



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



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS,  
REOLÓGICAS Y TÉRMICAS DE LOS ALMIDONES DE TRES  
VARIEDADES DE GRANOS DE AVENA (*Avena sativa*) DE LA  
REGIÓN DE PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JHON ANTONI RAMOS FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO  
QUÍMICAS, REOLÓGICAS Y TÉRMICAS D  
E LOS ALMIDONES DE TRES VARIEDADE**

AUTOR

**JHON ANTONI RAMOS FLORES**

RECuento DE PALABRAS

**23774 Words**

RECuento DE CARACTERES

**127686 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**124 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**2.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 14, 2024 11:32 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 14, 2024 11:33 AM GMT-5**

### ● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dra. Alicia Magaly Leon Tacca  
DOCENTE  
E.P. ING. AGROINDUSTRIAL - F.C.A.  
UNA - PUNO

*Jhon Antoni Ramos Flores*  
Dr. Ulises Alvarado Mamaní



## DEDICATORIA

A Dios Jehová, por brindarme la oportunidad de experimentar su presencia y recibir sus bendiciones.

Quiero expresar mi profunda gratitud hacia mis padres, Hernán y Luz Marina, por su inquebrantable apoyo a lo largo de mi vida, y en particular, por su invaluable respaldo que ha sido fundamental para alcanzar mis objetivos académicos

A la plana docente y administrativa de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, les expreso mi reconocimiento y gratitud por brindarme la oportunidad de crecer tanto a nivel personal como profesional, guiándome con su sabiduría y experiencia a lo largo de este enriquecedor trayecto educativo.

*Jhon Antoni*



## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP), la institución educativa donde tuve la oportunidad de concretar este sueño tan anhelado.

Agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIAI), donde adquirí conocimientos, enseñanzas y experiencias que valoraré a lo largo de toda mi vida.

Mi especial reconocimiento va para mi asesora, Dra. Alicia Magaly León Tacca, por su paciencia, comprensión, acertada orientación y apoyo incondicional a lo largo de la ejecución y conclusión de mi investigación.

Agradezco al Dr. Wenceslao Medina Espinoza por su apoyo incondicional en mi proyecto.

También quiero expresar mi agradecimiento a los miembros del jurado calificador, Mg. Sc. Ing. Edgar Gallegos Rojas, Mg. Sc. Ing. Nury Yaneth Mayta Barrios y Dr. Ronald Astete Tebes, por sus valiosas sugerencias y contribuciones, las cuales fueron fundamentales para concluir mi trabajo de investigación.

*Jhon Antoni*



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pag.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1.1. Objetivo General.....	16
1.1.2. Objetivos específicos. ....	16
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN LITERARIA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	17
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	18
2.1.3. Antecedentes Locales.....	20



<b>2.2.</b>	<b>INTERÉS DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL ALMIDÓN DE FUENTES NO CONVENCIONALES .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.</b>	<b>AVENA.....</b>	<b>22</b>
2.3.1.	Granos de avena .....	22
2.3.2.	Información macro y micro nutrientes granos de avena .....	24
2.3.3.	Microestructura del grano de avena .....	25
<b>2.4.</b>	<b>ALMIDÓN.....</b>	<b>27</b>
2.4.1.	Características fisicoquímicas del almidón .....	27
2.4.1.1.	Características morfológicas .....	28
2.4.1.2.	Contenido de amilosa .....	28
2.4.1.3	Contenido de amilopectina .....	28
2.4.2.	Características reológicas del almidón.....	29
2.4.2.1.	Barrido de temperatura .....	29
2.4.2.2.	Barrido de frecuencia.....	29
2.4.2.3	Comportamiento de flujo o curva de fluidez .....	30
2.4.3.	Características térmicas del almidón por calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	31
2.4.3.1.	Temperatura de Inicio (To):.....	32
2.4.3.2.	Temperatura Pico (Tp):.....	32
2.4.3.3.	Temperatura Final (Tf): .....	33
2.4.3.4.	Rango (Tf-To):.....	33

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1.</b>	<b>LUGAR DE EJECUCIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.</b>	<b>MATERIA PRIMA.....</b>	<b>34</b>



<b>3.3. MATERIALES.....</b>	<b>34</b>
3.3.1. Materiales de laboratorio.....	34
3.3.2. Equipos de laboratorio .....	35
3.3.3. Reactivos.....	36
3.3.4. Software.....	36
<b>3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>37</b>
3.4.1. Caracterización fisicoquímica .....	39
3.4.1.1. Rendimiento del almidón .....	40
3.4.1.2. Características morfológicas.....	40
3.4.1.3. Tamaño y morfología de los gránulos del almidón .....	41
3.4.1.4. Determinación de amilosa y amilopectina .....	41
3.4.2. Caracterización reológica.....	43
3.4.2.1. Barrido de temperatura .....	43
3.4.2.2. Barrido de frecuencia.....	44
3.4.2.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez .....	45
3.4.3. Caracterización térmica.....	46
<b>3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>47</b>
3.5.1. Para el primer y tercer objetivo .....	47
3.5.2. Para el segundo objetivo .....	49

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

<b>4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES.....</b>	<b>51</b>
4.1.1. Rendimiento de almidones .....	51
4.1.2. Morfología.....	53
4.1.3. Tamaño de los gránulos de almidón.....	55



4.1.4.	Análisis de factores de forma de gránulos de almidón .....	56
4.1.5.	Contenido de amilosa y amilopectina .....	58
<b>4.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES.....</b>	<b>60</b>
4.2.1.	Barrido de temperatura.....	60
4.2.2.	Barrido de frecuencia .....	61
4.2.3.	Comportamiento de flujo o curva de fluidez.....	70
<b>4.3.</b>	<b>PROPIEDADES TÉRMICAS .....</b>	<b>75</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>78</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>103</b>

**ÁREA:** Ingeniería y Tecnología

**TEMA:** Propiedades físicas y estructurales

**Fecha de Sustentación:** 22 de mayo del 2024





## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Características resaltantes del grano de avena .....	23
<b>Tabla 2</b> Valores de composición macro y micro nutrientes de granos de avena en 100 gr.....	24
<b>Tabla 3</b> Diseño experimental para el primer y tercer objetivo .....	48
<b>Tabla 4</b> Diseño experimental para el segundo objetivo .....	50
<b>Tabla 5</b> Rendimiento del almidón respecto a las variedades de avena .....	51
<b>Tabla 6</b> Distribución de tamaño de gránulos del almidón de las variedades de avena	55
<b>Tabla 7</b> Contenido de amilosa y amilopectina de las variedades de avena.....	58
<b>Tabla 8</b> Temperatura de formación del gel de los almidones de las variedades de avena .....	60
<b>Tabla 9</b> Valores de parámetros del modelo de ley de potencia para los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) en función de la frecuencia .....	65
<b>Tabla 10</b> Valores de parámetros del modelo de ley de potencia para los módulos pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia. ....	65
<b>Tabla 11</b> Parámetro del modelo Herschel-Bulkley a diferentes suspensiones de almidón en agua (1:9; 2:8 y 3:7) .....	72
<b>Tabla 12</b> Valores de la temperatura de inicio de la gelatinización ( $T_0$ ), temperatura pico ( $T_p$ ), temperatura de conclusión ( $T_c$ ) y el rango de temperatura de gelatinización ( $T_c-T_0$ ).....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Microestructura de granos de avena.....	26
<b>Figura 2</b> Curva DSC para el almidón .....	32
<b>Figura 3</b> Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de avena.....	37
<b>Figura 4</b> Morfología de los gránulos de almidón de las variedades Africana (a), Tayko (b), y Vilcanota I (c) (escala de 20 $\mu$ m) .....	53
<b>Figura 5</b> Relación entre el factor de forma Sh1 vs Sh2 y Sh5 vs Sh6, para los gránulos de almidón de las variedades Tayko, Vilcanota I, y Africana (La gráfica circular ilustra la dispersión de los datos).....	57
<b>Figura 6</b> Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Africana, a diferentes suspensiones.....	63
<b>Figura 7</b> Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Tayko, a diferentes suspensiones.....	63
<b>Figura 8</b> Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Vilcanota I, a diferentes suspensiones .....	64
<b>Figura 9</b> Factor de pérdida en función de la frecuencia angular para los almidones de avena de las variedades Africana, Tayko y Vilcanota I, en las suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7) .....	68



<b>Figura 10</b>	Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones de avena de las variedades Africana, Tayko y Vilcanota I, en las suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7) .....	70
<b>Figura 11</b>	Curva de flujo de calor (Heat Flow) en función a temperatura.....	75



## ACRÓNIMOS

- $K$  : Coeficiente de consistencia (Pa.s).
- $\gamma$  : Velocidad de deformación ( $s^{-1}$ ).
- $n$  : Índice de comportamiento de flujo (adimensional).
- $\tau_0$  : Esfuerzo de fluencia (Pa).
- $G'$  : Módulo de almacenamiento (Pa).
- $G''$  : Módulo de pérdida (Pa).
- $K'$  y  $K''$ : Coeficientes consistencia (Pa.s).
- $n'$  y  $n''$ : Índices de comportamiento de flujo, adimensionales.
- $\omega$  : Frecuencia angular (rad/s).
- $R^2$  : Coeficiente de determinación.
- $T_0$  : Temperatura de inicio de la gelatinización ( $^{\circ}C$ ).
- $T_p$  : Temperatura pico ( $^{\circ}C$ ).
- $T_c$  : Temperatura de conclusión ( $^{\circ}C$ ).
- $(T_c-T_0)$ : Rango de temperatura de gelatinización ( $^{\circ}C$ ).
- ANOVA: Análisis de varianza.
- Df : Grados de libertad.
- Sum Sq: Suma de cuadrados.
- Mean Sq: Cuadrado medio.
- F value: Valor F.
- p value: Valor p.



## RESUMEN

El almidón es un componente ampliamente utilizado en las industrias alimentarias y no alimentarias, pero sus propiedades pueden variar dependiendo de su fuente de origen. En este estudio el objetivo fue, caracterizar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas de los almidones de tres variedades de granos de avena (*Avena sativa*) Tayko, Africana y Vilcanota I, de la región de Puno-Perú. Para obtener el almidón, se utilizó la metodología vía húmeda. Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) para la caracterización fisicoquímica y térmica, y un diseño factorial para la caracterización reológica, ambas a un nivel de significancia de 0.05. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el rendimiento de almidón fue de 26,765%-Tayko, 23,640%-Africana y 20,578% -Vilcanota I. En las tres variedades, la mayoría de los gránulos de almidón se retuvieron en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$ . Los gránulos presentaron una forma ovalada en vista superior y variada en vista lateral. El contenido de amilosa y amilopectina fue de 24,383:75,617% para Tayko, 23,547:76,453% para Africana y 23,370:76,630% para Vilcanota I. Las temperaturas de gelatinización de las suspensiones de almidón (en proporciones de 1:9, 2:8 y 3:7) fueron inferiores a 58°C. Los geles de almidón mostraron un comportamiento pseudoplástico y se clasificaron como débiles o fuertes según la suspensión. Las temperaturas, inicial, pico y final de gelatinización fueron de 30,038°C, 56,622°C y 67,421°C para Africana; 29,390°C, 55,423°C y 62,842°C para Tayko; y 27,086°C, 55,324°C y 62,842°C para Vilcanota I. Los almidones estudiados presentan propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas que son adecuados para aplicaciones agroindustriales, especialmente en procesos como el encapsulamiento y la elaboración de salsas.

**Palabras Clave:** Almidón, Avena, Reología, fisicoquímicas y Térmicas.



## ABSTRACT

Starch is a widely used ingredient in both food and non-food industries, but its properties can vary depending on its source of origin. The aim of this study was to characterise the physicochemical, rheological and thermal properties of starches from three types of oat grains (*Avena sativa*) - Tayko, Africana and Vilcanota I - from the Puno-Peru area. The wet method was used to extract the starch. A completely randomised design (CRD) was applied for the physicochemical and thermal characterisation, and a factorial design for the rheological characterisation, both at a significance level of 0.05. The results obtained were as follows: the starch yield was 26.765%-Tayko, 23.640%-Africana and 20.578%-Vilcanota I. In the three varieties, most of the starch granules were retained on the 75  $\mu\text{m}$  sieve. The granules presented an oval shape in top view and varied in side view. The amylose and amylopectin contents were 24.383:75.617% for Tayko, 23.547:76.453% for Africana, and 23.370:76.630% for Vilcanota I. The gelatinisation temperatures of the starch suspensions (at ratios of 1:9, 2:8, and 3:7) were below 58°C. The starch gels showed pseudoplastic behaviour and were classified as weak or strong depending on the suspension. The initial, peak and final gelatinisation temperatures were 30.038°C, 56.622°C and 67.421°C for Africana; 29.390°C, 55.423°C and 62.842°C for Tayko; and 27.086°C, 55.324°C and 62.842°C for Vilcanota I. The starches studied present physicochemical, rheological and thermal properties that are suitable for agro-industrial applications, particularly in processes such as encapsulation and the preparation of sauces.

**Keywords:** Starch, Oat, Rheology, Physicochemical and Thermal.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El almidón se extrae convencionalmente de la papa, el maíz y la yuca. En la actualidad, los almidones de fuentes no convencionales han despertado un enorme interés debido a sus características distintivas. Makroo *et al.*, (2021) señalan la necesidad de realizar estudios adicionales para evaluar la viabilidad a escala industrial.

En el Perú, la avena se siembra mayormente en el departamento de Puno, seguida de Cusco y Huancavelica (Cruz 2022; MIDAGRI, 2022). En la campaña agrícola 2021-2022, las principales provincias productoras de granos en Puno fueron, Azángaro (3,467.70 ton), Huancané (1,040.70 ton), Melgar (1,090.20 ton), Yunguyo (325 ton) y Puno (316.10 ton) (DRA-Puno, 2023). Sin embargo, su uso se ha limitado principalmente a la alimentación animal (Arango, 2019), esto hace que el grano de avena entre en un ciclo de siembra y cosecha, provocando un desaprovechamiento y pérdida de oportunidades del potencial del grano dentro de la agroindustria. Rostamabadi *et al.*, (2022) manifiesta, que los granos de avena son fuente importante de almidón, sin embargo, aún no hay estudios del almidón extraído de los granos de avena cultivados en la región de Puno.

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas permite conocer la composición del granulo de almidón y su microestructura (Kim & Huber, 2008). Asimismo, se emplean enfoques reológicos para evaluar el comportamiento viscoelástico del almidón gelatinizado (Mauro *et al.*, 2023) mientras que las propiedades térmicas ayudan a determinar las condiciones de temperatura para el procesamiento de los almidones (Wang *et al.*, 2021). Por lo tanto, con el fin de ampliar el conocimiento y explorar nuevas



oportunidades para la innovación en sus potenciales usos y aplicaciones, considerando la sostenibilidad y adaptabilidad de los granos de avena en el entorno puneño, se proponen los siguientes objetivos.

## **1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Objetivo General**

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas de los almidones de tres variedades (Tayko, Africana y Vilcanota I) de granos de avena (*Avena sativa*).

### **1.1.2. Objetivos específicos.**

Determinar las propiedades fisicoquímicas de los almidones extraídos de tres variedades de granos de avena (*Avena sativa*).

Determinar las propiedades reológicas de los almidones extraídos de tres variedades de granos de avena (*Avena sativa*).

Determinar las propiedades térmicas de los almidones extraídos de tres variedades de granos de avena (*Avena sativa*).





## CAPÍTULO II

### REVISIÓN LITERARIA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Martins *et al.*, (2022) extrajeron almidón de semillas de aguacate de la especie *Persea americana* Mill, logrando un rendimiento del 19.54%. También evaluaron la humedad (41.35%), cenizas (0.33%), acidez titulable (4.64%), lípidos (1.68%), proteínas (1.60%) y carbohidratos (55.07%). El almidón extraído exhibió un alto contenido de amilosa (39.56%). El análisis termogravimétrico indicó estabilidad hasta 366°C, y los gránulos presentaron forma ovalada y superficie lisa. En cuanto a las propiedades pastosas, el perfil de viscosidad mediante RVA reveló una temperatura inicial de 88.5 °C y una viscosidad de 2880.5 cP en retroceso. Estos resultados sugieren que el almidón de semillas de aguacate podría ser prometedor para aplicaciones en la preparación de películas comestibles y/o biodegradables, destacando su potencial como material alternativo sostenible.

En su revisión sobre la obtención de almidón a partir del grano de quinua de la especie *Chenopodium quinoa* Willd, Li & Zhu (2018) encontraron que el rendimiento osciló entre el 30% y el 70% de la materia seca. Destacaron las propiedades únicas del almidón de quinua debido a la pequeña dimensión de los gránulos (~1–3 µm) y su bajo contenido de amilosa en comparación con otros almidones. La amilopectina de quinua presenta cantidades significativas de cadenas cortas y súper largas, generando interés investigativo para aplicaciones



alimentarias y no alimentarias, como la creación de emulsiones Pickering. La revisión resalta el potencial de este almidón para diversas aplicaciones en las industrias alimentarias y no alimentarias.

Hoover *et al.*, (2003) aislaron almidón de seis variedades de granos de avena (Alymer, Antoine, Baton, Ernie, Francis, Gosline), obteniendo rendimientos que oscilaron entre el 30.9% y el 32.3% sobre el grano entero. El contenido total de amilosa varió entre el 10.60% y el 24.50%. La morfología de los gránulos fue poliédrica a irregular, con un diámetro de 6 a 10  $\mu\text{m}$ . El almidón de avena se diferenció del de trigo en varias propiedades, como un mayor factor de hinchamiento, una disminución en la lixiviación de amilosa, una mayor viscosidad máxima y retroceso, una baja rigidez del gel y estabilidad en congelación y descongelación.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

En la investigación desarrollada por Vargas & Flores (2021), evaluaron el almidón de araq papa (*Solanum tuberosum*), logrando un rendimiento de almidón del 10.19%. Además, se encontraron los siguientes valores en las características químicas proximales del almidón por cada 100 gramos de muestra: humedad (9.43%), ceniza (0.36%), grasa (0.04%), proteína (0.51%) y carbohidratos (89.66%). Las propiedades funcionales del almidón, como la temperatura de gelatinización (62°C), la claridad del gel (6 a las 72 horas), el índice de absorción de agua (10.45), la solubilidad en agua (3.48) y el poder de hinchamiento (10.57), se situaron dentro del rango de los estándares de almidones comerciales, proporcionando así una visión completa de las cualidades del araq papa.



En la investigación realizada por Trujillo (2022), se examinaron las propiedades del corno central comestible de la pituca (*Colocasia esculenta* L. Schott), que contiene un 27% de almidón. Dada la falta de información sobre su uso como sustituto de almidones convencionales, se llevaron a cabo estudios detallados en dos variedades de pituca. La caracterización morfológica reveló que ambas variedades presentaban una forma poligonal con cavidades céntricas, siendo el tamaño de gránulo mayor en la pituca morada (2.58  $\mu\text{m}$ ) en comparación con la blanca (2.31  $\mu\text{m}$ ). En cuanto al color, el almidón de pituca morada tuvo un mayor índice de blancura (WI 91.10) que la variedad blanca (WI 90.30). Aunque las propiedades funcionales como la capacidad de retención de agua y sinéresis fueron similares, la solubilidad fue mayor en la pituca blanca (3.20%) que en la morada (1.33%). El análisis térmico mediante termogravimetría (TGA) mostró una mayor estabilidad térmica para la pituca morada (138.98 – 258.26 °C) en comparación con la blanca. La calorimetría diferencial de barrido (DSC) reveló una mayor temperatura y rango de gelificación en la pituca blanca en comparación con la morada. Estos resultados ofrecen una comprensión detallada de las propiedades de la pituca y sugieren posibles aplicaciones en diversas industrias.

En el estudio llevado a cabo por Gonzalez (2022) abordó la extracción de almidón de diversas fuentes, como yuca (*Manihot esculenta*) de Bagua, vituca (*Colocasia esculenta*) de Lonya Grande, arrozillo (*Oriza sativa*) de un molino en Bagua, papa (*Solanum tuberosum*) de Chachapoyas, cáscara de papa de restaurantes en Chachapoyas y plátano (*Musa paradisiaca*) de Lonya Grande. Los rendimientos de almidón obtenidos fueron del 5.83%, 2.6%, 8.39%, 3.36%, 13.67% y 19.2%, respectivamente. El tamaño de los gránulos osciló entre un 88% menor a 53  $\mu\text{m}$  en cáscara de papa y un 65.9% mayor a 154  $\mu\text{m}$  en arrozillo. La



amilosa presentó valores de 49.90%, 27.50%, 17.80%, 3.40%, 9.15% y 22.85% para arrocillo, cáscara de papa, papa, plátano, vituca y yuca, respectivamente. Las temperaturas de gelatinización variaron entre 85 °C y 67 °C para arrocillo y yuca, respectivamente. El almidón extraído de la cáscara de papa y la papa mostraron mayores valores de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento, mientras que el almidón de arrocillo presentó los valores más bajos. Además, el índice  $L^*$  más alto fue para arrocillo (97.16), vituca (94.99) y yuca (95.55), mientras que el almidón de plátano tuvo la mayor opacidad (82.01). Se concluye que el almidón de arrocillo y vituca puede ser útil en productos que requieran altas temperaturas de procesamiento, mientras que el almidón de cáscara de papa, papa, vituca y yuca posee características óptimas para ser empleados como gelificantes.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

En su estudio, Sayra (2021) extrajo almidón de tres variedades de cañihua (Cupi, Illpa INIA y Ramis), revelando contenidos de amilosa entre el 13.0% y el 14.2%, y de amilopectina entre el 87.0% y el 85.8%, con temperaturas de gelatinización inferiores a 50°C. Los geles de almidón analizados exhibieron un predominio del módulo elástico ( $G' > G''$ ) y  $\tan(\delta) < 1$ . La investigación también identificó la formación de geles fuertes y débiles en función de la concentración del almidón utilizado.

El estudio de Hanco (2021) acerca de las propiedades térmicas de almidones de seis variedades de papas nativas procedentes del departamento de Puno reveló resultados destacados. Los rendimientos de almidón oscilaron entre 10.23% y 17.60%, mientras que la composición proximal mostró variaciones en



humedad (7.22% a 8.85%), cenizas (0.12% a 0.44%), grasas (0.01% a 0.08%), proteína (0.49% a 0.76%), fibra (0.02% a 0.06%) y carbohidratos (90.14% a 91.93%) por cada 100 g de muestra. El contenido de amilosa fluctuó entre 23.9% y 30.5%, y de amilopectina de 69.5% a 76.1%. La caracterización morfológica reveló formas circulares a elípticas con tamaños de gránulos mayores entre 38.58  $\mu\text{m}$  y 63.91  $\mu\text{m}$  y menores entre 11.88  $\mu\text{m}$  y 17.99  $\mu\text{m}$ . El índice de blancura varió entre 90.10 y 91.18. Las propiedades térmicas indicaron temperaturas de gelatinización en un rango de 55.00°C a 69.50°C. Estos resultados resaltan la diversidad en las propiedades de los almidones de las variedades evaluadas, ofreciendo valiosa información para su potencial aplicación en la industria alimentaria.

## **2.2. INTERÉS DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL ALMIDÓN DE FUENTES NO CONVENCIONALES**

El interés por investigar el almidón de fuentes no convencionales está relacionado con la producción sustentable y su disponibilidad regional (Zhu, 2020). Este tipo de almidones pueden presentar propiedades similares o diferentes a comparación de las fuentes convencionales, por ello se debe realizar un análisis detallado de estos almidones para proponer alguna aplicación dentro de la agroindustria. Con ello se logra generar valor agregado, aunque presente desafíos desde el método de extracción hasta la interpretación de los resultados y análisis de las características (Tagliapietra *et al.*, 2021).

Los granos de avena desempeñan un papel significativo en los sectores ganadero y agrícola, particularmente en las regiones altoandinas, donde se cultivan a altitudes que oscilan entre 2,000 y 4,400 msnm (Cruz, 2022). A pesar de su evidente contribución, se enfrentan a un déficit de conocimiento, ya que carecen de investigaciones que



caractericen sus propiedades de almidón de avena. Durante su crecimiento, estos granos requieren fósforo para prevenir la formación de granos pequeños y escasos (Miranda & Terrones, 2002). Aunque se consideran materias primas poco exploradas, hay sugerencias para transformar los granos de avena, especialmente porque actualmente se importa la materia procesada de los granos de avena, como indican Arango (2019), Argote & Ruiz (2011) y MIDAGRI (2018).

Estudiar las propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas del almidón extraído de granos de avena, contribuye a generar una nueva alternativa en cuanto al uso de los granos de avena como fuente de almidón, presentando las características propias del mismo. Ya que dichas características pueden ayudar a la agroindustria a aprovechar este almidón para la creación de productos innovadores (Abe *et al.*, 2021). Por esto es importante destacar las propiedades y características del almidón (Jackson, 2003).

### **2.3. AVENA**

La avena, cuyo nombre científico es *Avena sativa*, es un cultivo adaptado a climas fríos y húmedos y es el sexto cereal más grande en la superficie agrícola (Ferranti & Velotto, 2023). También son uno de los cereales más cultivados en la sierra peruana, principalmente por la sostenibilidad y adaptabilidad que esta tiene (Argote & Halanoca, 2007). Según Enciso (2019), en las condiciones elevadas del altiplano de Puno, las variedades de avena más adaptadas son: Tayko, Africana y Vilcanota I.

#### **2.3.1. Granos de avena**

Los granos de avena, como semillas de la planta *Avena sativa*, son la materia prima esencial para la extracción de almidón (Kaur *et al.*, 2022). Su estructura compleja y su contenido macro y micronutrientes las hacen objeto de gran interés para la investigación (Kim *et al.*, 2021).



A continuación, se muestra la Tabla 1, donde se resaltan algunas de las características más destacadas de los granos de avena.

**Tabla 1**

*Características resaltantes del grano de avena*

Características	Variedades		
	Tayko	Vilcanota I	Africana
Color del grano	Marrón a negro	Amarillo pajizo	Crema claro
Altitud de cultivo	2,900 a 3,900 msnm,	2,700 a 3,900	3,812 a 4,000 msnm
Peso de 1000 granos	32-34 gr.	32-34 gr.	32-34 gr.
Forma del grano	Alargada	Alargada	Alargada
Rendimiento de granos	2,64 t/ha	2,96t/ha	2,96t/ha

**Fuente:** INIA, (2007a); INIA (2007b) e INIA, (2006).

### 2.3.2. Información macro y micro nutrientes en granos de avena

La Tabla 2 muestra la composición de los macronutrientes y micronutrientes presentes en los granos de avena.

**Tabla 2**

*Valores de composición macro y micro nutrientes de granos de avena en 100 gr*

Valor nutricional de avena en 100gr	
Proteína	17.1 gr
Carbohidratos	66 gr
Grasa	7 gr
Fibra Dietética	11 gr
B-Glucano	10.4 mg
Niacina	1.3 mg
Magnesio	171 mg
Hierro	6.4 mg
Cobre	0.17 mg
Potasio	441 mg
Tocoferol	< 0.5 mg

**Fuente:** Meral *et al.*, (2022).

Los granos de avena representan una significativa fuente de proteínas, fibra, así como de minerales y vitaminas esenciales (Harland, 2015; Ruiz & Herrero, 2022), también es reconocida por su capacidad para mejorar la salud cardiovascular gracias a su elevado contenido de fibra soluble (Soliman, 2019). Además, su contenido moderado de grasas, la posiciona como una opción saludable para diversas dietas y productos alimenticios (Biel *et al.*, 2009).



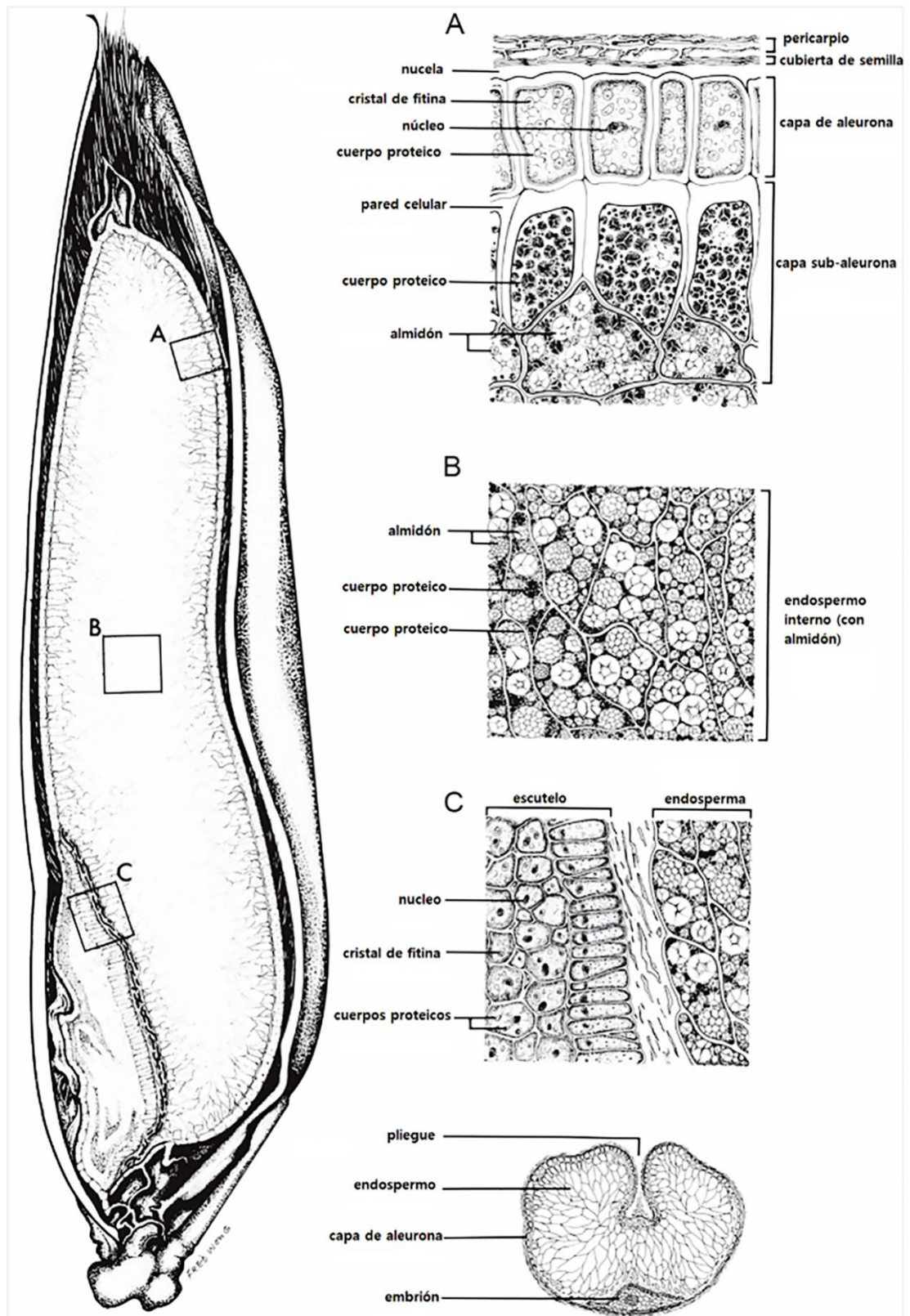


### 2.3.3. Microestructura del grano de avena

La Figura 1 muestra la microestructura de un grano de avena, detallando sus características. En la parte izquierda se exhibe un grano de avena con su envoltura externa. La figura presenta una división longitudinal del grano, permitiendo observar su microestructura interna. En el extremo inferior derecho se muestra una sección transversal del grano, tomada a la altura de la casilla C. Las secciones A, B y C corresponden a aumentos de zonas específicas del grano.

## Figura 1

### Microestructura de granos de avena



Fuente: Miller & Fulcher ( 2011).

## 2.4. ALMIDÓN

En el ámbito alimentario, el almidón desempeña diversas funciones, como la de actuar como agente viscosante, estabilizante, gelificante y, por último, como agente de retención de agua (Day & Golding, 2016). La diferencia en proporciones entre amilosa y amilopectina, junto con la morfología, constituye una característica distintiva que varía según el tipo de almidón (Kumar *et al.*, 2023). Estos gránulos, que son partículas presentes en las plantas, exhiben formas y dimensiones que difieren según la fuente botánica, impactando directamente en las propiedades térmicas del almidón (Dickinson, 2017; Cornejo *et al.*, 2018 y Vandromme *et al.*, 2019).

### 2.4.1. Características fisicoquímicas del almidón

Los gránulos de almidón están formados por moléculas de amilosa y amilopectinas dispuestas radialmente, con los extremos reductores de las cadenas de almidón orientados hacia el centro del gránulo. Los gránulos contienen tanto semicristalinos y en gran parte no cristalinos en capas alternas. Las capas semicristalinas o más densas de los gránulos de almidón contienen mayores cantidades de estructura cristalina (Willett, 2009).

La naturaleza cristalina de las capas o envolturas densas de los gránulos de almidón se debe a las ramificaciones dobles y agrupadas de la amilopectina, que se agrupan para formar ramificaciones cortas y periódicas en todo el gránulo. Así, el marco cristalino y el orden molecular de los gránulos lo proporcionan en gran medida las moléculas de amilopectina, y se estabiliza mediante enlaces de hidrógeno entre las cadenas y dentro de ellas (Bello & Agama, 2017).



#### **2.4.1.1. Características morfológicas**

Los gránulos de los almidones se presentan de varias formas; pueden ser esféricos, ovalados, poligonales, lenticulares o alargados (Preiss, 2018). Las dimensiones de los gránulos de almidón pueden variar, desde pequeños gránulos de trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) y arroz (*Oryza sativa*), hasta los grandes gránulos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa spp.*). Las formas pueden ser regulares (por ejemplo, esférica, ovoide o angulares) o bastante irregulares (Elliason, 2006).

#### **2.4.1.2. Contenido de amilosa**

La amilosa es un polisacárido que estructuralmente es lineal, se le considera como el segundo componente más abundante del almidón, esta representa alrededor del 20 - 30 % del peso del almidón, sin embargo, este es menor en cereales a comparación de los tubérculos y las raíces (Nakamura *et al.*, 2010). Probablemente la amilosa este presente en los gránulos del almidón con el fin de llenar el vacío presente en la matriz formada por la amilopectina, esto hace que el granulo del almidón sea denso (Smith, 2001).

#### **2.4.1.3. Contenido de amilopectina**

La estructura de la amilopectina es compleja debido a que esta posee cadenas ramificadas. A su vez, este es el componente principal de los gránulos de almidón y representa alrededor de 65 al 85 % del peso de los gránulos de almidones, en algunos gránulos de almidón puede llegar a ser al 100%, esto depende de la fuente botánica (Pérez & Bertoft, 2010).

## 2.4.2. Características reológicas del almidón

### 2.4.2.1. Barrido de temperatura

El barrido de temperatura es un ensayo reológico fundamental que expone almidones suspendidos en agua a cambios controlados de temperatura, ayudando así a determinar la temperatura de gelatinización, esencial para garantizar la calidad y funcionalidad de los productos finales, así como para optimizar los procesos industriales, especialmente en la industria alimentaria (Ghoshal & Kaushal, 2020). La temperatura de gelatinización, definida como la temperatura a la que el almidón forma un gel, es un proceso crucial que implica la ruptura de enlaces y la entrada de agua al gránulo, causando su hinchazón y otros cambios como la fusión de cristales y la pérdida de birrefringencia (Rafiq *et al.*, 2015). Este proceso varía según el tipo de almidón y es influenciado por factores como las proporciones de amilosa y amilopectina, con la amilosa formando un gel firme y la amilopectina creando una pasta fluida.

### 2.4.2.2. Barrido de frecuencia

El barrido de frecuencia es una técnica para caracterizar materiales, especialmente aquellos ricos en almidón, a temperatura constante. Durante este proceso, la frecuencia aumenta gradualmente, afectando las propiedades reológicas del almidón. En el análisis de geles de almidón, el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) es significativamente mayor que el módulo de pérdida ( $G''$ ), esto indica un comportamiento más elástico, mientras que un  $G''$  mayor sugiere un comportamiento más viscoso (Yang *et al.*, 2004).



### 2.4.2.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez

A partir de los ensayos reológicos, se es posible estudiar el comportamiento de flujo de un fluido, que puede ir desde newtoniano hasta no newtoniano (Ramsey, 2019). El análisis del cambio en la viscosidad en relación con la velocidad de deformación se denomina curva de flujo. En ocasiones, los fluidos empleados en aplicaciones industriales presentan desviaciones respecto a la ley de Newton, dado que su viscosidad experimenta modificaciones en respuesta a la velocidad de deformación aplicada (Hyun J. *et al.*, 2014). Para representar estas variaciones en el comportamiento no newtoniano, se utilizan los reogramas (Pascual, 2016).

### **2.4.3. Características térmicas del almidón por calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

La técnica DSC es ampliamente empleada para investigar la estructura y las transiciones de fase tanto del almidón puro como de sistemas alimenticios complejos. A través de esta técnica, se puede determinar la presencia de regiones moleculares ordenadas en el gránulo de almidón, así como su carácter metaestable y sus interacciones con otros componentes alimenticios. Esto se consigue al registrar las variaciones en la transferencia de calor durante el proceso de calentamiento de la muestra en un intervalo de temperaturas (Aldana *et al.*, 2005).

Esa técnica es usada para calentar y enfriar muestras a una velocidad constante, controlando la temperatura para registrar las variaciones en el flujo de calor en las transiciones térmicas (Eliasson, 1994).

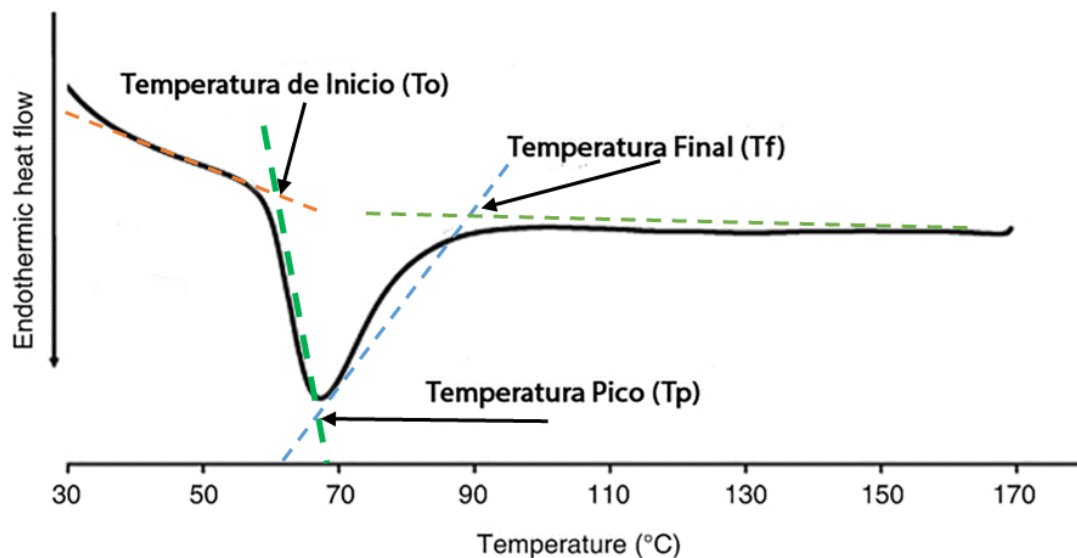
Se estima que la gelatinización de un gránulo de almidón conlleva una alteración significativa en su estructura molecular y cristalina. Para cuantificar estos cambios, se recurre a una técnica que permite identificar tanto la temperatura como el rango en el cual ocurren las modificaciones de estado, además de analizar el flujo de calor asociado al proceso (Mo *et al.*, 2023).

Así mismo, dentro de la técnica DSC aplicada a estudios de almidones, manifiestan que es necesario para conocer los parámetros para saber cómo responde el almidón térmicamente durante el proceso de cocción o procesamiento de alimentos (Van *et al.*, 2022).

La Figura 2 presenta el proceso de gelatinización del almidón a medida que se calienta, mostrándose las temperaturas de transición.

**Figura 2**

*Curva DSC para el almidón*



Fuente: Sethi *et al.*, (2022).

Del Águila (2022) y Syed *et al.*, (2021), fundamentan las temperaturas de transición durante el análisis térmico en almidones.

#### **2.4.3.1. Temperatura de Inicio (To):**

Se refiere a la temperatura en la cual los gránulos de almidón inician el proceso de absorción de agua y expansión. El estudio de esta temperatura inicial es fundamental para comprender el comportamiento del almidón durante la cocción o el procesamiento de alimentos.

#### **2.4.3.2. Temperatura Pico (Tp):**

Es el punto en el que la viscosidad del almidón alcanza su máximo valor durante la gelatinización. Identificar la temperatura pico es esencial para la formulación de productos alimenticios.





#### **2.4.3.3. Temperatura Final ( $T_f$ ):**

Es la temperatura a la que el almidón deja de experimentar cambios significativos en su estructura. Conocer la temperatura final es fundamental para evitar la sobre cocción o la pérdida de las propiedades de gelatinización.

#### **2.4.3.4. Rango ( $T_f-T_o$ ):**

Es la diferencia entre la temperatura final y la temperatura de inicio y representa la ventana de gelatinización del almidón.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, y en el Laboratorio de Análisis del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) – Estación Experimental Rinconada Salcedo – Puno.

#### 3.2. MATERIA PRIMA

Las variedades Tayko, Africana y Vilcanota I de granos de avena fueron obtenidas del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) de Salcedo, Puno, producto de la campaña agrícola 2021-2022. Estas semillas fueron seleccionadas para esta investigación porque según Enciso (2019), son las variedades que destacan en las condiciones altiplánicas de Puno. Antes de su traslado al Laboratorio de Biotecnología, estos granos de avena fueron envasados en bolsas Kraft.

#### 3.3. MATERIALES

##### 3.3.1. Materiales de laboratorio

- Vasos precipitados Pyrex de 50 ml y 500 ml Marca Boeco.
- Colador de acero inoxidable Marca Anaeat con malla de 250  $\mu$ m.
- Probeta graduada de 100ml Marca Boeco Germany.
- Tubos de ensayo con tapa rosca 16x150 mm Pyrex.



- Lunas de reloj Pyrex.
- Tela de algodón para escurrir de numero de malla de 200  $\mu\text{m}$  color blanco.
- Espatula cuchara Niquel 150 mm.
- Bolsas Ziploc de polietileno (17.7 cm x 19.5 cm).
- Portaobjetos y cubreobjetos.

### 3.3.2. Equipos de laboratorio

- Centrifuga Nova Safety 8 Butirometros.
- Agitador magnético Vortex Marca Ingenieurbüro CAT, M. Zipperer GmbH.
- Reómetro Modular Compacto (MCR) Marca Anton Paar (MCR 302, Anton Paar GmbH, Graz, procedencia Austria) equipado con un plato paralelo de 50 mm de diámetro (PP50).
- Calorímetro diferencial de barrido METLER TOLEDO® (modelo DSC 3 + STARe System, procedencia Suiza).
- Prensa de sellado de crisol, procedencia Suiza.
- Espectrofotómetro Marca Genesys 150.
- Balanza electrónica analítica ALC - 210 Marca ACCULAB - Sartorius group, procedencia alemana.
- Balanza Portátil Scout Pro 2Kg Modelo: SP2001.
- Baño María marca Memmert, modelo WNE 22.
- Tamices Ro – TAP Marca Retsch.
- Estufa de secado Marca ED BinderTM.
- Microscopio trinocular con cámara digital Marca OLYMPUS, modelo BX43 procedencia japonesa.
- Molino de cuchillas, GRINDOMIXGM200, procedencia alemana.
- Termómetro digital modelo SKU: AN2018614055, procedencia china.
- Molino de rotor PULVERISETTE 14 classic line, procedencia alemana.



### 3.3.3. Reactivos

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio 1N.
- Etanol al 95 % (v/v).
- Ácido acético 1N.
- Yoduro de potasio.

### 3.3.4. Software

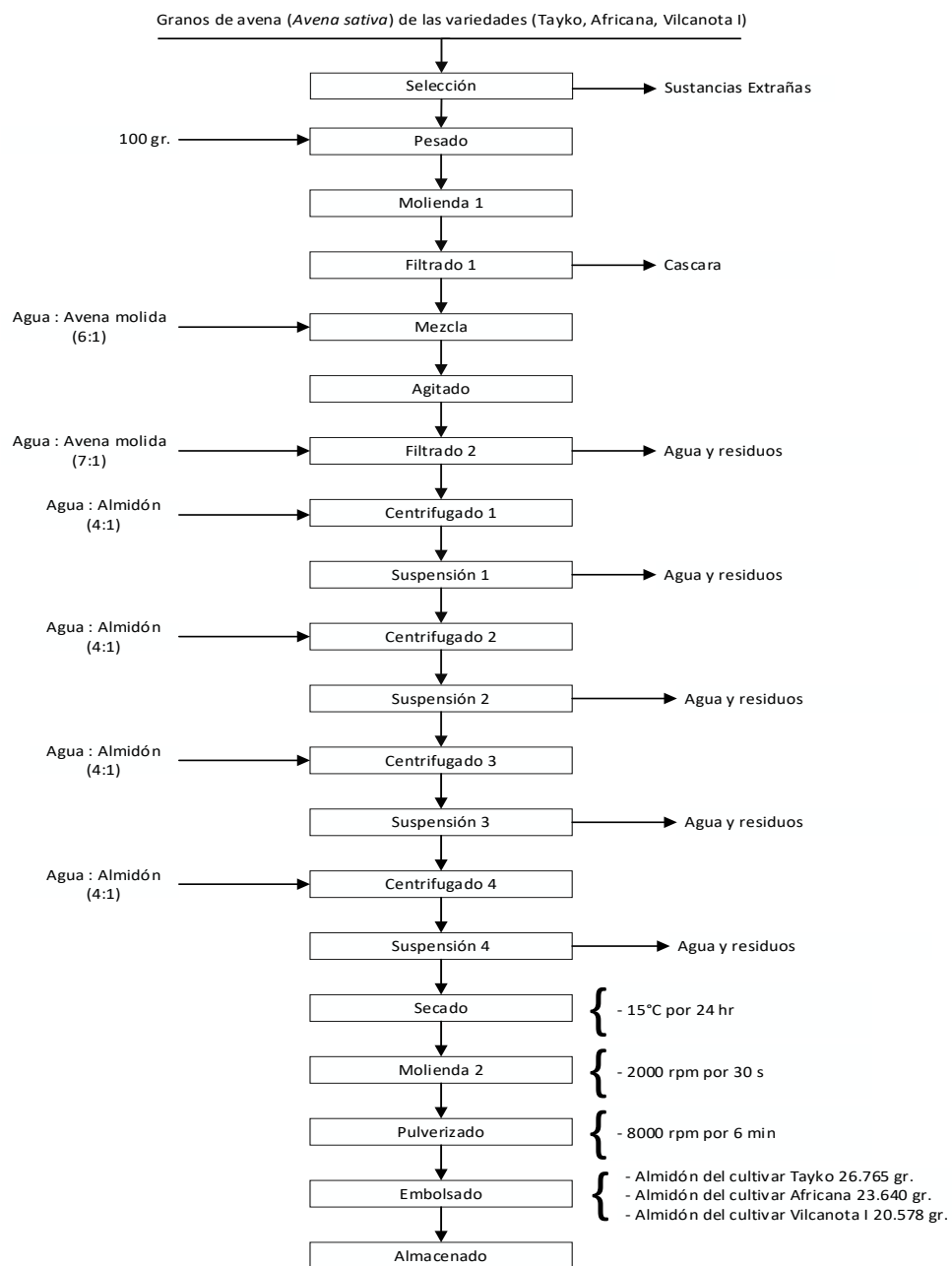
- RStudio.
- Anton Paar RheoCompass.
- Stare Evaluation® versión 16.20 de Mettler Toledo.
- Matlab 2017b.
- cellSens Imaging Software Olympus LS.

### 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se utilizó la metodología propuesta por Díaz (2016), para extraer el almidón, con ajustes específicos adaptados a las necesidades de este estudio. El proceso completo se puede observar en la Figura 3 y se explica en detalle a continuación.

**Figura 3**

*Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de avena*



**Fuente:** Elaboración propia.



- **Selección:** Se realizó una selección con el propósito de separar las impurezas no deseadas, como pequeñas piedras y lodo seco, de los granos de avena.
- **Pesado:** Se pesaron 100 gr de granos de avena en una balanza digital de precisión calibrada previamente.
- **Molienda 1:** Los granos de avena fueron triturados con un molino de cuchillas a una velocidad de 1000 rpm durante 5 minutos.
- **Filtrado 1:** En esta fase, se procedió a separar las partículas gruesas, como la cáscara, mediante el uso de un colador de acero inoxidable.
- **Mezcla:** Para facilitar la solubilización, se mezcló los granos molidos con agua destilada en una proporción 1:6 en vasos precipitados de 500 ml.
- **Agitado:** Se procedió a agitar la solución durante un período de 10 min para asegurar la completa solubilización de la avena molida.
- **Filtrado 2:** La solución resultante pasó a través de una tela de algodón para escurrir y filtrar, con el fin de retener las partículas gruesas presentes en la solución.
- **Centrifugado 1:** La sustancia suspendida fue sometida a centrifugación a una velocidad de 2500 rpm durante un tiempo de 1.30 min.
- **Suspensión 1:** Durante esta fase, se descartó el líquido sobrante y el almidón restante se dispersó en agua destilada en una proporción de 1:3.
- **Centrifugado 2:** La muestra suspendida fue sometida a una segunda centrifugación a una velocidad de 2500 rpm durante 1.30 min.
- **Suspensión 2:** El líquido sobrenadante fue eliminado y el almidón residual se dispersó en agua destilada en una relación de 1:3.



- **Centrifugado 3:** La muestra suspendida fue sometida a una tercera centrifugación a una velocidad de 2500 rpm durante 1.30 min
- **Suspensión 3:** El líquido sobrenadante fue eliminado y el almidón residual se dispersó en agua destilada en una relación de 1:3.
- **Centrifugado 4:** La muestra suspendida fue sometida a una cuarta centrifugación a una velocidad de 2500 rpm durante 1.30 min
- **Suspensión 4:** El líquido sobrenadante fue eliminado y el almidón residual se dispersó en agua destilada en una relación de 1:3.
- **Secado:** El almidón se sometió a un proceso de secado en una estufa a una temperatura de 15 °C durante un período de 24 horas.
- **Molienda 2:** El almidón después de secarse fue triturado en un molino de cuchillas a una velocidad de 2000 rpm durante 30 seg.
- **Pulverizado:** El almidón molido se pulverizó con un molino de rotor a 8000 rpm durante 6 min.
- **Embolsado:** El almidón en polvo fue colocado en bolsas de polietileno Ziploc.
- **Almacenamiento:** Se guardaron los almidones en un ambiente fresco y seco, protegidos de la luz solar directa, con el fin de preservar su calidad y evitar la humedad.

#### 3.4.1. Caracterización fisicoquímica

Con el fin de cumplir con el primer objetivo específico, se procedió a realizar la caracterización fisicoquímica de los almidones de avena. Este proceso involucró una serie de pasos, los cuales se describen a continuación.



### 3.4.1.1. Rendimiento del almidón

El porcentaje del almidón (%REA) se determinó siguiendo el método establecido por Ji (2004), que implica dividir el peso del almidón extraído ( $W_{ae}$ ) entre el peso total de la muestra de avena ( $W_p$ ). La fórmula empleada para este cálculo se muestra a continuación:

$$\%REA = \frac{W_{ae}}{W_p} * 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

### 3.4.1.2. Características morfológicas

La caracterización morfológica de los granulos de almidón de tres variedades de avena se llevó a cabo mediante la captura de imágenes digitales y el empleo del programa Matlab. El programa se encargó de identificar y calcular las dimensiones lineales como el área ( $\mu\text{m}^2$ ), el diámetro mayor ( $\mu\text{m}$ ) y el perímetro ( $\mu\text{m}$ ) de cada gránulo presente en las imágenes. Posteriormente, se realizaron los cálculos de los factores de forma, tomando como referencia las investigaciones de Medina *et al.*, (2010) y Suchowilska & Wiwart (2006). Estos factores de forma proporcionan una descripción cuantitativa de la morfología, ofreciendo un enfoque valioso para investigaciones científicas en la materia.

Los factores de forma Sh1, Sh2, Sh3 y Sh4 se calcularon de acuerdo a las siguientes formulas planteadas por Wiwart *et al.*, (2006).

$$Sh1 = \sqrt{4 \left( \frac{A}{\pi} \right)} \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$Sh2 = \frac{P}{\pi} \quad \text{Ecuación 3.}$$





$$Sh5 = \frac{M}{A}$$

**Ecuación 4.**

$$Sh6 = \frac{A}{M^3}$$

**Ecuación 5.**

Donde: P= perímetro, M= diámetro mayor y A= área.

#### **3.4.1.3. Tamaño y morfología de los gránulos del almidón**

Para visualizar la forma de los gránulos de almidón de las variedades de avena, se empleó el procedimiento detallado por Fatokun (2019).

- Se elaboró una suspensión en proporción de 1 a 9 entre el almidón y el agua destilada.
- La suspensión se colocó primero en un portaobjetos y luego se cubrió con un cubreobjetos.
- Finalmente se visualizó con ayuda del microscopio.

Esto posibilitó la observación detallada de la forma de los gránulos de almidón de cada variedad de avena.

#### **3.4.1.4. Determinación de amilosa y amilopectina**

Se determinó el contenido de amilosa y amilopectina presentes en las muestras de almidón de tres variedades de avena, expresándose en porcentaje mediante el método descrito en ISO (1987).

##### **a) En la preparación de las soluciones:**

- En agua destilada se disolvieron 4 gr de NaOH, agregando suficiente agua para alcanzar un volumen final de 100 ml.



- Se utilizó una cantidad de 9 ml de NaOH 1N, la cual fue diluida hasta alcanzar un volumen total de 100 mililitros con agua destilada.
- Se utilizó una cantidad de 5,72 mililitros de ácido acético, la cual se diluyó hasta alcanzar un volumen total de 100 ml utilizando agua destilada.
- Se disolvieron 2 gramos de yoduro de potasio (KI) en una pequeña cantidad de agua destilada, seguido de la adición de 0,2 gramos de yodo (I<sub>2</sub>). Posteriormente, la solución fue disuelta y se completó hasta un volumen final de 100 mililitros utilizando agua destilada.

**b) En la preparación de la curva estándar de amilosa/amilopectina:**

- Se pesaron 100 mg de muestra de amilosa y 100 mg de amilopectina en frascos volumétricos de 100 ml.
- Se añadieron a cada frasco 1 ml de etanol al 95% y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N, se taparon y se dejaron a temperatura ambiente durante 18-24 horas.
- Cada frasco se llenó hasta alcanzar una capacidad total de 100 ml utilizando agua destilada.
- En un frasco volumétrico de 100 ml que contenía previamente 50 ml de agua destilada, se añadieron 5 ml de cada punto de la curva estándar, junto con 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo al 2%. Después de una adecuada mezcla, se completó el volumen restante con agua destilada.



- Los frascos volumétricos fueron resguardados en condiciones de oscuridad por un lapso de 20 min, posteriormente se procedió a medir la densidad óptica utilizando una longitud de onda de 620 nm.

### **3.4.2. Caracterización reológica**

Para cumplir con el segundo objetivo específico, a continuación, se detalla la metodología para la caracterización reológica de los almidones de avena. Las mediciones reológicas se realizaron en suspensiones de almidón en agua, con proporciones de 1:9, 2:8 y 3:7, utilizando el reómetro.

#### **3.4.2.1. Barrido de temperatura**

El proceso de barrido de temperatura se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el estudio de Kong *et al.* (2010). Se describe los procedimientos seguidos

Se elaboraron mezclas de almidón en agua en proporciones de 1:9, 2:8 y 3:7, las cuales se agitaron durante 30 minutos. Después de esto, las suspensiones se dispusieron en el plato inferior de un reómetro.

Las suspensiones experimentaron un incremento gradual de temperatura desde 20°C a 75°C a una velocidad de 2°C/min. Este procedimiento, se mantuvo un esfuerzo de corte del 1%. La frecuencia de oscilación se estableció en 1 Hz. Se registraron y monitorearon los parámetros del módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') conforme variaba la temperatura.

### 3.4.2.2. Barrido de frecuencia

La medición del barrido de frecuencia en los almidones se realizó siguiendo el enfoque metodológico propuesto por Kong *et al.*, (2010).

Las suspensiones de almidón en agua (en proporciones de 1:9, 2:8 y 3:7) fueron mezcladas utilizando un agitador vortex.

Las suspensiones fueron calentadas hasta alcanzar una temperatura de 60°C en un baño maría hasta que se formó el gel.

El gel obtenido se transfirió al reómetro y se dejó estabilizar durante 5 minutos a una temperatura de 25°C para alcanzar un estado de equilibrio. Luego, se llevó a cabo un barrido de frecuencia en un rango de 0.1 hasta 100 rad/s, manteniendo una deformación constante del 1% y la temperatura constante de 25 °C.

La dependencia de la frecuencia observada en los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdida ( $G''$ ) de las suspensiones de almidón en agua puede ser descrita mediante la aplicación de la ley de potencia o el modelo reológico de Ostwald de Waele.

$$G'(\omega) = K' \omega^{n'} \quad \text{Ecuación 6.}$$

$$G''(\omega) = K'' \omega^{n''} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

- $G'(\omega)$  y  $G''(\omega)$  son el módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida, respectivamente, en función de la frecuencia angular  $\omega$ .
- $K'$  y  $K''$  son coeficientes de consistencia (Pa.s).



- $n'$  y  $n''$  son los índices de comportamiento de flujo, adimensionales.

### 3.4.2.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez

La evaluación del comportamiento del flujo, o la curva de fluidez, fue llevada a cabo siguiendo el método propuesto por Kong *et al.*, (2010).

- Las mezclas de almidón en agua fueron sometidas a agitación durante un periodo de 2 minutos.
- Luego, las suspensiones fueron calentadas hasta alcanzar una temperatura de 60°C y se mantuvieron a esta temperatura durante un periodo de 15 minutos. Posteriormente, el gel resultante fue transferido a la placa del reómetro y se dejó equilibrar durante 5 min a una temperatura de 25°C.

La muestra fue sometida a una velocidad de deformación que varió desde 1000 hasta 0.1 s<sup>-1</sup>. Posteriormente, la curva de flujo obtenida fue ajustada utilizando el modelo de Herschel Bulkley, tal como se menciona en el estudio de Shah *et al.*, (2016):

$$\tau = K\gamma^n + \tau_0 \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

- $\tau$ : esfuerzo de corte (Pa).
- $K$ : coeficiente de consistencia (Pa.s).
- $\gamma$ : velocidad de deformación (s<sup>-1</sup>).
- $n$ : índice de comportamiento de flujo (adimensional).
- $\tau_0$ : Esfuerzo de fluencia (Pa).

### 3.4.3. Caracterización térmica

Para cumplir con el tercer objetivo específico, se describe a continuación la metodología empleada en la caracterización térmica de los almidones de avena. Las mediciones se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento detallado por Paredes *et al.*, (1994).

- Se tomaron 2 mg de almidón en estado seco y se colocaron en un crisol de aluminio. Luego, se añadieron 7  $\mu$ l de agua destilada y se sellaron herméticamente. Los crisoles se dejaron reposar a temperatura ambiente durante aproximadamente una hora.
- Luego, se calentaron los crisoles de 25 a 80 °C a una velocidad de 10°C/min

Para calcular las temperaturas de transición ( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_f$ ), es necesario identificar los cambios significativos más pronunciados. Dentro de la gráfica Head Flow en función de la temperatura. Dentro de dicha gráfica existen puntos donde comienza a aumentar o disminuir, y se traza rectas en función a estos cambios para así identificar la temperatura a la cual los cambios son más pronunciados, identificándose así las temperaturas de transición ( $T_o$ ), ( $T_p$ ), y ( $T_f$ ) de los almidones (Nijman *et al.*, 2019, College of Engineering & Applied Science, 2013) (ver Figura 2).



### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **3.5.1. Para el primer y tercer objetivo**

Para investigar el posible efecto de las diferentes variedades de avena en las características fisicoquímicas y térmicas del almidón, se optó por aplicar un diseño experimental completamente al azar (DCA). Este enfoque metodológico fue seleccionado siguiendo el precedente establecido por Maza (2020), quien lo empleó en estudios similares. Para comparar las variables, se llevó a cabo un análisis de varianza ANOVA para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias. Posteriormente, se realizó una prueba de comparación de medias Tukey para identificar aquellas medias que mostraban diferencias estadísticamente significativas. Todo el análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software RStudio.

**Tabla 3**

*Diseño experimental para el primer y tercer objetivo*

Variable de estudio	Tratamiento	Repeticiones	Variables respuesta de características fisicoquímicas			Variables respuesta de características térmicas		
			Rendimiento	Tamaño de gránulos	Amilosa Amilopectina	Temperatura Inicio	Temperatura Pico	Temperatura Final
<b>Tayko</b>		R1						
		R2						
	<b>T1</b>	R3						
		∴						
<b>Africana</b>		R1						
		R2						
	<b>T2</b>	R3						
		∴						
<b>Vilcanota I</b>		R1						
		R2						
	<b>T3</b>	R3						
		∴						





### 3.5.2. Para el segundo objetivo

Se aplicó un diseño experimental factorial de dos factores, donde el primer factor fueron las variedades de granos de avena y el segundo factor fueron las diferentes suspensiones (almidón: agua), siguiendo el enfoque metodológico propuesto por Haerling & Prion (2020). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias en las características reológicas, utilizando el valor p de la tabla ANOVA para determinar diferencias significativas. Posteriormente, se llevó a cabo una prueba de comparación de medias Tukey con un nivel de significancia de 0.05 para identificar aquellas medias con diferencias estadísticamente significativas. Para esto se usó del software RStudio.

**Tabla 4**

*Diseño experimental para el segundo objetivo*

Variable de estudio	Suspensión de Almidón en Agua	Tratamiento	Repeticiones	Variables respuesta de características Reológica		
				Barrido de Temperatura	Barrido de Frecuencia	Curva de fluidez
Tayko	1:9	T1	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Tayko	2:8	T2	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Tayko	3:7	T3	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Tayko	1:9	T4	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Africana	2:8	T5	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Africana	3:7	T6	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Africana	1:9	T7	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Vilcanota I	2:8	T8	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			
Vilcanota I	3:7	T9	R1			
			R2			
			R3			
			⋮			

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES

##### 4.1.1. Rendimiento de almidones

En la Tabla 5, se muestra el rendimiento del almidón en porcentaje para cada variedad de avena estudiada, con un total de cinco repeticiones.

**Tabla 5**

*Rendimiento del almidón respecto a las variedades de avena*

Variedad de almidón de Avena	% de Rendimiento
Tayko	26.765±1.670 <sup>a</sup>
Africana	23.640±2.430 <sup>ab</sup>
Vilcanota I	20.578±1.608 <sup>b</sup>

Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza con respecto al rendimiento muestra un valor de  $p = 0.00108$  (ver Anexo 11), indicando una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el rendimiento del almidón entre las tres variedades de avena. Se realizó una prueba de Tukey (ver Tabla 5), la cual revela que la variedad Tayko difiere significativamente de Vilcanota I, mientras que la variedad Africana no muestra diferencias significativas con las demás. La variedad Tayko exhibió el rendimiento más alto en comparación con las demás variedades, con un 26.765%, seguida de la variedad Africana con un 23.640%, y Vilcanota I con un 20.578%.

Estos hallazgos muestran valores más bajos en comparación con los resultados encontrados en investigaciones previas, como los presentados por Kaur



*et al.* (2023), que indican rendimientos de hasta el 56.8% en almidones de granos de avena de veinte genotipos distintos. Además, Hoover *et al.*, (2003) obtuvieron un rendimiento que osciló entre 30.9 y 32.3% de seis granos de grano de avena (alymer, antoine, baton, ernie, francis, gosline). Sin embargo, esta diferencia se debe a que en esta investigación se trabajó con la cáscara, mientras que en los dos antecedentes mencionados se trabajó sin ella. La cáscara tiene un peso aproximado del 25-30% del peso total del grano de avena (Jokinen *et al.*, 2021) siendo este un factor que influyó en el rendimiento obtenido.

Es importante destacar que las diferencias encontradas se atribuyen principalmente al hecho de que las variedades de avena (Tayko, Africana y Vilcanota I) están destinadas a la alimentación ganadera y se cosechan antes de que los granos alcancen su madurez máxima (Noli *et al.*, 2004). Otros factores como la variedad (Schnitzenbaumer & Arendt, 2013), también influyen, ya que cada variedad produce almidón con características diferentes en cuanto a calidad y cantidad. Además, el hecho de no aislar los granos inmaduros también afecta en el rendimiento del almidón (Çetin *et al.*, 2020). Asimismo, el método de extracción del almidón (Ren, 2020) también influye, dado que podría dar lugar a pérdidas durante el proceso de extracción.

Durante el proceso de crecimiento de los granos, las condiciones agrometeorológicas desempeñan un papel en la variabilidad del rendimiento del almidón. Según lo indicado por Kalbarczyk (2004), factores como la altitud, la calidad de la nutrición del suelo y las condiciones climáticas, señaladas por Sudrajat (2023), junto con la presencia de deficiencia de nitrógeno y el estrés hídrico, mencionado por Meise *et al.*, (2019), afectan directamente en la cantidad y calidad del almidón producido. La altitud influye en la presión atmosférica y el

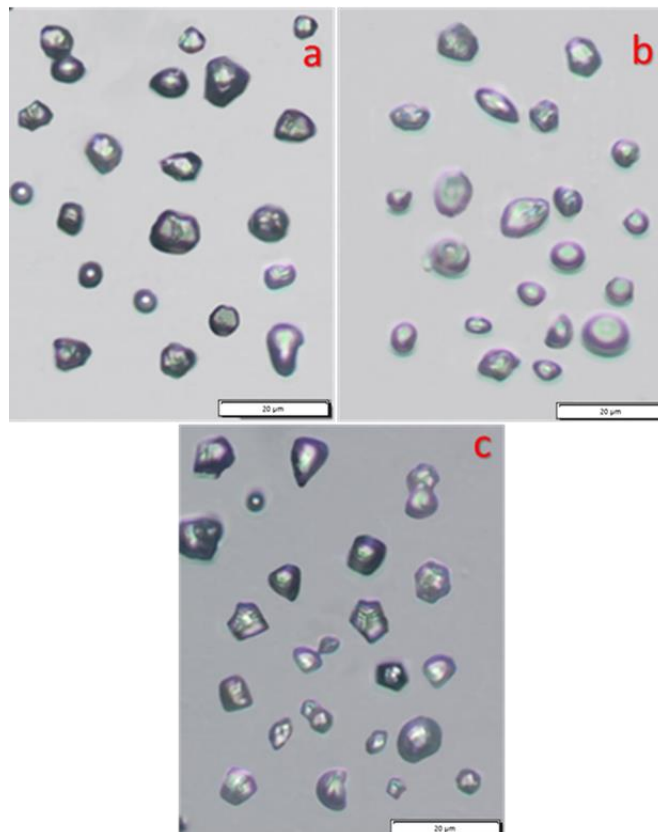
metabolismo de las plantas, mientras que la nutrición del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes esenciales (Zhai *et al.*, 2024). Igualmente, los factores ambientales como la temperatura y la humedad juegan un papel esencial en la fotosíntesis y en otros procesos metabólicos. (Nievola *et al.*, 2017). En conjunto, estos factores inciden directamente en la variabilidad del rendimiento del almidón durante el desarrollo de los granos.

#### 4.1.2. Morfología

En la Figura 4, se presenta la morfología de los gránulos de almidón de tres variedades de avena: Africana (a), Tayko (b) y Vilcanota I (c), a una escala de 20  $\mu\text{m}$ .

#### Figura 4

*Morfología de los gránulos de almidón de las variedades Africana (a), Tayko (b), y Vilcanota I (c) (escala de 20  $\mu\text{m}$ )*





En este estudio de los almidones de avena (Tayko, Africana y Vilcanota I) se han identificado gránulos esféricos y elípticos de tamaño reducido, así como gránulos poliédricos de mayor tamaño. Según estudios de Yao *et al.*, (2020) en almidones de maíz (variedad Waxy), los gránulos de almidón muestran una notable variabilidad en su morfología. Presentan formas que van desde plegadas, rayadas, curvadas, lisas, planas, redondas, elipsoidales, hasta estructuras en forma de varilla o poligonales irregulares. Este fenómeno observado en los granos de avena coincide con hallazgos previos en el almidón de papa hausa, según el estudio de Akhila *et al.*, (2022), resaltando así la diversidad en la morfología de los gránulos de almidón.

Hartunian & White (1992) señalan que los gránulos de almidón tienden a crecer de manera coordinada, adoptando la forma de los gránulos vecinos, un aspecto respaldado por los resultados obtenidos en este estudio con los almidones de avena (ver Figura 4). El fenómeno del crecimiento en conjunto también encuentra respaldo en las observaciones de Miller & Fulcher (2011) en la microestructura de los granos de avena (variedad Kernel).

#### 4.1.3. Tamaño de los gránulos de almidón

La Tabla 6, proporciona información sobre el tamaño de los gránulos de almidón en diferentes variedades de avena, con tres repeticiones.

**Tabla 6**

*Distribución de tamaño de gránulos del almidón de las variedades de avena*

Variedades	Tamiz de 180 $\mu\text{m}$	Tamiz de 150 $\mu\text{m}$	Tamiz de 106 $\mu\text{m}$	Tamiz de 75 $\mu\text{m}$
Tayko	6.985 $\pm$ 0.174 <sup>c</sup>	33.118 $\pm$ 1.813 <sup>a</sup>	12.383 $\pm$ 1.381 <sup>a</sup>	47.515 $\pm$ 2.086 <sup>b</sup>
Africana	8.625 $\pm$ 0.943 <sup>b</sup>	24.422 $\pm$ 1.911 <sup>b</sup>	10.328 $\pm$ 1.035 <sup>a</sup>	56.625 $\pm$ 1.265 <sup>a</sup>
Vilcanota I	10.723 $\pm$ 0.427 <sup>a</sup>	21.908 $\pm$ 1.936 <sup>b</sup>	10.842 $\pm$ 0.525 <sup>a</sup>	56.527 $\pm$ 1.088 <sup>a</sup>

Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza sobre la distribución del tamaño de gránulos de almidón en los tamices de 180, 150 y 75  $\mu\text{m}$  mostraron valores de  $p < 0.05$  (ver Anexos 12, 13 y 15), indicando diferencias significativas entre las variedades. Sin embargo, en el tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , el valor de  $p = 0.126$  sugiere que no hay diferencias significativas (ver Anexo 14). El test de Tukey (ver Tabla 6) confirmó que en el tamiz de 106  $\mu\text{m}$  no se observaron diferencias significativas, a diferencia de los otros tamices donde sí se evidenciaron diferencias entre las variedades estudiadas.

Las variedades de avena estudiadas exhibieron un mayor porcentaje de retención de almidón en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$ , indicando la presencia de gránulos de almidón pequeños. Esta característica concuerda con investigaciones previas que resaltan como distintiva la pequeña dimensión de los gránulos de almidón de avena (Punia *et al.*, 2020), lo que los hace idóneos para aplicaciones como la



formulación de galletas (Negu *et al.*, 2020) y la producción de productos farmacéuticos, como cremas (Ma *et al.*, 2022).

Es relevante destacar que los gránulos de almidón más grandes tienen una mayor capacidad para retener agua en comparación con los gránulos más pequeños (Zhou *et al.*, 2022). Además, el tamaño de las partículas de almidón puede influir en su capacidad para estabilizar emulsiones, las partículas más grandes pueden ser menos efectivas debido a su menor área superficial (Li *et al.*, 2019).

El tamaño de los gránulos de almidón puede tener importantes implicaciones, especialmente en la fabricación de productos cosméticos, ya que pueden actuar como agentes encapsulantes para fragancias, colorantes y esencias (Paredes *et al.*, 1989).

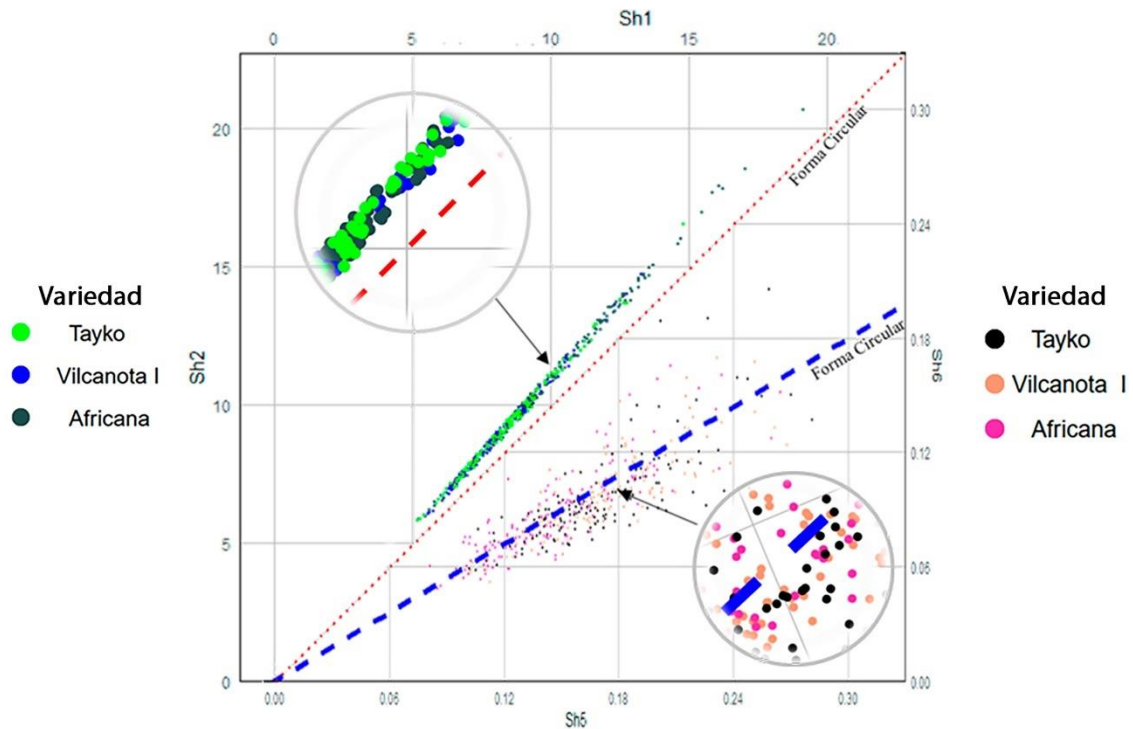
#### **4.1.4. Análisis de factores de forma de gránulos de almidón**

En la Figura 5, se presenta la relación entre los factores de forma Sh1 vs Sh2 y Sh5 vs Sh6 para las vistas superior y lateral de los gránulos de almidón de las variedades estudiadas. Los factores de forma calculados se compararon mediante líneas discontinuas de color rojo y azul para Sh1 vs Sh2 y Sh5 vs Sh6, respectivamente, ambos representando la forma circular. La distancia de los puntos de datos indica la desviación de los gránulos de almidón de una forma circular, proporcionando información sobre las vistas superior y lateral.



### Figura 5

Relación entre el factor de forma  $Sh1$  vs  $Sh2$  y  $Sh5$  vs  $Sh6$ , para los gránulos de almidón de las variedades Tayko, Vilcanota I, y Africana (La gráfica circular ilustra la dispersión de los datos)



En la relación de factores de forma  $Sh1$  vs  $Sh2$ , se aprecia que los gránulos de almidón son semejantes entre sí, y que estos se alinean ligeramente a la recta de referencia a la forma circular. Esto indica que los gránulos son elípticos desde la perspectiva superior, pero si observamos a profundidad la gráfica observamos que los valores menores de  $Sh1$  y  $Sh2$  pequeños están más alineados a la línea discontinua de color roja, lo que significa que los gránulos pequeños en este estudio son ligeramente más ovalados, y a medida que va aumentando los valores de  $Sh1$  y  $Sh2$ , se van alejando de la misma línea discontinua, indicando que los gránulos de almidón tiendan a ser más ovalados a comparación de los gránulos pequeños. Esto contrasta con lo mencionado por Yao *et al.*, (2020) sobre la

morfología que puede ser rayada, curvada, lisa, plana, redonda, elipsoidal o en forma de varilla.

Desde la perspectiva lateral (Sh5 vs Sh6), se aprecia que los gránulos son muy variados, van desde ser círculos perfectos, ovalados, hasta ser completamente amorfos ya que se alejan de la línea circular de referencia, este resultado es justificable, debido a que Miller & Fulcher (2011) en su investigación, tras visualizar a través de un microscopio la estructura interna del grano de avena de la variedad Kernel, guardan concordancia con los resultados obtenidos en esta investigación. Las diferencias se deben a la estructura del almidón, que incluye el tamaño de los gránulos, su composición y cómo se organizan las moléculas más pequeñas que forman el almidón (Wang *et al.*, 2014).

#### 4.1.5. Contenido de amilosa y amilopectina

La Tabla 7, presenta el contenido de amilosa y amilopectina en las variedades del almidón de avena, con un total de tres repeticiones.

**Tabla 7**

*Contenido de amilosa y amilopectina de las variedades de avena*

Variedad	% Amilosa	% Amilopectina
Tayko	24.383±0.600 <sup>a</sup>	75.617±0.600 <sup>a</sup>
Africana	23.547 ±1.600 <sup>a</sup>	76.453±1.155 <sup>a</sup>
Vilcanota I	23.370 ±0.605 <sup>a</sup>	76.630±0.605 <sup>a</sup>

Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza respecto al contenido de amilosa y amilopectina muestra un valor de  $p=0.344$  (ver Anexos 16 y 17), indicando que no existe diferencia significativa entre las variedades estudiadas. Se realizó un test de



Tukey (ver Tabla 7), confirmando que no existe diferencia significativa entre las variedades del almidón de avena.

Con respecto al contenido de amilosa en las tres variedades de avena (Tayko, Africana y Vilcanota I), los resultados obtenidos varían entre el 23.370% y el 24.383%. Estas cifras son ligeramente mayores que las encontradas por Jiang F. *et al.*, (2020) en el almidón de las variedades de quinua (Haili, Gannan, Geermu y Jingle), que oscilaron entre el 9.43% y el 10.90%. Por otro lado, nuestros hallazgos son inferiores al alto contenido de amilosa reportado por Martins *et al.*, (2022) en almidón extraído de semillas de aguacate (*Persea americana* Mill), que alcanzó el 39.56%. Comparando con Hoover R. *et al.*, (2003), quienes estudiaron variedades de avena y reportaron un rango de contenido de amilosa entre el 10.60% y el 24.50%, observamos que nuestros resultados se mantienen en concordancia con dicha variabilidad. Además, al contrastar con la investigación de Hanco (2021) sobre los almidones de papas nativas, donde el contenido de amilosa fluctuó entre el 23.9% y el 30.5%, encontramos similitudes en los niveles de amilosa.

Los almidones con alto contenido de amilosa están ganando popularidad debido a sus posibles beneficios para la salud. Estos beneficios incluyen una reducción del riesgo de cáncer colorrectal y diabetes (Raigond *et al.*, 2015). Así mismo Gupta *et al.*, (2023), manifiesta que el almidón con alto contenido de amilosa es cada vez más popular en las industrias de películas y recubrimientos comestibles debido a sus propiedades gelificantes.

El almidón de las variedades estudiadas tienen un contenido de amilopectina entre 75,617 % y 76,630 %. Este es un factor positivo a considerar,

ya que los almidones con un alto contenido de amilopectina están ganando popularidad debido a sus posibles beneficios dentro de la mejora en la encapsulación de nanopartículas, como: polifenoles, antocianinas, proantocianidinas, catequinas, rutina, etc. (Zheng *et al.*, 2023).

## 4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS ALMIDONES

### 4.2.1. Barrido de temperatura

En la Tabla 8, se presentan los resultados del barrido de temperatura para la formación del gel de las tres variedades, en tres suspensiones estudiadas, con un total de cinco repeticiones.

**Tabla 8**

*Temperatura de formación del gel de los almidones de las variedades de avena*

Variedades	Suspensión 1:9	Suspensión 2:8	Suspensión 3:7
Tayko	57.804±0.201 <sup>a</sup>	56.621±0.243 <sup>b</sup>	55.656±0.240 <sup>a</sup>
Africana	56.818±0.227 <sup>c</sup>	56.113±0.140 <sup>c</sup>	55.806±0.394 <sup>a</sup>
Vilcanota I	57.402±0.045 <sup>b</sup>	57.226±0.279 <sup>a</sup>	56.316±0.644 <sup>a</sup>

Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

En el análisis de varianza (ver Anexo 18), se evaluaron dos factores, la variedad y la suspensión, que podrían afectar la temperatura de formación del gel. Los resultados revelaron que ambos factores tienen efectos significativos en la temperatura de formación del gel ( $p = 3.42E-08$  y  $p = 9.60E-16$ , respectivamente). El factor variedad muestra diferencias entre Tayko, Africana y Vilcanota I, mientras que el factor suspensión resalta la influencia significativa de las proporciones 1:9, 2:8 y 3:7 de almidón y agua. Además, la interacción entre variedad y suspensión también resultó ser significativa ( $p = 3.12E-05$ ), indicando que la relación entre las variedades y las concentraciones de suspensión no es



uniforme, es decir que el cambio en la concentración de suspensión afecta de manera diferente a cada variedad de almidón.

Las temperaturas de gelatinización de los distintos almidones estudiados en las proporciones de suspensión 1:9, 2:8 y 3:7 variaron entre 55.656 y 57.804 °C. Se observó que el almidón de la variedad Tayko alcanzó la temperatura más alta en la proporción 1:9, mientras que la variedad Africana registró la más baja. En cuanto a la proporción 2:8, la variedad Vilcanota I exhibió la temperatura más alta, y la Africana la más baja. En la proporción 3:7, nuevamente Vilcanota I presentó la temperatura más alta, seguida por Tayko con la más baja. Esto indica que las temperaturas de formación del gel variaron con respecto a las suspensiones.

En relación con los resultados obtenidos de los almidones de avena, se observan similitudes en los valores informados para las variedades Tayko y Vilcanota. Estos hallazgos coinciden con estudios previos de Zheng *et al.*, (2015) en variedades específicas (AC Morgan, CDC Dancer y Leggett), donde las temperaturas de formación del gel variaron entre 56.2 y 61.2 °C.

#### **4.2.2. Barrido de frecuencia**

Las Figuras 6, 7 y 8 presentan los resultados del barrido de frecuencia para tres variedades de almidón de avena (Tayko, Africana y Vilcanota I) en diferentes suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7). En general, los almidones estudiados exhibieron un comportamiento distintivo de los módulos  $G'$  y  $G''$  en un rango de 0.1 a 100 rad/s, con un total de tres repeticiones.

En la suspensión 1:9, donde la proporción de almidón es baja, los módulos  $G'$  y  $G''$  muestran dependencia de la frecuencia. Sus valores aumentan

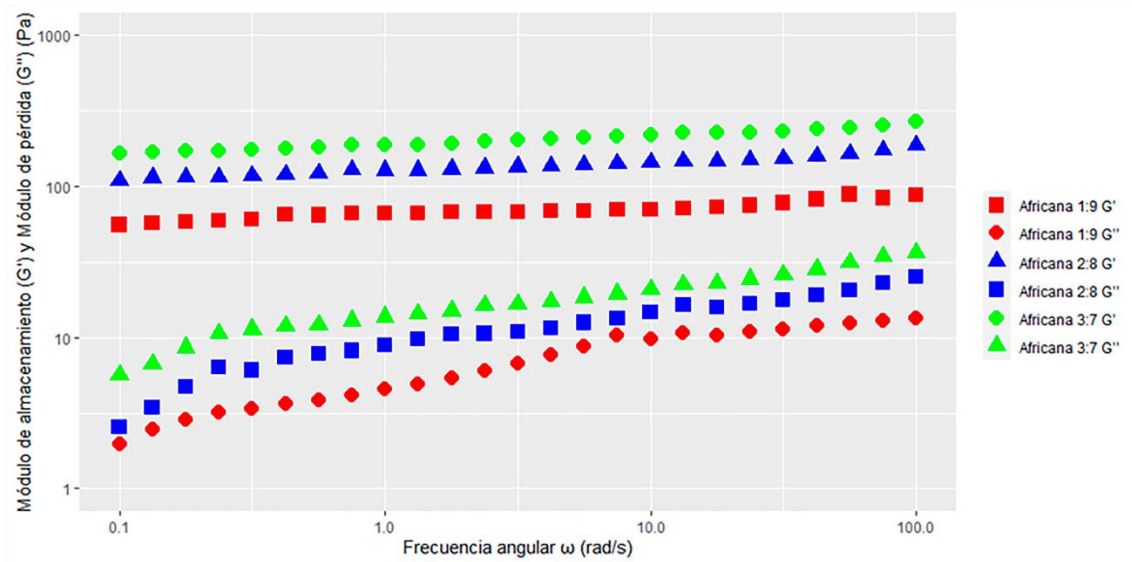


gradualmente, pero se mantienen por debajo de 100 Pa en el rango evaluado. Este comportamiento se atribuye a que las moléculas de amilopectina y amilosa se encuentran aisladas en solución, interactuando débilmente a través de enlaces de hidrógeno y fuerzas de van der Waals (Tako *et al.*, 2014), lo que se refleja en la fuerte dependencia de los módulos respecto a la frecuencia. Sin embargo, se observó una excepción en la variedad Africana, donde el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) se mantuvo relativamente independiente de la frecuencia, aunque con valores inferiores a 100 Pa. Esto podría atribuirse a una conformación diferente de las cadenas de amilopectina en esta variedad, permitiendo un mayor número de interacciones intermoleculares débiles que le otorgan un carácter elástico dominante sobre el componente viscoso (Wani *et al.*, 2012).

Al aumentar la concentración de almidón en agua en las suspensiones de 2:8 y 3:7, las cadenas de amilosa y la amilopectina se aproximan más, favoreciendo las zonas de unión y enlace intermoleculares más fuertes (Zhang, 2015). Lo que provoca un módulo de  $G'$  alto y poco dependiente de frecuencia, y el módulo de  $G''$  dependiente de frecuencia persiste, pero en menor grado a comparación a la suspensión 1:9. Sin embargo, al aumentar la concentración a suspensiones 2:8 y 3:7, se forma una red tridimensional de almidón más fuerte (Zhang *et al.*, 2023), evidenciado por el aumento en los valores del módulo  $G' > 100$  Pa que ahora son poco dependientes de la frecuencia. Este cambio en el comportamiento reológico se atribuye a la formación de una red continua de almidón gelatinizado, que se une a través de enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. A medida que aumenta la concentración, se incrementan las uniones intermoleculares, dando lugar a una estructura tipo gel más cohesiva y elástica (Estrada *et al.*, 2014).

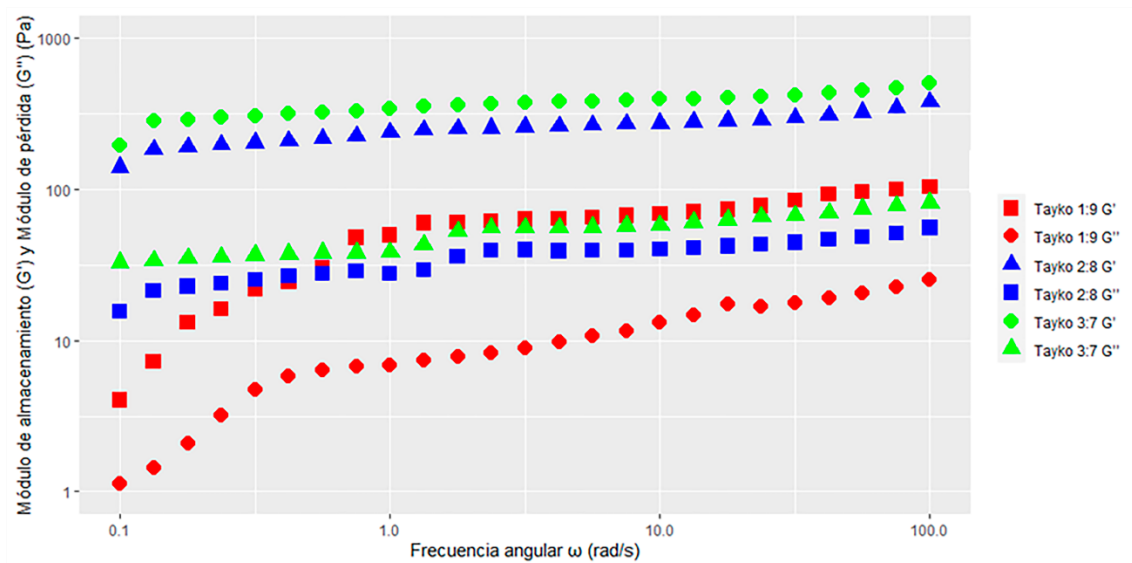
**Figura 6**

*Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Africana, a diferentes suspensiones*



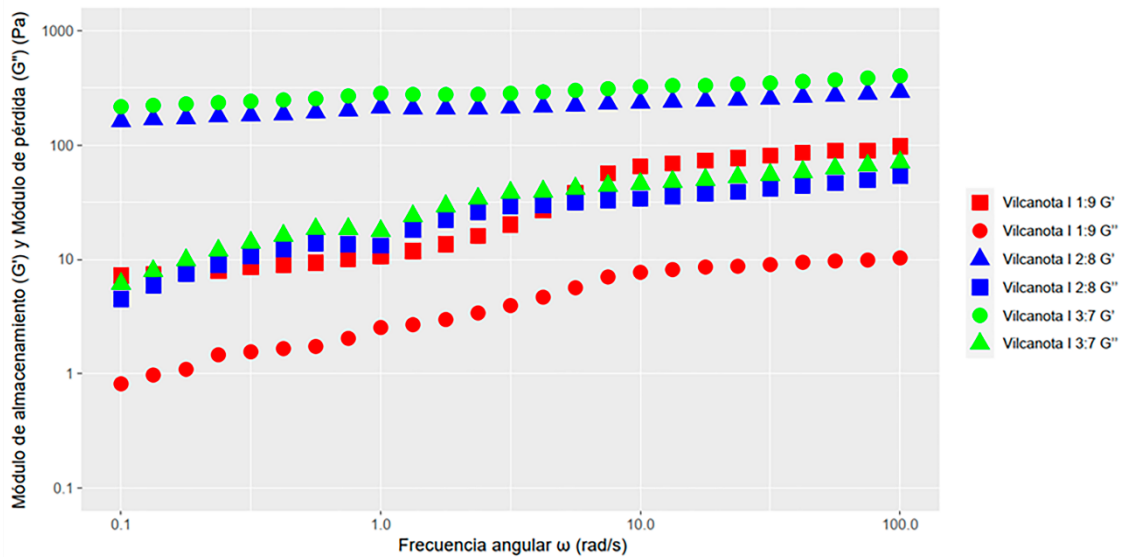
**Figura 7**

*Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Tayko, a diferentes suspensiones*



**Figura 8**

*Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia angular del almidón de avena de la variedad Vilcanota I, a diferentes suspensiones*



En términos generales, el módulo de almacenamiento fue mayor que el módulo de pérdida en todo el rango de frecuencia evaluado en los almidones de avena (Tayko, Africana y Vilcanota I), lo que indica estabilidad y sugiere un comportamiento sólido de los geles. Este patrón es consistente con investigaciones previas sobre el almidón de avena del cultivar Bayou No.8 (Sun *et al.*, 2023) y almidones de yuca de cinco cultivares (Rayong 2, Rayong 5, KU50, Hanatee y YOO2) (Tappiban *et al.*, 2020). Ambos estudios informaron que  $G'$  supera a  $G''$  en geles, lo que indica firmeza y estabilidad del gel. Tappiban *et al.*, (2020) sugieren que esta relación puede estar vinculada al contenido de amilosa, con su estructura lineal, y a la longitud de la cadena de amilopectina, factores que afectan la formación de enlaces cruzados. Estos elementos son determinantes en la capacidad del gel para resistir deformaciones, contribuyendo así a la firmeza y estabilidad observadas en los geles de almidón estudiados.



En las Tabla 9 y 10, se muestran los resultados de ajuste a la ley de potencia (Ostwald-de Waele) a los módulos  $G'$  y  $G''$ .

**Tabla 9**

*Valores de parámetros del modelo de ley de potencia para los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) en función de la frecuencia*

Variedades	Suspensión 1:9			Suspensión 2:8			Suspensión 3:7		
	K'	n'	R <sup>2</sup>	K'	n'	R <sup>2</sup>	K'	n'	R <sup>2</sup>
Tayko	29.841±2.423 <sup>b</sup>	0.382±0.025 <sup>b</sup>	0.879	223.553±1.770 <sup>a</sup>	0.099±0.040 <sup>a</sup>	0.935	326.81±2.234 <sup>a</sup>	0.090±0.035 <sup>a</sup>	0.915
Africana	64.283±2.303 <sup>a</sup>	0.064±0.031 <sup>c</sup>	0.922	126.017±2.157 <sup>c</sup>	0.063±0.020 <sup>a</sup>	0.937	189.82±2.329 <sup>c</sup>	0.065±0.040 <sup>a</sup>	0.986
Vilcanota I	14.440±3.175 <sup>c</sup>	0.471±0.030 <sup>a</sup>	0.894	200.43±1.511 <sup>b</sup>	0.077±0.030 <sup>a</sup>	0.982	265.777±3.154 <sup>b</sup>	0.080±0.035 <sup>a</sup>	0.988

K': coeficiente de consistencia (Pa.s), n': índice de comportamiento de flujo (adimensional) R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey (p<0.05).

**Tabla 10**

*Valores de parámetros del modelo de ley de potencia para los módulos pérdida ( $G''$ ) en función de la frecuencia.*

Variedades	Suspensión 1:9			Suspensión 2:8			Suspensión 3:7		
	K''	n''	R <sup>2</sup>	K''	n''	R <sup>2</sup>	K''	n''	R <sup>2</sup>
Tayko	4.603±0.305 <sup>a</sup>	0.445±0.005 <sup>a</sup>	0.947	28.545±0.211 <sup>a</sup>	0.142±0.010 <sup>c</sup>	0.919	43.539±0.305 <sup>a</sup>	0.138±0.006 <sup>c</sup>	0.969
Africana	4.631±0.371 <sup>a</sup>	0.274±0.000 <sup>c</sup>	0.936	7.606±0.307 <sup>c</sup>	0.281±0.006 <sup>b</sup>	0.972	12.816±0.284 <sup>c</sup>	0.220±0.006 <sup>b</sup>	0.985
Vilcanota I	2.412±0.220 <sup>b</sup>	0.386±0.006 <sup>b</sup>	0.893	14.508±0.325 <sup>b</sup>	0.330±0.010 <sup>a</sup>	0.925	19.825±0.225 <sup>b</sup>	0.326±0.00 <sup>a</sup>	0.932

K'': coeficiente de consistencia (Pa.s), n'': índice de comportamiento de flujo (adimensional) R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey (p<0.05).



En los análisis de varianza (ver Anexo 19, 20, 21 y 22), se examinaron dos factores que inciden en los coeficientes de consistencia ( $K'$  y  $K''$ ) y en los índices de comportamiento de flujo ( $n'$  y  $n''$ ). En relación al factor variedad, se observaron diferencias notables entre las variedades estudiadas. Por otro lado, el factor suspensión tuvo influencia significativa en los coeficientes de consistencia. Además, la interacción entre variedad y suspensión también resultó ser significativa ( $p < 0.05$ ), indicando que la relación entre las variedades y las suspensiones no es uniforme es decir que el cambio en la concentración de suspensión afecta de manera diferente a cada variedad de almidón.

En la suspensión 1:9, Vilcanota I presentó el menor valor de  $K'$  (coeficiente de consistencia) con 14.440 Pa.s, mientras que Africana registró el valor más alto con 64.283 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo ( $n'$ ) fue menor para Africana (0.064) que para Vilcanota I (0.471). En la suspensión 2:8, Vilcanota I mantuvo el menor valor de  $K'$  con 200.43 Pa.s, mientras que Tayko registró el valor más alto con 223.553 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo fue menor para Africana (0.063) que para Tayko (0.099). En la suspensión 3:7, Vilcanota I tuvo el menor valor de  $K'$  con 265.777 Pa.s, y Tayko demostró el valor más alto con 326.81 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo fue menor para Africana (0.065) que para Tayko (0.090) (ver Tabla 9).

En la suspensión 1:9, Vilcanota I presentó el menor valor de  $K''$  (coeficiente de consistencia) con 2.412 Pa.s, mientras que Africana registró el valor más alto con 4.631 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo ( $n''$ ) fue menor para Africana (0.274) que para Tayko (0.445). En la suspensión 2:8, Africana presentó el menor valor de  $K''$  con 7.606 Pa.s, mientras que Tayko



registró el valor más alto con 28.545 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo fue menor para Tayko (0.142) que para Vilcanota I (0.330). En la suspensión 3:7, Africana tuvo el menor valor de  $K''$  con 12.816 Pa.s, y Tayko demostró el valor más alto con 43.539 Pa.s. El índice de comportamiento de flujo fue menor para Tayko (0.138) que para Vilcanota I (0.326) (ver Tabla 10).

Se observó un comportamiento similar en la investigación desarrollada por Gencelep *et al.*, (2015), en esa investigación, se justificó este comportamiento explicando que los valores de  $K'$  y  $K''$  aumentaron con la concentración de almidón, indicando un aumento en la resistencia de la emulsión a la deformación. Por otro lado, los valores de  $n'$  y  $n''$  disminuyeron con la concentración de almidón, sugiriendo que la dependencia de la frecuencia en la respuesta de la emulsión disminuyó a medida que se aumentó la concentración de almidón. Este comportamiento se atribuye a cambios en la estructura y la interacción entre los componentes de la emulsión debido a la adición de almidón, afecta la forma en que la emulsión responde a las fuerzas aplicadas.

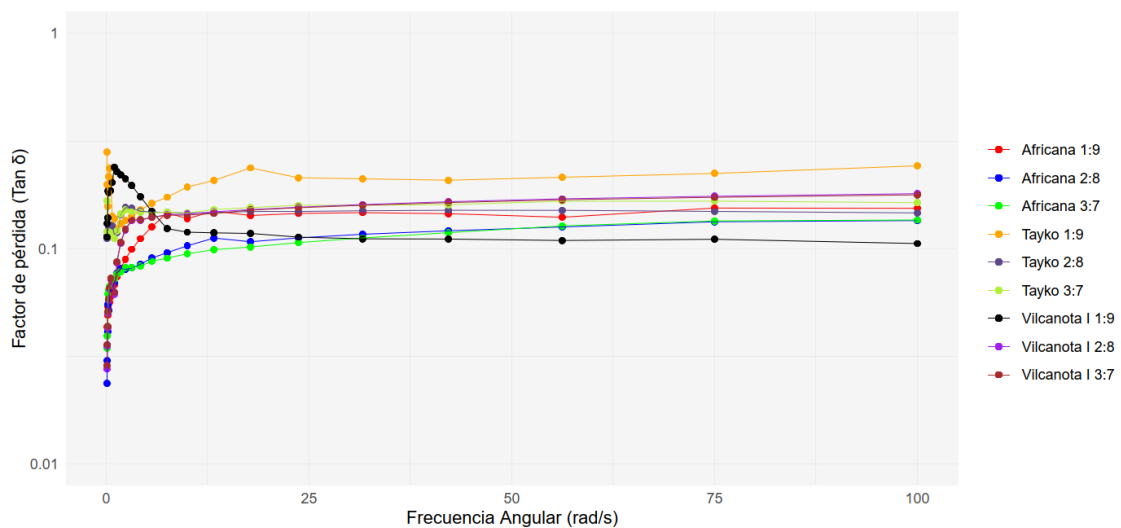
La variabilidad en los parámetros reológicos  $K'$ ,  $K''$ ,  $n'$  y  $n''$  está vinculada tanto a la diversidad de las variedades de almidón como a la concentración de las suspensiones (Malafrente *et al.*, 2023). El aumento de  $K'$  y  $K''$  con la concentración señala la formación de una red de gel más robusta (Mauro *et al.*, 2023), destacándose la variedad Tayko con los valores más elevados, sugiriendo una mayor capacidad de gelificación. La disminución de  $n'$  y  $n''$  a mayores concentraciones indica una estructura de gel menos influenciada por la frecuencia angular, excepto en el caso de Vilcanota I, que exhibe una notable susceptibilidad en la suspensión más baja, denotando un gel más débil. En conjunto, estos

parámetros reológicos proporcionan información valiosa sobre las diferencias funcionales entre las variedades de almidón, relacionadas con su capacidad para gelatinizar y formar estructuras estables.

En la Figura 9, se presenta los valores de  $\text{Tan } \delta$  vs la frecuencia angular de los tres almidones a las tres suspensiones estudiadas.

### Figura 9

*Factor de pérdida en función de la frecuencia angular para los almidones de avena de las variedades Africana, Tayko y Vilcanota I, en las suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7)*



El rango de valores de  $\text{Tan } \delta$  para la suspensión 1:9 en las variedades de almidón de avena fue el siguiente: Africana (0.035-0.154), Tayko (0.123-0.281) y Vilcanota I (0.105-0.239). Para la suspensión 2:8, los valores fueron: Africana (0.024-0.135), Tayko (0.111-0.155) y Vilcanota I (0.105-0.239). En cuanto a la suspensión 3:7, los valores fueron: Africana (0.034-0.136), Tayko (0.111-0.166) y Vilcanota I (0.029-0.178). Todos los valores calculados en diferentes suspensiones y en el rango de frecuencia estudiado fueron menores a 1.



Según Pérez *et al.*, (2019), un valor de  $\text{Tan } \delta < 1$  indica un comportamiento elástico, mientras que  $\text{Tan } \delta > 1$  indica un comportamiento viscoso. Es importante destacar que el almidón de la variedad Africana en la suspensión 2:8 presenta un rango de valores de  $\text{Tan } \delta$  cercanos a 0, lo que sugiere que esta variedad exhibe un comportamiento más elástico en comparación con las demás variedades en las diferentes suspensiones analizadas.

Los geles se clasifican como gel fuerte y gel débil, la diferencia radica en que en la estabilidad de las lecturas de los módulos ( $G'$  y  $G''$ ), a diferentes frecuencias (Ashari, 2017; Kutz, 2013). Los valores de los  $G'$  y  $G''$ , en la suspensión 1:9 de los almidones, mostraron dependencia con respecto a la frecuencia angular, por lo que se pueden caracterizar como geles débiles (Branco *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Mandala, 2012), sin embargo, los valores de  $G'$  y  $G''$ , en las suspensiones 2:8 y 3:7 de los almidones, mostraron poca dependencia con respecto a la frecuencia angular, por lo que encasillan como gel fuerte (Sy, 2022; Yang *et al.*, 2021).

En el contexto de los resultados obtenidos, los geles fuertes y débiles son importantes para diversas aplicaciones. Los geles fuertes presentan propiedades ideales para aplicaciones donde la estabilidad estructural y la firmeza son críticas (Burey *et al.*, 2009; Leyva *et al.*, 2014). En este sentido, encuentran aplicaciones destacadas en la industria alimentaria para la producción de postres, gelatinas y salsas, así como en la formulación de cápsulas farmacéuticas (Guzmán & Molina, 2013; Özel, 2023).

Por otro lado, los geles débiles, resultan ser excelentes opciones para productos que demandan texturas más suaves y desintegración fácil en la boca

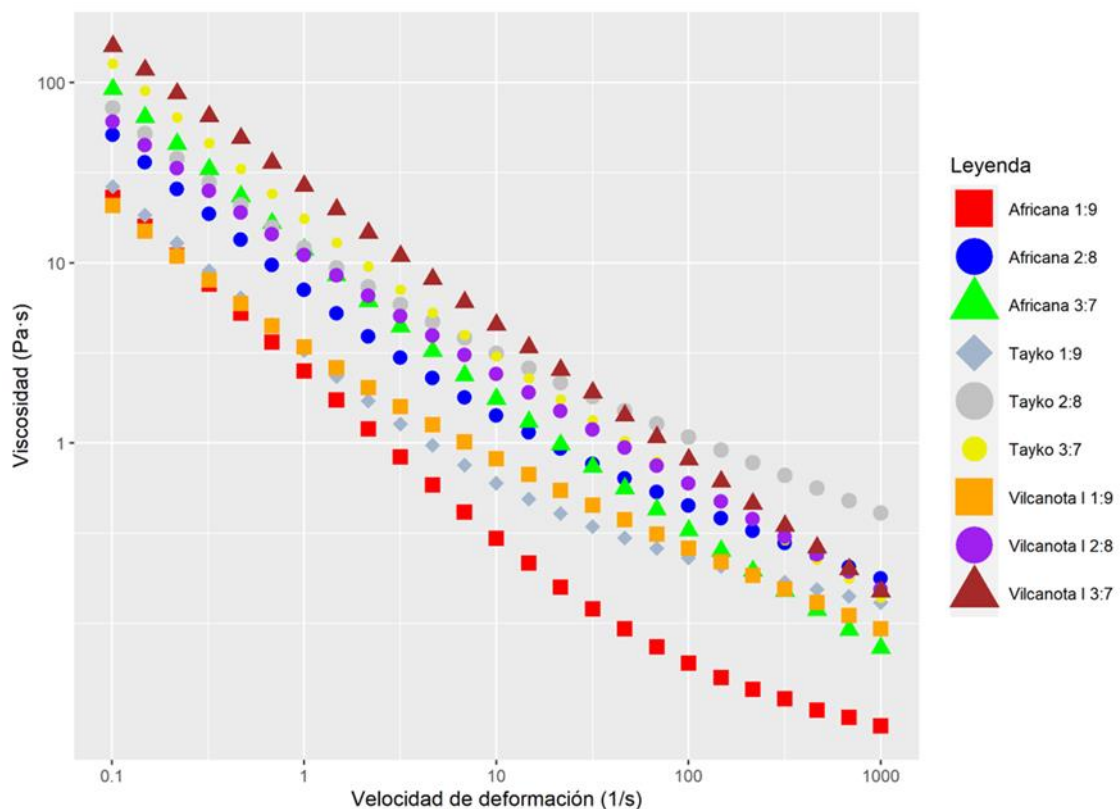
(Burey *et al.*, 2009; Fei *et al.*, 2024; Mahdi, 2016), por ejemplo se pueden aplicar para recubrir la superficie de productos de panadería con el fin de mantener la humedad (Chen *et al.*, 2021; Galus & Kadzińska, 2015). Asimismo, se elaborarán cremas hidratantes con un gel débil, porque son más ligeras y agradables a la piel (Tasminto *et al.*, 2023).

#### 4.2.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez

En la Figura 10, la viscosidad en función de la velocidad de deformación en las suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7) de las variedades Africana, Tayko y Vilcanota I, con un total de tres repeticiones.

#### Figura 10

*Viscosidad en función de la velocidad de deformación de los almidones de avena de las variedades Africana, Tayko y Vilcanota I, en las suspensiones de almidón en agua (1:9, 2:8 y 3:7)*





Los resultados indican que, en diferentes suspensiones, la viscosidad del almidón de las variedades de avena estudiadas disminuyó al aumentar la velocidad de deformación. Se observa que, en la suspensión 3:7, la variedad Vilcanota presentó la mayor viscosidad, mientras que en las suspensiones 2:8 y 1:9, la variedad Tayko exhibió la mayor viscosidad. Este comportamiento es característico de fluidos pseudoplásticos (Sikora *et al.*, 2007; Nijenhuis *et al.*, 2007). Es importante destacar que este tipo de comportamiento es típico de almidones nativos que no han sido modificados química y/o físicamente (Pang *et al.*, 2019). Los almidones nativos al estar compuestos de cadenas largas y ramificadas de moléculas de glucosa (Tetlow & Bertoft, 2020), estas cadenas se mantienen unidas por enlaces de hidrógeno (Höfer, 2015). Cuando se aplica una velocidad de deformación en solución de almidón, las cadenas de moléculas de glucosa se deslizan unas sobre otras, rompiendo algunos de los enlaces de hidrógeno (Robyt, 2008) esto resulta en una disminución en la viscosidad.

Rao (2007) manifiesta que, hay algunas ventajas de que la viscosidad de un almidón disminuya con el aumento de la velocidad de deformación, existe una mayor fluidez, mejora la textura, y proporciona mayor estabilidad, todo esto se aplica generalmente en salsas.

En la Tabla 11, se muestran los resultados de ajustar el modelo Herschel-Bulkley a los almidones de las tres variedades a las suspensiones de almidón en agua.

**Tabla 11**

*Parámetro del modelo Herschel-Bulkley a diferentes suspensiones de almidón en agua (1:9; 2:8 y 3:7)*

Variedad	Suspensión 1:9				Suspensión 2:8				Suspensión 3:7			
	$\tau_0$	K	n	R <sup>2</sup>	$\tau_0$	K	n	R <sup>2</sup>	$\tau_0$	K	n	R <sup>2</sup>
Tayko	2.732±0.0 34 <sup>a</sup>	0.525±0.0 37 <sup>b</sup>	0.795±0.0 24 <sup>b</sup>	0.98 7	5.464±0.0 78 <sup>a</sup>	6.575±0.0 86 <sup>b</sup>	0.596±0.0 04 <sup>a</sup>	0.99 2	9.196±0.0 75 <sup>a</sup>	8.364±0.06 6 <sup>b</sup>	0.397±0.0 09 <sup>b</sup>	0.99 2
Africana	2.445±0.1 02 <sup>b</sup>	0.074±0.0 03 <sup>c</sup>	0.845±0.0 16 <sup>a</sup>	0.98 4	4.893±0.0 52 <sup>b</sup>	2.164±0.0 80 <sup>c</sup>	0.635±0.0 59 <sup>a</sup>	0.98 8	8.335±0.0 74 <sup>b</sup>	3.486±0.04 0 <sup>c</sup>	0.423±0.0 10 <sup>a</sup>	0.97 2
Vilcanot a I	1.681±0.0 38 <sup>c</sup>	1.732±0.0 06 <sup>a</sup>	0.575±0.0 05 <sup>c</sup>	0.99 1	3.362±0.0 69 <sup>c</sup>	7.691±0.1 90 <sup>a</sup>	0.431±0.0 11 <sup>b</sup>	0.98 9	7.043±0.0 44 <sup>c</sup>	19.715±0.2 73 <sup>a</sup>	0.287±0.0 09 <sup>c</sup>	0.98 9

$\tau_0$ : Esfuerzo de fluencia (Pa) K: coeficiente de consistencia (Pa.s), n: índice de comportamiento de flujo (adimensional) R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey (p<0.05).

En los análisis de varianza (ver Anexo 23, 24 y 25), se examinaron dos factores, variedad y suspensión, que inciden en los parámetros reológicos ajustados al modelo Herschel-Bulkley (K, n y  $\tau_0$ ). Los resultados revelaron efectos significativos de ambos factores en los parámetros reológicos. En relación al factor variedad, se observaron diferencias notables entre las variedades Tayko, Africana y Vilcanota. Por otro lado, el factor suspensión destacó la influencia significativa de las suspensiones (1:9, 2:8 y 3:7) de almidón y agua.





En este estudio, el índice de comportamiento de flujo de la suspensión 1:9 varió de 0.675 (Vilcanota I) a 0.945 (Africana). Sin embargo, en la suspensión 2:8, varió de 0.341 (Vilcanota I) a 0.613 (Tayko), y en la suspensión 3:7, varió de 0.163 (Tayko) a 0.566 (Africana). Cada uno de los valores obtenidos en este estudio es menor que 1, lo que indica que los almidones en las suspensiones analizadas tienen un comportamiento pseudoplástico (Sikora *et al.*, 2007), Resultados similares fueron reportados por Mohamed *et al.*, (2021), quienes señalaron que los almidones presentaron un comportamiento pseudoplástico, mostrando que la viscosidad disminuyó con el aumento de la velocidad de deformación.

Para el coeficiente de consistencia (K), la suspensión 1:9, vario de 0.074 (Africana) a 1.732 (Vilcanota I) sin embargo en la suspensión 2:8, vario de, 2.164 (Africana) a 7.691 (Vilcanota I) y en la suspensión 3:7, vario de 3.486 (Africana) a 19.715 (Vilcanota I), en este estudio K, está determinado por la viscosidad del material. La viscosidad de un material a base de almidón está determinada por el tamaño y la forma de las moléculas de almidón, así como por el número de enlaces entre ellas. A medida que aumenta el contenido de almidón, el tamaño y la forma de las moléculas de almidón no cambian significativamente, pero aumenta el número de enlaces entre ellas. Esto da como resultado una mayor viscosidad y un mayor valor K (Barrera *et al.*, 2013).

Respecto al esfuerzo de fluencia ( $\tau_0$ ), en esta investigación, el esfuerzo en la suspensión 1:9, vario de 1.681 (Vilcanota I) a 2.732 (Tayko), sin embargo, en la suspensión 2:8, vario de 3.362 (Vilcanota I) a 5.464 (Tayko), y en la suspensión 3:7, vario de 7.043 (Vilcanota I) a 9.196 (Tayko), estos resultados manifiestan un



incremento respecto al esfuerzo de fluencia, al trabajar a diferentes suspensiones. Esto se debe a que las moléculas de almidón están más entrelazadas entre sí a concentraciones de almidón más altas, lográndose así un aumento de la resistencia a fluir (Wu *et al.*, 2020).

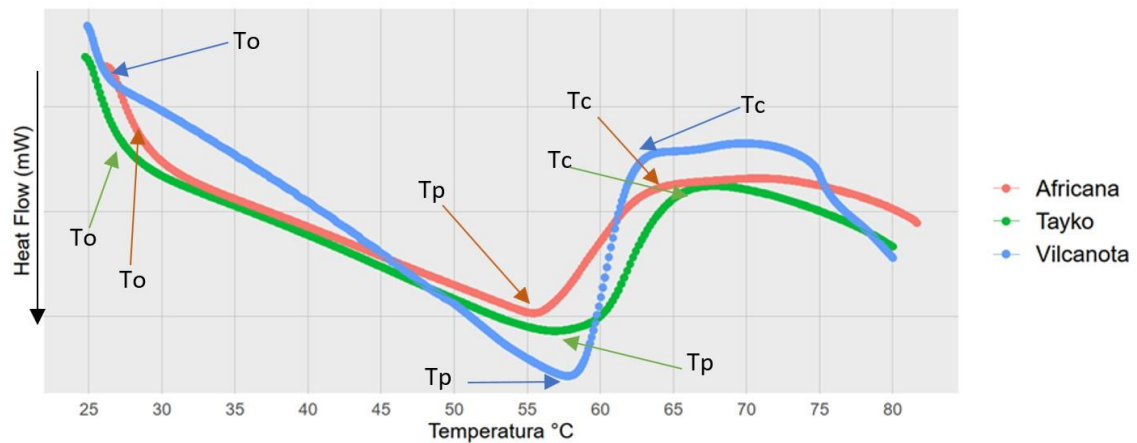
Comparando los resultados de los almidones de avena con investigaciones previas sobre almidón de yuca (adquirido de Beijing Quanfeng Starch Company), castaña (*Castanea sativa* Mill.) y mijo perla (*Cenchrus americanus*), realizados por Che *et al.*, (2008), Moreira *et al.*, (2012) y Bhardwaj *et al.*, (2019) respectivamente, observamos patrones similares al aumentar la concentración de almidón. En línea con estos estudios, encontramos que el índice de consistencia (K) y el esfuerzo cortante umbral ( $\tau_0$ ) aumentaron, indicando mayor viscosidad por las interacciones entre partículas y una mayor resistencia al flujo debido a la formación de estructuras complejas. Este fenómeno sugiere que, a concentraciones más altas, las moléculas de almidón experimentan una autoorganización en estructuras tridimensionales más complejas, generando una red más intrincada que dificulta el flujo. Al mismo tiempo, el índice de comportamiento (n) disminuyó, señalando un comportamiento pseudoplástico y una mayor dependencia de la viscosidad con la velocidad de deformación. Estos resultados, interpretados según el modelo reológico de Herschel-Bulkley, reflejan un comportamiento pseudoplástico típico de dispersiones de almidón con propiedades de flujo no newtoniano a concentraciones más altas, lo cual coincide con los hallazgos de estudios anteriores.

### 4.3. PROPIEDADES TÉRMICAS

En la Figura 11, se presenta la curva de flujo de los almidones de las variedades Tayko Africana y Vilcanota.

**Figura 11**

*Curva de flujo de calor (Heat Flow) en función a temperatura*



La Tabla 12, muestra los resultados almidones de las temperaturas de transición de tres variedades estudiadas con un total de tres repeticiones.

**Tabla 12**

*Valores de la temperatura de inicio de la gelatinización ( $T_o$ ), temperatura pico ( $T_p$ ), temperatura de conclusión ( $T_c$ ) y el rango de temperatura de gelatinización ( $T_c-T_o$ )*

Variedades	$T_o(^{\circ}C)$	$T_p(^{\circ}C)$	$T_c(^{\circ}C)$	$T_c-T_o(^{\circ}C)$
Tayko	$29.390 \pm 0.319^a$	$56.622 \pm 0.258^a$	$67.421 \pm 0.657^a$	$38.032 \pm 0.841^a$
Vilcanota I	$27.086 \pm 0.277^b$	$55.324 \pm 0.148^b$	$62.715 \pm 0.413^b$	$35.629 \pm 0.424^b$
Africana	$30.038 \pm 0.501^a$	$55.423 \pm 0.676^b$	$62.842 \pm 0.730^b$	$32.804 \pm 0.447^c$

Las letras distintas dentro de una misma columna denotan la existencia de divergencias importantes o significativas, según el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza con respecto a las temperaturas  $T_o$ ,  $T_p$  y  $T_c$  reveló un valor de  $p < 0.05$ , indicando la existencia de una diferencia significativa (ver Anexos 26, 27, 28



y 29). Posteriormente, se realizó una prueba de Tukey (ver Tabla 12), donde se evidenciaron diferencias significativas entre las variedades estudiadas.

En relación con la temperatura de inicio de la gelatinización, se observa que Africana (30.038 °C) y Tayko (29.390 °C) presentan temperaturas similares, seguidas por Vilcanota I (27.086 °C). Se determinó que Tayko y Africana no difieren significativamente, mientras que Vilcanota I difiere de Tayko y Africana en este parámetro. Este aspecto es de importancia, ya que marca el comienzo del proceso de gelatinización de los gránulos de almidón (Escobedo *et al.*, 2020). La temperatura más elevada registrada en este estudio fue para Africana, esto sugiere que su almidón requiere una temperatura más alta para desestructurar su formación cristalina (Li *et al.*, 2021) en comparación con Tayko y Vilcanota.

En cuanto a la temperatura pico ( $T_p$ ), Tayko (56.622 °C) muestra la temperatura más alta de gelatinización, seguido por Africana (55.423 °C) y Vilcanota I (55.324 °C). Tayko difiere significativamente de Africana y Vilcanota I. Investigaciones previas han revelado que la temperatura de gelatinización del almidón de avena varía según la variedad. Tayko y Vilcanota I presentan temperaturas similares a otras variedades, coincidiendo con los resultados informados por Ovando *et al.*, (2013), quienes encontraron que la temperatura de gelatinización del almidón de avena (cultivar Ebeltoft) varió de 58.33 a 64.26 °C en diferentes lugares de cosecha.

Respecto a la temperatura de conclusión, Tayko muestra la más alta (67.421°C), seguida por Africana y Vilcanota I. Tayko es la variedad que difiere significativamente de Africana y Vilcanota I. La temperatura de conclusión señala el punto en el cual el almidón alcanza su máxima capacidad para absorber agua y expandirse, lo cual puede representar hasta el 45% de su propio peso (Bloksma, 1990). Conocer estas temperaturas



es esencial para prevenir alteraciones no deseadas en la textura y calidad de los alimentos durante su almacenamiento y distribución (Li, 2022).

Por último, el rango de temperatura de gelatinización ( $T_c$ - $T_o$ ), la variedad con mayor rango de temperatura es la variedad Tayko con  $38.032^{\circ}\text{C}$ , seguida por las variedades Vilcanota y Africana respectivamente. Estos resultados manifiestan que el rango de los almidones es estrecho para su gelatinización (Ai & Jane, 2015). Según Chakraborty *et al.*, (2022) y Rooyen *et al.*, (2022), esto es debido a que en el proceso de calentamiento, la estructura cristalina del almidón se deshace a temperaturas relativamente bajas en comparación con las temperaturas en las que ocurren cambios en el tamaño de los gránulos y en las características moleculares del almidón.



## V. CONCLUSIONES

- El análisis del rendimiento de obtención de almidón, la morfología y el tamaño de los gránulos reveló diferencias notables entre las variedades estudiadas. Tayko exhibió el mayor rendimiento de almidón y una mayor proporción de gránulos grandes, mientras que Vilcanota I presentó una predominancia de gránulos pequeños. A pesar de la forma cercana a la circular de los gránulos en las tres variedades y su variabilidad lateral, no se observaron diferencias significativas en los contenidos de amilosa y amilopectina entre ellas. Estos hallazgos ofrecen una caracterización detallada de las propiedades del almidón en estas variedades de granos de avena, lo que es crucial para su potencial aplicación industrial y usos específicos.
- Respecto a las propiedades reológicas de los almidones de avena de las variedades Tayko, Africana y Vilcanota I. Se observaron diferencias significativas en la formación del gel y el comportamiento de flujo, destacando temperaturas de gelificación más altas para Tayko y Vilcanota I en diferentes proporciones de suspensión, así como un comportamiento elástico predominante en la variedad Africana. Además, se encontró que todas las suspensiones exhibían un comportamiento pseudoplástico, con Vilcanota I mostrando la mayor viscosidad en una proporción específica y Tayko en otras dos. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las características reológicas específicas de cada variedad de almidón de avena para su aplicación industrial, desde la formulación de alimentos hasta la farmacéutica, optimizando así su uso en diferentes productos y procesos.



- Los resultados de las características térmicas de los almidones, revelan diferencias significativas en las propiedades térmicas de las variedades de almidón de avena Tayko, Africana y Vilcanota I. Tayko y Africana muestran temperaturas similares de inicio de la gelatinización, superiores a Vilcanota I, pero Africana exhibe la temperatura más alta de gelatinización, indicando mayor resistencia a la desestructuración cristalina. Tayko presenta la temperatura pico y de conclusión más altas, así como el rango de temperatura de gelatinización más amplio, destacando su capacidad para absorber agua y expandirse. Vilcanota I muestra valores intermedios en todas las medidas, sugiriendo características térmicas distintivas.



## VI. RECOMENDACIONES

- En la actualidad, al grano de avena no se le da un valor agregado, ya que no se procesa localmente. Por lo tanto, se recomienda impulsar la investigación sobre las variedades de avena cultivadas en nuestra región y el país. Este enfoque permitiría encontrar nuevos usos para los granos de avena, ya que actualmente se importa la avena procesada, como las hojuelas de avena de marcas comerciales como Quaker. Este cambio beneficiaría a la comunidad al agregar valor a la producción local y reducir la dependencia de productos importados.
- Se sugiere llevar a cabo un estudio orientado a mejorar el rendimiento del almidón. Para alcanzar este objetivo, se recomienda explorar nuevos métodos que no solo optimicen el rendimiento, sino que también tengan el potencial de ser escalables a nivel industrial. Este enfoque busca obtener resultados destacados, lo que podría tener un impacto positivo en la eficiencia del proceso y en la viabilidad de implementarlo a gran escala en un entorno industrial.
- Se propone la creación de un producto utilizando almidón de avena o la incorporación de este almidón en una matriz alimentaria, con el objetivo de evaluar su comportamiento en condiciones específicas de procesamiento. Este enfoque busca explorar las posibilidades de innovación y aplicación práctica del almidón de avena en la creación de productos alimenticios o su integración en matrices alimentarias. El análisis del comportamiento en condiciones específicas de procesamiento permitirá entender mejor las características y aplicaciones potenciales del almidón de avena en la industria alimentaria.





## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, M. M., Martins, J. R., Sanvezzo, P. B., Macedo, J. V., Branciforti, M. C., Halley, P., Botaro, R., & Brienzo, M. (2021). *Polymers Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components*. <https://doi.org/10.3390/polym13152484>
- Ai, Y., & Jane, J. L. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch - Stärke*, 67(3–4), 213–224. <https://doi.org/10.1002/STAR.201400201>
- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Yadav, D. N., Khan, M. A., Mir, S. A., & George, J. (2022). Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. *Applied Food Research*, 2(2), 100193. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100193>
- Albarracin, M. (2020). *Valoración económica del servicio de conservación de la biodiversidad del área de conservación regional Vilacota Maure, Tacna-Perú*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Aldana, A. S., Sandoval, E. R., & Quintero, A. F. (2005). Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Año*, 72, 45–53.
- Arango, S. J. S. (2019). *Evaluación agronómica y valor nutritivo de avena (avena sativa) bajo condiciones de restricción de lluvia en la sierra central del Perú*. [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4207/arango-quispe-sheyla-johanna-shumyko.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Argote, G; Halanoca, M. (2007). *Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno*. <https://www.produccion->



animal.com.ar/produccion\_y\_manejo\_pasturas/pasturas\_cultivadas\_verdeos\_invierno/45-ARGOTE-GramineasForrajeras.pdf

Argote, G., & Ruiz, J. A. (2011). *Manejo y conservación de avena. Forrajera* [Universidad Nacional Agraria la Molina Oficina Académica de Extensión y Proyección Social Agrobanco]. [https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capitacionesproductores/avenaforrajera/GUIA\\_TECNICA\\_AVENA\\_FORRAJERA\\_2011.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capitacionesproductores/avenaforrajera/GUIA_TECNICA_AVENA_FORRAJERA_2011.pdf)

Ashari, R. (2017). *Effects of additives on the rheological and textural properties of surimi* [University of Birmingham]. <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/8412/1/Ashari18PhD.pdf>

Barrera, G. N., Bustos, M. C., Iturriaga, L., Flores, S. K., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2013). Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 233–239. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.11.020>

Bello Perez, L. A., & Agama-Acevedo, E. (2017). Starch. *Starch-Based Materials in Food Packaging: Processing, Characterization and Applications*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809439-6.00001-7>

Bhardwaj, M., Sandhu, K. S., & Saxena, D. C. (2019). Experimental and modeling studies of the flow, dynamic and creep recovery properties of pearl millet starch as affected by concentration and cultivar type. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 544–552. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.05.192>

Biel, W., Bobko, K., & Maciorowski, R. (2009). Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*, 49(3), 413–418. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2009.01.009>

Bloksma, A. H. (1990). Dough structure, dough rheology, and baking quality. *Cereal Foods World*, 35(2), 237–244.



- Branco, I. G., Sobral, P. J. A., & Moraes, I. C. F. (2023). Impact of Ozone on the Rheological and Morphological Properties of Quinoa Starch. *Chemical Engineering Transactions*, 102, 241–246. <https://doi.org/10.3303/CET23102041>
- Burey, P., Bhandari, B. R., Rutgers, R. P. G., Halley, P. J., & Torley, P. J. (2009). Confectionery Gels: A Review on Formulation, Rheological and Structural Aspects. *International Journal of Food Properties*, 12(1), 176–210. <https://doi.org/10.1080/10942910802223404>
- Çetin-Babaoğlu, H., Arslan-Tontul, S., & Akın, N. (2020). Effect of immature wheat flour on nutritional and technological quality of sourdough bread. *Journal of Cereal Science*, 94, 103000. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2020.103000>
- Chakraborty, I., N, P., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman, M. H., & Mazumder, N. (2022). An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. *Food and Bioprocess Technology* 2022 15:6, 15(6), 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/S11947-022-02761-Z>
- Che, L. ming, Li, D., Wang, L. jun, Özkan, N., Chen, X. D., & Mao, Z. huai. (2008). Rheological properties of dilute aqueous solutions of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 385–389. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2008.03.007>
- Chen, Y., Gavaliatsis, T., Kuster, S., Städeli, C., Fischer, P., & Windhab, E. J. (2021). Crust treatments to reduce bread staling. *Current Research in Food Science*, 4, 182–190. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2021.03.004>
- College of Engineering & Applied Science. (2013). *Interpreting DSC curves Part 1: Dynamic measurements.* [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Characterization/DSCParts/Artifacts in DSC Usercom\\_11.pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Characterization/DSCParts/Artifacts%20in%20DSC%20Usercom_11.pdf)
- Cruz Huamán, K. V. (2022). *Análisis de rentabilidad económica de la producción de avena grano (Avena sativa L.) en Churrubamba y Pacucha de Andahuaylas –*



- Apurímac – 2019*”. 16. [https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/479/1/Análisis de rentabilidad económica de la producción de avena-Cruz Huamán%2C Karen V..PDF](https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/479/1/Análisis%20de%20rentabilidad%20económica%20de%20la%20producción%20de%20avena-Cruz%20Huamán%2C%20Karen%20V..PDF)
- Day, L. & Golding, M. (2016). *Food structure, rheology and texture*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03412-0>
- Del Águila, C. A. (2022). *Propiedades funcionales, morfológicas y térmicas de harina y almidón de plátano variedades Musa acuminata AA y Musa acuminata AAA* [Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias]. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2093/TS\\_CAAM\\_2022\\_R2.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2093/TS_CAAM_2022_R2.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Díaz, Y. (2016). *Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* [Universidade de São Paulo, Brasil.]. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-10052016-175319/publico/Yemina\\_Karen\\_Diaz\\_Valencia.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-10052016-175319/publico/Yemina_Karen_Diaz_Valencia.pdf)
- Dickinson, E. (2017). Biopolymer-based particles as stabilizing agents for emulsions and foams. *Food Hydrocolloids*, 68, 219–231. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.06.024>
- Dirección Regional Agraria Puno. (2023). *Información estadística, serie histórica de producción agrícola*. <https://www.agropuno.gob.pe/estadistica-agraria-informatica/agricola/>
- Eliasson, A. C. (1994). Interactions between starch and lipids studied by DSC. *Thermochimica Acta*, 246(2), 343–356. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(94\)80101-0](https://doi.org/10.1016/0040-6031(94)80101-0)
- Eliason, A. (2006). *Carbohydrates in food* (2 ed). Taylor&Francis. <https://ttnngmai.files.wordpress.com/2012/10/carbohydratesinfood2ndedition.pdf>



- Enciso Altamirano, M. L. (2019). *Utilización de avena-vicia en forma de pellets como suplemento alimenticio para alpacas en la zona altoandina* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4201/enciso-altamirano-marcial-leoncio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escobedo-Avellaneda, Z., Yildiz, S., Lavilla, M., & Welti-Chanes, J. (2020). Strategies for development of new ingredients and food products based on HPP-induced changes in rheology. *Present and Future of High Pressure Processing: A Tool for Developing Innovative, Sustainable, Safe and Healthy Foods*, 353–380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816405-1.00016-9>
- Estrada-Giron, Y., Aguilar, J., Morales-del Rio, J. A., Valencia-Botin, A. J., & Guerrero-Beltran, J. A. (2014). Effect of moisture content and temperature, on the rheological, microstructural and thermal properties of masa (dough) from a hybrid corn (zea mays sp.) variety. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62031508007.pdf>
- Fatokun, O. T. (2019). Micrometrics and Morphological Properties of Starch. *Chemical Properties of Starch*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.90286>
- Fei, S., Li, Y., Liu, K., Wang, H., Abd El-Aty, A. M., & Tan, M. (2024). Salmon protein gel enhancement for dysphagia diets: Konjac glucomannan and composite emulsions as texture modifiers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128805. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.128805>
- Ferranti, P., & Velotto, S. (2023). Oats for Sustainable Production of Foods. *Reference Module in Food Science*, 54–65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00028-7>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.07.011>



- Gencelep, H., Saricaoglu, F. T., Anil, M., Agar, B., & Turhan, S. (2015). The effect of starch modification and concentration on steady-state and dynamic rheology of meat emulsions. *Food Hydrocolloids*, 48, 135–148. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.02.002>
- Ghoshal, G., & Kaushal, K. (2020). Extraction, characterization, physicochemical and rheological properties of two different varieties of chickpea starch. *Legume Science*, 2(1), e17. <https://doi.org/10.1002/LEG3.17>
- Gonzalez Perez, C. H. (2022). *Caracterización Fisicoquímica de Almidón de Residuos y Especies Vegetales Producidos en Amazonas – Perú* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial]. [https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3276/Gonzalez Perez%20Cristhian Humberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3276/Gonzalez%20Perez%20Cristhian%20Humberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gupta, V., Thakur, R., Barik, M., & Das, A. B. (2023). Effect of high amylose starch-natural deep eutectic solvent based edible coating on quality parameters of strawberry during storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100487. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100487>
- Guzmán Girón, R. N., & Molina Violantes, Y. S. (2013). *Formulación de una mezcla en polvo para preparar postre de gelatina a base de almidón de maíz* [Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Escuela de Ingeniería Química.]. [http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1677/1/FORMULACIÓN DE UNA MEZCLA EN POLVO PARA PREPARAR GELATINA.pdf](http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1677/1/FORMULACIÓN_DE_UNA_MEZCLA_EN_POLVO_PARA_PREPARAR_GELATINA.pdf)
- Haerling, K., & Prion, S. (2020). Two-by-Two Factorial Design. *Clinical Simulation in Nursing*, 49, 90. <https://doi.org/10.1016/J.ECNS.2020.06.004>
- Hanco Cayllahua, Y. (2021). *Evaluación de las Propiedades Térmicas en Almidones de Seis Variedades de Papas Nativas del Departamento de Puno* [Universidad Nacional de Juliaca Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias].



- [http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/163/tesis\\_yimy\\_UNAJ\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/163/tesis_yimy_UNAJ_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Harland, J. (2015). Authorised EU health claims for oat and barley grain fibre. *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims: Volume 2*, 97–108. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-382-9.00005-0>
- Hartunian Sowa, S. M., & White, P. J. (1992). Characterization of starch isolated from oat groats with different amounts of lipid. *Cereal Chemistry*, 69(5), 521–527. [https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1992/Documents/69\\_521.pdf](https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1992/Documents/69_521.pdf)
- Hernández, F., Bracho, A., Loranca, K., & Mc Manus, M. (2019). Valoración contingente del recurso hídrico: Caso Reserva Ecológica de Cuxtal, Yucatán. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 14–27.
- Hernández, M., Valdivir, R., & Hernández, J. (2019). Valoración de servicios ambientales y recreativos del Bosque San Juan de Aragón, ciudad de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(54), 100–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i54.557>
- Höfer, R. (2015). Sugar- and Starch-Based Biorefineries. *Industrial Biorefineries and White Biotechnology*, 157–235. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00005-7>
- Hoover, R., Smith, C., Zhou, Y., & Ratnayake, R. M. W. S. (2003). Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 253–261. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00271-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00271-0)
- Huaiwen, Y., Tsai, C. C., Jiang, J. S., & Hua, C. C. (2021). Rheological and Textural Properties of Apple Pectin-Based Composite Formula with Xanthan Gum Modification for Preparation of Thickened Matrices with Dysphagia-Friendly Potential. *Polymers*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/POLYM13060873>



- Hyun, J., Wang, S., & Yang, S. (2014). Topology optimization of the shear thinning non-Newtonian fluidic systems for minimizing wall shear stress. *Computers & Mathematics with Applications*, 67(5), 1154–1170. <https://doi.org/10.1016/J.CAMWA.2013.12.013>
- INIA-Estación Experimental Agraria-Illpa - Puno. (2006). *Avena Forrajera INIA 902 - Africana: Nueva variedad forrajera*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/657>
- INIA. Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco. (2007a). *Avena Forrajera INIA 903 - Tayko Andenes*. [https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/avena/INIA\\_903.pdf](https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/investigacion/programa/sistProductivo/variedad/avena/INIA_903.pdf)
- INIA. Estación Experimental Agraria Andenes - Cusco. (2007b). *Avena Forrajera INIA 904 - Vilcanota I*. <https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/642/1/Trip-Avena-INIA904.pdf>
- International Organization for Standardization (ISO). (1987). *Determination of amylose content (ISO 6647)*.
- Jackson, D. S. (2003). STARCH | Structure, Properties, and Determination. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 5561–5567. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01141-X>
- Ji Y., S. K. & W. P. (2004). Optimizing a small-scale corn-starch extraction method for use in the laboratory. *Cereal Chem.* 81 (1), 55–58.
- Jiang, F., Du, C., Guo, Y., Fu, J., Jiang, W., & Du, S. kui. (2020). Physicochemical and structural properties of starches isolated from quinoa varieties. *Food Hydrocolloids*, 101, 105515. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105515>





- Jokinen, I., Pihlava, J. M., Puganen, A., Sontag-Strohm, T., Linderborg, K. M., Holopainen-Mantila, U., Hietaniemi, V., & Nordlund, E. (2021). Predicting the Properties of Industrially Produced Oat Flours by the Characteristics of Native Oat Grains or Non-Heat-Treated Groats. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 1552, 10(7), 1552. <https://doi.org/10.3390/FOODS10071552>
- Kalbarczyk, R. (2004). The relation between agrometeorological factors and the potato crop yields in different regions of Poland. *Acta Agrophysica*, 4(2), 339–350. <http://www.acta-agrophysica.org/The-relation-between-agrometeorological-factors-and-the-potato-crop-yields-in-different,108131,0,2.html>
- Kaur, H., Goyal, M., Kaur, A., & Kapoor, R. (2023). Nutritional and yield potential of oat (*Avena sativa* L.) genotypes in dual-purpose crop system. *Cereal Research Communications* 2023, 1–12. <https://doi.org/10.1007/S42976-022-00348-0>
- Kaur, P., Kaur, K., Basha, S. J., & Kennedy, J. F. (2022). Current trends in the preparation, characterization and applications of oat starch — A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 172–181. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.05.117>
- Kim, H.-S., & Huber, K. C. (2008). Channels within soft wheat starch A- and B-type granules. *Journal of Cereal Science*, 48(1), 159–172. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.09.002>
- Kim, I. S., Hwang, C. W., Yang, W. S., & Kim, C. H. (2021). Multiple Antioxidative and Bioactive Molecules of Oats (*Avena sativa* L.) in Human Health. *Antioxidants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10091454>
- Kong, X., Kasapis, S., Bertoft, E., & Corke, H. (2010). Rheological properties of starches from grain amaranth and their relationship to starch structure. *Starch / Starke*, 62, 302 – 308. <https://doi.org/10.1002/star.200900235>.
- Kumar, R., Singh, N., & Khatkar, B. S. (2023). Effects of A- and B-type starch granules



- on composition, structural, thermal, morphological, and pasting properties of starches from diverse wheat varieties. *Food Bioengineering*, 2(4), 373–383. <https://doi.org/10.1002/FBE2.12068>
- Kutz, M. (2013). *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering*. Cambridge, MA: Academic Press.
- Leyva-Porras, C., López-Pablos, A. L., Alvarez-Salas, C., Pérez-Urizar, J., & Saavedra-Leos, Z. (2014). Physical Properties of Inulin and Technological Applications. *Polysaccharides*, 1–22. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6\\_80-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_80-1)
- Li, C. (2022). Recent progress in understanding starch gelatinization - An important property determining food quality. *Carbohydrate Polymers*, 293. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119735>
- Li, G., & Zhu, F. (2018). Quinoa starch: Structure, properties, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 181, 851–861. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.11.067>
- Li, S., Li, C., Yang, Y., He, X., Zhang, B., Fu, X., Tan, C. P., & Huang, Q. (2019). Starch granules as Pickering emulsifiers: Role of octenylsuccinylation and particle size. *Food Chemistry*, 283, 437–444. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.01.020>
- Li, W., Zhou, Z., Fan, S., Cai, X., Chen, J., Zhang, Y., Huang, Z., Hu, H., & Liang, J. (2021). Formation of type 3 resistant starch from mechanical activation-damaged high-amylose maize starch by a high-solid method. *Food Chemistry*, 363, 130344. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130344>
- Li, X., Yue, X., Huang, Q., & Xiong, S. (2023). Insight into the spatial distribution and interaction model of heat-induced micro- and nano-starch/myofibrillar protein blends. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 124366. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124366>



- Lugo, M., Valdivia, R., Hernández, J., Monroy, R., Sandoval, F., & Contreras, J. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del Monte Tláloc, Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *11*(61), 177–195.
- Ma, M., Wen, Y., Zhang, C., Xu, Z., Li, H., Sui, Z., & Corke, H. (2022). Extraction and characterization of starch granule-associated surface and channel lipids from small-granule starches that affect physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, *126*, 107370. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.107370>
- Mahdi, M. H. (2016). *Development of gellan gum fluid gel as modified release drug delivery systems* [University of Huddersfield]. [https://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/30293/1/FINAL THESIS.pdf](https://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/30293/1/FINAL%20THESIS.pdf)
- Makroo, H. A., Naqash, S., Saxena, J., Sharma, S., Majid, D., & Dar, B. N. (2021). Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. *Applied Food Research*, *1*(1), 100001. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2021.100001>
- Malafrente, L., Yilmaz-Turan, S., Dahl, L., Vilaplana, F., & Lopez-Sanchez, P. (2023). Shear and extensional rheological properties of whole grain rye and oat aqueous suspensions. *Food Hydrocolloids*, *137*, 108319. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.108319>
- Mandala, I. G. (2012). Viscoelastic Properties of Starch and Non-Starch Thickeners in Simple Mixtures or Model Food. *Viscoelasticity - From Theory to Biological Applications*. <https://doi.org/10.5772/50221>
- Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, *8*, 100303. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100303>
- Mauro, R. R., Vela, A. J., & Ronda, F. (2023). Impact of Starch Concentration on the



- Pasting and Rheological Properties of Gluten-Free Gels. Effects of Amylose Content and Thermal and Hydration Properties. *Foods*, 12(12), 2281. <https://doi.org/10.3390/FOODS12122281/S1>
- Maza Idone, N. N. (2020). *Extracción y caracterización fisicoquímica y tecnofuncional de carbohidratos tipo almidón de cinco variedades de quinua* [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4465/maza-idone-nohely-noemi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, W., Skurtys, O., & Aguilera, J. M. (2010). Study on image analysis application for identification Quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd) geographical provenance. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 238–246. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.07.010>
- Meise, P., Seddig, S., Uptmoor, R., Ordon, F., & Schum, A. (2019). Assessment of Yield and Yield Components of Starch Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Under Nitrogen Deficiency and Drought Stress Conditions. *Potato Research*, 62(2), 193–220. <https://doi.org/10.1007/S11540-018-9407-Y/FIGURES/6>
- Meral, R., Kose, Y. E., Ceylan, Z., & Cavidoglu, İ. (2022). The potential use of agro-industrial by-products as sources of bioactive compounds: a nanotechnological approach. *Studies in Natural Products Chemistry*, 73, 435–466. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91097-2.00014-5>
- MIDAGRI. (2018). *Manual de abonamiento con guano de las islas*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. [https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL\\_DE\\_ABONAMIENTO\\_CON\\_G.I..pdf](https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL_DE_ABONAMIENTO_CON_G.I..pdf)
- MIDAGRI. (2022). *Compendio anual de “Producción Agrícola.”* <https://cdn.www.gob.pe>



- Miller, S. S., & Fulcher, R. G. (2011). Microstructure and Chemistry of the Oat Kernel. *Oats: Chemistry and Technology: Second Edition*, 77–94. <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-64-9.50010-5>
- Miranda, F., & Terrones, J. N. (2002). Conservación de pastos y forrajes cultivados en el Altiplano. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/921>
- Mo, L., Cheon, J., & Frostad, J. M. (2023). Quantifying and modeling the gelatinization properties of individual pulse-starch granules by ParCS. *Food Hydrocolloids*, 135, 107896. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.107896>
- Mohamed, A. A., Alqah, H., Alamri, M. S., Hussain, S., Qasem, A. A., Ibraheem, M. I., Yehia, H. M., & Shamlan, G. (2021). Physicochemical Properties of Enzymatically Modified Starches. *Processes* 2021, Vol. 9, Page 2251, 9(12), 2251. <https://doi.org/10.3390/PR9122251>
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Glazer, J. (2012). Rheological properties of gelatinized chestnut starch dispersions: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 112(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.03.021>
- Negu, A., Zegeye, A., & Astatkie, T. (2020). Development and quality evaluation of wheat based cookies enriched with fenugreek and oat flours. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3573. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04389-3>
- Nievola, C. C., Carvalho, C. P., Carvalho, V., & Rodrigues, E. (2017). Rapid responses of plants to temperature changes. *Temperature: Multidisciplinary Biomedical Journal*, 4(4), 371. <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1377812>
- Nijenhuis, K., McKinley, G., Spiegelberg, S., Barnes, H., Aksel, N., Heymann, L., & Odell, J. (2007). Non-newtonian flows. *Springer Handbooks*, 619–743.



[https://doi.org/10.1007/978-3-540-30299-5\\_9/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30299-5_9/COVER)

- Nijman, M., Fedelich, N., Hammer, A., Hempel, E., Jing, N., Riesen, R., Schawe, J., Schubnell, M., & Wrana, C. (2019). *Thermal Analysis in Practice Tips and Hints Thermal Analysis Volume 2 Introductory Handbook*. [https://www.mse.ucr.edu/sites/default/files/2019-02/Mettler Toledo Tips and Hints.pdf](https://www.mse.ucr.edu/sites/default/files/2019-02/Mettler%20Toledo%20Tips%20and%20Hints.pdf)
- Noli Hinostroza, E. C., Canto Sanabria, A., & Segura Zúñiga, J. J. (2004). La Avena Forrajera INIA Mantaro 15 mejorado una alternativa de forraje para la zona altoandina. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/590>
- Ovando-Martínez, M., Whitney, K., Reuhs, B. L., Doehlert, D. C., & Simsek, S. (2013). Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch. *Food Research International*, 52(1), 17–25. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2013.02.035>
- Özel, B. (2023). *Composite polysaccharides and protein hydro-gels for controlled release applications: Formulation, characterization and release studies* [METU - Middle East Technical University]. <https://open.metu.edu.tr/bitstream/handle/11511/101956/index.pdf>
- Pang, Z., Xu, R., Luo, T., Che, X., Bansal, N., & Liu, X. (2019). Physicochemical properties of modified starch under yogurt manufacturing conditions and its relation to the properties of yogurt. *Journal of Food Engineering*, 245, 11–17. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.10.003>
- Paredes-López, O., Bello-Pérez, L. A., & López, M. G. (1994). Amylopectin: Structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chemistry*, 50(4), 411–417. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90215-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90215-1)
- Paredes-López, O., Schevenin, M. L., Hernández-López, D., & Cárabez-Trejo, A. (1989).



- Amaranth Starch - Isolation and Partial Characterization. *Starch - Stärke*, 41(6), 205–207. <https://doi.org/10.1002/STAR.19890410602>
- Pascual Gutiérrez, E. (2016). *Estudio del comportamiento reológico de un fluido reo-espesante*. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28482/PFC\\_Esther\\_Pascual\\_Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28482/PFC_Esther_Pascual_Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez-Orozco, J. P., Sánchez-Herrera, L. M., & Ortiz-Basurto, R. I. (2019). Effect of concentration, temperature, pH, co-solutes on the rheological properties of *Hyptis suaveolens* L. mucilage dispersions. *Food Hydrocolloids*, 87, 297–306. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.08.004>
- Petersson, M., Marrero, M., & Monzón, Y. (2022). An economic assessment of cultural ecosystem services. A study case of Matanzas bay. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1), 87–96.
- Pinzón, M., & Villota, S. (2019). The potential market for sustainable housing under the contingent valuation method City of Palmira. *Cuadernos de Administración (Universidad Del Valle)*, 36(65), 45–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.25100/cdea.v35i65.7247>
- Preiss, J. (2018). Plant Starch Synthesis. *Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition*, 3–95. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00001-9>
- Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Siroha, A. K., Purewal, S. S., Kaur, M., & Kidwai, M. K. (2020). Oat starch: Physico-chemical, morphological, rheological characteristics and its applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 493–498. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.03.083>
- Rafiq, S. I., Jan, K., Singh, S., & Saxena, D. C. (2015). Physicochemical, pasting, rheological, thermal and morphological properties of horse chestnut starch. *Journal*



- of Food Science and Technology*, 52(9), 5651–5660.  
<https://doi.org/10.1007/S13197-014-1692-0/METRICS>
- Raigond, P., Ezekiel, R., & Raigond, B. (2015). Resistant starch in food: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(10), 1968–1978.  
<https://doi.org/10.1002/JSFA.6966>
- Ramos, G. (2018). *Valoración económica contingente del servicio turístico de la Laguna La Milagrosa*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ramsey, M. S. (2019). Rheology, Viscosity, and Fluid Types. *Practical Wellbore Hydraulics and Hole Cleaning*, 217–237. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817088-5.00006-X>
- Rao, M. A. (2007). Rheology of food gum and starch dispersions. *Food Engineering Series*, 153–222. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-70930-7\\_4/COVER](https://doi.org/10.1007/978-0-387-70930-7_4/COVER)
- Ren, N., Ma, Z., Xu, J., & Hu, X. (2020). Insights into the supramolecular structure and techno-functional properties of starch isolated from oat rice kernels subjected to different processing treatments. *Food Chemistry*, 317, 126464.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.126464>
- Roby, J. F. (2008). Starch: Structure, Properties, Chemistry, and Enzymology. *Glycoscience*, 1437–1472. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6_35)
- Rooyen, J., Simsek, S., Oyeyinka, S. A., & Manley, M. (2022). Holistic View of Starch Chemistry, Structure and Functionality in Dry Heat-Treated Whole Wheat Kernels and Flour. *Foods*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/FOODS11020207>
- Rostamabadi, H., Karaca, A. C., Deng, L., Colussi, R., Narita, I. M. P., Kaur, K., Aaliya, B., Sunooj, K. V., & Falsafi, S. R. (2022). Oat starch - How physical and chemical modifications affect the physicochemical attributes and digestibility? *Carbohydrate*





*Polymers*, 296, 119931. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119931>

Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2022). Non-meat proteins. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00085-5>

Sayra Churata, E. A. (2021). *Evaluación de las propiedades reológicas, fisicoquímicas y funcionales del almidón de tres variedades de cañihua (Chenopodium pallidicaule aellen) de la region Puno*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15445/Sayra\\_Churata\\_Erika\\_Amelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15445/Sayra_Churata_Erika_Amelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Schnitzenbaumer, B., & Arendt, E. K. (2013). A comparative study of oat (*Avena sativa*) cultivars as brewing adjuncts. *European Food Research and Technology*, 236(6), 1015–1025. <https://doi.org/10.1007/S00217-013-1965-2/METRICS>

Sethi, S., Choudhary, P., Nath, P., & Chauhan, O. P. (2022). Starch Gelatinization and Modification. *Advances in Food Chemistry: Food Components, Processing and Preservation*, 65–116. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4\\_3/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_3/COVER)

Shah, U., Gani, A., Ashwar, B. A., Shah, A., Wani, I. A., & Masoodi, F. A. (2016). Effect of infrared and microwave radiations on properties of Indian Horse Chestnut starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 84, 166–173. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2015.12.020>

Sikora, M., Kowalski, S., Tomasik, P., & Sady, M. (2007). Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch–xanthan gum combinations. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1144–1151. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2006.04.003>

Soliman, G. A. (2019). Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease. *Nutrients*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/NU11051155>



- Suchowilska, E., & Wiwart, M. (2006). Multivariate analysis of image descriptors of common wheat (*Triticum aestivum*) and spelt (*T. spelta*) grain infected by *Fusarium culmorum*. *International Agrophysics*.
- Sudrajat, D. J., Rohandi, A., Yulianti, Nurhasybi, Rustam, E., Budiadi, Hardiwinoto, S., & Harmayani, E. (2023). Growth, tuber yield, and starch content of arrowroot (*Maranta arundinacea*) accessions on different altitudes and tree shades. *Plant Physiology Reports*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/S40502-023-00721-Z/METRICS>
- Sun, B., Qian, X., Zhou, M., Gu, Y., Ma, S., & Wang, X. (2023). Changes of gelation behavior, water distribution and digestibility of protein-starch mixtures in the oat dough/batter model affected by water. *LWT*, 182, 114860. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114860>
- Sy, J. (2022). *Plant-Based Cheese Analogues and Value-Added, High-Fiber Soymilk Gels Containing Okara*. [https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/18911/Sy\\_Jing.pdf?sequence=7](https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/18911/Sy_Jing.pdf?sequence=7)
- Syed, F. N. N., Zakaria, M. H., Bujang, J. S., & Christianus, A. (2021). Characterization, Functional Properties, and Resistant Starch of Freshwater Macrophytes. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8825970>
- Tagliapietra, B. L., Felisberto, M. H. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & Clerici, M. T. P. S. (2021). Non-conventional starch sources. *Current Opinion in Food Science*, 39, 93–102. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2020.11.011>
- Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation \*. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 280–291. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035>
- Tappiban, P., Ying, Y., Pang, Y., Sraphet, S., Srisawad, N., Smith, D. R., Wu, P., Triwitayakorn, K., & Bao, J. (2020). Gelatinization, pasting and retrogradation



- properties and molecular fine structure of starches from seven cassava cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.119>
- Tasminto, D., Bachruddin, Z., Kurniawati, A., Nguyen, T. N., Asben, A., & Syukri, D. (2023). Effects of purple sweet potato (*Ipomoea Batatas L.*) starch addition on characteristics of peel-off gel preparation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1182(1), 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012072>
- Tetlow, I. J., & Bertoft, E. (2020). A Review of Starch Biosynthesis in Relation to the Building Block-Backbone Model. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 1–37. <https://doi.org/10.3390/IJMS21197011>
- Trujillo Ccanahuire, J. L. (2022). *Caracterización morfológica, color, propiedades funcional y térmica de dos variedades de pituca (Colocasia esculenta L. Schott) en Tingo María* [Universidad Nacional Agraria de la Selva Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias]. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2119/TS\\_TCJL\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2119/TS_TCJL_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vandromme, C., Kasprowicz, A., Courseaux, A., Trinel, D., Facon, M., Putaux, J. L., D’Hulst, C., Wattebled, F., & Spriet, C. (2019). NegFluo, a Fast and Efficient Method to Determine Starch Granule Size and Morphology In Situ in Plant Chloroplasts. *Frontiers in Plant Science*, 10, 464803. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.01075/BIBTEX>
- Vargas Sedano, N., & Flores Navarro, N. (2021). *Evaluación fisicoquímica y de las propiedades funcionales del almidón del Araq papa (Solanum tuberosum) procedente del distrito y provincia de Acobamba – Huancavelica* [Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial].



<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe6b4556-3e94-43d0-b70d-f16cf95c3adf/content>

- Wang, K., Robert, •, Henry, J., & Gilbert, R. G. (2014). Causal Relations Among Starch Biosynthesis, Structure, and Properties. *Springer Science Reviews 2014 2:1*, 2(1), 15–33. <https://doi.org/10.1007/S40362-014-0016-0>
- Wang, Z., Ma, S., Sun, B., Wang, F., Huang, J., Wang, X., & Bao, Q. (2021). Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177, 474–484. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.02.175>
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (2012). Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 417–436. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2012.00193.X>
- Willett, J. L. (2009). Starch in Polymer Compositions. *Starch*, 715–743. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00019-7>
- Wiwart, M., Moś, M., & Wójtowicz, T. (2006). Studies on the imbibition of triticale kernels with a different degree of sprouting, using digital shape analysis. *Http://Www.Agriculturejournals.Cz/Doi/10.17221/3449-PSE.Html*, 52(7), 328–334. <https://doi.org/10.17221/3449-PSE>
- Wu, M., Wang, J., Hu, J., Li, Z., Liu, R., Liu, Y., Cao, Y., Ge, Q., & Yu, H. (2020). Effect of typical starch on the rheological properties and NMR characterization of myofibrillar protein gel. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1), 258–267. <https://doi.org/10.1002/JSFA.10033>
- Yang, H., Irudayaraj, J., & Otgonchimeg, S. (2004). Rheological study of starch and dairy ingredient-based food systems. *Food Chemistry*, 86(4), 571–578.



<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2003.10.004>

- Yao, T., Wen, Y., Xu, Z., Ma, M., Li, P., Brennan, C., Sui, Z., & Corke, H. (2020). Octenylsuccinylation differentially modifies the physicochemical properties and digestibility of small granule starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, *144*, 705–714. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.12.129>
- Zhai, B., Hu, Z., Sun, S., Tang, Z., & Wang, G. (2024). Characteristics of photosynthetic rates in different vegetation types at high-altitude in mountainous regions. *Science of The Total Environment*, *907*, 168071. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168071>
- Zhang, B. (2015). *Molecular Organisation, Physical and Digestion Properties of Less-Ordered Starch Matrices* [The University of Queensland Australia]. [https://espace.library.uq.edu.au/data/UQ\\_356297/s4267982\\_phd\\_submission.pdf?Expires=1704990490&Key-Pair-Id=APKAJKNB4MJBINC6NLQ&Signature=V48lbnR8YdlVvXKqwGiOj68CrX71UCSeWhAaB5B9o3yPqpDOLyIwDH4c8pxLk11kixKlNxDJnBo7YHvUgxsqZUbiPAK9KOI0chHCiDgH0Ja6xGjU7lrGZ](https://espace.library.uq.edu.au/data/UQ_356297/s4267982_phd_submission.pdf?Expires=1704990490&Key-Pair-Id=APKAJKNB4MJBINC6NLQ&Signature=V48lbnR8YdlVvXKqwGiOj68CrX71UCSeWhAaB5B9o3yPqpDOLyIwDH4c8pxLk11kixKlNxDJnBo7YHvUgxsqZUbiPAK9KOI0chHCiDgH0Ja6xGjU7lrGZ)
- Zhang, H. Y., Sun, H. N., Ma, M. M., & Mu, T. H. (2023). Dough rheological properties, texture, and structure of high-moisture starch hydrogels with different potassium-, and calcium-based compounds. *Food Hydrocolloids*, *137*, 108337. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.108337>
- Zheng, K., Jiang, Q. tao, Wei, L., Zhang, X. wei, Ma, J., Chen, G. yue, Wei, Y. ming, Jennifer, M. F., Lu, Z. xiang, & Zheng, Y. liang. (2015). Characterization of starch morphology, composition, physicochemical properties and gene expressions in oat. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(1), 20–28. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60765-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60765-6)
- Zheng, L., Liu, L., Yu, J., Farag, M. A., & Shao, P. (2023). Intelligent starch/chitosan-based film incorporated by anthocyanin-encapsulated amylopectin nanoparticles



with high stability for food freshness monitoring. *Food Control*, 151, 109798.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2023.109798>

Zhou, T., Zhang, L., Zhao, R., Liu, Q., Liu, W., & Hu, H. (2022). Effects of particle size distribution of potato starch granules on rheological properties of model dough underwent multiple freezing-thawing cycles. *Food Research International*, 156, 111112. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111112>

Zhu, F. (2020). Underutilized and unconventional starches: Why should we care? *Trends in Food Science & Technology*, 100, 363–373.  
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.04.018>

## ANEXOS

**Anexo 1** Resultados de recolección de datos de las propiedades fisicoquímicas reológicas y térmicas.

### 1A. Resultados del Rendimiento del almidón en porcentaje.

Variable de estudio	Repeticiones	Variables respuesta de características Fisicoquímicas (Rendimiento %)	
Tayko	R1	25.591	
	R2	26.122	
	R3	25.605	
	R4	26.913	
	R5	29.593	
Africana	R1	23.645	
	R2	27.508	
	R3	21.413	
	R4	23.900	
	R5	21.734	
Vilcanota I	R1	19.261	
	R2	23.196	
	R3	20.252	
	R4	19.325	
	R5	20.855	

### 2A. Distribución de tamaño de partículas por tamiz

Variable de estudio	Repeticiones	Variables respuesta de características Fisicoquímicas (Tamaño de los gránulos de almidón)			
		180 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	106 $\mu\text{m}$	75 $\mu\text{m}$
Tayko	R1	6.785	33.208	13.713	45.241
	R2	7.062	31.261	10.839	47.965
	R3	7.109	34.883	12.597	49.339
Africana	R1	8.276	23.478	9.343	55.184
	R2	9.693	23.167	11.406	57.552
	R3	7.905	26.622	10.235	57.139
Vilcanota I	R1	10.357	23.206	10.929	57.373
	R2	10.619	22.834	11.318	56.908
	R3	11.192	19.683	10.279	55.299



### 3A. Porcentaje de contenido de amilosa y amilopectina

Variable de estudio	Repeticiones	Variables respuesta de características Fisicoquímicas	
		Amilosa	Amilopectina
Tayko	R1	24.91	75.09
	R2	23.73	76.27
	R3	24.51	75.49
Africana	R1	24.70	75.30
	R2	23.55	76.45
	R3	22.39	77.61
Vilcanota I	R1	23.38	76.62
	R2	23.97	76.03
	R3	22.76	77.24

### 4A. Temperatura de formación del gel en °C

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	57.837	56.497	55.533
Tayko	2	57.916	56.774	55.806
Tayko	3	58.041	56.279	55.318
Tayko	4	57.516	56.653	55.687
Tayko	5	57.71	56.903	55.934
Africana	1	56.561	56.065	55.569
Africana	2	56.784	56.181	55.757
Africana	3	56.662	56.295	55.321
Africana	4	56.96	55.917	56.314
Africana	5	57.124	56.108	56.07
Vilcanota I	1	57.299	57.251	55.929
Vilcanota I	2	57.388	57.077	56.236
Vilcanota I	3	57.339	56.837	55.523
Vilcanota I	4	57.458	57.542	57.146
Vilcanota I	5	57.524	57.422	56.747





**5A. Parámetro reológico del barrido de frecuencia adaptado a la ley de potencia del módulo de almacenamiento G' del coeficiente de consistencia K'.**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	30.184	223.39	327.4
Tayko	2	32.074	225.4	328.69
Tayko	3	27.264	221.87	324.34
Africana	1	64.73	126.56	189.67
Africana	2	61.79	123.64	187.57
Africana	3	66.33	127.85	192.22
Vilcanota I	1	14.737	200.28	265.5
Vilcanota I	2	17.457	202.01	269.06
Vilcanota I	3	11.127	199	262.77

**6A. Parámetro reológico del barrido de frecuencia adaptado a la ley de potencia del módulo de almacenamiento G' del índice de comportamiento de flujo n'.**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	0.3853	0.0989	0.0862
Tayko	2	0.4053	0.1389	0.1262
Tayko	3	0.3553	0.0589	0.0562
Africana	1	0.0571	0.0633	0.065
Africana	3	0.0371	0.0433	0.025
Africana	3	0.0971	0.0833	0.105
Vilcanota I	1	0.4645	0.0766	0.0832
Vilcanota I	2	0.5045	0.1066	0.1132
Vilcanota I	3	0.4445	0.0466	0.0432

**7A. Parámetro reológico del barrido de frecuencia adaptado a la ley de potencia del módulo de pérdida G'' del coeficiente de consistencia K''.**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	4.593	28.572	43.449
Tayko	2	4.913	28.742	43.879
Tayko	3	4.303	28.322	43.289
Africana	1	4.604	7.649	12.763
Africana	2	4.274	7.279	12.563
Africana	3	5.014	7.889	13.123
Vilcanota I	1	2.399	14.505	19.835
Vilcanota I	2	2.639	14.835	20.045
Vilcanota I	3	2.199	14.185	19.595



**8A. Parámetro reológico del barrido de frecuencia adaptado a la ley de potencia del módulo de pérdida  $G''$  del índice de comportamiento de flujo  $n''$**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	0.4414	0.1424	0.135
Tayko	2	0.4514	0.1524	0.145
Tayko	3	0.4414	0.1324	0.135
Africana	1	0.274	0.2772	0.2229
Africana	2	0.274	0.2772	0.2129
Africana	3	0.274	0.2872	0.2229
Vilcanota I	1	0.3892	0.3302	0.3262
Vilcanota I	2	0.3892	0.3402	0.3262
Vilcanota I	3	0.3792	0.3202	0.3262

**9A. Parámetro reológico del almidón de avena, Herschel-Bulkley para el esfuerzo de fluencia ( $\tau_0$ ).**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	2.741	5.449	9.128
Tayko	2	2.761	5.395	9.276
Tayko	3	2.695	5.549	9.185
Africana	1	2.462	4.904	8.263
Africana	2	2.538	4.836	8.288
Africana	3	2.336	4.939	8.453
Vilcanota I	1	1.64	3.435	7.075
Vilcanota I	2	1.715	3.353	6.993
Vilcanota I	3	1.689	3.297	7.062

**10A. Parámetro reológico del almidón de avena, Herschel-Bulkley para el coeficiente de consistencia (K).**

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	0.499	6.674	8.399
Tayko	2	0.509	6.516	8.287
Tayko	3	0.567	6.535	8.405
Africana	1	0.076	2.075	3.529
Africana	2	0.071	2.233	3.45
Africana	3	0.075	2.183	3.479
Vilcanota I	1	1.733	7.749	20.018
Vilcanota I	2	1.726	7.846	19.635
Vilcanota I	3	1.738	7.479	19.487



### 11A. Parámetro reológico del almidón de avena, Herschel-Bulkley para el índice de comportamiento de flujo (n).

Variedades	Repetición	Suspensión1:9	Suspensión2:8	Suspensión3:7
Tayko	1	0.803	0.599	0.388
Tayko	2	0.814	0.592	0.398
Tayko	3	0.768	0.597	0.405
Africana	1	0.853	0.613	0.416
Africana	2	0.856	0.59	0.434
Africana	3	0.827	0.701	0.419
Vilcanota I	1	0.571	0.435	0.296
Vilcanota I	2	0.581	0.439	0.279
Vilcanota I	3	0.573	0.418	0.286

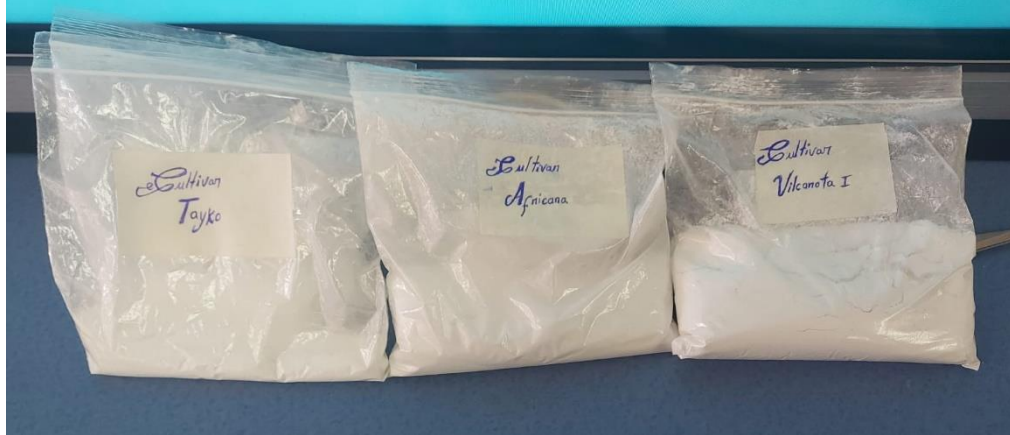
### 12A. Temperaturas de Transición térmica de los almidones de avena

Variedades	Repetición	To(°C)	Tp(°C)	Tc(°C)	Tc-To(°C)
Tayko	1	29.546	56.877	67.447	37.901
Tayko	2	29.023	56.362	68.066	39.043
Tayko	3	29.601	56.628	66.752	37.151
Vilcanota I	1	26.792	55.341	62.765	35.973
Vilcanota I	2	27.341	55.168	63.101	35.76
Vilcanota I	3	27.124	55.463	62.279	35.155
Africana	1	29.942	55.36	63.654	33.712
Africana	2	29.592	56.128	62.241	32.649
Africana	3	30.581	54.781	62.632	32.051

## Anexo 2 Almidón de tres variedades de granos de avena

### Figura 12

*Almidón obtenido de las tres variedades de granos de avena*



**Anexo 3** Morfología de los gránulos de almidón de avena forrajera (Microscopio  
equipado con cámara digital Marca Leica)

**Figura 13**

*Visualización de la morfología de los gránulos de almidón de avena*



## Anexo 4 Tamaño de los gránulos de almidón (tamices Ro – TAP)

### Figura 14

*Tamizado de los almidones de Avena*



## Anexo 5 Análisis reológico de los almidones de avena

### Figura 15

#### *Análisis reológico de los almidones de avena*



## Anexo 6 Análisis térmico de los almidones de avena

### Figura 16

#### *Análisis térmico de los almidones*





**Anexo 7** Certificado de análisis de amilosa y amilopectina, del almidón de tres variedades de avena.

### Figura 17

*Resultados del análisis de amilosa y amilopectina*

**CERTIFICADO DE ANALISIS**

SOLICITANTE : Ramos Flores Jhon Antoni.  
INTERESADOS : Ramos Flores Jhon Antoni.  
DIRECCION :  
PROCEDENCIA : Puno.  
PRODUCTO : Almidón de granos de Avena.  
TIPO DE ANALISIS : Amilosa y amilopectina.  
N° DE ANALISIS : 03.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 10 de Abril del 2023.  
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 21 de Abril del 2023.

Determinaciones	Tayko 20 gr	Tayko 20 gr	Tayko 20 gr	Vilcanota I 40gr	Vilcanota I 40gr	Vilcanota I 40gr	Africana 40 gr	Africana 40 gr	Africana 40 gr
Amilosa %	24,91	23,73	24,51	23,38	23,97	22,76	24,70	23,55	22,39
Amilopectina %	75,09	76,27	75,30	76,62	76,03	77,24	75,30	76,45	76,45
Humedad %	3,50			3,30			2,68		

**Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:**  
Determinación de amilosa y amilopectina con Hidróxido de Sodio 1 N Lectura en Espectrofotómetro a 620 nm Técnica usada (ISO 1987).  
H° 105 °C

**Conclusiones:**  
Ninguna.

**Nota:**  
Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

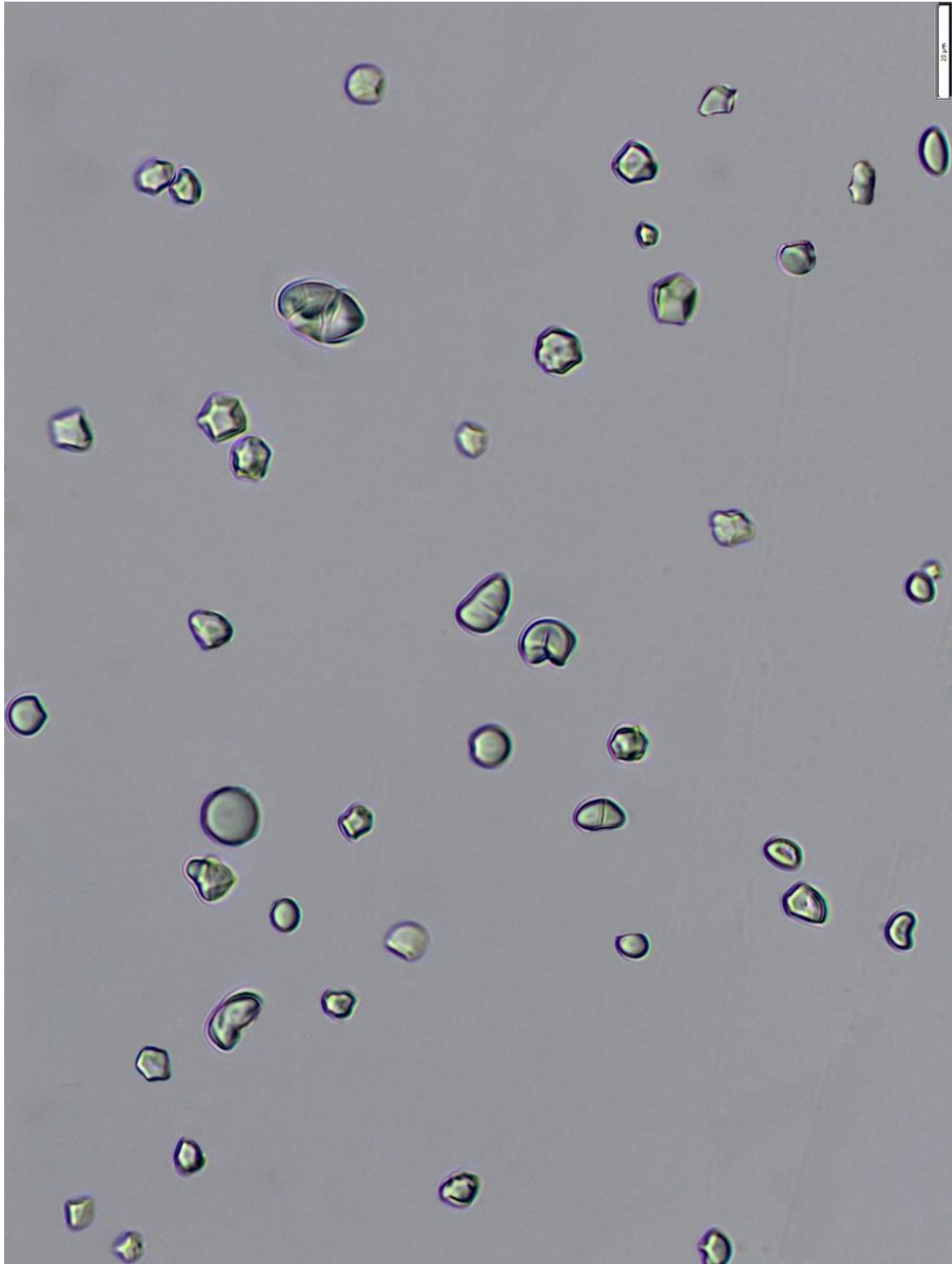
**Firma**  
**Jorge Canihua Rojas**  
Responsable de Laboratorio LABSAF Illpa

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno  
T: (051) 363 812  
www.inia.gob.pe  
www.minagri.gob.pe

**Anexo 8** Micrografía de gránulos de almidón de la variedad Africana a escala de 20  $\mu\text{m}$ .

**Figura 18**

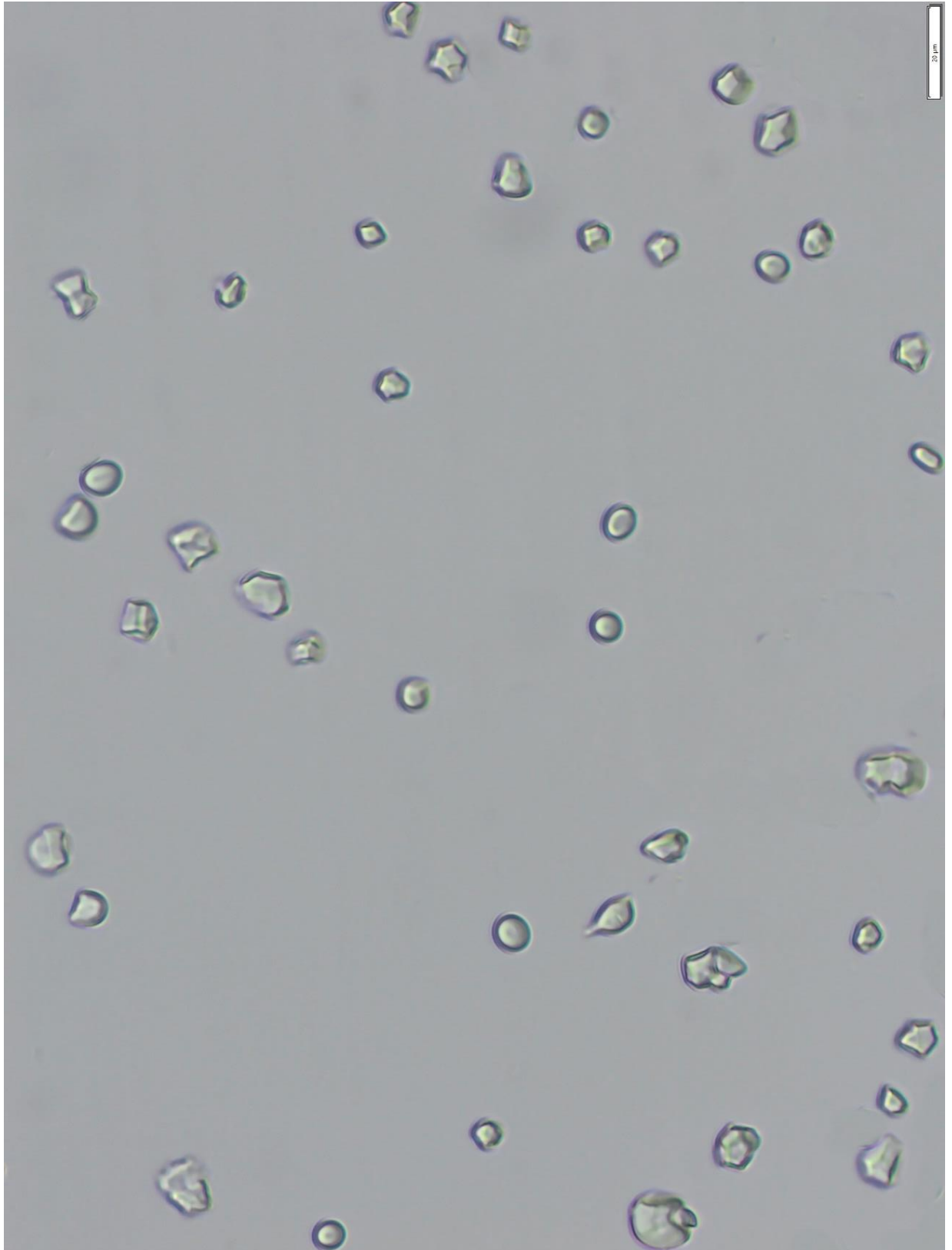
*Gránulos de almidón de avena de la variedad Africana*



**Anexo 9** Micrografía de gránulos de almidón del variedad Tayko a escala de 20  $\mu\text{m}$ .

**Figura 19**

*Gránulos de almidón de la variedad Tayko*

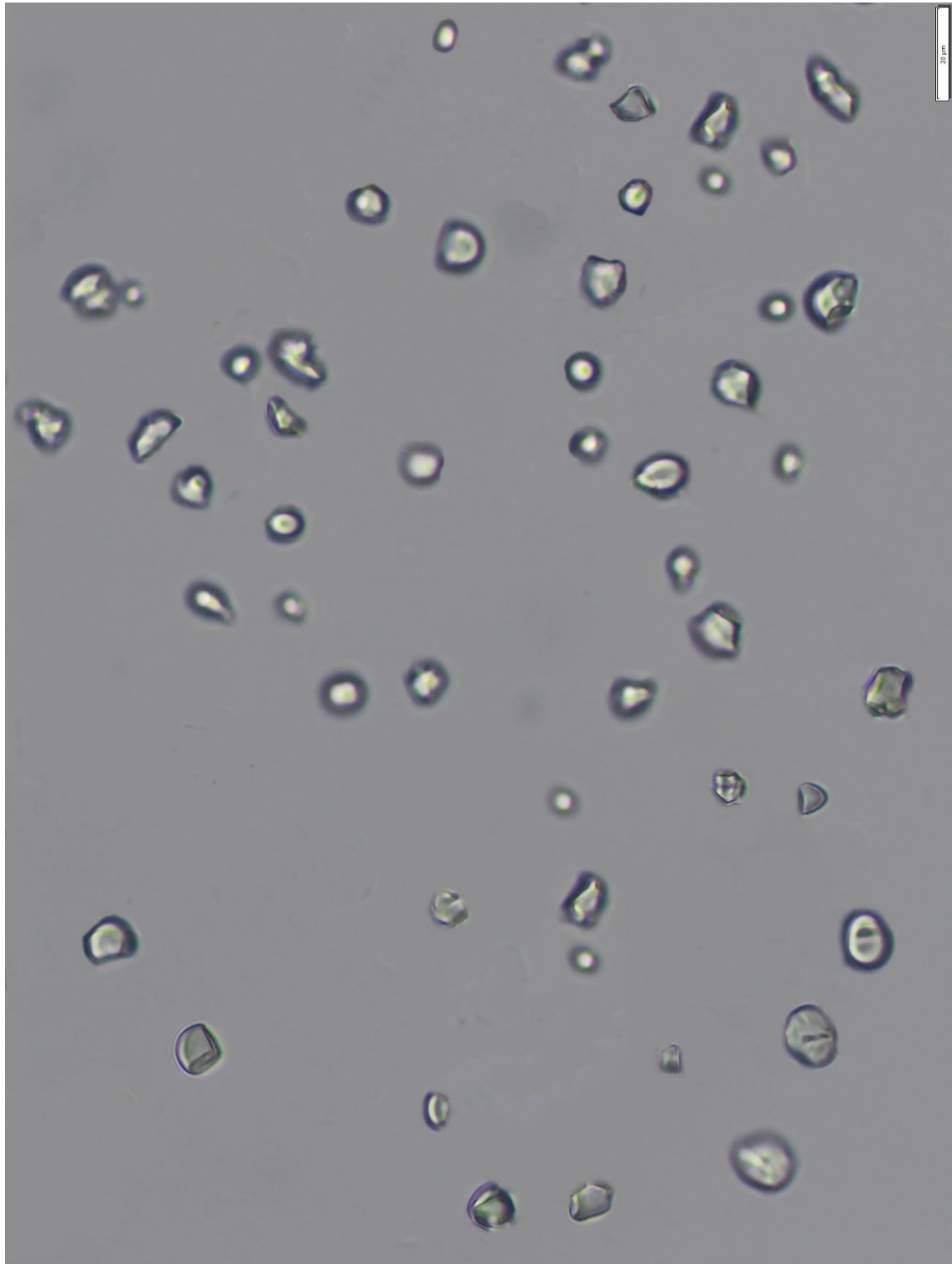


## Anexo 10

Micrografía de gránulos de almidón del cultivar Vilcanota I a escala de 20  $\mu\text{m}$

### Figura 20

*Gránulos de almidón de la variedad Vilcanota I*





**Anexo 11** Cuadro ANOVA del rendimiento del almidón respecto a las variedades de  
avena

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	95.7	47.85	12.73	0.00108
<b>Residuals</b>	12	45.12	3.76		

**Anexo 12** Cuadros Cuadro ANOVA, del Tamiz 180  $\mu\text{m}$

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	21.057	10.528	28.62	0.000854
<b>Residuals</b>	6	2.207	0.368		

**Anexo 13** Cuadro ANOVA, del Tamiz 150  $\mu\text{m}$

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	207.58	103.79	29.14	0.000813
<b>Residuals</b>	6	21.37	3.56		

**Anexo 14** Cuadro ANOVA, del Tamiz 106  $\mu\text{m}$

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	6.862	3.431	2.987	0.126
<b>Residuals</b>	6	6.891	1.148		

**Anexo 15** Cuadro ANOVA, del Tamiz 75  $\mu\text{m}$

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	164.21	82.11	34.52	0.000511
<b>Residuals</b>	6	14.27	2.38		

**Anexo 16** Cuadro ANOVA, del contenido de amilosa

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	1.758	0.879	1.28	0.344
<b>Residuals</b>	6	4.121	0.6868		

**Anexo 17** Cuadro ANOVA, del contenido de amilopectina

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	1.758	0.879	1.28	0.344
<b>Residuals</b>	6	4.121	0.6868		

**Anexo 18** Cuadro ANOVA de temperatura de formación del gel almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	4.122	2.061	28.775	3.42E-08
<b>Suspensiones</b>	2	15.028	7.514	104.913	9.60E-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	2.639	0.66	9.213	3.12E-05
<b>Residuals</b>	36	2.578	0.072		

**Anexo 19** Cuadro ANOVA del coeficiente de consistencia (K') del modelo ley de potencia para los módulos de almacenamiento (G'), de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones.

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Variedades</b>	2	20017	10008	1743	<2e-16
<b>Suspensiones</b>	2	234314	117157	20399	<2e-16
<b>Variedad Suspensión</b>	4	27737	6934	1207	<2e-16
<b>Residuals</b>	18	103	6		

**Anexo 20** Cuadro ANOVA del índice de comportamiento de flujo ( $n'$ ) del modelo ley de potencia para los módulos de almacenamiento ( $G'$ ), de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones.

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Variedades</b>	2	0.11204	0.05602	53.26	2.76E-08
<b>Suspensiones</b>	2	0.30855	0.15427	146.67	7.22E-12
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	0.166	0.0415	39.45	1.12E-08
<b>Residuals</b>	18	0.01893	0.00105		

**Anexo 21** Cuadro ANOVA del coeficiente de consistencia ( $K''$ ) del modelo ley de potencia para los módulos de almacenamiento ( $G''$ ), de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones.

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Variedades</b>	2	1466.1	733	8819	<2e-16
<b>Suspensiones</b>	2	2112.7	1056.3	12708	<2e-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	782.2	195.5	2352	<2e-16
<b>Residuals</b>	18	1.5	0.1		

**Anexo 22** Cuadro ANOVA del índice de comportamiento de flujo ( $n''$ ) del modelo ley de potencia para los módulos de almacenamiento ( $G''$ ), de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones.

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Variedades</b>	2	0.05821	0.02911	714.4	<2e-16
<b>Suspensiones</b>	2	0.1017	0.05085	1248.2	<2e-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	0.097	0.02425	595.2	<2e-16
<b>Residuals</b>	18	0.00073	0.00004		



**Anexo 23** Cuadro ANOVA índice de comportamiento de flujo del modelo de Herschel-Bulkley de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	0.2104	0.10518	202.791	4.52E-13
<b>Suspensiones</b>	2	0.6142	0.3071	592.096	< 2e-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	0.0154	0.00384	7.408	1.04E-03
<b>Residuals</b>	18	0.0093	0.00052		

**Anexo 24** Cuadro ANOVA coeficiente de consistencia del modelo de Herschel-Bulkley de almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	276.7	138.35	9330	<2e-16
<b>Suspensiones</b>	2	427.5	213.73	14413	<2e-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	195	48.74	3287	<2e-16
<b>Residuals</b>	18	0.3	0.01		

**Anexo 25** Cuadro ANOVA del esfuerzo de fluencia del modelo de Herschel-Bulkley almidones de las tres variedades de avena a tres suspensiones

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	14.66	7.33	1471.2	< 2e-16
<b>Suspensiones</b>	2	159.58	79.79	16013.3	< 2e-16
<b>Variedad:Suspensión</b>	4	1.25	0.31	62.6	2.58E-10
<b>Residuals</b>	18	0.09	0		





**Anexo 26** Cuadro ANOVA de la temperatura de inicio de gelatinización  $T_o(^{\circ}C)$ .

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	14.449	7.224	50.44	0.000177
<b>Residuals</b>	6	0.859	0.143		

**Anexo 27** Cuadro ANOVA de la temperatura de gelatinización  $T_p(^{\circ}C)$ .

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	3.134	1.5669	8.627	0.0172
<b>Residuals</b>	6	1.09	0.1816		

**Anexo 28** Cuadro ANOVA de la temperatura de conclusión ( $T_c$ ).

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	42.14	821.570	57	0.00125
<b>Residuals</b>	6	2.27	0.378		

**Anexo 29** Cuadro ANOVA del rango de temperatura de gelatinización ( $T_c-T_o$ ).

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>p value</b>
<b>Variedades</b>	2	41.08	20.541	34.32	0.00059
<b>Residuals</b>	6	3.59	0.599		



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhon Antoni Ramos Flores  
identificado con DNI 73523773 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agroindustrial

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Estudio de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas de los almidones de  
tres variedades de granos de Avena (*Avena sativa*) de la región de Puno"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jhon Antoni Ramos Flores,  
identificado con DNI 73523773 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agroindustrial  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“Estudio de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas de los almidones de tres variedades de granos de Avena (*Avena sativa*) de la región de Puno”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexas, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS UNA-PUNO  
ESCUELA PROFESIONAL DE DE ING. AGROINDUSTRIAL  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**FORMATO N° 01**

\*\*\*\*\*

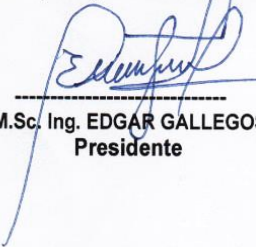
**SEÑOR SUB DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA AGROINDUSTRIAL UNA - PUNO:**


En mérito a la evaluación y dictamen del borrador de tesis, **ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, REOLÓGICAS Y TÉRMICAS DE LOS ALMIDONES DE TRES VARIEDADES DE GRANOS DE AVENA (*Avena sativa*) DE LA REGIÓN DE PUNO**, con código PILAR N° 2021-2102 presentado por el bachiller **JHON ANTONI RAMOS FLORES**, el jurado revisor lo declara:

**APTO ( X )**

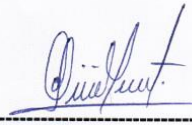
Por tanto, esta expedito para la sustentación presencial y defensa de la tesis. Determinando que dicho acto académico se lleve a cabo el día **22 de mayo del 2024** a las **9:00 horas**. Por lo que solicitamos a usted, se efectuó los tramites y la publicación correspondiente para la realización de acuerdo a lo reglamentado.


En Puno (C.U.), a los 9 días del mes de mayo del 2024

  
-----  
M.Sc. Ing. EDGAR GALLEGOS ROJAS  
Presidente

  
-----  
M.Sc. Ing. NURY YANETH MAYTA BARRIOS  
Primer miembro

  
-----  
Dr. RONALD ASTETE TEBES  
Segundo miembro

  
-----  
Dra. ALICIA MAGALY LEON TACCA  
Director o asesor de Tesis

  
-----  
JHON ANTONI RAMOS FLORES  
Tesista

**PROVEÍDO DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

Considerando que la evaluación y dictamen del borrador de tesis por el jurado revisor se declaro como apto:

Esta Sub-Dirección autoriza el tramite y la publicación de la exposicion y defensa de la tesis; de acuerdo a la fecha y hora determinada por los jurados, con las respectivas medidas de bioseguridad para dicho acto. A la misma, los documentos que se presentan para su publicación en el Repositorio Institucional son veraces y auténticos del autor (e)

Puno C.U. 9 de mayo del 2024

  
-----  
Dr. ULISES ALVARADO MAMANI  
Sub-Director de la Unidad de Investigación-EPIAI