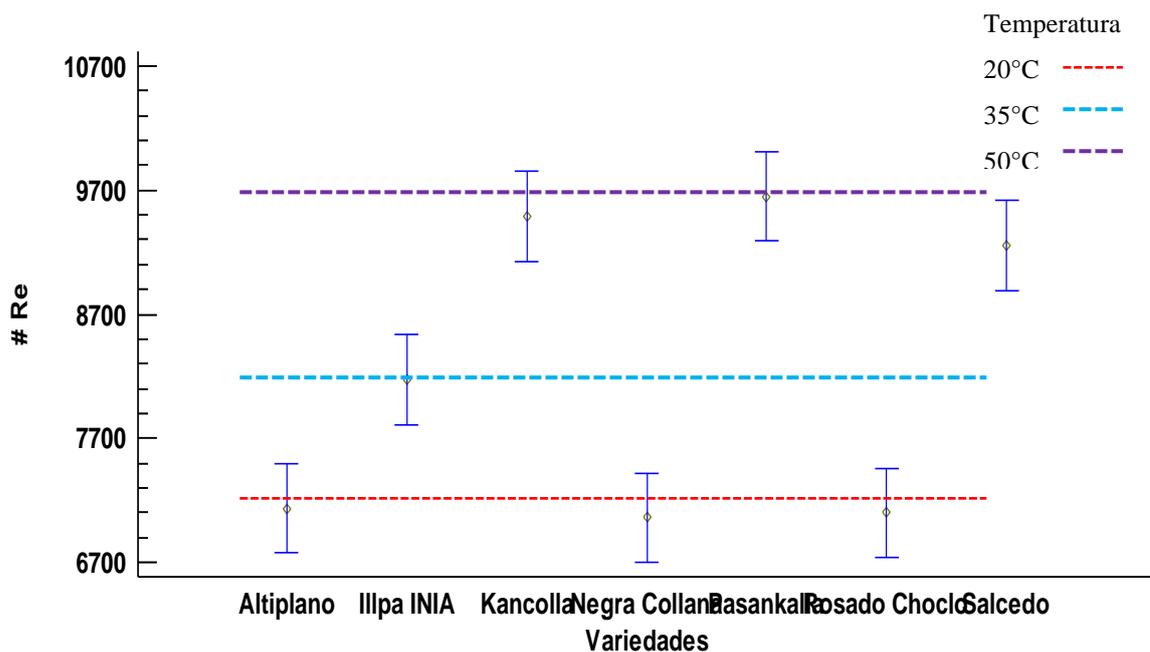
(Zavaleta, 2005), “en su indagación sobre el estudio de su conocimiento sobre desamargado de quinua y análisis de saponinas. El lavado debe realizarse en un sistema absolutamente turbulento y con tiempos de fricción limitados, visto que los tiempos extendidos de extracción de saponinas de quinua con agua, no mejoran esencialmente el rendimiento de extracción y eventualmente pueden descender”. Los resultados que se obtuvieron fueron mayores a 4000 Re, para lo cual se puede decir que el tipo de flujo es completamente Turbulento.

(Canut & Guerra, 2008) “nombramos que, si el número de Reynolds supera los 4000, el flujo es completamente turbulento, los resultados que se obtuvieron en todas las variedades estudiadas a tres temperaturas y diluciones superan los 4000 Re, indicando que el flujo es completamente turbulento”.

Teniendo resultados de 4123 a 12235 Re en las siete variedades de quinua a una dilución de 1:5 y 1:10 y temperatura de 20, 35 y 50°C, esto permite realizar el proceso de desaponificado óptimamente ya que a mayor Número de Reynolds mayor es la turbulencia, y a mayor turbulencia el proceso de desaponificación será mejor.

#### 4.3.1. Análisis estadísticos de numero de Reynolds vs Temperaturas.

En la figura 19, se muestra el grafico de numero de Reynolds vs Temperatura para siete variedades de quinua.



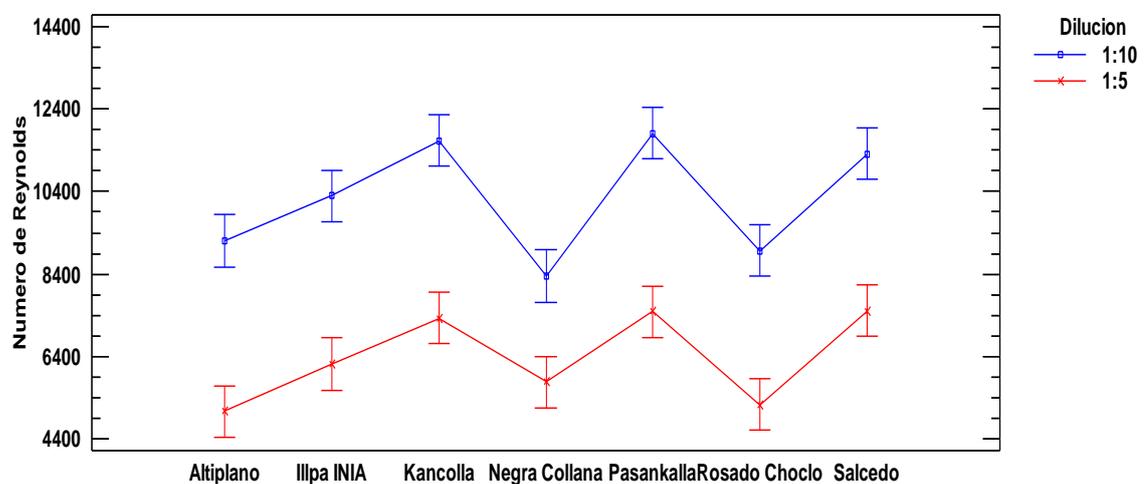
**Figura 19.** Interacción de numero de Reynolds para siete variedades de quinua a tres temperaturas (20°C, 35°C y 50°C).

Conforme al análisis de varianza (ANVA) (descrita en Anexos C, cuadro C5), se muestra que hay evidencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), para Temperatura sobre Numero de Reynolds, por causal de estimar la temperatura con mayor número de Reynolds, se ejecutó una prueba de comparaciones (descrita en el anexo C, cuadro C6).

Conforme a la prueba Tukey respecto a la influencia de la Temperatura sobre Número de Reynolds, podemos observar que a una Temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$  se logra obtener valores de Número de Reynolds de 5493 - 12235 Re. Indicando que la Temperatura óptima para el desaponificado de quinua es  $50^{\circ}\text{C}$ , a esta temperatura se logra obtener un numero de Reynolds por encima de los 4000 Re, logrando así un flujo completamente turbulento.

#### 4.3.2. Análisis estadístico de numero de Reynolds vs dilución.

En la figura 20, se muestra el grafico estadístico de numero de Reynolds sobre la dilución (1:5 y 1:10), para siete variedades de quinua.



**Figura 20.** Interacciones de numero de Reynolds para cada variedad de quinua a dos diluciones (1:5 y 1:10).

Conforme al análisis de varianza (ANVA) (descrita en Anexos C, cuadro C5), se muestra que hay evidencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), para variedad y diluciones sobre Numero de Reynolds, por causa de estimar la mejor dilución mejor



número de Reynolds., se ejecutó una prueba de comparaciones (descrita en anexo C, cuadro C7).

Conforme a la prueba Tukey en relación a la influencia de la variedad de quinua acerca de la dilución, podemos observar que a una dilución de 1:5 se obtiene valores de Numero de Reynolds de 4345 - 8582 Re, pasa lo contrario en la dilución 1:10 ya que esta muestra valores desde 5493 - 12235 Re. Indicando que la dilución óptima para el lavado de quinua es 1:10 (1 gramo de quinua: 10 ml de agua).

#### **4.4. SAPONINA DE SIETE VARIEDADES DE QUINUA.**

Se determinó la saponina para siete variedades de quinua con la mejor dilución 1:10 (1 gramo de quinua: 1:10 ml de agua), a tres temperaturas 20°C, 35°C y 50°C, como se puede apreciar en la tabla 16.

**Tabla 16.**

*Saponina (%) de siete variedades de quinua a una dilución 1:10 y temperatura 20°C, 35°C y 50°C.*

<b>Variedades</b>	<b>20 °C</b>	<b>35°C</b>	<b>50°C</b>
<b>Altiplano</b>	0.53	0.32	0.10
<b>Salcedo INIA</b>	0.39	0.23	0.07
<b>Negra Collana</b>	0.06	0.04	0.01
<b>Rosado Choclo Taraco</b>	0.72	0.43	0.13
<b>Illpa INIA</b>	0.04	0.02	0.01
<b>Kancolla</b>	0.12	0.07	0.02
<b>Pasankalla</b>	0	0	0



En la tabla 16 se muestra los resultados de saponina a tres temperaturas de 20°C, 35°C y 50°C a una dilución de 1:10. Se determina que la desaponificación a tres temperaturas diferentes con una dilución de 1:10 se logró extraer un 89% de saponina en las siete variedades de quinua. Según la Norma Técnica Peruana (205.062-2009) especifica que el nivel máximo aceptable para el proceso de transformación y consumo, oscila entre 0.06 – 0.12 %, para lo cual estas se encuentran dentro de los rangos establecidos.

(Dini, 2002), “menciona en sus análisis sobre aislamiento y caracterización de recientes triterpenos de saponina en diferentes granos de quinua, hallo que, incrementando la temperatura de lavado de distintos granos de quinua desde una temperatura ambiente, hasta los 60°C se consigue extraer una mayor cantidad de saponina que presenta la quinua”.

(Briceño, 2005), “Encontró en trabajos de laboratorio que al intensificar la temperatura del agua de lavado de 40°C a 70°C incrementaba gradualmente la extracción de saponina y optimizaba hasta un 70.5% en relación al lavado hecho a temperatura ambiente”.

Otros estudios desarrollan el proceso de eliminación con agua a 40°C y 70°C, se constató que a temperaturas superiores la extracción de saponina era efectivo, sin embargo, los granos alteraron su apariencia y muchas de ellas perdieron su embrión o germen. Esto pasa debido a la gelatinización del almidón a 70°C, por esta causa es conveniente superar los 50°C a lo largo del proceso de desaponificación”.



## V. CONCLUSIONES

- En conclusión, la viscosidad disminuye al aumentar la cantidad de agua y temperatura, obteniendo un rango de 0.25 a 0.62 Pa. s; en cuanto a la densidad la dilución y temperatura no tienen una influencia estadísticamente significativa. Se concluye también que el número de Reynolds depende de la dilución y temperatura, ya que a mayor temperatura y mayor dilución mayor número de Reynolds.
- Se identificó la mejor dilución y temperatura para el proceso de desaponificado de quinua, la dilución óptima es 1:10 (1 gr de quinua: 10 ml de agua) y la temperatura óptima para un mayor desaponificado es 50°C, para las siete variedades de quinua, logrando extraer un 87% de saponina del grano.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la extracción de saponinas se trabaje con una temperatura máxima de 50°C para el lavado, ya que a una temperatura de 70°C existe una deformación del grano de quinua, por tal motivo se recomienda lavar por vía húmeda a una temperatura de 50°C.
- Al minimizar los tiempos de contacto de granos de quinua en agua, se pueden optimizar otros procesos de secado, y que a mayor número de Reynolds mejor es el desaponificado de quinua.
- Se recomienda realizar el proceso de desaponificado por un método combinado (vía seca y vía húmeda) ya que esta operación garantiza la eliminación de la saponina hasta un 90%, del total de saponina presente en la quinua.
- El desaponificado debería desarrollarse a régimen absolutamente turbulento y con tiempos de contacto muy cortos. A pesar de ello, no debería pasarse el número de Reynolds crítico de 130.000, por encima del cual se detecta destrucción de las semillas de quinua.
- Se recomienda realizar el proceso de desaponificado por tiempos prolongados con agua, en la cual no mejoran significativamente el beneficio de extracción y ocasionalmente pueden bajarlo, llevando además la desventaja de producir niveles muy elevados de hidratación ligada del grano de quinua, lo que implica más gastos para el secado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldas, M. (2013). Medicion de la viscosidad de fluidos Newtonianos . *Escuela Tecnica Nacional* .
- Araujo, M. (2012). Medida de Viscosidades y densidades .
- Borda, W., & Ezequiel, W. (2002). Diseño y construccion de un equipo mejorado para la desaponificacion de quinua. *Universidad Nacional del Altiplano - Puno*, 99.
- Briceño, O. (2005). Evaluacion de la composicion quimica (composicion nutricional) de algunas entradas de quinua. *Univeridad Tecnica del Altiplano (Perú)*, 125-134.
- Briceño, O. (2014). Determinacion de cantidad de saponinas en variedades de quinuas (Chenopodium quinoa, Willd). *Cultivos Andinos* .
- Canut , M., & Guerra , F. (2008). Numero de Reynolds - Laboratorio de Operaciones Unitarias. *Universidad Iberoamericana - Mexico*.
- Castillo , H. (2013). Indice de deteccion de Saponinas. *ClubdeEnsayos*.
- Chacchi, K. (2009). Demanda de la Quinua (Chenopodium quinoa Willd) a nivel industrial . *Universidad Nacional Agraria la Molina - Perú*.
- CIRNMA. (1997). MANUAL DEL PRODUCTOR DE QUINUA . *Serie Manueales* .
- Colin , W., & Corke , H. (2016). *Encyclopedia of Food Grains - Second Edition* . New York: ELSERVIER.
- Corzo, D. (2008). Analisis y seleccion de diferentes metodos para eliminar las saponinas en dos variedades de Chenopodium quinoa Willd. *Celestino Munis*.
- Dini, I. (2002). Studies on the constituents of .
- El Peruano. (2013). Produccion de la Quinua a nivel Nacional . *El Peruano* , 8 .



- FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir ala seguridad alimentaria mundial. 35 - 36.
- FAO. (2013). *CATÁLOGO DE VARIEDADES COMERCIALES DE QUINUA EN EL PERU*. LIMA.
- Gomez , L., & Aguilar Castellano, E. (2016). *Guia de Cultivo de la quinua - FAO*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Gomez, L., & Eguiluz, A. (2011). *Catalago del banco de Germoplasma de Quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- Gonzales H, R. (2009). Reologia de Liquidos Viscosos. *Intituto de Saltillo*.
- Grasso , F. (2015). Aprovechamiento Integral del Grano de Quinua.
- Gunsha , L. (2013). Elaboración de un emulsionante cosmético a base de las saponinas del agua de lavado de quinua (Chenopodium quinoa Willd). *Escuela Superior Politecnica de Chimborazo* .
- Guzman , B., & Cruz, D. (2013). Cuantificacion de saponinas en muestras de cañihua (Chenopodium Pallidicaude AELLEN). *Revista Boliviana Quimica*.
- Huerta, E. (2013). Determinación de la densidad de un liquido con el metodo del Picnometro. *Universidad Politecnica de Valencia*.
- INDECOPI. (2014). Granos Andinos. Quinua. *NTP 205.062.2014.GRANOS ANDINOS 2º Edicion* , 22 - 24.
- Inia. (2013). Catalogo de Variedades Comerciales de Quinua en el Perú. *FAO*.
- INIA. (2013). Variedades Certificadas de la Region de Puno. *Agraria Illpa*.
- Li, J., & Hou, G. (2013). El estudio de los efectos de trigo integral harina sobre las



- propiedades reológicas propiedades y los atributos de calidad de trigo entero galleta de soda el uso de SRC, roemetro y tecnica del RMN. *ELSEVIER*.
- Lozano , M., & Ticona , E. (2012). Cuantificacion de Saponinas en residuos de quinua real *Chenopodium quinoa*, Willd. *Boliviana de Quimica* .
- Luna , G., & Aguilar , S. (2011). Conservacion de los Alimentos y Prediccion de su vida útil . *Imprenta Arco Iris E.I.R.L. Puno - Perú*.
- Lurssen , L. (2001). Cuantificacion de saponinas estereodales en Yucca Elephantipes (Flor de izote). *Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Marca , S., & Chauca, W. (2011). Desarrollo de Capacidades de la Cadena Productiva de Quinoa en la Region de Puno. *DRA Puno*.
- Marcano , R. (2011). VISCOSIDAD DE FLUIDOS .
- Martinez, A. (2001). Saponinas Esteroides. *Universidad de Antioquia* .
- Medina, W., Melin , P., & Mujica , A. (2003). Propiedades Mecanicas de granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) . *Revista Agroindustrial, Tercera Edicion. Carrera Profesional de Ingenieria Agroindustrial UNA Puno - Perú*.
- MINAG. (2013). PRODUCCION DE QUINUA A NIVEL NACIONAL . *Ministerio de Agricultura* .
- Minagri. (2014). Quinoa. Un futuro sembrado hace miles de años. Memoria del Año Internacional de la Quinoa en el Perú.
- MINAGRI. (2017). La Quinoa: Producción y Comercion del Perú.
- Moraga Ballesteros, G. (2011). Propiedades reológicas de alimentos.
- Moraga, G. (2010). Propiedades Reologicas de alimentos Fluidos. España.
- Mori , N. (2008). Eliminacion de alcaloides en el Tarwi (*Lupinus mutabilis*), mediante



- lavado de agua a distintos pH. *Universidad Catolica de Santa Maria - Arequipa*.
- Mott, R. (2007). *Mecanica de Fluidos* . Mexico: Pearson Educacion .
- Mujica , A. (1993). *Seleccion de variedades de Quinua*. Chapingo - Mexico .
- Mujica , A., & Jacobsen, S. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y sus parientes silvestres . *Botanica Economica de los Andes Centrales* .
- Mujica, A., & Izquierdo , J. (2011). ORIGEN Y DESCRIPCION DE LA QUINUA.
- NAOTEC. (2014). Reometro Physica MCR. *Anton Paar*.
- Oscar, B. (2005). Evaluación de la composición química (Composición nutricional) de algunas entradas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) del banco de germoplasma. *Universidad Técnica del Altiplano (Perú)*, 125-134.
- Ospina , F., & Esperanza , M. (2012). Dispositivo de Reynolds para el estudio reologico de fluidos no newtonianos independientes del tiempo: diseño, construccion y realizacionm de pruebas preliminares. *Colombia de Materiales N° 3*, 63 - 79.
- Patero , D. (2014). Departamento de Industrias Agroalimentarias, de alimentacion y nutricion (LAN). *Universidad Sao Paulo (USP)*.
- Pineda, A. C. (2009). Determinacion de la Viscosidad . *Universidad Industrial de Santander*.
- Quintáns, L. (2008). *REOLOGIA DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS*. Chile : Universidad de Santiago de Compostela.
- Quiroga , C., & Vasquez , R. (2012). Determinacion de saponina. *Universidad Nacional del Centro de Perú*.
- Quitian, L. (2010). Evaluacion de metodos de extraccion de Saponinas de los residuos del beneficio del lique . *SAN GIL, SANTANDER*.



- Rozarino, D. (2011). LA QUINOA COMO ALIMENTO ETNO-AMERICANO.
- Sanchez, F. (2013). proyecto de factibilidad de inversión privada para la instalación de un semillero de quinua. *Sierra Exportadora, Lima, Peru.*
- Scarpati , Z. (2004). Aislamiento y Caracterización de almidón de quinua (*Chenopodium quinoa*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú).*
- Schlick , G., & Bubenheim, D. (1996). Quinoa: An Emerging "New" Crop. *NASA Technical Paper.*
- Soraide , D. (2012). Guia de Técnicas de producción ecológica en el cultivo de la quinua real. . *Fundacion FAUTAPO.*
- Tajuddin, S., & Xie, F. (2010). propiedades reológicas del almidón termoplástico estudiados por reómetro multipaso. *ELSEVIER.*
- Tapia , M., Mujica , A., Gangardillas , H., & Zanabria , E. (1999). *Quinua y Kañiwa, Cultivos andinos. . Bogota .*
- ThermoFisher. (2016). *ThermoFisher Scientific.* Obtenido de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/262-0001TS>
- Torres, A. (2008). Numero de Reynolds. *Universidad Iberoamericana - Ciudad de Mexico .*
- Torres, D. (2013). Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago (*Asparagus Officinalis*), utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Agroindustria Ciencia.*
- TROISI, J. (2014). SAPONINAS. *Universidad de la Serena - Chile.*
- Vela , N., & Lemus , R. (2006). Utilización de la semilla de Quinua en la alimentación



humana . *TECNOLOGIA 147*.

- Velazquez, L. (2000). "EVALUACION DEL POTENCIAL EXPORTADOR DE LA QUINUA A LA UNION EUROPEA". *Escuela Post Grado - Universidad del Pacifico , Lima - Perú*.
- Vicente, G. (2013). Extraccion, cuantificacion y purificacion de saponinas de semillas de *Chenopodium quinoa* Willd, Provenientes del noreste Argentino. *Universidad Nacional de Cordoba - UNC , 45-49*.
- Villacrés, E., & Peralta , E. (2011). Potencial Agroindustrial de la Quinoa. *INIAP (Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias)*.
- Zavaleta, R. (2005). Estudio de tecnologia de desamargado de quinua y analisis de saponinas. *Ministerio de planeamiento y coordinacion y junta de acuerdo de cartagena, 185 p*.
- Zegarra , G. (2010). Actividad deterrente y acaricida de principios activos de quinuas amargas, aceites esenciales y tarwi . *Pontificia Universidad Catolica del Peru*.

## ANEXOS

### ANEXO A

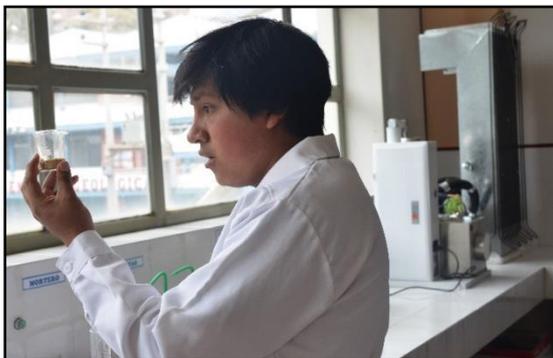
Anexo A1. Análisis reológico, preparación de las muestras para su posterior evaluación en el Viscosímetro Thermo Fhiser Modelo iQ.



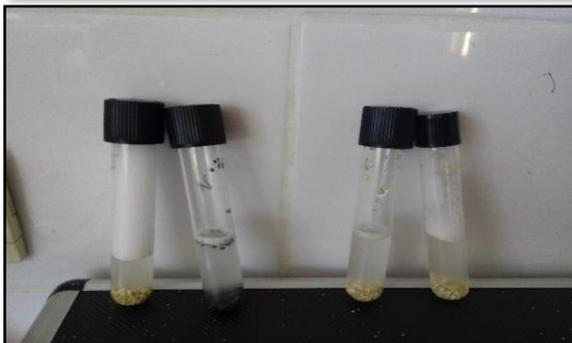
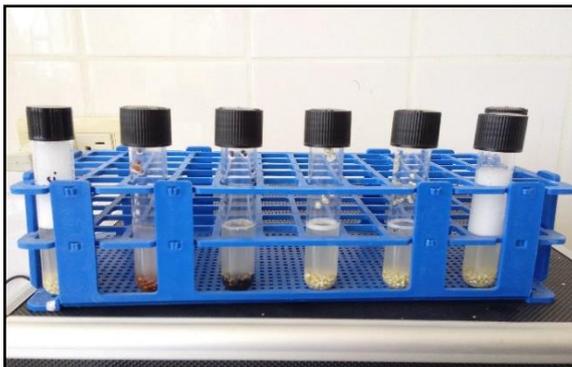
Anexo A2. Laboratorio de procesos industriales PUCP - Lima, donde se realizó el análisis reológico de siete variedades de quinua, para la etapa de lavado.



Anexo A3. Se muestra en las fotografías del análisis de la densidad mediante el método del picnómetro, en el laboratorio de ingenierías – Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial – UNA Puno.



Anexo A4. Se muestra fotografías del análisis de saponina mediante el método Afrosimetrico (Método de la espuma) para las siete variedades de quinua.



## ANEXO B

**Cuadro B1.** Valores de  $n$  y  $k$  de siete variedades de quinua a tres temperaturas, y a una dilución de 1:5.

VARIEDAD	Valores de $n$ y $k$ a una Dilución de 1:5								
	20°C			35°C			50°C		
	$n$	$k$	$R^2$	$n$	$k$	$R^2$	$n$	$k$	$R^2$
<b>ALTIPLANO</b>	0.0285	2.0749	0.8265	0.0286	2.0831	0.8416	0.0319	1.9642	0.8366
<b>KANCOLLA</b>	0.0522	1.5864	0.8721	0.0415	1.7154	0.8299	0.0497	1.5622	0.8528
<b>ILLPA INIA</b>	0.0327	2.0313	0.8324	0.0106	2.8324	0.7281	0.0321	1.9805	0.8397
<b>NEGRA COLLANA</b>	0.0261	2.1945	0.8416	0.0485	1.6034	0.8461	0.0438	1.7093	0.8362
<b>PASANKALLA</b>	0.0308	2.1298	0.832	0.0406	1.7289	0.842	0.0389	1.7859	0.8474
<b>ROSADO</b>									
<b>CHOCLO</b>	0.0254	2.1937	0.8344	0.002	4.4138	0.6811	0.0323	1.918	0.8326
<b>TARACO</b>									
<b>SALCEDO</b>	0.0103	2.9106	0.7392	0.0392	1.821	0.8525	0.0394	1.7756	0.8516

**Cuadro B2.** Valores de  $n$  y  $k$  de siete variedades de quinua a tres temperaturas, y una dilución de 1:10.

VARIEDAD	Valores de $n$ y $k$ a una Dilución de 1:10								
	20°C			35°C			50°C		
	$n$	$k$	$R^2$	$n$	$k$	$R^2$	$n$	$k$	$R^2$
<b>ALTIPLANO</b>	0.0314	1.9874	0.805	0.0013	4.6967	0.6446	0.0658	1.3268	0.8649
<b>KANCOLLA</b>	0.0672	1.318	0.8435	0.085	1.1214	0.8806	0.0544	1.4816	0.8266
<b>ILLPA INIA</b>	0.0521	1.5368	0.8448	0.05	1.5637	0.8297	0.0594	1.4661	0.8649
<b>NEGRA COLLANA</b>	0.0373	1.9245	0.8668	0.0771	1.2489	0.8877	0.0495	1.5452	0.8199
<b>PASANKALLA</b>	0.0652	1.4535	0.8641	0.0754	1.2197	0.8695	0.0665	1.359	0.8721
<b>ROSADO</b>									
<b>CHOCLO</b>	0.0308	2.0301	0.8422	0.0121	2.6753	0.7235	0.0613	1.4444	0.8757
<b>TARACO</b>									
<b>SALCEDO</b>	0.0694	1.2906	0.8685	0.0549	1.4829	0.837	0.0604	1.3887	0.8454

**Cuadro B3.** Tipo de Fluido de siete variedades de quinua, a una dilución 1:5 a tres Temperaturas.

VARIEDAD	Tipo De Fluido A Una Dilución De 1:5		
	20°C	35°C	50°C
ALTIPLANO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
KANCOLLA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
ILLPA INIA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
NEGRA COLLANA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
PASANKALLA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
ROSADO CHOCLO TARACO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
SALCEDO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico

**Cuadro B4.** Tipo de Fluido de siete variedades de quinua, a una dilución 1:10 a tres Temperaturas.

VARIEDAD	Tipo de Fluido a una Dilución 1:10		
	20°C	35°C	50°C
ALTIPLANO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
KANCOLLA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
ILLPA INIA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
NEGRA COLLANA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
PASANKALLA	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
ROSADO CHOCLO TARACO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico
SALCEDO	Pseudoplástico	Pseudoplástico	Pseudoplástico



## Anexo C.

**Cuadro C1.** Análisis de varianza para viscosidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	0.895819	6	0.149303	26.10	0.0000
B: Dilucion	1.70568	1	1.70568	298.21	0.0000
C: Temperatura	0.193411	2	0.0967056	16.91	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.13781	6	0.0229683	4.02	0.0012
AC	0.422367	12	0.0351972	6.15	0.0000
BC	0.0177444	2	0.00887222	1.55	0.2173
RESIDUOS	0.5491	96	0.00571979		
TOTAL (CORREGIDO)	3.92193	125			

**Cuadro C2.** Diversas pruebas rango Tukey para la viscosidad por variedades.

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Pasankalla	18	0.376667	0.017826	a
Kancolla	18	0.381667	0.017826	a
Salcedo	18	0.386667	0.017826	a
Illpa INIA	18	0.443333	0.017826	a
Negra Collana	18	0.522778	0.017826	b
Altiplano	18	0.545	0.017826	bc
Rosado	18	0.601667	0.017826	c

**Cuadro C3.** Diversas pruebas de rango Tukey para la viscosidad por dilución.

Dilución	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1:10	63	0.349048	0.0095284	a
1:5	63	0.581746	0.0095284	b

**Cuadro C4.** Prueba múltiple de rango Tukey para la viscosidad por temperatura

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50°C	42	0.42119	0.0116699	a
40°C	42	0.458571	0.0116699	a
20°C	42	0.516429	0.0116699	a

**Cuadro C5.** Análisis de varianza para número de Reynolds

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Variedad	1.52531 E8	6	2.54218 E7	49.41	0.0000
B:Dilucion	4.33979 E7	1	2.16989 E7	42.17	0.0000
C:Temperatura	4.73853 E8	2	4.73853 E8	920.99	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	8.37411 E7	6	6.97843 E6	13.56	0.0000
AC	1.00247 E7	12	1.67079 E6	3.25	0.0060
BC	6.65288 E6	2	3.32644 E6	6.47	0.0023
RESIDUOS	4.93924 E7	96	514504		
TOTAL (CORREGIDO)	8.19593 E8	125			



**Cuadro C6.** Diversas pruebas de rango Tukey para número de Reynolds por temperatura.

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
20°C	42	7450.38	110.68	a
35°C	42	8539.12	110.68	b
50°C	42	8807.71	110.68	b

**Cuadro C7.** Diversas pruebas de rango Tukey para número de Reynolds por dilución.

Dilución	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1:5	63	6326.48	90.37	a
1:10	63	10205.0	90.37	a

**Cuadro C8.** Análisis de varianza para densidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Variedad	5.01371 E6	6	835618.2	0.69	0.6564
B: Temperatura	138867.2	1	69433.5	0.06	0.9441
C: Dilución	88488.8	2	88488.8	0.07	0.7872
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	1.69057 E7	12	1.40881 E6	1.17	0.3178
AC	8.4581 E6	6	1.40968 E6	1.17	0.3300
BC	3.58196 E6	2	1.79098 E6	1.48	0.2320
RESIDUOS	1.15887 E8	96	1.20716 E6		
TOTAL (CORREGIDO)	1.50074 E8	125			

**Cuadro C9.** Diversas pruebas de rango Tukey para densidad por temperatura.

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50°C	42	1146.26	169.534	a
20°C	42	1159.15	169.534	a
35°C	42	1222.24	169.534	a

**Cuadro C10.** Prueba múltiple de rango Tukey para densidad por dilución.

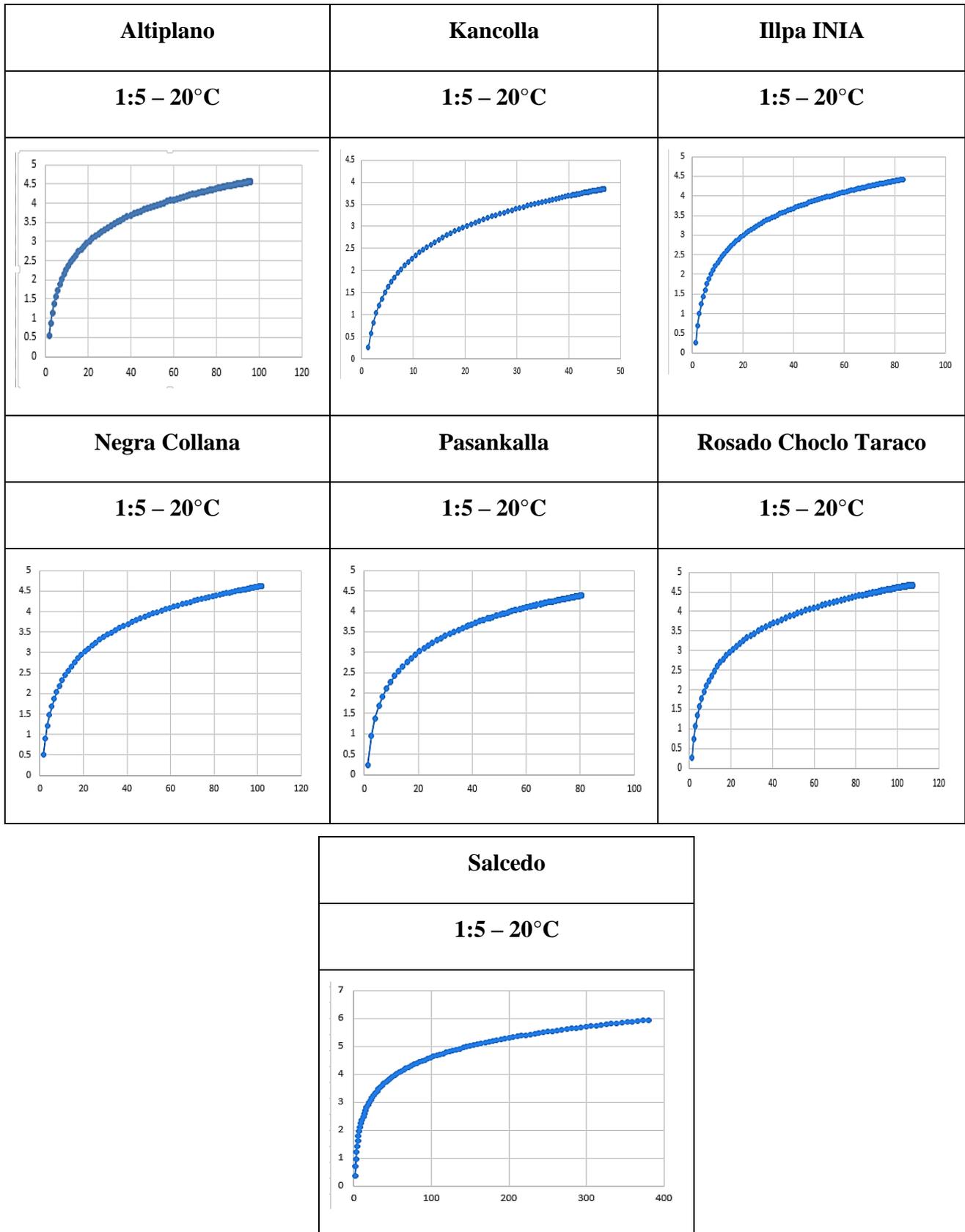
Dilución	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1:10	63	1149.38	138.424	a
1:5	63	1202.38	138.424	a

**Cuadro C11.** Prueba de múltiple rango Tukey para la densidad por variedades.

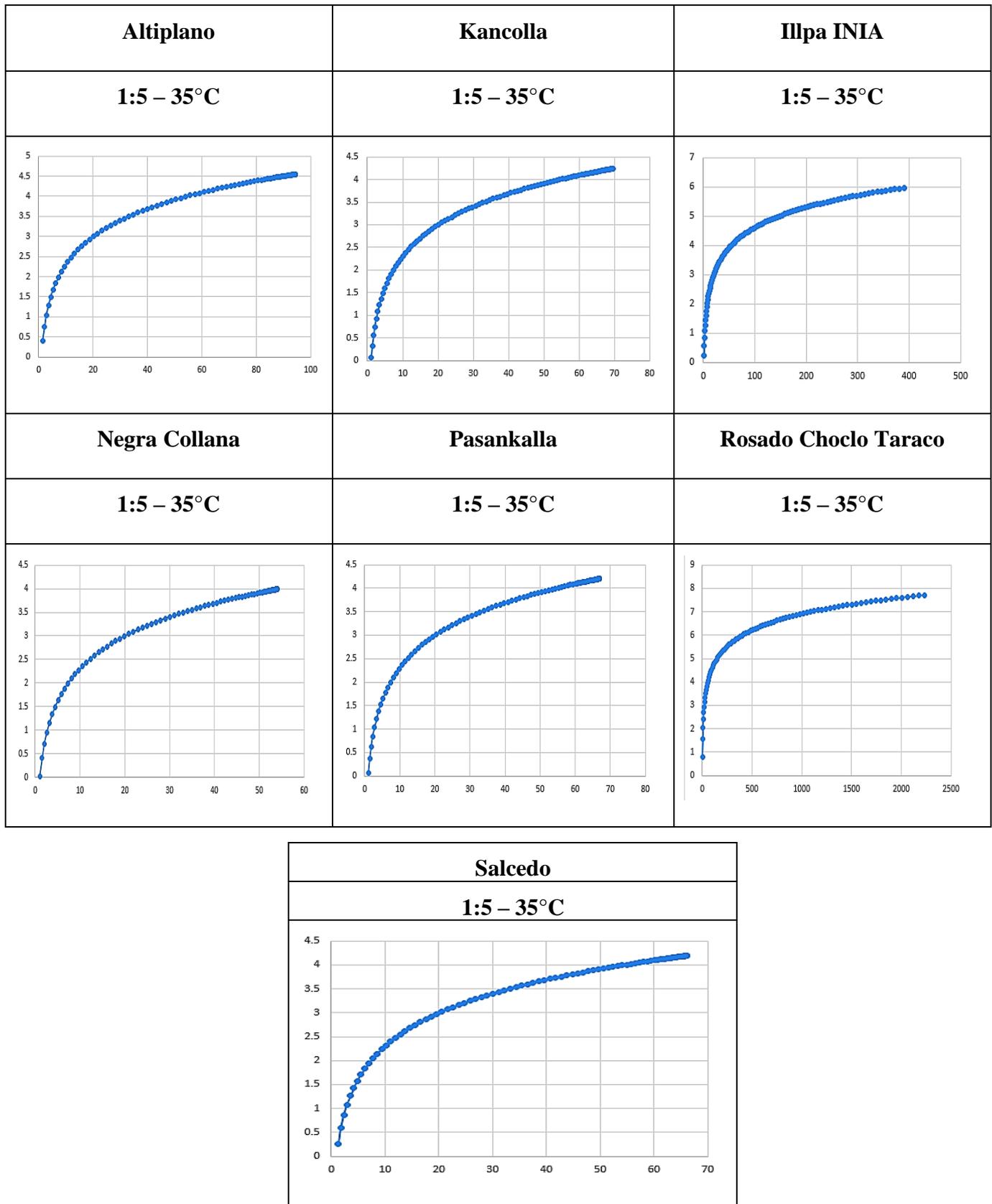
Variedades	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Illpa INIA	18	1008.78	258.968	a
Kancolla	18	1009.0	258.968	a
Altiplano	18	1009.0	258.968	a
Salcedo	18	1009.17	258.968	a
Negra Collana	18	1326.28	258.968	a
Pasankalla	18	1361.12	258.968	a
Rosado Choclo Taraco	18	1507.83	258.968	a

## ANEXO D

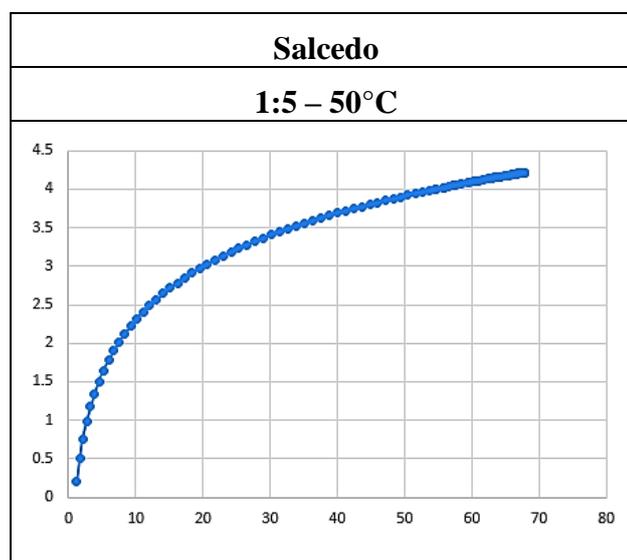
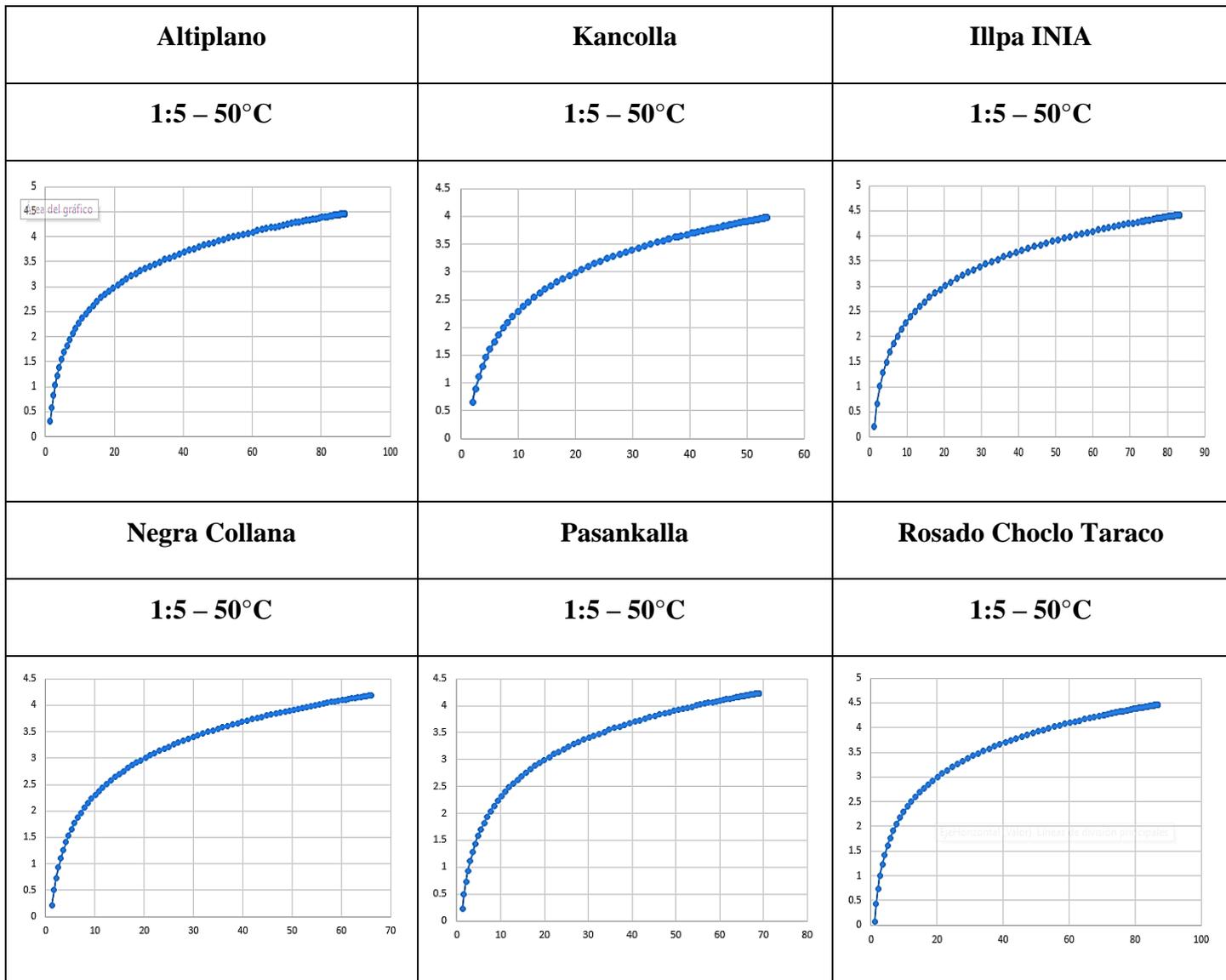
**Anexo D1.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:5 y temperatura 20°C.



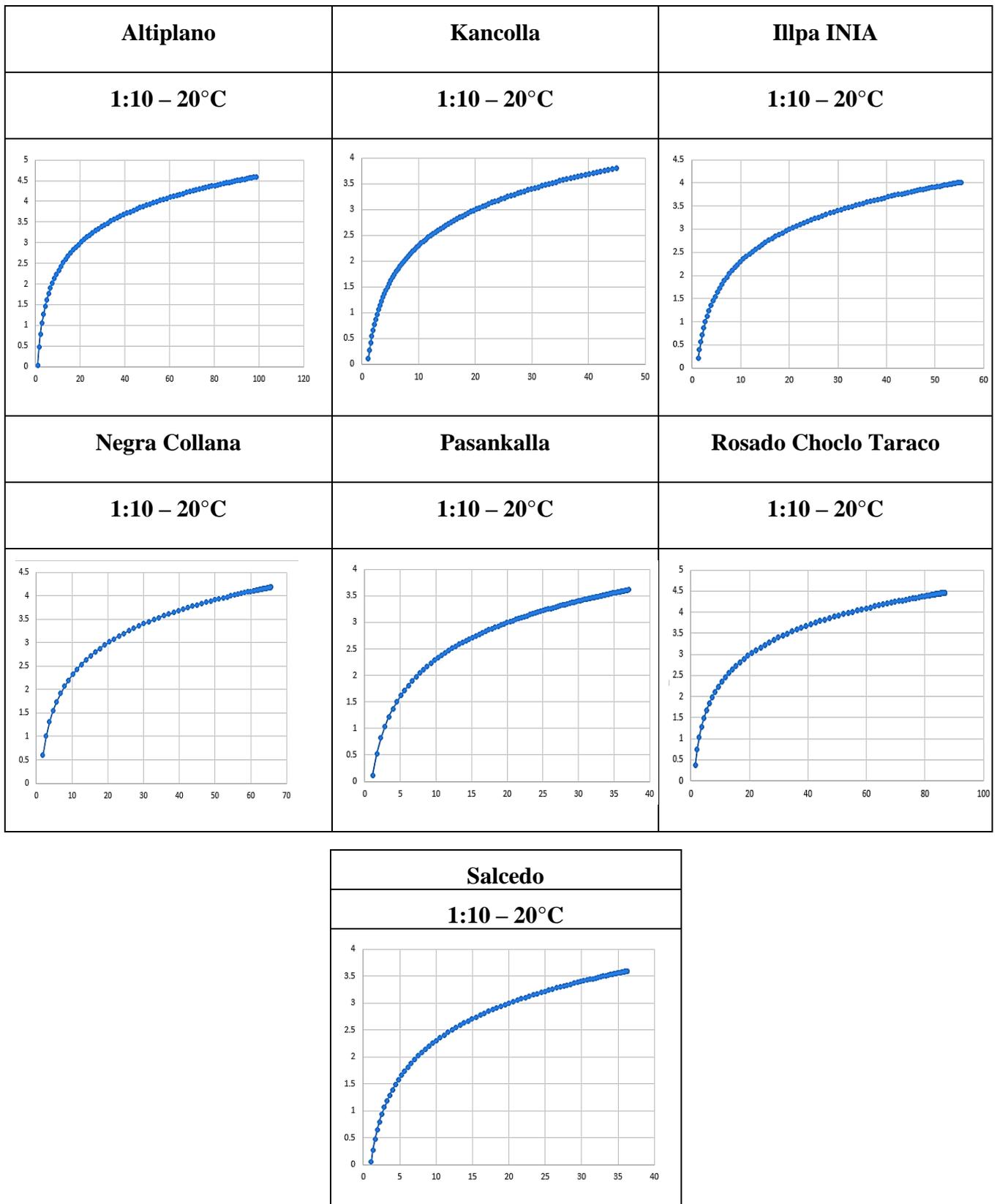
**Anexo D2.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:5 y temperatura 35°C.



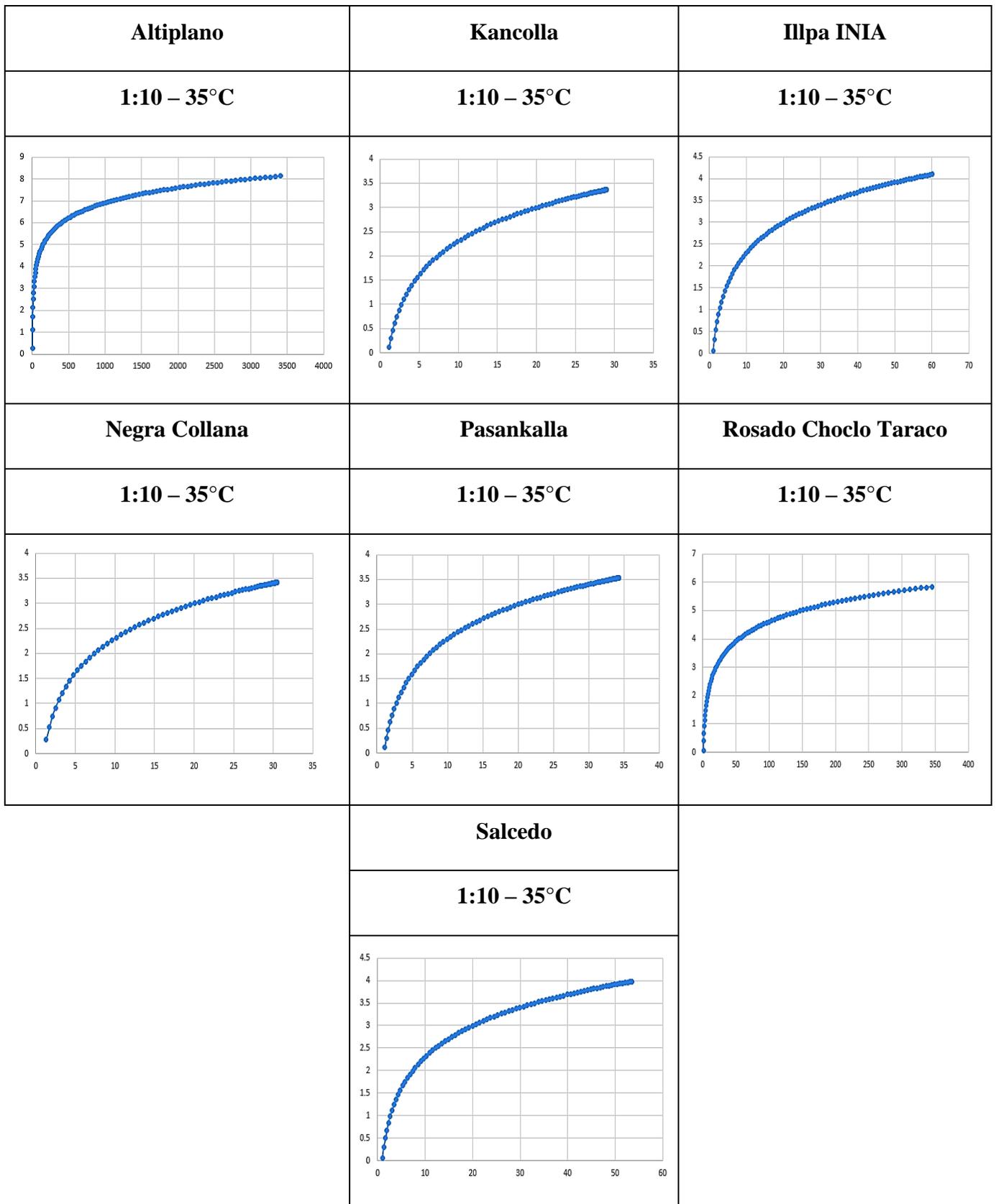
**Anexo D3.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:5 y temperatura 50°C.



**Anexo D4.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:10 y temperatura 20°C.



**Anexo D5.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:10 y temperatura 35°C.



**Anexo D6.** Se muestra la curva lineal del tipo de fluido de los reogramas corregidos a una dilución de 1:10 y temperatura 50°C.

