

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Características físicas de tamaño de partículas y consistencia de la mezcla de siete
harinas (ulpada)

Presentado por:

Yurica Loayza Tapia

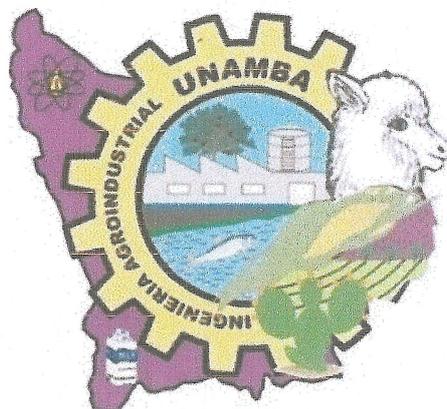
Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**"CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS Y CONSISTENCIA DE LA
MEZCLA DE SIETE HARINAS (ULPADA)"**

Presentado por Yurica Loayza Tapia, para optar el Título de
Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 07 de diciembre del 2022 ante el jurado evaluador:

Presidente:


M. Sc. Luis Fernando Pérez Falcón

Primer miembro:


M. Sc. Alfredo Fernández Ayma

Segundo miembro:


Ing. Jorge B. Mendoza Cáceres

Asesor:


PhD. Fulgencio Vilcanqui Pérez

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme cumplir mis objetivos en mi vida. De igual manera a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac por acogerme durante mi formación profesional.

Así mismo agradezco infinitamente a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, por su amor y sus consejos para seguir adelante.

Expreso mi sincero y profundo agradecimiento al Ph.D Fulgencio Vilcanqui Pérez por su tiempo, su paciencia y sus conocimientos en la asesoría del presente trabajo. De igual al modo agradezco al M.Sc. Jinner Bravo Apaza por sus conocimientos en la asesoría del presente trabajo.

También agradezco a los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haberme brindado sus conocimientos durante mi formación profesional

Gracias por todo.



Dedicatoria

Dedico este trabajo con mucho amor a mis queridos padres, por ser mi fortaleza, el motor y motivo para seguir adelante, por creer en mí, quienes con su amor y mucho esfuerzo hicieron todo lo posible para poder cumplir mis objetivos, sobre todo por darme una profesión. Todo lo que soy se lo debo a ellos. Los amo hasta el fin.

A mis queridos hermanos, por ser mi ejemplo de seguir adelante, por guiarme por el camino de ser alguien en la vida, por su cariño y su apoyo incondicional.

A mis queridos sobrinos, por ser mi orgullo, alegría y esperanza.

Se lo dedico hasta el cielo a mi abuelo con cariño “Papá Marcos” por ser un buen abuelo, porque sé que desde el cielo nos cuida, nos bendice y guía nuestro camino, por su cariño, su apoyo y sus consejos, siempre quisiste lo mejor para tus hijos, nunca te olvidaré.



“Características físicas de tamaño de partículas y consistencia de la mezcla de siete harinas (ulpada)”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema.....	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general.....	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación.....	7
2.3 Operacionalización de variables.....	7
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes.....	9
3.2 Marco teórico.....	12
3.2.1 Siete harinas y sus componentes.....	12
3.2.2 Valores nutricionales de cereales y legumbres	14
3.2.4 Tamaño de partículas	18
3.2.5 Reología de alimentos.....	19
3.2.6 Tipos de fluidos.....	21
3.3 Marco conceptual	22
3.3.1 Consistencia	22
3.3.2 Fluido	22
3.3.3 Reología	22



3.3.4 Tamaño de partículas	22
3.3.5 Viscosidad.....	23
CAPÍTULO IV	24
METODOLOGÍA	24
4.1 Tipo y nivel de investigación	24
4.2 Diseño de investigación	24
4.3 Ética en la investigación.....	24
4.4 Población y muestra	24
4.5 Procedimiento de acondicionamiento de la muestra obtenida	24
4.6 Técnicas e instrumentos	25
4.7 Estadístico de investigación	29
CAPÍTULO V.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
5.1 Análisis de resultados.....	30
5.2 Contrastación de hipótesis.....	40
5.3 Discusión.....	40
CAPITULO VI	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6.1 Conclusiones	45
6.2 Recomendaciones.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	51



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables	8
Tabla 2 — Composición proximal de los componentes de las siete harinas (g/100g)	14
Tabla 3 — Distribución de tamaño de partículas	31
Tabla 4 — Parámetros y ecuación reológica de las siete harinas	36
Tabla 5 — Viscosidad en función a la concentración de sólidos.....	39
Tabla 6 — Composición proximal de la mezcla de siete harinas y sus componentes.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de flujo del procesamiento de las siete harinas	18
Figura 2 – Gráficos de distribución del tamaño de partículas.....	25
Figura 3 – Curvas reológicas para la identificación del tipo de fluido	27
Figura 4 – Gráfica para la viscosidad en función al tiempo.....	29
Figura 5 – Gráficos de distribución de tamaño de partículas	33
Figura 6 – Diámetro medio de partículas de las harinas	34
Figura 7 – Curvas reológicas de fluidos independientes del tiempo.....	35
Figura 8 – Curva de comportamiento reológico de harina de maíz	35
Figura 9 – Curva de viscosidad de harina de maíz en función al tiempo.....	37
Figura 10 – Curva de viscosidad de las siete harinas en función al tiempo.....	38
Figura 11 – Muestra de la mezcla de siete harinas y cada uno de sus componentes	51
Figura 12 – Equipo de tamices WS Tyler	51
Figura 13 – Pesado de muestra.....	51
Figura 14 – Disposición de la harina para el proceso de tamizado	51
Figura 15 – Proceso de tamizado	51
Figura 16 – Harinas distribuidas después del tamizado	51
Figura 17 – Preparación de harinas distribuidas para el pesado	51
Figura 18 – Preparación de la harina con el agua para el proceso de cocción	55
Figura 19 – Proceso de cocción de la harina preparada	55
Figura 20 – Enfriado de las mezclas a temperatura ambiente.....	55
Figura 21 – Determinación de la viscosidad	55
Figura 22 – Resultados de la determinación de la viscosidad en el reómetro.....	56

INTRODUCCIÓN

El desayuno preparado a partir de harinas precocidas mediante tostado, proveniente de siete semillas es un alimento muy consumido en la sierra peruana y particularmente en la región Apurímac donde se conoce como el nombre de *ulpada*. Tiene como ingredientes principales a los granos de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum vulgari*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*), quinua (*Chenopodium quinoa*), habas (*Vicia faba*) y arveja (*Pisum sativum*).

Uno de los procedimientos previos es la molienda de las semillas precocidas para la preparación de las siete harinas, que son realizadas en molinos de martillo pasando por una malla con una abertura de 1000 μm ; posterior a ello no existe un control de calidad relativo al tamaño de partículas muy a pesar de que la granulometría tiene influencia en la calidad del producto y en la propiedades tecno-funcionales durante procesamiento (WANG *et al.*, 2017). Además, el tamaño de partículas tiene influencia en el incremento de la capacidad de retención de agua o aceite, capacidad de hinchamiento, en la viscosidad, en la liberación de enzimas y otras propiedades funcionales importantes debido al incremento del área superficial después de la molienda.

Por otro lado, la preparación del desayuno consiste formar una mezcla homogénea de las harinas precocidas en agua a temperatura del ambiente, seguido de una cocción a una temperatura de ebullición por un tiempo promedio de dos minutos. A lo largo de esta preparación se puede adicionar el azúcar como edulcorante, la leche y algunas especias como la canela y clavo de olor. Al final de la preparación, el desayuno presenta una mezcla homogénea y caracterizada por su buena consistencia y viscosidad. Sin embargo, no se sabe cuál es el componente que contribuye significativamente en la viscosidad (consistencia) del desayuno.

Es por ello, que el objetivo de la presente investigación es identificar las características físicas relacionadas con el tamaño de partículas y de consistencia de la mezcla de siete harinas (*ulpada*) producidos y comercializados en la región Apurímac. En vista de que no existe información adecuada principalmente sobre las características físicas, relacionadas a la distribución de tamaño de partículas y de la consistencia (propiedades reológicas) de la mezcla de siete harinas y sus componentes en forma individual.



RESUMEN

El desayuno preparado a partir de harinas precocidas de cereales y pseudocereales (maíz, trigo, cebada, kiwicha y quinua) y legumbres (habas y arveja). Es un alimento altamente consumido en la sierra peruana y particularmente en la región Apurímac y es conocido como *ulpada*. Sin embargo, no se conoce la categoría de harinas en función a su tamaño de partículas, tampoco se sabe cuál es el componente que contribuye significativamente en la viscosidad (consistencia) del desayuno. El objetivo del presente trabajo fue identificar las características físicas relacionadas con el tamaño de partículas y de consistencia. Las muestras de las harinas fueron adquiridas en el mercado central de la provincia de Andahuaylas. 70 g de cada harina, fueron sometidos al juego de tamices WS Tyler (con agitador eléctrico) con mallas N°s 35, 80, 100, 170, 200, 230 y 400 para la identificación de la distribución de tamaño de partículas y el diámetro medio (D_m). Muestras de 30 g de harina fueron mezcladas en 600 ml de agua, sometidas a temperatura de ebullición y enfriadas al medio ambiente, sobre el cual fueron identificadas las propiedades de consistencia en un reómetro Brookfield DV3T. La harina de maíz presentó partículas más gruesas (D_m : 0.35 mm), acumulados en las mallas N° 35, 80 y 100 (97.70%); seguido de la mezcla de siete harinas (*ulpada*) y kiwicha con partículas medianas (D_m : 0.22 mm) y las fuentes leguminosas (arveja y habas) con diámetro medio (D_m): 0.10 y 0.11 mm, respectivamente. Todas las muestras de las harinas presentan un comportamiento de fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico a excepción del maíz que tiene un comportamiento de plástico real. A 30 rpm, la mayor viscosidad aparente (102.02 cP) corresponde a la harina de maíz y la menor viscosidad aparente (28.18 cP) a la harina de arveja. Las muestras de las harinas disueltas en agua, reducen su viscosidad aparente con el esfuerzo de corte, incrementan en función al tiempo de agitación y la concentración de sólidos.

Palabras Clave: Reología, siete harinas, tamaño de partículas, viscosidad.



ABSTRACT

Breakfast prepared from precooked cereal and pseudocereal flours (corn, wheat, barley, kiwicha and quinoa) and legumes (fava beans and peas). It is a highly consumed food in the Peruvian highlands and particularly in the Apurímac region and is known as *ulpada*. However, the category of flours based on their particle size is not known, nor is it known which is the component that contributes significantly to the viscosity (consistency) of breakfast. The objective of the present work was to identify the physical characteristics related to the size of particles and consistency. The samples of the flours were acquired in the central market of the province of Andahuaylas. 70 g of each flour were subjected to the set of sieves WS Tyler (with electric stirrer), with meshes N°s 35, 80, 100, 170, 200, 230 y 400 for identification of particle size distribution and mean diameter (D_m). Samples of 30 g of flour were mixed in 600 ml of water, subjected to boiling temperature and cooled to the environment, on which the consistency properties were identified in a rheometer Brookfield DV3T. The corn flour presented coarser particles (D_m : 0.35 mm), accumulated in the meshes N°s, 35, 80 y 100 (97.70%); followed by the mixture of seven flours (*ulpada*) and kiwicha with medium particles (D_m : 0.22 mm) and legume sources (peas and beans) with (D_m : 0.10 y 0.11 mm), respectively. All the samples of the flours present a behavior of non-Newtonian fluid of pseudoplastic type except for corn which has real plastic behavior. At 30 rpm, the highest apparent viscosity (102.02 cP) corresponds to corn flour and the lowest apparent viscosity (28.18 cP) to pea flour. The samples of the flours dissolved in water, reduce their apparent viscosity with the shear stress, increase as a function of the agitation time and the concentration of solids.

Keywords: *Particle size, rheology, seven flours, viscosity.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Actualmente, los habitantes a nivel mundial se enfrenta a un aumento dramático de enfermedades crónicas como la diabetes, el cáncer de colon, la hipertensión, la obesidad o sobrepeso entre otras enfermedades no transmisibles; en los últimos años, aproximadamente 15 millones de personas, que representa el 62 % de la población peruana mayores de 15 años, presentan sobrepeso y obesidad, cuyo aumento de casos se ocasionó durante la pandemia de la covid19, advirtieron especialistas del Ministerio de Salud; MINSA (2022).

El incremento de la prevalencia de sobrepeso y obesidad entre otras enfermedades se debe, principalmente, al consumo de alimentos procesados, ultra procesados. Es por eso que se recomiendan el incremento del consumo de alimentos provenientes de semillas con alto contenido de fibra dietética a fin de superar las enfermedades crónicas (KONG *et al.*, 2020). En ese sentido, el consumo de los cereales y legumbres integrales juegan un rol importante en la nutrición y la salud humana (ZIENA, 2022) debido a su contenido de compuestos bioactivos (antocianinas y polifenoles) y nutrientes importantes (proteínas, fibra dietética y ácidos grasos polinsaturados) (VASQUEZ *et al.*, 2016). Particularmente el consumo del desayuno a base de siete harinas favorece porque no es un producto procesado, si no es de forma natural y directa.

Por otro lado, el consumo de alimentos de origen vegetal suele ser deficientes en el contenido de aminoácidos esenciales. Por ejemplo, los cereales como el trigo, arroz, maíz y otros, tienen como aminoácidos limitantes a la lisina y el triptófano. En cambio, las legumbres como las habas, arveja y otros tienen como limitante a los aminoácidos azufrados como la metionina y la cistina (MANCERO *et al.*, 2019). Cuando las legumbres se mezclan con los cereales en las proporciones adecuadas, se logra una complementación mutua de aminoácidos y la consecuente mejora en la calidad de las proteínas (DUTTA *et al.*, 2019).



Finalmente, se debe señalar que la mezcla de siete harinas (habas, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz y quinua), preparados mediante un proceso de selección, cocción (tostado), molienda y mezclado; es un producto de consumo tradicional en el desayuno; sin embargo, no se sabe el componente que contribuye significativamente con la viscosidad (consistencia) y la influencia del esfuerzo de corte (agitación), características que son importantes al momento de la preparación y el consumo. De igual forma, no se conoce la categoría de las harinas en función a su tamaño de partícula (grueso, fino y muy fino), cuyas características tiene influencia sobre la calidad del producto (propiedades tecno-funcionales, capacidad de interacción con el agua, la digestibilidad y la viscosidad). En resumen, no existe información debidamente organizada sobre las principales características físicas relativas a la distribución del tamaño de partículas y la investigación de las propiedades reológicas en sus diferentes etapas de preparación de la mezcla de siete harinas.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué características físicas relacionadas con la distribución de tamaño de partículas y de consistencia tendrá la mezcla preparada de siete harinas (Ulpada)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la distribución del tamaño de partículas (porcentaje acumulado y porcentaje en peso) de la mezcla de siete harinas (habas, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz y quinua)?
- ¿Qué características de consistencia presentará la mezcla preparada de siete harinas (habas, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz y quinua) en función al tiempo, la concentración de sólidos y el tipo de fluido?

1.3 Justificación de la investigación

Los granos andinos son muy importantes en el mundo y en los estándares de calidad nutricional, siendo una interesante oportunidad de estudio en la agroindustria. La región de Apurímac tiene las condiciones favorables para la producción de cereales y granos andinos tales como maíz, trigo, cebada, kiwicha, quinua, arveja, haba entre otros; los que tienen un alto valor nutritivo y propiedades funcionales importantes para el consumo humano que contribuyen en la mejora de la salud en diferentes aspectos y son indispensables para llevar una alimentación sana y saludable.

Por lo tanto, la identificación del efecto del tamaño de partículas y consistencia de la mezcla de siete harinas y sus componentes puede contribuir significativamente en la tecnología de los alimentos para el diseño de nuevos productos. De la misma forma, desde la perspectiva de la salud, puede aportar en la prevención de algunas enfermedades no transmisibles. Finalmente, estos nuevos conocimientos, contribuirá en el aprovechamiento de los granos andinos y cereales en la región de Apurímac.

Uno de los criterios de medición en la industria alimenticia es la viscosidad, que a su vez de considerarse una variable muy influyente en la medición de fluidos, es utilizado como base en la preparación de nuevos productos, lo cual simplifica la reproducción de la consistencia final.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Identificar las características físicas relacionadas con el tamaño de partículas y de consistencia de la mezcla de siete harinas (ulpada) comercializados en la región Apurímac.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las características de distribución de tamaño de partículas y diámetro medio (mm) de la mezcla de siete harinas (ulpada), incluyendo sus componentes (habas, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz y quinua).
- Evaluar la consistencia (cP) de la mezcla de siete harinas (haba, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz y quinua) después de la cocción y enfriado (tipo de fluido, en función al tiempo y concentración de sólidos).

2.2 Hipótesis de la investigación

El presente trabajo de investigación al ser de nivel descriptivo, no presenta la hipótesis de investigación.

2.3 Operacionalización de variables

El presente trabajo de investigación tiene las siguientes variables descriptivas (observacionales):

- Distribución de tamaño de partículas de cada componente y de la mezcla de siete harinas (ulpada).
- Características de consistencia de la mezcla de siete harinas después de la cocción y enfriado.



Tabla 1 – Operacionalización de variables

Variables	Indicador	Índice
Variables descriptivas observacionales		
Tamaño de partículas	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje retenido y acumulado de la harina y mezcla 	%
	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro medio de cada harina y de la mezcla 	μm
Características de consistencia de la mezcla de siete harinas y sus componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad o viscosidad aparente 	Pa.s (cP)
	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de consistencia 	Pa.s ⁿ
	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de comportamiento 	Adimensional
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de fluido en función al esfuerzo de corte 	Adimensional
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de fluido en función al tiempo 	Adimensional
	<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidad en función a la concentración de sólidos 	Pa.s (cP)



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

- a) LEYVA (2009), estudió las “Características reológicas y de tamaño de partícula de harinas de maíz, gluten de maíz, trigo, soya y arroz utilizadas en la industria de alimentos extrudidos”. Se identificó una relación directa entre la presencia de arroz y maíz con el salvado durante la extrusión; específicamente con las partículas de finos retenidas entre los tamices 28, 48 y 100. En cuanto a la granulometría de partículas de las harinas de trigo y soya tuvieron diámetros superiores a 1.20 mm en su mayoría. También se ha identificado que masas provenientes de las harinas de trigo y soya presentaron fluidos de tipo pseudoplástico (disminución de la viscosidad en función al incremento del esfuerzo de corte).

- b) LASCANO (2010), realizó el trabajo de investigación titulada “Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinua (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) enfocado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas alimenticias”. Mediante el uso de Mixolab, ha caracterizado el comportamiento reológico de una mezcla óptima de harina de cereal y tubérculo. En dicho trabajo se concluyó que la harina utilizada al 10%, 20% y 30% (p/p) fue elástica, resistente al amasado, con extensibilidad, tenacidad, y la fuerza del gluten, sugiriendo viable la producción de panes y pastas.



- c) HUAMÁN (2021), estudió la distribución y simulación matemática del tamaño de partículas de harinas comerciales. Las funciones de distribución de partículas que se utilizaron en la investigación fueron: Rosin Rammler (RR), Gates Gaudin Schumann (GGS), Gaudin Meloy modificada (GMM), Normal (N) y Log Normal (LN). El análisis granulométrico se aplicó a tres tipos de harinas comerciales (preparada, sin preparar y a granel) en diferentes tiempos de tamizado de 5,10 y 15 minutos. El resultado fue que los coeficientes de determinación de R^2 para cada función, siendo Gaudin Meloy modificada y Rosin Rammler las funciones de distribución que tienen mayor correlación para el análisis de distribución de partículas.
- d) VELÁSQUEZ (2018), en su trabajo de investigación “Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos” determinaron las propiedades reológicas, viscoelásticas y características fisicoquímicas de almidones de diferentes tubérculos andinos. Se utilizaron tubérculos de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), olluco (*Ullucus tuberosum* C.) y oca (*Oxalis tuberosa* M.) del distrito de Paucará (Huancavelica, Perú). Los almidones pasaron por un proceso de sedimentación para su obtención, tamizado, lavado y posterior secado a 40 °C por un tiempo de 48 h en estufa. Seguidamente se determinó el contenido químico proximal de los tubérculos, rendimiento de almidón, contenido de amilosa aparente (AA), las propiedades reológicas y viscoelásticas. El contenido de AA estuvo en el rango de 21,13% a 26,13%, las pastas de mashua, mientras que la oca y olluco presentaron un comportamiento tixotrópico y pseudoplástico ($n < 1$), a la vez, se observó un comportamiento más elástico que viscoso ($G' > G''$) en las muestras de pastas de los tres almidones en forma individual y la viscosidad compleja (η^*) fue mayor en las pastas de almidones de mashua y olluco. Las muestras de pastas de almidones de mashua, oca y olluco mostraron una desviación de la regla de Cox-Merz. Los resultados muestran que pastas de almidones de mashua, oca y olluco mostraron un comportamiento de tipo tixotrópico y pseudoplástico, a la vez, tuvieron un comportamiento más elástico que viscoso, asimismo las muestras de almidones de mashua presentaron mayor valor de viscosidad. .



- e) JUSZCZAK (2010), en su trabajo de investigación “Efecto de la temperatura y el contenido de sólidos solubles en la viscosidad del concentrado de jugo de remolacha (*Beta vulgaris*)”, estudiaron la viscosidad del jugo de remolacha clarificado en función a la temperatura y el contenido de sólidos solubles, para lo cual utilizaron un reómetro rotacional y llegaron a los resultados de que las curvas de flujo se obtuvieron en el rango de temperatura de 10 a 60°C y en el contenido de sólidos solubles de 50° a 67,1°Bx. El concentrado en estudio mostró un comportamiento newtoniano y la viscosidad dinámica osciló entre 5,2 y 320 mPa.s.
- f) AHMED (2019), en su trabajo de investigación titulada “Propiedades funcionales, reológicas, microestructurales y antioxidantes de la harina de quinua en dispersiones influenciadas por el tamaño de partícula”, estudiaron el efecto del tamaño de partícula sobre la composición, el antioxidante y varias propiedades funcionales y mecánicas de todas las fracciones de partículas. La medición reológica indicó que había diferencias significativas entre los reogramas entre partículas más gruesas y más finas de QF. Las partículas más finas produjeron una viscosidad compleja más baja y una rigidez mecánica más baja. Las viscosidades finales y de retroceso disminuyeron a medida que disminuía el tamaño de partícula.

3.1 Marco teórico

3.2.1 Siete harinas y sus componentes

En la región Apurímac es conocido como ulpada. Se trata de una mezcla de harinas de cereales y legumbre producidos en la zona, constituidos por las harinas de haba, cebada, kiwicha, quinua, maíz, arveja y trigo. En su mayoría, proceso de elaboración es con una tecnología tradicional constituida por una selección de los granos, el tostado, molienda y envasado en forma individual. Al momento de la venta, se realiza una mezcla de cada uno de los componentes en forma proporcional. Debido a la mezcla de cereales y legumbres, se constituye en un alimento con un balance adecuado de aminoácidos y la buena calidad de proteínas. Su forma de preparación tradicional es mediante la adición de agua fría en una proporción sugerida de 1:10 (mezcla de harina: agua) (BENITO, 2019). A continuación, se describen cada uno de los componentes.

3.2.1.1 Habas (*Vicia faba L.*)

El haba tiene un alto contenido de fibra y ácido fólico, carbohidratos complejos, proteína, provitamina A y otros. Es considerada como la séptima legumbre de grano más importante a nivel mundial. Es una leguminosa típica de doble propósito (para consumo humano y animal) y constituye la mayor fuente de proteína en la alimentación de las personas en muchos países (FAO, 2016).

3.2.1.2 Trigo (*Triticum aestivum L.*)

El trigo es un cereal esencial y básico como fuente alimentaria en todo el mundo dentro de los productos agrícolas, con un elevado valor proteico, complejo vitamínico B y E, tiamina, ácido fólico, minerales como zinc, potasio, selenio, hierro y sodio en bajo contenido. La Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con siglas en inglés: “Food and Agriculture Organization”, ha destacado su relevancia como fuente de nutrición y energía en la dieta humana diaria. Junto con el arroz y maíz, el trigo es uno de los cereales más cultivados (MANANGÓN, 2014).



3.2.1.3 Arveja (*Pisum sativum L.*)

La arveja es una legumbre que aporta las vitaminas del complejo B (B1, B2 y B6) y ácido fólico. Además, la contiene vitamina C y betacarotenos (precursores de la vitamina A); es decir, poseen propiedades antioxidantes. Pertenece a la familia de las leguminosas y sirve como suplemento nutritivo por su alto contenido de proteínas (6,3 % en verde y 24,1 % en seco). En nuestro país es indispensable en la dieta para el consumo humano (GALARZA, 2014).

3.2.1.4 Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)

La quinua es un cereal nativo con un elevado valor nutricional y el cual es cultivado de modo tradicional en áreas áridas y altas del altiplano del Perú desde el imperio incaico, es considerado como uno de los pocos vegetales que tiene propiedades de aminoácidos básicos, aceites, minerales y vitaminas, haciendo a este grano un alimento muy nutritivo. Debido a su elevado valor nutricional, este cereal es un producto agrícola con un valor importante muy relevante para la alimentación de las personas y se seleccionó por la FAO como un cultivo destinado para afrontar la desnutrición y el hambre a nivel mundial (JACOBSEN, 2010).

3.2.1.5 Kiwicha (*Amaranthus caudatus*)

La kiwicha, este grano andino posee un contenido de hierro, fósforo, calcio, zinc, potasio, vitamina E y complejos de vitamina B, además de su contenido en fibra, que son claves para fortalecer el sistema inmune y favorecen el desarrollo de los huesos. En la actualidad, son bien conocidas las excelentes propiedades nutricionales de la Kiwicha, junto a la quinua y la kañihua contienen una alta proporción de proteínas y buenos aminoácidos, especialmente si se coteja con los cereales más utilizados en el mundo como el arroz, maíz y el trigo (CABALLERO, 2010).



3.2.1.6 Cebada (*Horden vulgare L.*)

La cebada es un grano muy importante en la dieta porque su contenido proteico (13 %) es de fácil absorción y tiene un alto contenido de fitato. El fitato está presente en legumbres y cereales, químicos que al ser absorbidos por el cuerpo actúan como antivitaminas y conducen a la no absorción de zinc, calcio y hierro, otros elementos requeridos para la nutrición animal y humana (INEC, 2010).

3.2.1.7 Maíz (*Zea mays*)

El maíz es considerado el cereal de la familia de gramíneas, así como el trigo, resalta por su alto valor en almidón, y con bajos niveles de proteínas y grasas entre otros valores. En la actualidad, el maíz es considerado como el tercer cereal con más cultivo a nivel mundial, luego del arroz y el trigo. El maíz es considerado como uno de los cultivos esenciales con más importancia y extendió a nivel mundial, representa uno de las fuentes alimenticias de millones de personas, en particular en Asia y América. Es una de las primeras plantas domesticadas y difundidas en todo el mundo (SÁNCHEZ, 2014).

3.2.2 Valores nutricionales de cereales y legumbres

En la tabla 2, se tiene la composición proximal (proteína, grasa, carbohidrato, fibra, ceniza y humedad) de los componentes de las siete harinas.

Tabla 2 – Composición proximal de los componentes de las siete harinas (g/100g)

Componentes	Quinoa	Maíz	Kiwicha	Trigo	Haba	Arveja	Cebada	Mezcla de siete harinas
Proteína	1.70	5.90	12.90	8.60	23.80	19.90	3.55	8.80
Grasa	6.30	4.00	7.20	1.50	1.50	2.40	8.79	3.20
Carbohidratos	68.00	76.10	65.10	73.70	60.10	67.00	3.95	84.80
Fibra	5.20	72.90	6.70	3.00	–	13.70	–	14.10
Ceniza	2.80	1.30	2.50	1.70	3.10	2.50	–	1.60
Humedad	11.20	12.70	12.30	14.50	11.50	8.20	–	1.50

Extraído de Tablas Peruanas de Composición de Alimentos (REYES *et al.*2017)

3.2.2.1 Proteínas

Entre los cereales, la capa de aleurona y el germen tienen el mayor contenido de proteínas. La cantidad en el endospermo es menor, pero aporta más proporcionalmente porque la cuantía de endospermo en el grano es superior, entonces la proteína proviene principalmente de ahí. Hay cuatro componentes proteicos en la mayoría de los cereales en conformidad con su solubilidad: el componente proteico soluble en agua consiste en albúmina y globulina, y el componente proteico insoluble consiste en gluteninas y prolaminas. En términos de valor nutricional, la composición de aminoácidos varía de acuerdo a la clase de cereal, aunque todos son bajos en el aminoácido lisina, teniendo un aporte de proteínas de calidad media (MARQUINA, 2012).

3.2.2.2 Carbohidratos

El almidón es el principal carbohidrato de los cereales, que representa alrededor del 70 % del peso seco, y está localizada principalmente en el endospermo. Los carbohidratos están entre el 60 % y el 90 % en los cereales (MARQUINA, 2012).

3.2.2.3 Fibra

Los cereales son característicos por su alto valor en fibra alimenticia, el cual aporta al efecto beneficioso de absorción de colesterol y control del peso. La fibra conforma la estructura de las paredes celulares, siendo abundante en cereales que incorporan granos enteros “integrales”, frutos secos o salvado, con hasta 32 g/100g. La fibra insoluble está primordialmente en los cereales integrales y salvado de trigo. Esta fibra beneficia la digestión intestinal. La avena es una fuente muy relevante de fibra soluble, la cual disminuye la absorción de glucosa y colesterol en los intestinos, aportando a la prevención de enfermedades cardiovasculares, así como el control de la diabetes (MARQUINA, 2012).



3.2.2.4 Ceniza

La ceniza representa el contenido mineral de los alimentos; generalmente, la ceniza constituye menos del 5 % de la materia seca de cada alimento. Los minerales y el agua son considerados como los únicos elementos de los alimentos, que no se oxidan en el cuerpo para la producción de energía, en cambio, la materia orgánica incluye nutrientes (lípidos, carbohidratos y proteínas) que se pueden oxidar en el cuerpo para obtener energía, calculada como la materia seca del alimento diferencia entre contenido en materia seca y contenido de cenizas (MÁRQUEZ, 2014).

3.2.2.5 Grasa

Los cereales contienen mínimas cantidades de grasas o lípidos. Los cereales con más lípidos son la avena (6 a 8 %), que en su mayoría son insaturados. Los demás granos no tienen más del 2 %. Se ha demostrado que los lípidos insaturados son ventajosos porque su consumo contribuye a la reducción del colesterol total y el LDL. En este grupo están los ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y ácido linolénico), que son ácidos grasos que el cuerpo no puede obtener y deben ser consumidos en la dieta (MARQUINA, 2012).

3.2.2.6 Vitaminas

Los cereales tienen vitaminas del grupo B, vitamina B1 o tiamina, vitamina B2 o riboflavina, vitamina B3 o niacina, vitamina B5 o ácido pantoténico, vitamina B6 o piridoxina, vitamina B9 o ácido fólico, vitamina B12, que están distribuidas por todo el cereal. La cantidad en vitaminas es muy parecida a todos los cereales, a excepción de niacina, que es superior al trigo (MARQUINA, 2012).



3.2.3 Tecnología de la producción de siete harinas

La forma de preparación de siete harinas es mediante el uso de una tecnología tradicional. Conforme a la Fig.1, consisten en la selección de las semillas de los cereales y legumbres producidos principalmente en la provincia de Andahuaylas de la región Apurímac.

3.2.3.1 Recepción de materia prima

Las semillas de cereales y legumbres son adquiridas de los productores o del mercado en presentaciones de sacos, teniendo como la unidad de medida la arroba.

3.2.3.2 Selección

Consiste en separar la materia prima que está libre de piedras, materias extrañas, se puede retirar manualmente todos aquellos granos con defectos (manchados, oxidados, partidos, etc).

3.2.3.3 Tostado

Este proceso se realiza en una tostadora de metal con leña, se coloca una cantidad determinada de granos, lo cual tiene que estar en constante movimiento para evitar quemaduras, una vez que esté cocido tiende a cambiar de color ligeramente (color marrón), entonces se procede a retirar de la tostadora. Todos los cereales se tuestan en la misma tostadora. Los cereales en especial el maíz empieza a cocinarse a una temperatura de 120°C hasta 167°C y la temperatura de la pared de la tostadora llega hasta 240°C, por 15 a 20 minutos aproximadamente.

3.2.3.4 Molienda

Para este proceso se utiliza un molino eléctrico, donde el producto debe ser molido por completo. Todos los cereales se muelen en el mismo molino eléctrico.

3.2.3.5 Envasado

El envasado se realiza en sacos individuales de 6 a 7 arrobas (72 – 84 kg).



3.2.3.6 Comercialización

Después de la molienda se traslada al mercado para su venta en presentaciones de ½ kilo, 1 kilo, etc.

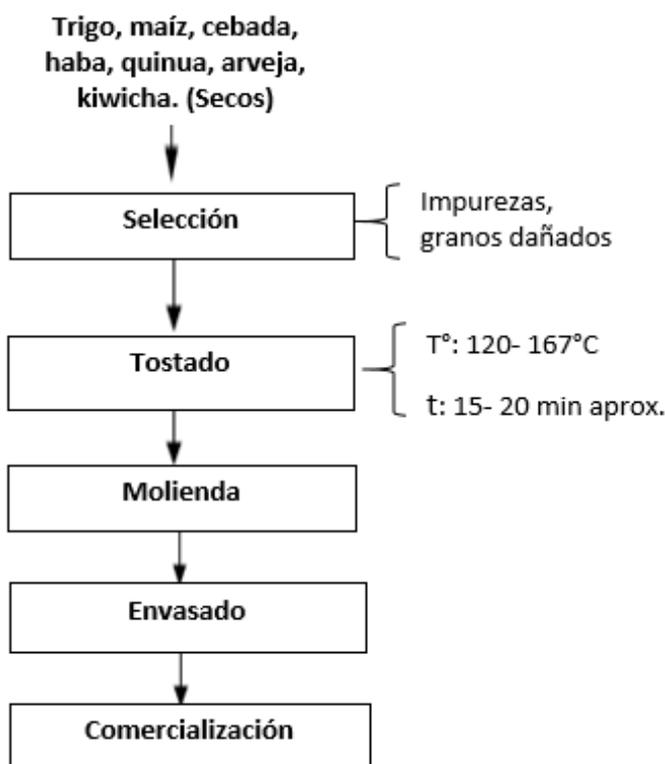


Figura 1 — Diagrama de flujo del procesamiento de las siete harinas

3.2.4 Tamaño de partículas

3.2.4.1 Tamizado

El tamizado es considerado como una técnica de espacio de las partículas, y se basa peculiarmente en la dimensión de los mismos. En el tamizado industrial, se colocan los sólidos en una base de tamiz. Las partículas más pequeñas o los finos pasan mediante aberturas del tamiz; las más grandes o las colas no lo hacen. Un solo tamiz se puede separar en dos partes. Se denominan fracciones no clasificadas porque, si bien se conocen los límites superiores e inferiores del tamaño de partícula para cada fracción, se desconoce otro límite. El material que pasa mediante un conjunto de tamices de diversos tamaños se divide en fracciones de diferentes tamaños, en otras palabras, fracciones para las

que se conocen las dimensiones máximas y mínimas de las partículas. En algunos casos, el tamizado es húmedo, aunque lo más habitual es una operación en seco (MCABE *et al.*, 2017).

3.2.4.2 Distribución de tamaño de partículas

Es de mucha importancia conocer la distribución de tamaño de partículas de la muestra a estudiar, para ello se somete al proceso de tamizado o análisis de tamaños. Este proceso consiste en hacer pasar una determinada cantidad de un producto molido o triturado (harina), a través de un conjunto de tamices con abertura de malla cada vez más pequeños, la muestra que queda entre los 2 tamices consecutivos se pesa el peso retenido en cada tamiz de la serie, para luego calcular el porcentaje de peso retenido de cada fracción de tamaño de partículas (ALVARADO, 2013).

3.2.5 Reología de alimentos

La reología está definida como una ciencia dedicada a estudiar el flujo y deformación de la materia en general, si bien la practican muchas investigaciones reológicas que aplican con frecuencia a sustancias regularmente fluidas. Al someterse la materia a la acción de unas fuerzas exteriores, estas podrían tener dos casos extremos de comportamiento:

a. Comportamiento elástico

La aplicación de una fuerza externa genera la deformación y la variación de volumen del material, y el trabajo se almacena como energía interna de la deformación. Estos cambios son de carácter reversible porque cuando cesa la fuerza externa, el sistema vuelve inmediatamente a su forma y tamaños originales, en tanto la energía almacenada se devuelve como trabajo.

b. Comportamiento viscoso

En este comportamiento, la materia de igual modo se deforma por una fuerza aplicada, pero el trabajo efectuado es disipado por completo en forma de calor. Entonces, cuando cesa la acción de estas fuerzas, el estado deformado todavía existe (AGUADO *et al.*, 2009).



c. Viscosidad

La propiedad de la viscosidad tiene un mayor efecto en el comportamiento del flujo de fluido. La viscosidad se relaciona con la resistencia ejercida por el fluido al movimiento. Se dice que la viscosidad posee un relevante impacto en la mezcla, bombeo, transferencias de materias, aireación de fluidos y transmisión de calor, son componentes que afecta la economía y diseño de los bioprocesos. La viscosidad de los fluidos de fermentación está basada en la existencia de sustratos, células, aire y productos.

La viscosidad es un aspecto relevante de la reología, la deformación y la ciencia del flujo. La viscosidad es determinada correlacionando los gradientes de velocidad en el fluido con las fuerzas de cizalla generado por el fluido (DORÁN, 2015).

d. Esfuerzo de corte

Cuando se aplica una fuerza a cualquier objeto, la reacción que exhibe varía de un material a otro. Por lo tanto, cuando se aplica una fuerza a un sólido elástico, este se deforma, sin embargo, cuando cesa la fuerza, el sólido vuelve a su forma original. No obstante, si el producto es un fluido newtoniano, seguirá fluyendo cuando se libere la fuerza (IBARZ *et al.*, 2005).

e. Velocidad de deformación

Se crea cuando el material se encuentra entre 2 placas paralelas y la placa superior se somete a la fuerza “*F*”, la cual la obliga a moverse de forma lineal una distancia “*x*”, por otro lado, la placa inferior permanece estacionaria. Todos los elementos sufrirán una deformación dada por la Ecuación 1.

$$\gamma = \frac{dv}{dy} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde γ , es la velocidad de deformación (1/s); dv , es la variación de la velocidad (m/s) y dy , variación de la distancia (m) (DÍAZ, 2018).



3.2.6 Tipos de fluidos

3.2.6.1 Fluidos newtonianos

Un fluido newtoniano es un fluido cuya tensión tangencial es equivalente a la velocidad de las deformaciones y satisface la ley de viscosidad de Newton (AGUADO *et al.*, 2009).

$$\tau = \mu\gamma \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde τ , es el esfuerzo de corte (N/m^2); μ , es la viscosidad del fluido ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) y γ , es la velocidad de deformación ($1/\text{s}$).

3.2.6.2 Fluidos no newtonianos

Son fluidos donde la relación $\mathbf{t} - \gamma$ no se asemeja a la ley de viscosidad de Newton. Tienen un comportamiento reológico irregular como consecuencia de su complejidad a nivel microscópico. Los fluidos no newtonianos generalmente son líquidos de naturaleza polimérica o están conformados por dispersiones de partículas sólidas dentro de un líquido. También puede referirse a emulsiones de dos fases líquidas inmiscibles (AGUADO *et al.*, 2009).

3.2.6.3 Fluidos dependientes del tiempo

Algunos materiales pueden presentar características de flujo dependientes del tiempo. Es decir, al aumentar el tiempo de flujo bajo condiciones constantes, los fluidos pueden generar incremento o disminución de la viscosidad. El primer efecto es conocido como reopexia, mientras que el último se conoce como tixotropía y ambos dependen del cambio constante de la estructura del material, que puede ser en cualquier caso reversible o irreversible (IBARZ *et al.*, 2005).

3.2.6.4 Fluidos independientes del tiempo

La mayoría de los gases y líquidos no complejos, se comportan como fluidos newtonianos en la región de flujo laminar, varios sistemas, incluyendo emulsiones, soluciones de moléculas grandes y fluidos de masa macromolecular, se ajustan al comportamiento newtoniano solo a muy bajos esfuerzos cortantes y velocidades de deformación. A un nivel



más alto de cizalla, los sistemas pueden desviarse del comportamiento ideal newtoniano en una o varias formas (IBARZ *et al.*, 2005).

3.2.6.5 Factor que influye sobre la viscosidad de los fluidos

a) Concentración de sólidos

La concentración de sólidos es un factor importante que influye sobre la consistencia de los fluidos. En los productos como jugos y purés, tubérculos y granos se componen de partículas sólidas dispersas en una etapa acuosa, su conducta reológica se ve afectado por la composición química, la concentración, la forma, el tamaño, y disposición de las partículas conformadas en la etapa dispersa (DORÁN, 2015).

3.3 Marco conceptual

3.3.1 Consistencia

La consistencia es el nivel de deformación que presentan los fluidos cuando son sometidos a un esfuerzo cortante. Dicho término representa, principalmente, a la viscosidad del material de partículas insolubles en un líquido y es una característica propia de fluidez.

3.3.2 Fluido

Es una sustancia que se deforma constantemente (fluye), cuando se le aplica una tensión tangencial, por muy mínima que sea.

3.3.3 Reología

Es la ciencia que se dedica al estudio de la deformación y el flujo de los materiales. A la vez, se puede utilizar para describir la consistencia o viscosidad de distintos fluidos.

3.3.4 Tamaño de partículas

El tamaño de partículas significa que las partículas de un conjunto tienen diferentes tamaños, es una noción introducida para comparar las dimensiones sólidas, lo cual se define cuantitativamente por su diámetro.



3.3.5 Viscosidad

Es una propiedad física que caracteriza a todos los fluidos, la cual surge del encuentro de las partículas del fluido que se mueven a varias y diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento del mismo.



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación, según la naturaleza de los datos es de tipo cuantitativo y según los factores de estudio es de tipo descriptivo (observacional).

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, porque no existe manipulación de variables por parte del investigador.

4.3 Ética en la investigación

No corresponde por que no involucra el uso de animales, humanos, frutos silvestres y plantas

4.4 Población y muestra

Se ha identificado un puesto de venta de harina precocida de siete semillas (maíz, arveja, haba, cebada, trigo, quinua y kiwicha) del mercado central de la provincia de Andahuaylas. El producto estuvo envasado en sacos de 50 kg en forma individual. A partir de ello, las muestras fueron obtenidas a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, representado por un (1kg) de cada uno de los componentes y (1kg) de la mezcla.

4.5 Procedimiento de acondicionamiento de la muestra obtenida

Las muestras obtenidas fueron envasadas en envases de plástico (en forma individual), luego fueron transportados al laboratorio de Operaciones Unitarias y de Procesamiento de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. En seguida, fueron determinadas las características de tamaño de partículas y propiedades de consistencia.



4.6 Técnicas e instrumentos

a) Determinación de la distribución del tamaño de partículas

Setenta gramos (70 g) de cada harina (haba, arveja, trigo, cebada, kiwicha, maíz, quinua y la mezcla), además de un producto comercial, fueron sometidos en el juego de tamices WS Tyler, mediante el agitador eléctrico durante 10 minutos, usando los tamices de 0.5 mm (N° de malla:35), 0.18 mm (N° de malla:80), 0.15 mm (N° de malla:100), 0.09 mm (N° de malla:170), 0.075 mm (N° de malla:200), 0.063 mm (N° de malla:230) y 0.038 mm (N° de malla: 400). Luego se registró el peso de la harina acumulada en cada tamiz. El diámetro medio de la partícula (D_{mp}) de cada harina fue calculado mediante la ecuación (3) (PENELLA, 2008).

$$D_{mp} = \Sigma (D_{mi}\%R)/100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde D_{mi} , es el diámetro de malla i (μm); y $\%R$, es el porcentaje relativo del peso retenido en la malla i .

Al mismo tiempo, la distribución del tamaño de partículas fue representada a través de los siguientes gráficos (Figura 2):

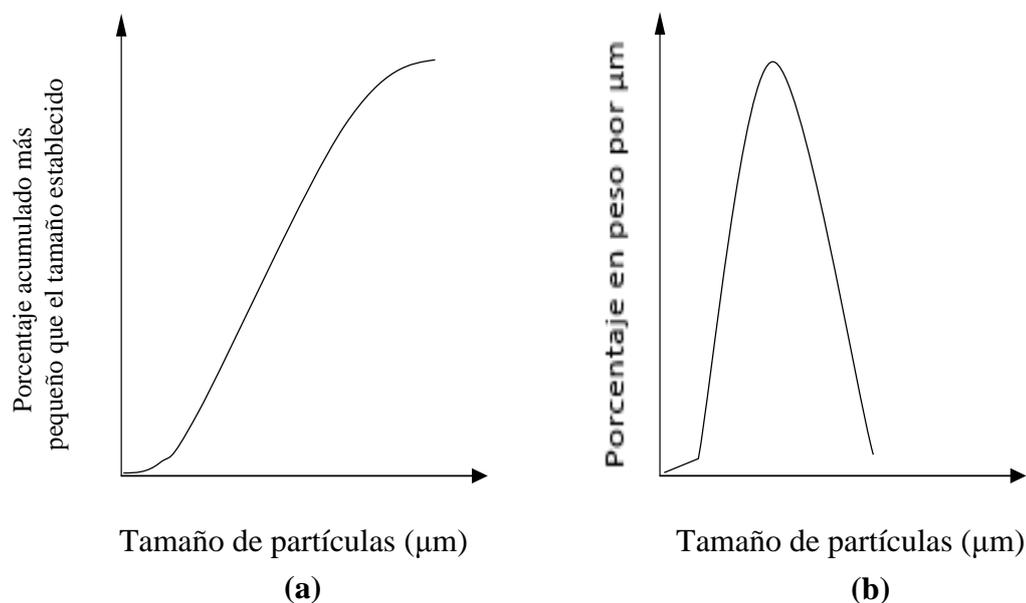


Figura 2 – Gráficos de distribución de tamaño de partículas (GEANKOPLIS, 2004).

a) Porcentaje acumulado en función del tamaño de las partículas, b) Porcentaje en peso en función del tamaño de las partículas.

Una vez obtenido los datos del peso retenido en cada uno de los tamices, se calculó el porcentaje retenido mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \text{Peso retenido} / \Sigma \text{ peso retenido} * 100$$

A partir de estos datos obtenidos de porcentaje retenido, también se calculó el porcentaje acumulado utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Acumulado \%} = \% \text{ retenido} + \% \text{ acumulado inicial (GEANKOPLIS, 2004).}$$

Finalmente se realizó las gráficas de distribución de tamaño de partículas, con los datos obtenidos en la Tabla 3 y las gráficas se muestran en la Fig 5.

b) Características de consistencia de la mezcla de siete harinas y sus componentes

La determinación de las características de consistencia se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAMBA, mediante el uso del Reómetro Brookfield DV3T. Para ello se tomó 30 g de cada harina y diluidas en 600 ml de agua, para su cocción (a temperatura de ebullición) y enfriado a temperatura ambiente.

Para la identificación del tipo de fluido, los datos obtenidos en el reómetro fueron representados en la Fig. 3.



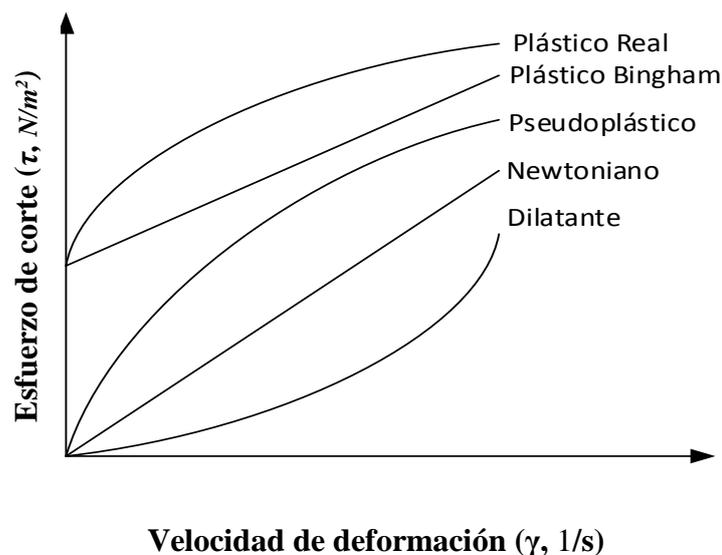


Figura 3 – Curvas reológicas para la identificación del tipo de fluido (AGUADO *et al.*, 2009)

Una vez graficado los resultados en la Fig. 3, fue identificado la ecuación (4 - 6) que mejor describe el comportamiento del fluido (harina y la mezcla disuelta en agua) a través del valor del coeficiente de determinación (r^2).

Fórmulas

$$\tau = \mu\gamma: \text{Modelo de Newton} \qquad \text{Ecuación (4)}$$

$$\tau = k\gamma^n: \text{Modelo Ostwald de waele} \qquad \text{Ecuación (5)}$$

$$\tau = \tau_c + k\gamma^n: \text{Modelo Herschel-Bulkley} \qquad \text{Ecuación (6)}$$

Donde τ , es el esfuerzo de corte (N/m^2); μ , viscosidad ($Pa.s$); γ , velocidad de deformación ($1/s$); k , índice de consistencia ($Pa.s^n$); n , índice de comportamiento (adimensional); τ_c , tensión crítica (N/m^2).

Una vez obtenido los datos de viscosidad, esfuerzo de corte (τ) y velocidad de deformación (γ) en el reómetro, el valor de esfuerzo de corte resulta en unidades de ($dyne/cm^2$), entonces se debe convertir en (N/m^2), para cual se sabe $1dyne/cm^2$ es igual a $0.1N/m^2$, entonces se multiplica los valores de esfuerzo de corte por $0.1N/m^2$.

Seguidamente para hallar los valores de n y k , se linealiza la ecuación 5, utilizando logaritmos tal como se muestra a continuación.

$$\tau = k\gamma^n$$

$$\tau = \log k + n \log \gamma$$

Entonces hallamos el logaritmo del valor de esfuerzo de corte y velocidad de deformación, a partir de los nuevos datos obtenidos se realizó las gráficas en hojas de cálculo Excel para la identificación del tipo de fluido.

Una vez obtenida la gráfica, se aplica la siguiente ecuación lineal

$$\tau = \log k + n \log \gamma$$

$$Y = a + bx$$

Donde a es igual a $\log k$ y bx es igual a $n \log \gamma$; sabiendo esto, tenemos el siguiente ejemplo:

$$Y = 0.2498x + 0.3503$$

$$R^2 = 0.9989$$

Considerando el ejemplo, el valor de n será 0.2498 y el valor de k será el antilogaritmo de 0.3503. Teniendo estos valores se reemplaza en la ecuación general.

Además; si n es mayor que 1, el fluido es de tipo dilatante y si n es menor que 1, el fluido es de tipo pseudoplástico.

Sabiendo todo esto, se identificó el tipo de fluido para cada uno de las harinas, tal como se muestra en la Tabla 4 y Fig 7.

Para el estudio de la viscosidad o viscosidad aparente en función al tiempo fue identificado mediante el uso de la Fig. (4).

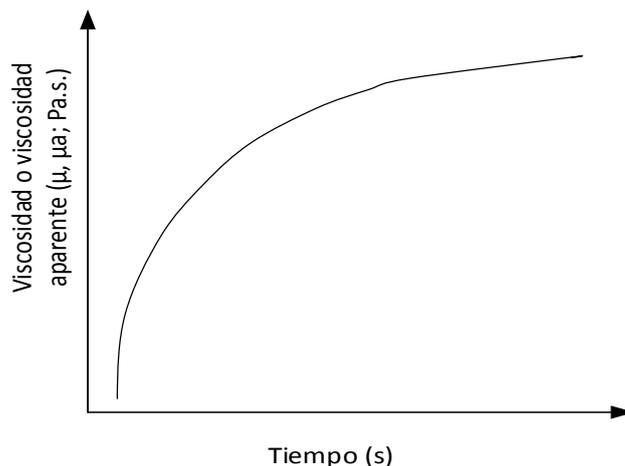


Figura 4 – Gráfica para la viscosidad en función al tiempo (AGUADO *et al.*, 2009)

Para la determinación de la viscosidad en función a la concentración de sólidos, se utilizaron las ecuaciones **9** y **10**. Lo cual se determinó en 4 concentraciones de 20 g, 25 g, 30 g y 35 g de muestra de cada harina, diluidas en 600 ml de agua; cocidas a temperatura de ebullición y enfriadas a temperatura del medio ambiente.

Fórmulas

$$\mu = B_1(C)^{A_1}; \text{ modelo potencial} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$\mu = B_2(e)^{CA_2}; \text{ modelo exponencial} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$\text{Log}\mu = \text{Log}B_1 + A_1(\text{log } C) \quad \text{Ecuación (11)}$$

$$\text{Log}\mu = \text{Log}B_2 + \frac{A_2}{2.3}(C) \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde μ , es la viscosidad o viscosidad aparente; B_1 , B_2 , A_1 y A_2 son las constantes del modelo potencial y exponencial, respectivamente y C , es la concentración de sólidos (g/l).

4.7 Estadístico de investigación

Para el estudio del tamaño de partículas se utilizó la estadística descriptiva (promedio, tabla de frecuencia o distribución de frecuencias y el diagrama de barras). Para la investigación de las propiedades reológicas, se utilizó la hoja de cálculo Excel.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Resultados de las características físicas (tamaño de partículas)

En la Tabla 3, se puede observar la distribución de tamaño de partículas de la mezcla de siete harinas, de cada uno de sus componentes (maíz, kiwicha, arveja, trigo, haba, cebada, quinua) y del producto comercial; a través de las mallas 35, 80, 100, 170, 200, 230, y 400. Se representan gráficamente el número de malla en relación al peso retenido y el porcentaje acumulado, tal como se muestra en las Fig. 6. Al mismo tiempo, en la Fig. 7, se representa el diámetro medio del tamaño de partículas de la mezcla y sus componentes.



Tabla 3 – Distribución de tamaño de partículas de la mezcla de siete harinas, componentes individuales y producto comercial

Abertura del tamiz	Mezcla		Maíz		Kiwicha		Arveja		Trigo		Haba		Cebada		Quinoa		Producto comercial	
	Peso retenido (g)	Acumulado (%)	Peso retenido (g)	Acumulado (%)														
35 (0.500 mm)	12.78	19.33	39.82	53.69	9.98	14.16	9.98	0.45	0.38	0.56	0.22	0.34	0.06	0.09	0.16	0.23	4.52	6.62
80 (0.180 mm)	21.62	52.02	32.65	97.70	43.93	76.52	43.93	18.14	16.26	24.28	10.90	16.86	12.93	18.95	26.05	38.60	23.77	41.42
100 (0.150 mm)	24.31	88.78	1.39	99.80	14.87	97.63	14.87	27.29	18.34	51.03	9.35	31.03	16.97	43.71	23.58	73.33	21.57	73.01
170 (0.090 mm)	3.76	94.46	0.31	100.00	1.35	99.55	1.35	48.50	17.79	76.97	27.41	72.59	19.73	72.50	14.46	94.64	14.22	93.84
200 (0.075 mm)	1.77	97.13			0.32	100.00	0.32	85.93	13.85	97.18	14.97	95.29	13.96	92.86	3.15	99.28	3.37	98.77
230 (0.063 mm)	1.65	99.63					9.98	95.31	1.94	100.00	1.98	98.30	2.97	97.20	0.49	100.00	0.67	99.76
400 (0.038 mm)	0.24	100.00					43.93	100.00			1.12	100.00	1.92	100.00			0.17	100.00

Peso retenido: la cantidad retenida en cada uno de los tamices

% retenido: peso retenido / Σ peso retenido * 100

Acumulado %: % retenido + % acumulado inicial



En la **Fig. 5 (a)**, se puede observar que las mallas 100, 80 y 35 son las que acumulan la mayor cantidad de peso de la mezcla de siete harinas (ulpada) en el orden de 24.31, 21.62 y 12.78 g, respectivamente, cuya suma de estos valores representa el 88.78%; en cambio, el peso retenido en las mallas 170, 200, 230 y 400, solo representa el 11.22%. Además, el diámetro medio del tamaño de partículas de las siete harinas (**Fig. 6**) es de 0.22 mm, el mismo que se puede considerar como partículas gruesas. Para la harina de kiwicha (**c**) se tiene una distribución de partículas similar a la mezcla de siete harinas, puesto que las mallas 100, 80 y 35 acumulan el 97.63% de peso y con un diámetro medio de 0.22 mm.

En la **Fig. 5 (b)** se observa que las mallas 35 y 80 (harina de maíz) acumulan la mayor cantidad de peso con valores de 39.82 y 32.65g respectivamente; las que representan el 97.70%; en cambio las mallas 100 y 170 sólo representa el 2.3%; mientras que las mallas 200, 230 y 400 no acumulan ninguna cantidad de harina. Además, el diámetro medio del tamaño de partículas de la harina de maíz (**Fig. 6**) es de 0.35 mm, por lo tanto, se puede considerar como partículas más gruesas que las demás harinas.

En la **Fig. 5 (d)** la harina de arveja tiene el mayor peso acumulado en las mallas 170 y 200 en el orden de 13.96 y 24.64g cuya suma de estos valores representa el 85.93%; en cambio el peso retenido en las mallas 35, 80, 100, 230 y 400 representa solo el 14.07%. En la **Fig. 5 (e)** se puede apreciar que las mallas 80, 100, 170 y 200 acumulan la mayor cantidad de la harina de trigo con valores de 16.26, 18.34, 17.79 y 13.85 g respectivamente, la que representa el 76.97 % y las mallas 35 y 230 representa solo el 23.03 %. En **Fig. 5 (f)** se observa que la harina de haba es acumulada la mayor cantidad de peso en las mallas 170 y 200 en el orden de 27.41 y 14.97g cuya suma de valores representa el 72.59 %; mientras tanto, en las mallas 35, 80, 100, 230 y 400 se acumula solo el 27.41 %. En la **Fig. 5 (g)** se tiene la mayor cantidad de harina de cebada acumulada en las mallas 100 y 170 con valores de 16.97 y 19.73 g, las cuales representan el 72.50 %; en cambio, las mallas 35, 80, 200, 230 y 400 representa el 27.5%. En la **Fig. 5 (h, i)** la harina de quinua y producto comercial se acumulan la mayor cantidad de peso en las mallas 80 y 100 en el orden de 26.05 y 23.58 g (quinua); y 23.77 y 21.57 g (producto comercial), cuya suma de valores representan el 73 %, mientras que las mallas 35, 170, 200, 230 y 400 representa solo el 27 %.

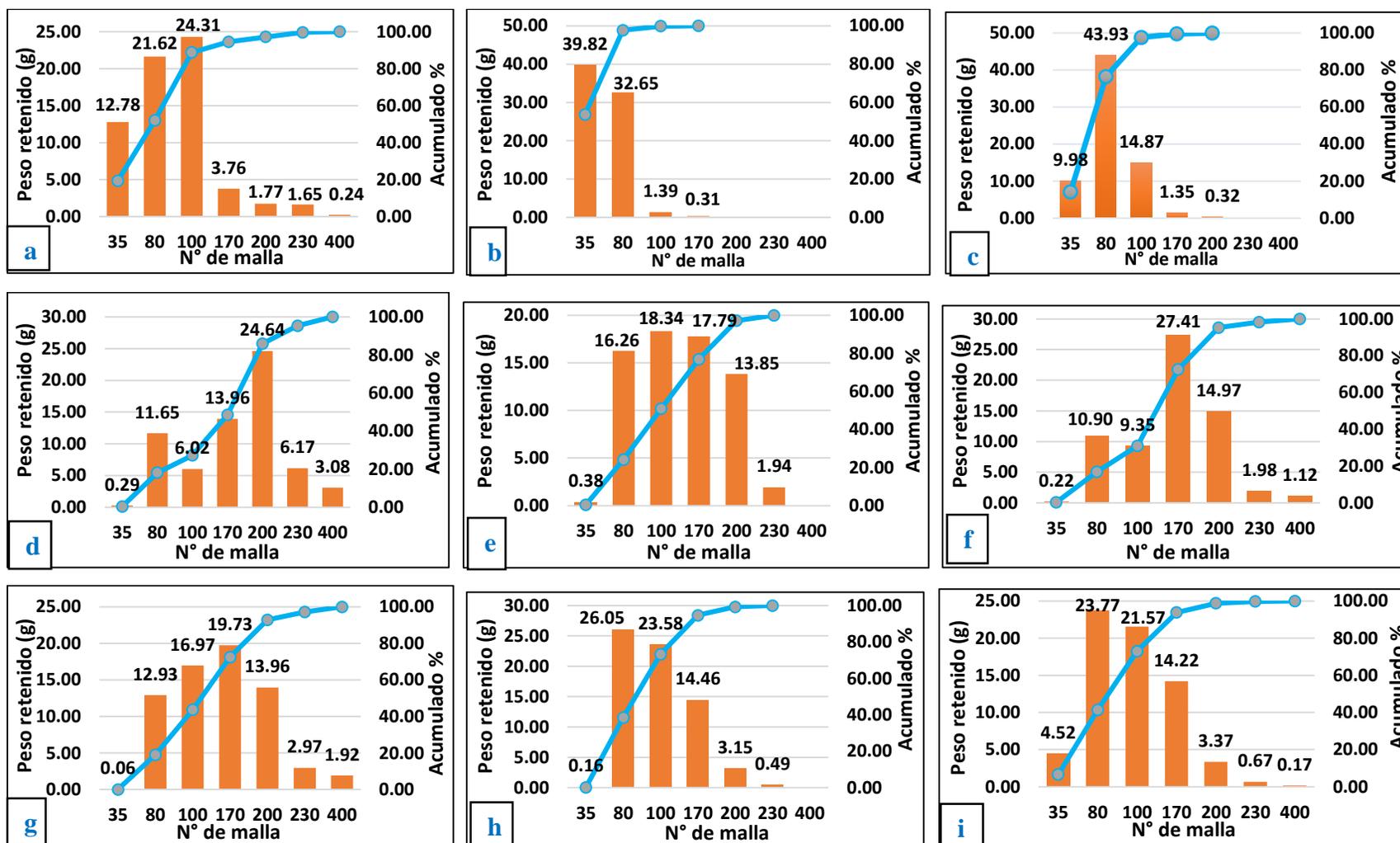


Figura 5 – Gráficos de distribución de tamaño de partículas

a) Mezcla de siete harinas, b) Harina de maíz, c) Harina de kiwicha, d) Harina de arveja, e) Harina de trigo, f) Harina de haba, g) Harina de cebada, h) Harina de quinua, i) Producto comercial.

En la Fig. 6, se puede observar el diámetro medio de la mezcla de siete harinas y sus componentes, donde la harina de maíz presenta el mayor diámetro de 0.35 mm, la harina de kiwicha y la mezcla presentan el mismo valor de diámetro 0.22 mm y los que presentan menor diámetro son las harinas de arveja y haba con diámetros de 0.10 y 0.11 respectivamente.

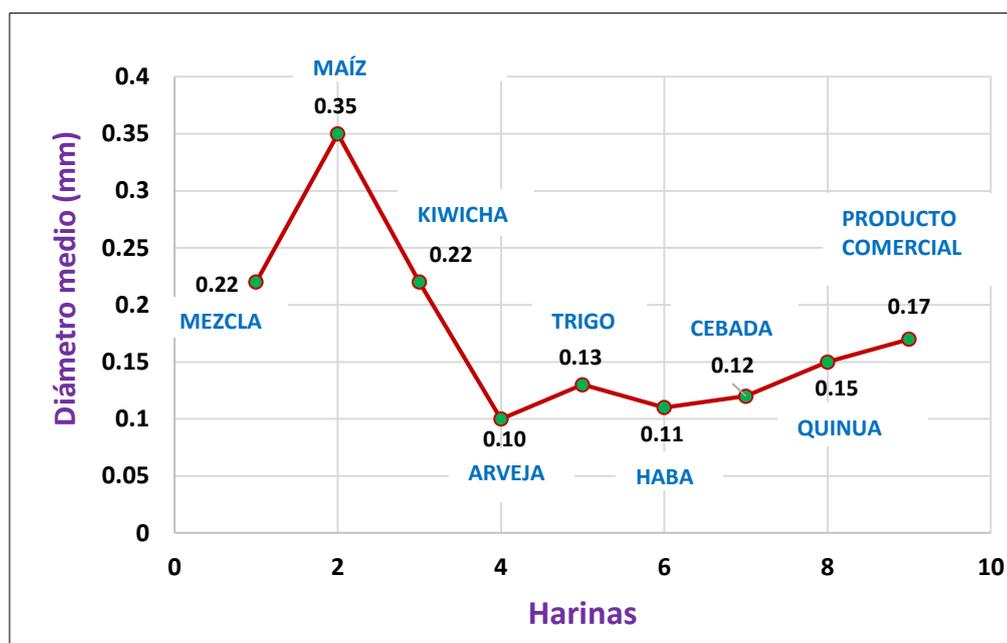


Figura 6 – Diámetro medio de partículas de las harinas

5.1.2 Resultados de características físicas (consistencia)

a) Determinación de tipo de fluido

En la Fig. 7, se puede observar las curvas de comportamiento reológico de la mezcla de siete harinas y de cada uno de sus componentes en forma individual (disueltas en agua), sometidas a temperatura de ebullición, enfriadas a temperatura del medio ambiente.

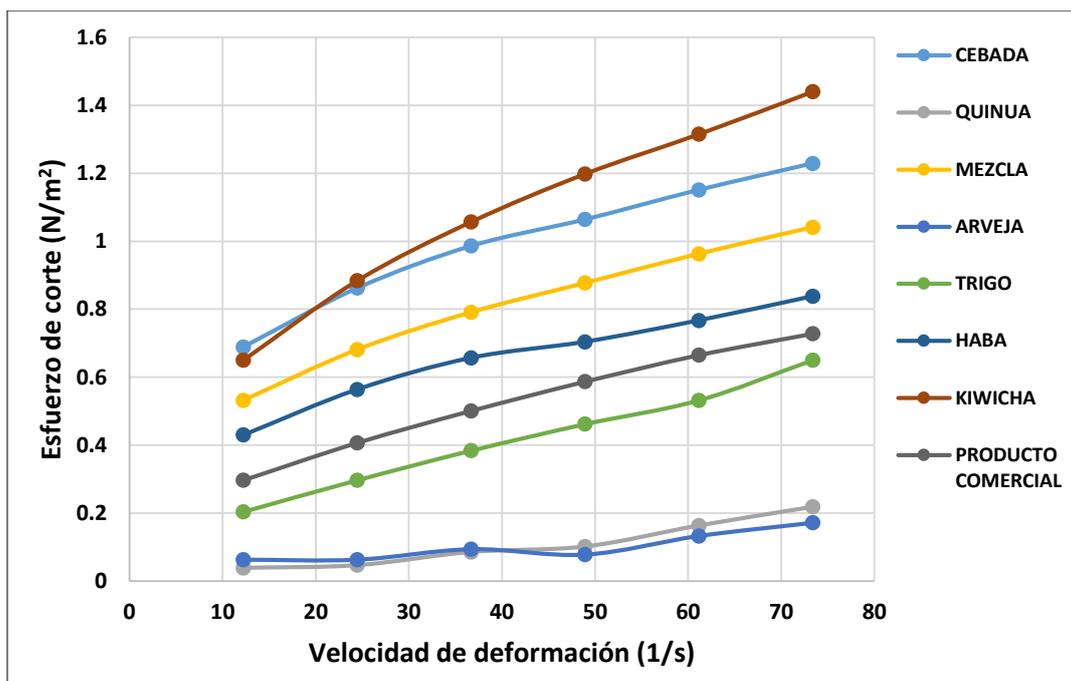


Figura 7 – Curvas de comportamiento reológico en función al esfuerzo de corte

En la Fig. 8, se puede observar la curva de comportamiento reológico de la harina de maíz (disuelta en agua), sometida a temperatura de ebullición, enfiada a temperatura del medio ambiente.

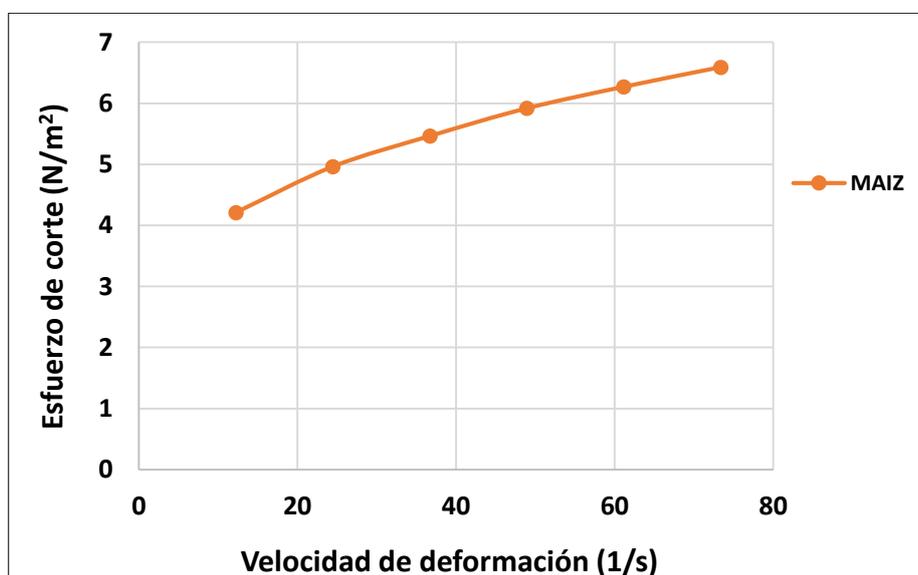


Figura 8 – Curva de comportamiento reológico en función al esfuerzo de corte de harina de maíz

En la Tabla. 4, se puede observar que, en todos los casos se ha identificado que se trata de un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico ($n < 1$) con valor del índice de comportamiento que varían desde 0.27 a 0.98. Por otro lado, todas las muestras obedecen el modelo de Ostwald de Waele con valor superior al 99% del coeficiente de determinación, a excepción de las muestras de quinua y arveja con 0.91 y 0.70 %, respectivamente de coeficiente de determinación. En cambio, la muestra del maíz obedece el modelo de Hershel Bulkley (con tensión crítica), con un valor superior al 0.99 % de coeficiente de determinación. Por otro lado, la muestra que tiene el mayor índice de consistencia (k) es el maíz con el valor de 3.65 Pa.sⁿ y con el menor índice de consistencia fue para la muestra de quinua con el valor de 0.077 Pa.sⁿ.

Tabla 4 – Parámetros y ecuación reológica de las siete harinas

Harina precocida	Parámetros reológicos			R ²	Ecuación reológica	μ_a (cP) a 30 rpm
	τ_c (N/m ²)	n	k (Pa.s ⁿ)			
Cebada		0.32	0.601	0.9993	$\tau = 0.601\gamma^{0.32}$	51.83
Maíz	3.48	0.27	3.65	0.9991	$\tau = 3.48 + 3.65\gamma^{0.27}$	102.02
Quinua		0.98	0.077	0.9124	$\tau = 0.077\gamma^{0.98}$	70.39
Arveja		0.52	0.158	0.7096	$\tau = 0.158\gamma^{0.52}$	28.18
Trigo		0.63	0.249	0.9914	$\tau = 0.249\gamma^{0.63}$	65.74
Haba		0.36	0.469	0.9963	$\tau = 0.469\gamma^{0.36}$	47.14
Kiwicha		0.44	0.513	0.9999	$\tau = 0.513\gamma^{0.44}$	68.56
P. Comercial		0.50	0.338	0.9982	$\tau = 0.338\gamma^{0.50}$	56.83
Mezcla (ulpada)		0.37	0.506	0.999	$\tau = 0.506\gamma^{0.37}$	52.69

n , índice de comportamiento; k , índice de consistencia; R^2 , coeficiente de determinación; τ_c , tensión crítica; μ_a , viscosidad aparente tomada en forma arbitraria a 30 rpm.

b) Determinación de la viscosidad de la mezcla de siete harinas y sus componentes en función al tiempo

En la Fig. 9, se puede observar la curva de viscosidad de la mezcla de harina de maíz, disuelta en agua, en función al tiempo. En este caso, se ha identificado que se trata de un fluido reopéctico, porque la viscosidad aumenta con el tiempo de agitación, a la vez la mezcla de la harina de maíz presenta mayores valores de viscosidad.

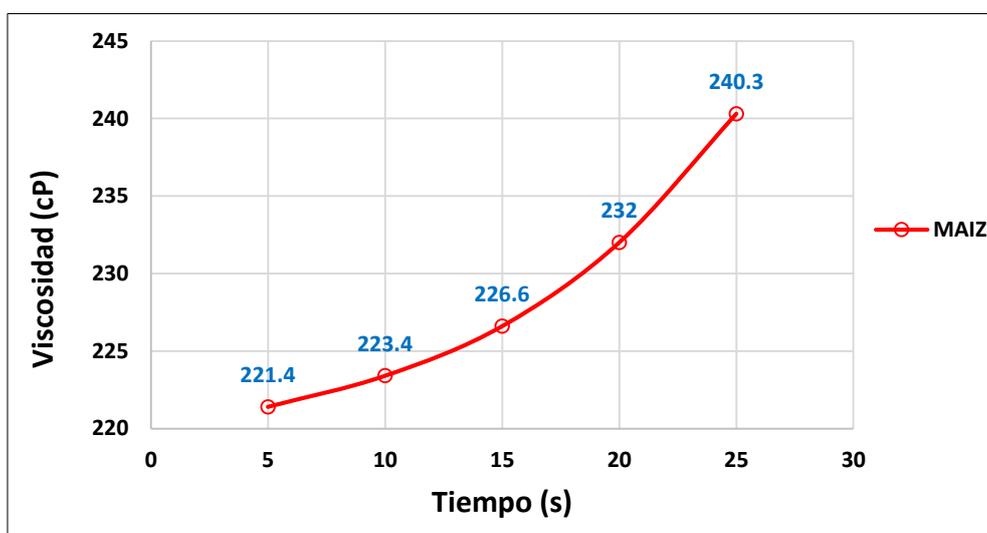


Figura 9 – Curva de viscosidad de harina de maíz en función al tiempo

En la Fig. 10, se puede observar las curvas de viscosidad de la mezcla de siete harinas y cada uno de sus componentes (arveja, trigo, cebada, quinua, haba, kiwicha) y del producto comercial, disueltas en agua en forma individual, en función al tiempo. Para todos los casos se ha identificado que se trata de fluidos reopécticos, porque la viscosidad aumenta con el tiempo de agitación, siendo la mezcla de harina de quinua la que presenta menores valores de viscosidad.

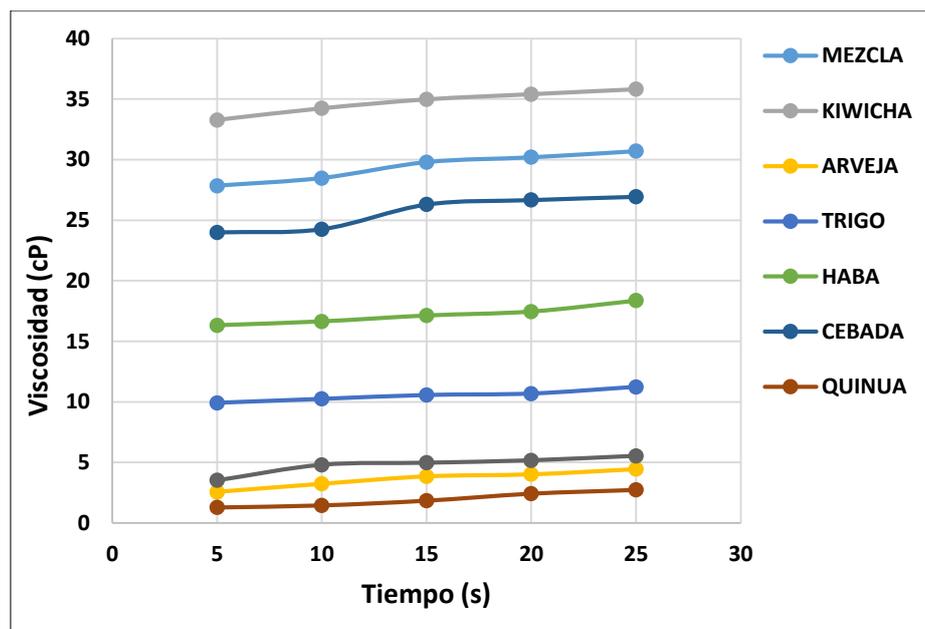


Figura 10 – Curva de viscosidad de las siete harinas en función al tiempo

c) Determinación de la viscosidad de la mezcla de siete harinas y sus componentes en función de la concentración de sólidos

En la Tabla 5, se puede apreciar la viscosidad en función a la concentración de sólidos de la mezcla de siete harinas y cada uno de sus componentes en forma individual. Donde la harina de maíz presenta mayores valores de viscosidad y la harina de quinua presenta menores valores de viscosidad. Además, la mezcla de siete harinas, la harina de cebada y el producto comercial obedecen al modelo potencial con valores de coeficiente de determinación de 0.99, 0.85 y 0.96 % respectivamente. Por otro lado, la harina de maíz, arveja, trigo, haba, kiwicha y quinua obedecen al modelo exponencial con 0.99, 0.16, 0.82, 0.79, 0.84 y 0.88 % de coeficiente de determinación respectivamente. También se observa que la viscosidad aumenta a medida que la concentración aumenta. Cuyas viscosidades fueron determinadas a 10 rpm.



Tabla 5 – Viscosidad en función a la concentración de sólidos

Harinas precocidas	C (g/ml)	Viscosidad aparente (cP)	Modelo matemático y constantes (Ibarz, 2005)				Modelo seleccionado
			Potencial: $\mu_A = B_1(C)^{A_1}$	R ²	Exponencial: $\mu_A = B_2e^{CA_2}$	R ²	
Mezcla de siete harinas	0.033	8.24	B ₁ = 2.75	0.99	B ₂ = 0.21	0.98	$\mu_A = 2.75(C)^{1.41}$
	0.041	11.68	A ₁ = 1.41		A ₂ = 31.66		
	0.050	14.68					
	0.058	18.57					
Cebada	0.033	11.62	B ₁ = 2.35	0.85	B ₂ = 0.27	0.84	$\mu_A = 2.35(C)^{1.19}$
	0.041	17.34	A ₁ = 1.19		A ₂ = 26.82		
	0.050	18.13					
	0.058	25.20					
Maíz	0.033	15.31	B ₁ = 101.59	0.98	B ₂ = 0.13	0.99	$\mu_A = 0.13e^{83.72C}$
	0.041	26.88	A ₁ = 3.70		A ₂ = 83.72		
	0.050	65.28					
	0.058	118.62					
Arveja	0.033	9.02	B ₁ = 0.24	0.12	B ₂ = 0.43	0.16	$\mu_A = 0.43e^{-8.67C}$
	0.041	13.74	A ₁ = -0.32		A ₂ = -8.67		
	0.050	9.62					
	0.058	8.03					
Trigo	0.033	9.08	B ₁ = 1.08	0.78	B ₂ = 0.27	0.82	$\mu_A = 0.27e^{17.73C}$
	0.041	10.40	A ₁ = 0.76		A ₂ = 17.73		
	0.050	10.53					
	0.058	14.93					
Haba	0.033	8.70	B ₁ = 5.87	0.77	B ₂ = 0.17	0.79	$\mu_A = 0.17e^{44.72C}$
	0.041	7.89	A ₁ = 1.96		A ₂ = 44.72		
	0.050	21.04					
	0.058	21.63					
Kiwicha	0.033	12.33	B ₁ = 3.19	0.78	B ₂ = 0.23	0.84	$\mu_A = 0.23e^{33.83C}$
	0.041	11.56	A ₁ = 1.44		A ₂ = 33.83		
	0.050	17.51					
	0.058	27.63					
Producto comercial	0.033	8.45	B ₁ = 2.69	0.96	B ₂ = 0.22	0.95	$\mu_A = 2.69(C)^{1.39}$
	0.041	12.63	A ₁ = 1.39		A ₂ = 31.09		
	0.050	14.29					
	0.058	19.46					
Quinua	0.033	6.37	B ₁ = 0.67	0.82	B ₂ = 0.25	0.88	$\mu_A = 0.25e^{12.98C}$
	0.041	6.45	A ₁ = 0.56		A ₂ = 12.98		
	0.050	7.26					
	0.058	8.81					

Dónde: **0.033 g/ml** = 20g de harina precocida en 600 ml de agua; **0.041 g/ml** = 25g de harina precocida en 600 ml de agua; **0.050 g/ml** = 30g de harina precocida en 600 ml de agua; **0.058 g/ml** = 35g de harina precocida en 600 ml de agua.

C = concentración

5.2 Contratación de hipótesis

No corresponde a la presente investigación.

5.3 Discusión

5.3.1 Sobre la distribución de tamaño de partículas y diámetro medio de la mezcla de siete harinas y sus componentes

Según la investigación realizada por VÁSQUEZ *et al.*, (2016), señala que el tamaño de partículas de las harinas depende de los factores de la clase de semilla, la dureza y el tipo y el tiempo de molienda; siendo para el presente trabajo el maíz con el mayor diámetro medio (0.35 mm), seguido de las siete harinas (7H) y la kiwicha (0.22 mm); en cambio, las harinas de arveja (0.10 mm) y haba (0.11 mm) presentaron el menor tamaño de partículas. Por otro lado, si bien es cierto que no existe información respecto a la distribución de partículas de las harinas de semillas precocidas; sin embargo; AHMED *et al.*, (2019), señala que la harina de quinua (sin cocer) está distribuida en un 95.66% entre las mallas N°s 100 y 50 equivalente a 150 y 300 μm de diámetro, respectivamente; estos valores coinciden con los resultados del presente trabajo de investigación. En otro trabajo de investigación sobre la harina integral de trigo LIU (2016), se ha identificado 128.6 μm de diámetro medio en una primera etapa de molienda; sin embargo, este valor fue reduciendo con moliendas repetidas hasta por cinco veces, llegando a 102.4 μm .

Se debe puntualizar que las harinas precocidas provenientes de las legumbres (habas y arveja), son las que presentan el menor tamaño de partículas con respecto a los cereales (maíz, cebada y trigo) y los pseudocereales (quinua y kiwicha). Al respecto INDIRA *et al.*, (2006), señalan que la distribución y el tamaño de partículas de muestras molidas dependen en gran medida de sus propiedades inherentes de la semilla. En efecto, los dos componentes que marcan la diferencia entre una legumbre y los cereales son el contenido de proteínas y carbohidratos. Por ejemplo, las habas y arvejas contienen 23.80 y 19.9 % respectivamente de proteínas, con respecto al maíz y la kiwicha que contienen el 8.7 % y 12.2 % respectivamente de proteínas. Estas diferencias también se observan en el contenido de carbohidratos y por consiguiente en el contenido de almidones REYES *et al.*, (2017). La formación de partículas más



pequeñas en la harina de las legumbres puede ser debido a la facilidad en la desintegración de las proteínas de los gránulos de almidón, puesto que durante la molienda se produce líneas débiles en el tejido celular, VITELLI (2020). En cambio, en los cereales debido a su alto contenido de almidón y bajo en proteínas, se reduce la eficiencia de la fractura durante la molienda; sin embargo, se requiere mayores estudios relacionados con estos dos grupos de semillas.

Otro hecho importante a destacar es el diámetro medio de las partículas (D_{mp}) de las harinas precocidas en estudio. Por ejemplo, el maíz, la mezcla de siete harinas (7H), kiwicha y quinua con D_{mp} de 350, 220, 220 y 150 μm , respectivamente; se categorizan como partículas gruesas; en cambio, las que provienen de arveja, haba, trigo y cebada con D_{mp} de 100, 110, 130 y 150 μm , respectivamente, como partículas finas (Fig. 6). Esto, en concordancia con el trabajo de investigación realizada por KIM *et al.*, (2019), sobre la clasificación de granulometría de la harina de torta de soya desgrasada (partículas gruesas: > 150 μm , partículas finas: de 63 a 150 μm y partículas superfinas: < 63 μm). Por consiguiente; en la etapa de la molienda de cada una de las semillas precocidas (especialmente el maíz, la kiwicha y la quinua), se debe recomendar moliendas repetidas para obtener partículas finas o muy finas tal como propone LIU (2016). La importancia de contar con partículas finas radica en las ventajas que tiene en las propiedades físicas, funcionales y nutricionales; por ejemplo, en la extracción de compuestos fenólicos totales (CFT) de la harina de quinua hubo mejoras significativas, pasando de 0,75 mg AGE/g m.s., a 2,74 AGE/g m.s. al reducir de 500 μm (malla N° 30) a 75 μm (malla N° 200). Efecto similar se tuvo para la capacidad antioxidante por el método DPPH, AHMED *et al.*, (2019). Por otro lado, el índice de solubilidad en agua (ISA) de la harina de arveja fue mejorando desde 9.8 g/100 g hasta 17.8 g/100 g y la digestibilidad *in vitro* del almidón desde 2.6 hasta 4.1 g/100 g de almidón ante un cambio de tamaño de partículas desde 1730 μm hasta 300 μm ; aunque en este estudio no se pudo demostrar efectos significativos en la digestibilidad *in vitro* de la proteína NGUYEN *et al.*, (2015). La viscosidad podría también afectado positivamente debido a la liberación de los β -glucanos de las paredes celulares dependiendo de su grado de molienda y el tamaño de partículas.



5.3.2 Sobre las propiedades reológicas de la mezcla de siete harinas y sus componentes

De los resultados obtenidos, es importante señalar que en todos los casos existe una disminución de la viscosidad con el incremento el esfuerzo de corte; es decir, el rompimiento del almidón gelatinizado es mayor que el reordenamiento de las moléculas del almidón, debido a la ruptura de los puentes de hidrógeno formados en la estructura amilosa-amilopectina-agua VASQUEZ *et al.*, (2016).

Por otro lado, se ha identificado que el desayuno preparado con la harina precocida de maíz es la que presenta la mayor viscosidad aparente ($\mu_a = 102.02 \text{ cP}$); por consiguiente, es el insumo que contribuye sustancialmente con la viscosidad del desayuno. En cambio, la quinua y arveja con el menor índice de consistencia (0.077 y 0.158 Pa.sⁿ, respectivamente) y con viscosidades aparente (70.39 y 28.18 cP respectivamente), tienen las menores contribuciones en la viscosidad del desayuno.

El valor alto de la viscosidad del desayuno preparado a base de la harina precocida de maíz se puede relacionar con su alto contenido de los carbohidratos (82.1 %) y bajo en proteínas (7.2 %) con respecto a las harinas de arveja y habas cuyos valores de los carbohidratos están en el orden de 64.4 y 64.6 %, respectivamente y 21.6 y 22.4 % de proteínas REYES *et al.*, (2017); siendo estas últimas con bajas viscosidades. Dentro de los carbohidratos, el almidón compuesto por los polisacáridos de amilosa y la amilopectina son las que tienen una influencia sobre las propiedades de consistencia, TANSRIANUGUL *et al.*, (2019).



5.3.3 Sobre la consistencia de la mezcla de siete harinas y sus componentes en función al tiempo

En la presente investigación, los resultados de la consistencia en función al tiempo, se identificó que se trata de fluidos reopécticos en todos los casos (maíz, trigo, cebada, haba, kiwicha, quinua y arveja) porque la viscosidad incrementa a medida que el tiempo aumenta, siendo la mezcla de harina de maíz la que presenta mayores valores de viscosidad en comparación con las demás mezclas de harinas, esto debido a su alto contenido de almidón en concordancia con lo que indica SÁNCHEZ (2017) que en los fluidos reopécticos la variable η tiene un incremento con la velocidad de deformación, similarmente a la de un fluido dilatante en su fase inicial de deformación hasta alcanzar un valor límite donde τ comienza a disminuir con γ .

5.3.4 Sobre la consistencia de la mezcla de siete harinas y sus componentes en función a la concentración de sólidos

Se realizaron estudios sobre el efecto de las concentraciones sobre la viscosidad en el jugo de beterraga (*Beta vulgaris*), cuyos resultados indican que en el rango de 50 a 60 °Brix (sólidos solubles), tiene un promedio de 5.2 cP de viscosidad y cuando la concentración incrementa a 67.1 °Brix, la viscosidad es de 340 cP (6438.46 % de incremento), en todos ellos sugieren que el modelo que mejor describe el comportamiento de la concentración de sólidos y la viscosidad es principalmente la ecuación exponencial aunque en algunos casos fue el modelo potencial, JUSZCZAK *et al.*, (2010) tal como se tuvo en los resultados para el desayuno en base a diferentes cereales y legumbre. En otro estudio, la biomasa de alga pretratada térmicamente (*Nannochloropsis salina*), se ha identificado que el incremento de la concentración de sólidos de 10.97 % a 21.51 %, tuvo como efecto el incremento de la viscosidad dinámica de 3.104 cP a 18.63 cP (500.95 % de incremento); sin embargo, no precisa la ecuación, SCHENEIDER *et al.*, (2014). No obstante, se debe aclarar que los trabajos reportados por otras fuentes fueron a concentraciones altas y concentraciones bajas para el presente trabajo de investigación (Tabla 5).



Según QUISPE (2015) evaluó el efecto de la concentración sobre el índice de consistencia de la pulpa de cocona a diferentes temperaturas de 20, 30, 40 y 50 °C, utilizando los dos modelos: potencial y exponencial; donde el modelo que mejor describe el efecto de la concentración sobre el índice de consistencia fue: para 20°C el modelo exponencial con un R^2 de 0.8154; para 30°C el modelo exponencial con un R^2 de 0.8016; para 40°C el modelo potencial con un R^2 de 0.9778 y para 50°C el modelo exponencial con un R^2 de 0.9499, en las tres temperaturas fue el modelo exponencial el que mejor describe el efecto de la concentración sobre la consistencia. En la presente investigación, el modelo exponencial es el que mejor describe el efecto de la concentración en función a la viscosidad, para el caso de la harina de maíz, arveja, trigo, haba, kiwicha y quinua, con un R^2 de 0.99, 0.16, 0.82, 0.79, 0.84 y 0.88 respectivamente y el modelo potencial es el que mejor describe para el caso de la harina de cebada, el producto comercial y la mezcla de las siete harinas con un R^2 de 0.85, 0.96 y 0.99 respectivamente.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos y resultados obtenidos en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La harina de maíz es el componente con las partículas más gruesas (diámetro medio: 0.35 mm), acumulados en su mayor porcentaje (97.70%) en las mallas N°s 35, 80 y 100; seguido de la mezcla de siete harinas (ulpada) y kiwicha con partículas medianas (diámetro medio: 0.22 mm); en cambio, las partículas finas corresponden a las fuentes leguminosas (arveja y habas) con un diámetro medio de 0.10 y 0.11 mm, respectivamente, distribuidos en las mallas N°s 170 y 200.
- La mezcla de siete harinas y sus componentes (maíz, kiwicha, arveja, trigo, haba, cebada y quinua) disueltas en agua, sometidas a temperatura de ebullición y enfriadas a temperatura del medio ambiente, presentan un comportamiento de fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico (ecuación de potencia), a excepción de la harina de maíz que ofrece un comportamiento de tipo plástico real (ecuación de Herschel-Bulkley). Por consiguiente, en todos los casos, la viscosidad disminuye con la aplicación de esfuerzo de corte. La harina de maíz es la que presenta la mayor viscosidad aparente (102.02 cP) y la harina de arveja con la menor viscosidad aparente (28.18 cP) en ambos casos a 30 rpm. Así mismo, la mezcla de siete harinas y la mezcla de sus componentes en forma individual (maíz, kiwicha, arveja, trigo, haba, cebada y quinua) incrementan la viscosidad aparente a medida que transcurre el tiempo de agitación (comportamiento reopéctico), siendo el más pronunciado para la harina de maíz. De igual manera, la viscosidad aparente incrementa en función a la concentración de sólidos (harina) a excepción de la harina de arveja que ofrece un comportamiento no definido.



6.2 Recomendaciones

- Es recomendable seguir investigando acerca de las propiedades reológicas de otras harinas de granos o cereales y de diversos productos.
- Es recomendable también efectuar más tiempo en el proceso de tamizado para una mejor distribución de tamaño de partículas.
- Se recomienda realizar más tiempo en el proceso de enfriado de las mezclas de harinas, una vez cocidas, para obtener mayores valores de viscosidad.
- De igual manera, se recomienda utilizar mayor cantidad de harina para la mezcla, lo cual también permitirá obtener mayores valores de viscosidad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUADO, A, et al. Ingeniería de la Industria Alimentaria, Reología. *Editorial Síntesis. Madrid- España, 1999.*Vol.1

AHMED, José, et al. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International, 2009.* Vol.16

ALVARADO, Juan de Dios. Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal. Ambato-Ecuador, 2013.

AYALA, Guido. Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana-Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Peru, 2012.

BENITO, Jorge Amhir. Galletas elaboradas con harina de siete semillas-Universidad San Ignacio de Loyola. Lima-Perú, 2019.

CABALLERO , S. Estudio comparativo de rendimiento de kiwicha (amaranthus caudatus), variedades centenario, oscar blanco, taray en Quitasol (Abancay), supalla (Chapimarca), y ahuanuque (Huancarama), Apurímac-Perú, 2010.

DÍAZ , Raul. Reología aplicada a sistemas alimentarios- Universidad técnica estatal de Quevedo . Ecuador : *Grupo compás*, 2018.

DORÁN, Pauline M. Principios de ingeniería de los bioprocesos. Madrid- España : *Editorial Acribia S.A*, 2015.

DUTTA, Manisha y DAS, Pranati. Formulation and nutritional composition of cereal-pulse based complementary food. 2019. págs. 108-111. Vol.7

ESPINOZA, Clara Raquel. Tecnología de cereales y leguminosas. *Segunda edición*-Perú, 2011.

GALARZA, A. El cultivo de la arveja.Fondo Italo Peruano, cáritas Perú. Huancayo-Perú. *Primera edición*, 2014.



GALLARDO, Marco, et al. Manual técnico del cultivo de maíz. Estado de michoacan-México, 2010.

GARZON, Gloria Astrid. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. Bogotá-Colombia, 2011.

GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias . D.F- México. *Tercera Edición*, 2004.

IBARZ, Alberto y BARBOSA, Gustavo. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Mundi- Prensa Libros, 2005.

INDIRA, Tania, et al. Grinding characteristics of some legumes. *Journal of Food Engineering*, 2006. Vol.7

JACOBSEN, S. Quinoa y su producción en Bolivia de éxito económico o desastre ambiental. Desafíos de la globalización a los sistemas agroalimentarios en América Latina. La Paz- Bolivia, 2010.

JUSZCZAK, L. Effect of temperature and soluble solids content on the viscosity of beetroot (*Beta vulgaris*) juice concentrate. *International Journal of Food Properties*, 2010.

KWASNY, Tatiana, et al. Toward reduced meat consumption: A systematic literature review of intervention effectiveness, 2022. págs. 105-739. Vol. 1

KONG, F. Process of steam explosion assisted superfine grinding on particle size, chemical composition and physico-chemical properties of wheat bran powder. *Powder technology*, 2020. pag. 371-154. Vol.6

KIM, Yesi. Tailoring physical and sensory properties of tofu by the addition of jet-milled, superfine, defatted soybean flour. *Foods*, 2019.

LASCANO, Alejandra Virginia. Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (*Hordeum vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), trigo (*Triticum vulgare*) y tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas. Ambato-Ecuador, 2010.



LIU, Ting. Effects of partide size on the quality attributes of reconstituted whole- wheat flour and tortillas made from it journal of cereal, 2016. págs. 145-152. Vol. 1

LLEMPÉN , Yuliana Ekaterina. Evaluación del comportamiento reológico de las mezclas de harinas: Trigo (*Triticum vulgare*), chía (*Salvia hispanica*) y quinua (*Chenopodium quinoa*), para la utilización en productos de panificación. Piura-Perú, 2020.

MANANGÓN, Pablo Ricardo. Evaluación de siete variedades de trigo (*triticum aestivum*) con tres tipos de manejo nutricional. Quito- Ecuador, 2014.

MANCERO, Eulalia, et al. Proteínas de alta calidad biológico de bajo costo a base de mezclas alimentarias vegetales aminoacídicamente completas valoradas por cómputo aminoacídico. *La ciencia al servicio de la salud*. España, 2019. págs. 193- 201. Vol. 1

MARTÍNEZ, Nuria y CAMACHO, Vidal. Compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud, Madrid - España, 2011.

MÁRQUEZ, Betsy. Cenizas y Grasas-terminología, definiciones y explicaciones. Arequipa-Perú, 2014.

MARQUINA , Eva. Composición nutricional de los cereales. Madrid- España, 2012.

MCABE, Warren L, et al. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. México : *séptima edición*, 2017.

MOTTA, Juliana de Oliveira. Public health risk- benefit assessment of red meat in France: Current consumption and alternative scenarios. *Food and chemical Toxicology*. Francia, 2021. págs. 111-994. Vol.1

MUÑOZ, Victoria y MARTÍNEZ, Agustín. Proteínas y peptidos en nutrición enteral. Madrid-España, 2016.

NGUYEN, G. Dependence of in-vitro starch and protein digestions on particle size of field peas (*Pisum sativum L.*), *Food Science and Technology*, 2015.pág, 541-549.

REYES, M, et al. Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud, 2017.



SCHNEIDER, N. Correlation between viscosity, temperature and total solid content of algal biomass. *Bioresource technology*, 2014. pág. 293-302. Vol 1

TANGSRIANUGUL, N, et al. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International journal of biological macromolecules*, 2019.pág. 666-675.

VÁSQUEZ, F, et al. Effect of low degrees of substitution in wheat flour with sorghum, oat or corn flours on physicochemical properties of composite flours. *Cogent Food & Agriculture*, 2016.

VELÁSQUEZ, F. Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 2018. pág. 189-197.

WANG, Nubat. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread. *LWT-Food Science and Technology*, 2017. pág. 147-153.

ZIENA, Hair. Nutritious novel snacks from some of cereals, legumes and skimmed milk powder. *Applied Food Research*, 2022.



ANEXOS

ANEXO 1— Panel fotográfico de la determinación del tamaño de partículas de la mezcla de siete harinas y cada uno de sus componentes (trigo, maíz, kiwicha, quinua, haba, cebada y arveja).



Figura 11— Muestra de la mezcla de siete harinas y cada uno de sus componentes



Figura 12 — Equipo de tamices WS Tyler

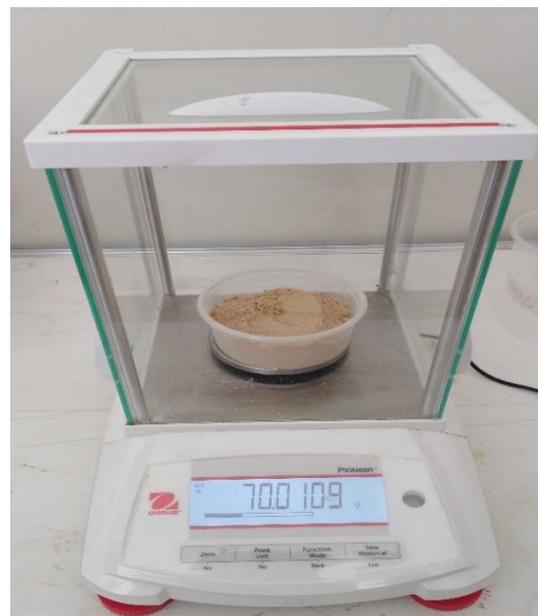


Figura 13 — Pesado de muestra



Figura 14 — Disposición de la harina para el proceso de tamizado



Figura 15 — Proceso de tamizado



Figura 16 — Harinas distribuidas después del tamizado



Figura 17 — Preparación de harinas distribuidas para el pesado

ANEXO 2 – Panel fotográfico de la determinación de consistencia de la mezcla de siete harinas y de cada uno de sus componentes.



Figura 18 – Preparación de la harina con el agua para el proceso de cocción



Figura 19 – Proceso de cocción de la harina preparada



Figura 20 – Enfriado de las mezclas a temperatura ambiente



Figura 21 – Determinación de la viscosidad



Figura 22 – Resultados de la determinación de la viscosidad en el reómetro

Tabla 6 – Composición proximal de la mezcla de siete harinas y sus componentes

Harina precocida	Humedad (g/100g,b.h.)	Proteínas (g/100g,b.s.)	Grasa (g/100g,b.s.)	Fibra cruda (g/100g,b.s.)	Ceniza (g/100g,b.s.)	Carbohidratos (g/100g, b.s.)
7H	9.47	20.58	2.28	2.29	1.98	72.88
Maíz	10.06	8.55	4.36	1.40	1.42	84.27
Kiwicha	7.22	15.78	10.41	3.94	2.54	67.32
Arveja	8.93	27.76	1.53	1.60	2.21	66.90
Trigo	9.59	12.38	1.65	2.44	1.28	82.25
Habas	9.21	28.66	1.96	2.08	2.82	64.48
Cebada	9.23	28.57	2.01	1.84	3.08	64.50
Quinoa	8.69	17.14	6.13	2.97	2.19	71.57