



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y
VISCOELÁSTICAS DE GRANOS DE TRIGO HARINERO
(*Triticum aestivum*) DE VARIEDADES MEJORADAS PARA
LA ZONA DEL NOROESTE DE MÉXICO.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

PRESENTA:

DULCE MARIA HERNANDEZ COLIN

(N.º de cuenta: 1622618; 48 ava. Generación)

MODALIDAD:

TESIS INDIVIDUAL

ASESOR:

DR. NESTOR PONCE GARCÍA

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO PIEDRAS
BLANCAS", TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO.

ENERO 2024



RESUMEN

EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y VISCOELÁSTICAS DE GRANOS DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum*) DE VARIEDADES MEJORADAS PARA LA ZONA DEL NOROESTE DE MÉXICO

Dulce María Hernández Colín¹. Ingeniera Agrónoma Industrial
Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas
Asesor: Dr. Nestor Ponce García¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México. 50200.

dulce.mhc@hotmail.com nponceg@uaemex.mx

El objetivo del fitomejoramiento del trigo harinero o fuerte (*Triticum aestivum*) es el desarrollo de variedades con atributos deseables, especialmente aquellos vinculados a los procesos y productos de panificación. Si bien la evaluación de la calidad del grano comienza con sus características biofísicas y químicas, la inclusión de la determinación de sus propiedades viscoelásticas contribuye de manera significativa a un proceso de clasificación más selecto y objetivo.

En este contexto, el propósito de esta investigación fue analizar las propiedades biofísicas y viscoelásticas de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas procedentes de la empresa RESOURCE SEEDS INTERNATIONAL (RSI) S. DE R.L. DE C.V. Para llevar a cabo este análisis, se empleó el método de compresión uniaxial a baja deformación y se consideraron diferentes niveles de contenido de humedad (12%, 16% y 20%). Además, se buscó establecer posibles correlaciones entre estas propiedades para comprender en mayor medida su relación. Los resultados revelaron un efecto significativo del contenido de humedad sobre las propiedades biofísicas y viscoelásticas de los granos. A medida que el contenido de humedad aumentaba, se observaron incrementos significativos en las dimensiones

axiales y la densidad aparente, con diferencias estadísticas significativas entre las distintas variedades. En lo que respecta a las propiedades viscoelásticas, se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las variedades en los parámetros trabajo total (W_t), trabajo elástico (W_e), trabajo plástico (W_p) y grado de elasticidad (GE). Estos parámetros disminuyeron gradualmente a medida que el contenido de humedad aumentaba. Además, se encontraron correlaciones estadísticas significativas entre algunas propiedades biofísicas y viscoelásticas. Entre las más destacadas se encuentran las correlaciones negativas ($P < 0.05$) entre el GE y las dimensiones grosor y largo. El pH (peso hectolitro) mostró correlaciones negativas altamente significativas ($P < 0.01$) en relación con el W_p y correlaciones positivas altamente significativas con el GE . En cuanto a las propiedades mecánicas, se observaron correlaciones positivas altamente significativas ($P < 0.01$) entre la fuerza máxima ($F_{máx}$) y los parámetros W_t y W_e . También se encontraron correlaciones altamente significativas ($P < 0.01$) en relación con la dureza, siendo negativa con el W_p y positiva con el GE . El estudio reveló que todas las variedades de trigo analizadas son aptas para su uso en procesos de panificación, según los resultados derivados de sus propiedades biofísicas. Respecto a las propiedades viscoelásticas, particularmente las variedades N6 y L8 destacaron por su favorable con relación a W_t y W_e . Estos resultados sugieren que ambas variedades exhibieron las características biofísicas y viscoelásticas más adecuadas para ser consideradas en procesos de panificación.

Palabras clave: Trigo harinero, propiedades biofísicas, compresión uniaxial, viscoelasticidad, variedades mejoradas.

ABSTRACT

EVALUATION OF BIOPHYSICAL AND VISCOELASTIC CHARACTERISTICS OF BREAD WHEAT (*Triticum aestivum*) GRAINS FROM IMPROVED VARIETIES FOR THE NORTHWEST REGION OF MEXICO.

Dulce María Hernández Colín¹. Ingeniera Agrónoma Industrial
Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas
Asesor: Dr. Nestor Ponce García¹

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus Universitario El Cerrillo, Piedras Blancas Toluca, Estado de México, México. 50200.

dulce.mhc@hotmail.com

nponceg@uaemex.mx

The goal of hard or bread wheat (*Triticum aestivum*) breeding is to develop cultivars with desirable attributes, especially those related to baking processes and products. While the assessment of grain quality begins with its bio-physical and chemical characteristics, the inclusion of the determination of its viscoelastic properties significantly contributes to a more selective and objective classification process.

In this context, the aim of this research was to analyze the bio-physical and viscoelastic properties of wheat grains from four improved varieties provided from RESOURCE SEEDS INTERNATIONAL (RSI) S. DE R.L. DE C.V. To carry out this analysis, the small-strain uniaxial compression method was utilized, considering different levels of moisture content (12%, 16%, and 20%). Furthermore, the study aimed to establish potential correlations between these properties to gain a deeper understanding of their relationship. The results revealed a significant effect of moisture content on both the bio-physical and viscoelastic properties of the grains. With increasing moisture content, there were substantial increases in axial dimensions and apparent density, leading to statistically significant variations among the different varieties. As for the viscoelastic properties, statistically significant

differences were detected among the varieties in terms of total work (W_t), elastic work (W_e), plastic work (W_p), and degree of elasticity (DE). These parameters exhibited a gradual decrease as the moisture content increased. Moreover, the study revealed statistically significant correlations between certain bio-physical and viscoelastic properties. Notably, negative correlations ($P<0.05$) were observed between DE and thickness and length dimensions. Additionally, pH displayed highly significant negative correlations ($P<0.01$) with W_p and highly significant positive correlations with DE . The study unveiled that all the examined wheat varieties are well-suited for use in baking processes, as indicated by the results derived from their bio-physical properties. In terms of viscoelastic properties, the N6 and L8 varieties excelled, demonstrating favorable outcomes in relation to W_t and W_e . These findings suggest that both varieties exhibited the most appropriate bio-physical and viscoelastic characteristics for consideration in baking processes.

Keywords: Bread wheat, biophysical properties, uniaxial compression, viscoelasticity, improved varieties.

INDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	IV
INDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos particulares	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. JUSTIFICACIÓN	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
5.1. Generalidades del trigo.....	6
5.1.1. Origen y evolución	6
5.1.2. Morfología de la planta	7
5.1.2.1. Estructura del grano maduro	8
5.1.3. El trigo en México	10

5.2. Fitomejoramiento	11
5.2.1. Mejoramiento del trigo	12
5.3. Clasificación de trigo en México	13
5.3.1. Trigos harineros (<i>Triticum aestivum</i>) y su calidad panadera	14
5.4. Características biofísicas del grano	15
5.4.1. Peso hectolitro (<i>phL</i>).....	15
5.4.2. Peso de mil granos (<i>PMG</i>)	16
5.4.3. Peso individual del grano (<i>PIG</i>).....	16
5.4.4. Dimensiones axiales	16
5.4.5. Color	17
5.4.6. Dureza (<i>D</i>).....	18
5.5. Fuerza máxima (F_{max})	19
5.6. Composición proximal.....	19
5.6.1. Contenido de humedad	19
5.6.2. Contenido de proteína	20
5.7. Propiedades reológicas y viscoelásticas.....	20
5.7.1. Compresión uniaxial	22
5.7.2. Propiedades viscoelásticas en granos.....	23
5.7.3. Trabajo total (W_t), trabajo elástico (W_e) y trabajo plástico (W_p)	24
5.8. Grado de elasticidad (<i>GE</i>)	25
5.9. Calidad de la harina.....	25

5.9.1. Análisis fisicoquímicos	25
5.9.1.1 Contenido de humedad	26
5.9.1.2. Cenizas.....	26
5.9.1.3. Contenido de proteína	27
5.9.1.4. Gluten húmedo	27
5.9.1.5. Índice de sedimentación o de Zeleny	28
5.9.2. Ensayos reológicos.....	28
5.9.2.1. Alveograma.....	29
5.9.2.2. Farinograma	31
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
6.1. Ubicación del sitio experimental	32
6.2. Material biológico.....	32
6.3. Consideraciones generales	34
6.4. Determinación del contenido de humedad y acondicionamiento de los granos.....	36
6.5. Caracterización de las propiedades biofísicas.....	36
6.5.1. Apariencia	37
6.5.1.1. Dimensiones axiales.....	37
6.5.2. Propiedades de peso, volumen y densidad	37
6.5.2.1. Peso individual de grano (<i>PIG</i>).....	37
6.5.2.2. Peso de mil granos (<i>PMG</i>)	38

6.5.2.3. Densidad aparente (ρ_b)	38
6.5.3. Propiedades mecánicas	39
6.5.3.1. Fuerza máxima (F_{max}) a 5% de deformación	39
6.5.3.2. Dureza (D)	39
6.6. Caracterización de las propiedades viscoelásticas.....	40
6.6.1. Trabajo total (W_t), elástico (W_e) y plástico (W_p)	41
6.6.2 Grado de elasticidad (GE).....	42
6.7. Diseño y análisis estadístico.....	42
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
7.1. Caracterización de las propiedades biofísicas de los granos	43
7.1.1. Propiedades biofísicas de apariencia	43
7.1.2. Propiedades de peso, volumen y densidad	47
7.2. Propiedades mecánicas.....	52
7.2.1. Fuerza máxima (F_{max})	52
7.2.2. Dureza (D).....	53
7.3 Caracterización de las propiedades viscoelásticas de los granos	56
7.3.1. Trabajo total (W_t), trabajo elástico (W_e) y trabajo plástico (W_p).	56
7.3.2 Grado de elasticidad (GE).....	65
7.4. Correlaciones simples.....	67
VIII. CONCLUSIONES	69
IX. RECOMENDACIONES.....	71

X. REFERENCIAS CONSULTADAS.....	72
ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de trigo en México	14
Cuadro 3. Valores medios de las propiedades biofísicas de apariencia (<i>L</i> , <i>A</i> y <i>G</i>) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.	46
Cuadro 4. Valores medios de las propiedades biofísicas de peso y densidad (PIG, PMG y pH _L) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.	51
Cuadro 5. Valores medios de las propiedades biofísicas mecánicas ($F_{máx}$ y <i>D</i>) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.	55
Cuadro 6. Valores medios de las propiedades viscoelásticas (W_t , W_e , W_p y <i>GE</i>) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.	58
Cuadro 7. Correlaciones simples de Pearson (<i>r</i>) entre propiedades biofísicas y mecánicas vs. propiedades viscoelásticas de granos de trigo de variedades mejoradas.....	68
Cuadro 8. Análisis de laboratorio de Química y Calidad de Trigo del CIMMYT....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología general de una planta de trigo.	8
Figura 2. Esquema de corte longitudinal de grano de trigo	9
Figura 3. Dimensiones axiales en un grano de trigo. (<i>L</i>) Largo; (<i>A</i>) Ancho y (<i>G</i>) Grosor	16
Figura 4. Color del grano de trigo.	17
Figura 5. Representación de la resistencia de un material	23
Figura 6. Representación esquemática de un ciclo de compresión (respuesta viscoelástica) durante un ciclo de carga y descarga	24
Figura 7. Alveógrafo Chopin	29
Figura 8. Alveogramas representativos de diferentes tipos	30
Figura 9. Farinograma representativo de harina panadera o fuerte.	31
Figura 10. Identificación (códigos) de las muestras de granos de trigo	33
Figura 11. Diagrama de flujo general del desarrollo de la investigación.....	35
Figura 12. Medición de las dimensiones axiales en grano de trigo. A) Largo; B) Ancho; C) Grosor	37
Figura 13. A) Peso individual del grano. B) Peso de 1000 granos de trigo.	38
Figura 14. Analizador de textura Universal TA-XT2 con sonda SMSP/2.	40
Figura 15. Analizador de textura universal TA-XT2 Plus con sonda SMS P/25 ...	41
Figura 16. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 12% de humedad.....	59
Figura 17. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 16% de humedad.....	60

Figura 18. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 20% de humedad.....	61
Figura 19. Resultado del proceso de panificación de las 4 variedades evaluadas.	83
Figura 20. Resultados de la Sedimentación de Zeleny para las 4 variedades evaluadas.....	83
Figura 21. Alveograma variedad N6.....	85
Figura 22. Alveograma variedad G7.....	86
Figura 23. Alveograma variedad L8.....	87
Figura 24. Alveograma variedad V9.....	88

INTRODUCCIÓN

El trigo panadero (*Triticum aestivum*) pertenece a la familia *Poaceae* (*gramínea*). La planta de este cereal produce cariósides con forma ovalada y extremos redondeados, en uno de los cuales sobresale el germen y en el otro, un mechón de pelos finos conocido como pincel. El trigo es un cultivo que data de hace más de cincuenta millones de años que, a través de la evolución y domesticación que realizaron antiguas civilizaciones, dio como resultado una selección inducida que buscaba alcanzar un mayor rendimiento de grano para satisfacer sus necesidades de supervivencia, lo que, a la postre logró forjar un cultivo que se adaptó a la perfección a las necesidades alimentarias humanas (Barroso, 2017).

La investigación en el sector agrícola no solo busca una mayor producción de alimentos, sino que además pretende satisfacer las necesidades cambiantes de la humanidad, mediante el desarrollo y aplicación de prácticas sustentables. En este sentido, el mejoramiento genético vegetal puede contribuir optimizando el grado de sostenibilidad de los sistemas agropecuarios de producción, mediante el desarrollo de genotipos adaptados a nuevos requerimientos ambientales y nuevas demandas del mercado de consumo (UNALM, 2014).

Actualmente, los objetivos del mejoramiento genético en trigo se enfocan en el desarrollo de variedades con amplia adaptación y alto rendimiento, caracterizadas por la estatura de plantas semi-enanas, insensibles al fotoperíodo, con calidad industrial aceptable y una buena resistencia a

situaciones ambientales limitantes, entre las que se incluyen sequía, niveles tóxicos de aluminio, calor y enfermedades (CIMMYT, 2015).

De acuerdo con Villaseñor (2015), específicamente para trigos harineros, el mejoramiento se enfoca en producir y seleccionar líneas con caracteres altos en volumen de sedimentación, contenido de proteína, peso hectolitro, contenido de gluten, volumen de pan y calidad de la miga, además de adecuada fuerza y extensibilidad de la masa y baja actividad enzimática.

En este sentido, la evaluación de la calidad de los granos inicia con la determinación de sus propiedades biofísicas, parámetros que básicamente se utilizan para el diseño, construcción y selección de equipos utilizados en operaciones y tareas de postcosecha y almacenamiento (Ponce-García *et al.*, 2017). Por otro lado, la evaluación viscoelástica de los granos permite reconocer y determinar su uso potencial o industrial, siendo esta una herramienta de clasificación más selectiva entre granos con características físicas similares o afines (Ponce-García *et al.*, 2016).

Considerando lo anterior, el presente estudio tiene como propósito evaluar las principales características biofísicas y viscoelásticas de cuatro variedades mejoradas de granos de trigo panadero, a fin de generar información novedosa que permita determinar su potencial uso industrial, además de identificar posibles correlaciones entre dichas propiedades.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades biofísicas y viscoelásticas de granos enteros de trigos mejorados, para establecer su calidad industrial.

2.2. Objetivos particulares

- Caracterizar biofísicamente granos de trigo de cuatro variedades mejoradas.
- Aplicar la teoría de elasticidad para evaluar y caracterizar propiedades viscoelásticas de granos individuales de trigo con diferentes contenidos de humedad, mediante el método de compresión uniaxial bajo pequeña deformación.
- Identificar y establecer posibles correlaciones entre las propiedades biofísicas y viscoelásticas de los granos evaluados.

III. HIPÓTESIS

A partir de la evaluación y caracterización de las propiedades biofísicas y viscoelásticas de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, es posible inferir cuál de estas presenta los mejores atributos de calidad panadera.

IV. JUSTIFICACIÓN

Los principales parámetros que determinan la calidad biofísica de los granos de trigo son: el peso hectolitro, el peso de mil granos, el tamaño y forma, así como la dureza, además del contenido de humedad, el cual se considera como parámetro proximal. Adicionalmente, este cereal se agrupa de acuerdo con los atributos funcionales del gluten. En este sentido, resulta evidente suponer que las propiedades viscoelásticas del gluten (masa) guardan una alta relación con las propias del grano, por lo que, determinar ciertos parámetros viscoelásticos del grano puede resultar una herramienta interesante de control de calidad predictiva, respecto al potencial comportamiento viscoelástico del gluten y calidad final del pan.

Sin embargo, existe poca información disponible que asocie o establezca correlaciones entre diferentes tipos de atributos de calidad en granos de trigo. Al respecto, la presente investigación tiene entre otros propósitos realizar un primer acercamiento al estudio, evaluación y correlación entre propiedades biofísicas y viscoelásticas de granos de trigo, siendo adicionalmente interesante la aplicación del método de compresión uniaxial a baja deformación (método fundamental-objetivo) para evaluar propiedades viscoelásticas en granos individuales enteros.

Lo anterior podría ofrecer como resultado una perspectiva de la calidad industrial de las variedades mejoradas en campo, así como una herramienta novedosa para la identificación y caracterización complementaria de la información generada por los análisis y ensayos de calidad que actualmente se practican en este sector alimentario.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Generalidades del trigo

El trigo harinero (*Triticum aestivum*) es uno de los productos agrícolas considerado esencial y básico con fuente alimenticia a nivel mundial, ya que poseen un alto valor nutritivo, aportando principalmente carbohidratos, proteínas, fibra, vitaminas y minerales a la dieta humana y animal. Este cereal es único, porque su proteína mezclada con agua, más trabajo mecánico, resulta en una masa viscoelástica, capaz de retener los gases producidos por la levadura o polvos de hornear, que es la base de productos alimenticios como el pan.

En el ciclo comercial 2020-2021 se produjeron 775.8 millones de toneladas a nivel mundial, siendo China el principal productor (17.3%), seguido de la Unión Europea (16.2%), India (13.9%), Rusia (11.0%) y Estados Unidos (6.4%); México se ubicó en la posición 31, con una participación del 0.4% (FIRA, 2023).

De acuerdo con Byrnes y Bumb (1998), se espera que en el año 2025 la producción de trigo supere los 1,000 millones de toneladas a nivel mundial, esto para satisfacer la creciente demanda alimenticia alrededor del mundo. Ante esto, la mejor estrategia para alcanzar los niveles de demanda alimenticia proyectados a futuro lleva a un aumento en el rendimiento.

5.1.1. Origen y evolución

El trigo es el mejor ejemplo de la domesticación y selección de material biológico; desde la época neolítica, el ser humano se familiarizó con la naturaleza, dando prioridad a las plantas dominantes de su entorno. Los trigos tetraploides y

hexaploides tuvieron su origen a partir de antiguos trigos diploides, generalmente mediante cruzamientos con pastos silvestres. Estos parientes silvestres del trigo crecieron por primera vez en el Medio Oriente, cerca del tercero y cuarto milenio antes de Cristo. El resultado de estas cruas naturales permitió crear grupos más evolucionados, como es el caso de *Triticum aestivum*, que es un hexaploide con 21 pares de cromosomas ($2n=42$) (Jobet, 1988).

Al igual que en otros cereales, durante el proceso de domesticación se produjo un incremento en el tamaño del grano (Gegas *et al.*, 2010). La consecuencia fueron mayores cosechas y la capacidad para poder alimentar poblaciones más grandes.

5.1.2. Morfología de la planta

El trigo es una planta gramínea de altura entre 30 y 150 cm en su parte aérea, fasciculada con numerosas ramificaciones que alcanza profundidades entre 25 y 100 cm, el tallo es recto y cilíndrico; las hojas son lanceoladas con un ancho de 0.5 a 1 cm y una longitud de 15 a 25 cm, cada planta posee entre 4 y 6 hojas, con vaina, lígula y aurículas bien definidas. Su inflorescencia es una espiga constituida por un raquis que lleva espiguillas sésiles (laxas o compactas) las cuales son una unidad de inflorescencia envuelta por el par de glumas; consta de un eje sobre el que se insertan las dos glumas y una o más lemas; en la axila de los lemas se origina una ramilla que sostiene la palea, los lodículos, los estambres y el gineceo. Cada espiga tiene 15 a 30 espiguillas que se encuentran en dos hileras a lo largo y cada espiguilla se compone de 2 a 6 florecillas (Figura 1) (Howard *et al.*, 2001; SIAP, 2021).

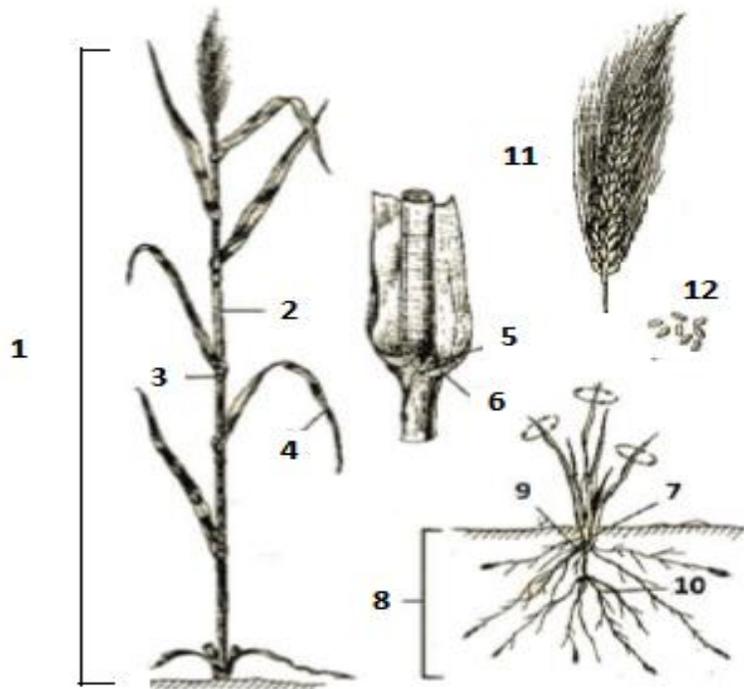


Figura 1. Morfología general de una planta de trigo.

- (1) Planta completa; (2) Tallo; (3) Nudo; (4) Hoja; (5) Lígula; (6) Aurícula; (7) Amacollamiento; (8) Sistema radicular; (9) Raíces permanentes o secundarias; (10) Raíces primarias o seminales; (11) Espiga; (12) Grano (Adaptado de Riesgo, 2019).

5.1.2.1. Estructura del grano maduro

Los granos de trigo son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales: el salvado o pericarpio, el germen o embrión y el endospermo, que es la parte más interna del grano (Figura 2). El germen sobresale en uno de los extremos del grano y en el extremo opuesto hay un mechón de pelos finos (pincel); el resto del grano propiamente es el endospermo, que es la parte anatómica más abundante (81% - 84% del peso del grano) (Gómez *et al.*, 2007). A lo largo de la cara ventral del grano hay un surco, que es una invaginación de la aleurona y de las cubiertas; este surco llega a ser

indeseable si es muy pronunciado, ya que esto puede contribuir a una baja densidad (Wrigley, 2010).

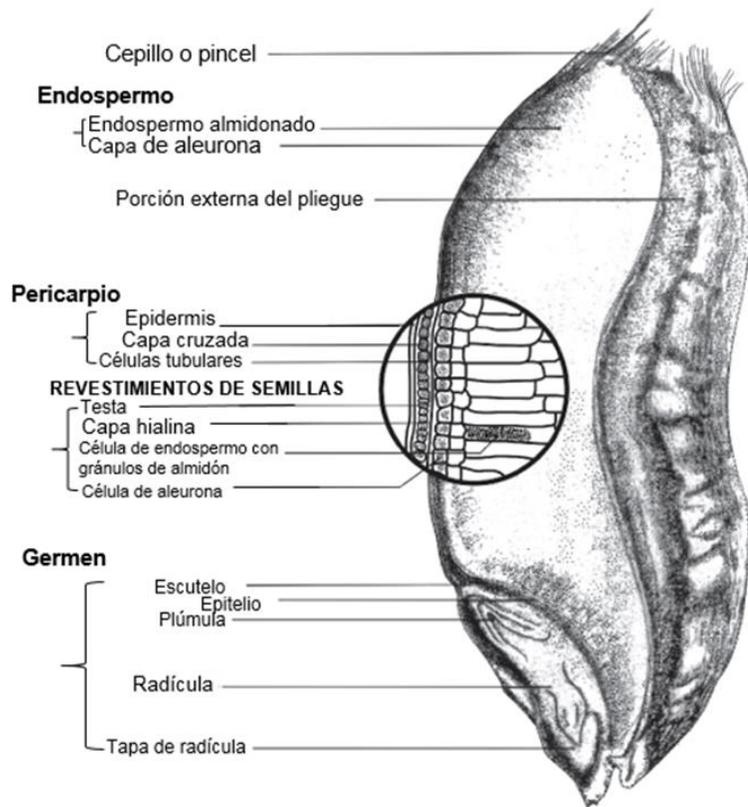


Figura 2. Esquema de corte longitudinal de grano de trigo (Adaptado de MacRitchie, 2010).

El germen es la parte donde se origina una nueva planta y representa entre el 2% y 3% del peso del grano. Es una fuente rica en vitaminas del grupo B y E, además de que contiene lípidos, proteínas y minerales. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo, el cual está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como de un alto contenido de proteína. La capa aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo y posee concentraciones altas de diversas sustancias nutritivamente importantes, resultando muy interesante

conseguir su aprovechamiento (Antoine *et al.*, 2002). El endospermo comprende aproximadamente entre 80 a 86% del peso seco del grano y de él se obtiene la harina. Está formado principalmente por almidón, proteínas y en menor medida por celulosa, además de un bajo contenido de vitaminas y minerales (MacRitchie, 2010). A su vez, el endospermo está constituido por tres tipos de endospermo: periférico, que se caracteriza por su alto contenido proteico y unidades pequeñas de almidón vítreo, formado por paredes celulares ricas en fibra insoluble (celulosa y β -glucanos) y soluble (pentosanos), gránulos de almidón y matriz proteica; por último, el endospermo harinoso se encuentra en la parte central del grano y sus unidades de almidón son de mayor tamaño. La asociación entre los gránulos de almidón y la matriz proteica es más débil en las unidades de almidón que tienen menos insaturaciones de los cuerpos proteicos, es decir, a mayor contenido de proteína, mayor dureza y densidad del grano y viceversa (Serna-Saldivar, 2010).

Wrigley (2010) menciona que entre líneas de trigo existen diferencias morfológicas sutiles, las cuales resultan útiles para la identificación de nuevas variedades, ya que para el registro de un nuevo cultivar, este debe exhibir los atributos de distinción, uniformidad y estabilidad, los cuales se identifican con dificultad durante la etapa de crecimiento, debido a que se basan únicamente en la observación, de acuerdo con los atributos determinados por la UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales).

5.1.3. El trigo en México

En México, el trigo es el segundo cereal en importancia; en promedio se consumen 57.4 kg per cápita/año. Los productos a base de trigo constituyen el 40% del gasto

total en cereales de los hogares mexicanos y proporcionan el 10% del total de las calorías de la dieta (CANIMOLT, 2017).

De acuerdo con datos del SADER (2022), el trigo se cultiva en la mayoría de las entidades del país gracias a su buena adaptación tanto a suelos pobres en nutrientes, como a zonas húmedas, semiáridas e inclusive áridas. En el año 2021 se produjeron alrededor de 1.5 millones de toneladas de granos de trigos panificables, de las cuales aproximadamente el 70% provinieron de la zona noroeste del país, específicamente de los estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora, siendo estas las regiones trigueras más importantes en México.

5.2. Fitomejoramiento

El fitomejoramiento o mejoramiento vegetal de los cultivos es una práctica que nació con la misma agricultura. Los procesos de selección de las semillas de los frutos de mayor calidad permitieron fijar el genotipo más ventajoso de las especies cultivadas. La investigación agrícola no solo pretende producir más alimentos, sino también satisfacer las necesidades cambiantes de la humanidad, a través de la conservación y uso racional de los recursos naturales (Listman, 2022).

El fitomejorador dispone de dos métodos fundamentales para mejorar las plantas que cultiva: la selección y el cruzamiento. La selección consiste en elegir a los individuos que reúnen las mejores condiciones para un propósito perseguido, entre otros, la mejora de la calidad comercial y nutritiva, el incremento de la resistencia a factores abióticos y bióticos adversos al cultivo y mayores rendimientos. Por el

contrario, la hibridación (cruzamiento), no se basa en elegir a los individuos más convenientes para la obtención de una planta, sino que procura la aparición de tipos nuevos dentro de las poblaciones, haciendo que estos se reproduzcan y obtengan entre sí características diferentes, mediante el cruzamiento de progenitores pertenecientes a variedades o a géneros distintos (Camarena *et al.*, 2014).

Sin embargo, para llevar a cabo estas estrategias de selección es necesario detectar las características agronómicas y morfológicas que se pretenden obtener, de acuerdo con las condiciones ambientales a las que será destinada la variedad resultante de esa selección (Rajaram y Peña, 2002).

5.2.1. Mejoramiento del trigo

El mejoramiento en trigo tiene distintos objetivos, sin embargo, el principal siempre será incrementar el rendimiento. Este se puede lograr aumentando la resistencia al acamado, acortando la altura de la planta, aumentando el diámetro del tallo, promoviendo mayor tamaño y número de espigas por planta, incrementando la resistencia a plagas y enfermedades, así como mejorando la adaptación a condiciones ambientales diversas.

Asimismo, la selección de trigos harineros siempre ha tenido en cuenta la buena calidad panadera, ya que factores como la variabilidad genética, la heredabilidad y la asociación del carácter de interés con otras variables, modifican los parámetros de calidad industrial; por ejemplo, si se desea mejorar el rendimiento harinero de los trigos mexicanos cultivados en temporal, la tendencia sería identificar y

seleccionar variedades que muestren valores de peso hectolitro alto, característica asociada con la forma, tamaño y llenado del grano (Espitia *et al.*, 2004).

Desde 1945 a la fecha, en México se han liberado más de doscientas variedades de trigo harinero, pretendiendo cubrir y satisfacer las diferentes demandas y necesidades de este sector (Peña *et al.*, 2015). Lo anterior ha sido el resultado de programas de fitomejoramiento instaurados por instituciones públicas y privadas, gracias a lo cual se han logrado establecer cultivos que se adaptan óptimamente a diversas necesidades humanas e incentivos económicos.

5.3. Clasificación de trigo en México

El trigo puede clasificarse con base a la época de cultivo (invierno o primavera); su potencial industrial (elaboración de pan, galletas, o pastas) y por color de grano. Sin embargo, en México la clasificación del trigo se sustenta en cinco grupos de acuerdo con la especie botánica, la dureza o textura del grano, las características de calidad de la proteína o tipo de gluten y su uso potencial en la industria alimentaria (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de trigo en México

Grupo	Especie botánica	Dureza o textura del grano	Tipo de gluten	Potencial en la industria alimentaria
1		Duro a semiduro	Gluten fuerte y extensible	Elaboración de pan industrial
2		Duro a semiduro	Gluten medio fuerte	Panificación manual o semi- industrializada
3	<i>Triticum aestivum</i>	Suave (blando)	Gluten débil y extensible	Elaboración de galletas.
4		Duro o semiduro	Gluten tenaz (extensibilidad limitada)	Para su uso debe ser mezclado con otros trigos para elaborar productos panificables
5	<i>Triticum durum</i>	Duro y cristalino	Grano cristalino	Elaboración de pastas

Adaptado de SEGOB (1984), NOM-FF36-1984 Art. 6 (23/03/1984).

5.3.1. Trigos harineros (*Triticum aestivum*) y su calidad panadera

Los parámetros de calidad del trigo dependen de factores genéticos (variedad cultivada), ambientales (condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo, incidencia de enfermedades, etc.), agronómicos (manejo del cultivo, fertilización, etc.), así como de condiciones de almacenamiento y conservación del grano, siendo quizá, la selección de la variedad el factor de mayor importancia (Peña *et al.*, 2015).

El trigo harinero es el único cereal que ofrece una calidad óptima para producir pan de buen volumen, derivado de su contenido y calidad de gluten. Las harinas integrales o refinadas provenientes de trigos panaderos (duros o semiduros) una vez hidratadas y mezcladas, favorecen el desarrollo del gluten, lo que en consecuencia permite la formación de masas viscoelásticas y cohesivas aptas para

retener el gas (CO_2) producido durante el proceso de fermentación, gracias a lo cual será posible obtener piezas de pan de buen volumen y consistencia, considerando adicionalmente el proceso o técnica de elaboración empleada.

El tamaño, volumen y densidad de cada tipo de pan están determinados por su formulación, la duración de la etapa de fermentación, el trabajo real ejercido sobre la masa (amasado) y el tiempo de reposo previo al horneado. En general, un proceso de elaboración de pan mecanizado o industrial requiere mezclado a alta velocidad y harina de trigo fuerte (panadera), respecto al proceso manual o semi-mecanizado (Rajaram y Peña, 2002).

5.4. Características biofísicas del grano

Los principales parámetros que determinan la calidad biofísica del grano son: el peso hectolitro, peso de mil granos, peso individual del grano, tamaño (dimensiones axiales), color y dureza.

5.4.1. Peso hectolitro (*phL*)

El peso hectolitro es una característica importante por su relación significativa con el rendimiento harinero, debido a que está relacionado con la condición física del grano y, por lo tanto, con la densidad real del grano. Este parámetro determina la densidad aparente del grano (expresada en kg hL^{-1}), ya que considera los espacios de aire intergranario en un volumen determinado. Cabe señalar que la densidad del grano está determinada por la estructura biológica y la composición química, incluido el contenido de humedad (Salazar, 2000).

5.4.2. Peso de mil granos (*PMG*)

El peso de 1,000 granos es un indicador de la calidad de las harinas, puesto que los granos grandes y densos contendrán mayor proporción de endospermo y, por lo tanto, mayor rendimiento en el proceso de la molienda (Peña *et al.*, 2008).

5.4.3. Peso individual del grano (*PIG*)

Representa la masa por unidad que posee una cariósida. Suele relacionarse con la sanidad del grano, ya que cuando se registran *PIG* bajos, frecuentemente se debe a que el grano está perforado o ha sido atacado por insectos, o bien, porque son cariósidas de tamaño pequeño (Ponce-García *et al.*, 2017).

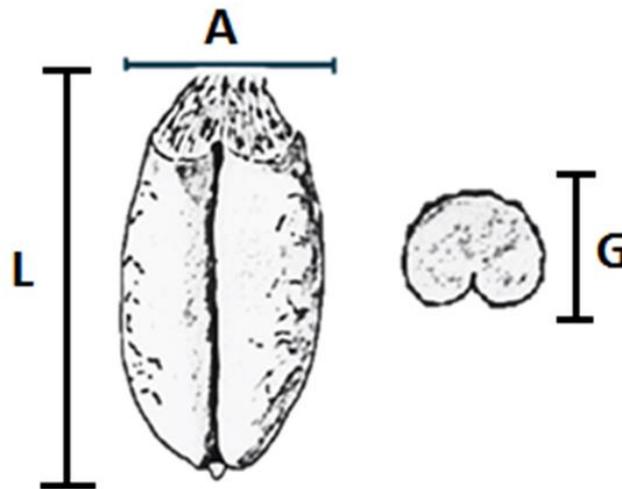


Figura 3. Dimensiones axiales en un grano de trigo. (*L*) Largo; (*A*) Ancho y (*G*) Grosor (Adaptado de Wrigley, 2010).

5.4.4. Dimensiones axiales

El tamaño del grano representa uno de los principales componentes del rendimiento, contribuye al vigor de las plántulas y además se estima que los granos

más grandes contribuyen a un aumento del rendimiento durante los diferentes procesos de molienda (Whan, 2014). En los granos de trigo, es muy común la determinación de las tres principales dimensiones: largo (L), ancho (A) y grosor (G) (Figura 3), las cuales típicamente se miden usando un micrómetro, expresando el resultado en milímetros (Ponce-García *et al.*, 2017).

5.4.5. Color

El color del grano es una característica distintiva primaria de importancia para su identificación, comercialización y procesamiento. De acuerdo con esta condición, el grano de trigo se clasifica como rojo o blanco (dependiendo de la presencia o ausencia de genes en cromosomas homólogos del grupo 3). Sin embargo, los términos rojos o blanco no describen adecuadamente el color real de grano (Wrigley, 2010) (Figura 4).



Figura 4. Color del grano de trigo.
Trigo rojo (izquierda) y trigo blanco (derecha).

5.4.6. Dureza (D)

La dureza de los granos ha sido un tema de amplio interés en la industria molinera y de panificación, ya que esta propiedad influye directamente en la calidad del trigo.

La dureza se interpreta como el grado de adhesión entre las proteínas de almacenamiento y los gránulos de almidón del endospermo y a su vez depende del grado de integridad de la membrana que cubre al gránulo de almidón (Guzman *et al.*, 2010).

La dureza de un grano es dependiente de la magnitud, dirección y velocidad de la fuerza que se aplican, así como del área de contacto sobre la cual se ejerce dicha fuerza; esto permite que las partículas del grano absorban esa fuerza a manera de compresión, lo que provoca una deformación de su estructura. Sin embargo, cuando se excede un límite, el material se fractura, provocando de ese modo nuevas superficies. La cantidad de energía necesaria para la molienda es una función del tamaño inicial y final, la fuerza aplicada y las características de la materia prima. Otros factores que limitan la reducción de tamaño se deben considerar, tales como el contenido de humedad y lípidos y la geometría de la muestra (Cortázar-Figueroa *et al.*, 2008)

En este sentido, la fracturabilidad está estrechamente relacionada con la dureza, ya que la compactación y el espesor de los componentes celulares y el tamaño de célula y espesor entre las paredes celulares en el endospermo juegan un papel importante en diferencias de dureza del grano (Salinas *et al.*, 1992).

5.5. Fuerza máxima (F_{max})

La F_{max} indica la fuerza de compresión aplicada al grano, mientras este se somete a una deformación preestablecida. Los materiales oponen cierta resistencia a la deformación, la cual tiende a ser mayor proporcionalmente a la dureza del grano. La F_{max} se determina en la región elástica lineal si es que se desea evaluar viscoelasticidad del grano, es decir, cuando la deformación no excede el 5% (Ponce-García *et al.*, 2013).

5.6. Composición proximal

La composición del grano de trigo varía principalmente de acuerdo con la variedad y las condiciones del cultivo (cantidad de agua, tipo de suelo, temperaturas, fertilización, etc.). En general, el grano maduro comprende tres componentes principales: almidón, proteínas y polisacáridos, los cuales en conjunto comprenden cerca del 90% del peso seco, mientras que los constituyentes menores incluyen lípidos, minerales y vitaminas (Juárez *et al.*, 2017).

5.6.1. Contenido de humedad

Es el principal factor por controlar durante el almacenamiento; el rango considerado óptimo para granos oscila entre 11% y 14%. Los niveles reducidos de humedad en el grano promueven un almacenamiento más estable, debido a que se disminuye o evita la presencia de microorganismos (hongos) indeseables y la germinación del grano (Velázquez, 2013). Por otro lado, el contenido de humedad es un criterio importante para considerar durante la comercialización del grano.

5.6.2. Contenido de proteína

El contenido de proteína en el grano indica de manera indirecta la cantidad de gluten presente en la harina. Esto es relevante porque el contenido de gluten es el factor más importante al definir la calidad de la panificación. En trigos panaderos, un bajo contenido de proteína puede deberse a que el cultivo no contó con suficiente nitrógeno en la fase de llenado de grano, así como también puede deberse directamente al genotipo de origen (Peña *et al.*, 2008).

5.7. Propiedades reológicas y viscoelásticas

La reología se define como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales. El término *Reología* proviene del verbo griego “ρειν”, que significa fluir. En 1929, el profesor Eugene Bingham, de la Universidad de Lehigh, acuñó el término reología, con el fin de designar de una forma más precisa la mecánica de los cuerpos deformables, restringida hasta entonces a la elasticidad clásica y la mecánica de fluidos (Ocampo, 2015).

La reología tiene un campo de aplicación muy amplio, ya que abarca casi todos los aspectos de la deformación de los cuerpos bajo la influencia de fuerzas externas. De este modo, la reología puede definirse como la ciencia cuyo objetivo de estudio es la respuesta de la materia bajo la acción de una fuerza, es decir, el estudio de la deformación o el movimiento de la materia causado por las fuerzas de contacto, que nos permite acceder a información cualitativa y cuantitativa (Ocampo, 2018).

El comportamiento reológico de los alimentos es un factor importante en el control de calidad de los productos, además de que su evaluación proporciona parámetros

fundamentales para el diseño de maquinaria y equipo de procesamiento y de empaques. Una gran cantidad de procesos en la industria alimentaria depende de las propiedades reológicas del producto, porque estas tienen un gran efecto en la calidad final (Osorio *et al.*, 2005).

Por otra parte, los alimentos presentan un comportamiento viscoelástico, es decir, que, bajo condiciones de carga durante un tiempo de aplicación, el alimento se puede comportar como un sólido, un líquido y/o más frecuentemente como una combinación de ambos (Oliveros *et al.*, 1995). Rha (1979) señaló que, si un alimento se deforma bajo una fuerza, su recuperación será siempre menor que la inicial y su grado de recuperación dependerá del intervalo de tiempo bajo el cual el material estuvo deformado, la tasa a la cual se aplica el esfuerzo, el historial de cargas que tenga el alimento, el contenido de humedad y su composición general.

Los materiales viscoelásticos son los de comportamiento más complejo, ya que se encuentran entre sólidos elásticos y fluidos como cualquier comportamiento reológico. El estudio de la viscoelasticidad implica establecer relaciones entre el esfuerzo, la deformación y el tiempo. En el caso de que tanto el esfuerzo como la deformación sean infinitesimales y las relaciones entre ambas magnitudes en función del tiempo se puedan describir mediante ecuaciones diferenciales lineales constantes, el comportamiento se denomina viscoelástico lineal. Esto implica que el esfuerzo es solo función del tiempo y no de la magnitud del esfuerzo (Ocampo, 2015).

Dentro de las propiedades mecánicas de los materiales, la elasticidad conforma la principal variable para determinar si un material es resiliente: la elasticidad es una propiedad la cual permite que un material recupere su forma original cuando deja de actuar la fuerza que la deformaba. Un material muy elástico, se caracteriza, “por recobrar más o menos su extensión y forma, tan pronto como cesa la acción de la fuerza que lo deformaba” (Cortés, 2015). La deformación plástica o irreversible, consiste en un modo de deformación en el que el material no recupera su forma original después de retirar la carga o esfuerzo aplicado. Esto sucede porque, en la deformación plástica, el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica (Ramírez, 2006).

5.7.1. Compresión uniaxial

La compresión uniaxial simple es el tipo de prueba fundamental más usado en alimentos, ya que permite determinar esfuerzos y deformaciones con cargas de fuerza específicas. El esfuerzo, definido como una fuerza sobre unidad de área y expresado generalmente en Pa (N/m^2), puede producirse por tensión, compresión o corte, mientras que la deformación, es el cambio de longitud del material cuando se aplica un esfuerzo (Rodríguez *et al.*, 2005).

En la Figura 5 se ilustra el procedimiento de compresión de un material viscoelástico. Una vez que la sonda detecta la superficie de la muestra se inicia la prueba de compresión, en la cual se mide la fuerza para comprimir la muestra a la distancia determinada o un porcentaje de la deformación. La sonda que se utiliza usualmente es cíclica o una placa plana. Estas deben ser de igual o mayor diámetro

que la muestra a evaluar (dependiendo de la extensión de la deformación). Si la muestra tiene un área de superficie mayor que el diámetro de la sonda, la sonda puede perforar o penetrar la muestra, las muestras de compresión simple a menudo se denomina compresión uniaxial, lo que significa que la muestra está comprimida en una dirección y no está restringida en las otras dos dimensiones (Cazzaniga, 2018).

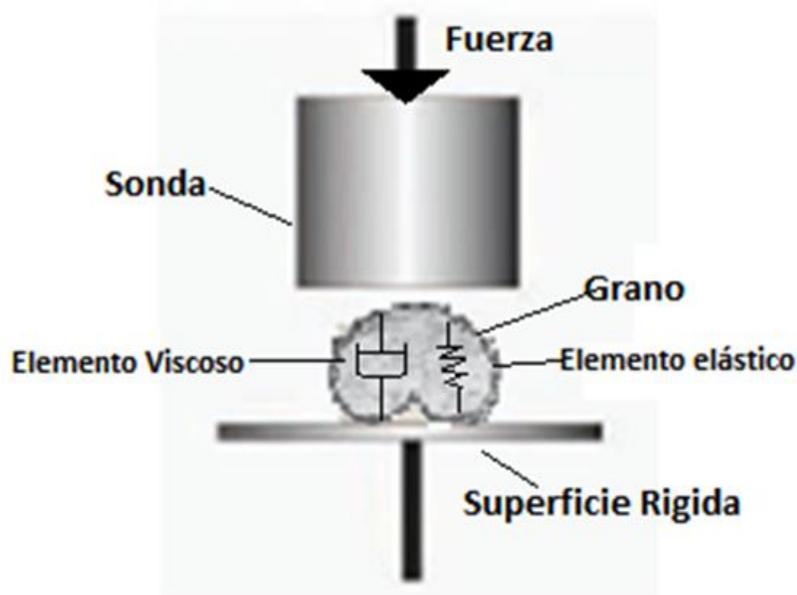


Figura 5. Representación de la resistencia de un material ante la fuerza de compresión uniaxial (Adaptada de Rehault, H., 2019).

5.7.2. Propiedades viscoelásticas en granos

La viscoelasticidad es la combinación del comportamiento sólido-líquido, en la cual la relación esfuerzo-deformación es dependiente del tiempo. Ponce-García *et al.* (2016) señalaron que la evaluación viscoelástica de los granos permite reconocer y determinar su uso potencial o industrial, siendo esta una herramienta de clasificación más selectiva entre granos con características físicas similares o afines

en granos individuales. En este sentido, se ha determinado que las propiedades mecánicas y reológicas se ven afectadas por el porcentaje de deformación, la temperatura y el contenido de humedad del material evaluado.

5.7.3. Trabajo total (W_t), trabajo elástico (W_e) y trabajo plástico (W_p)

El comportamiento viscoelástico de materiales como los granos se puede calcular utilizando pruebas de compresión uniaxial, así, la energía (trabajo) de compresión se determinará a partir de las curvas fuerza-tiempo que se desplieguen como resultado de la deformación aplicada al material. El área bajo la curva de carga representa el trabajo total (W_t) realizado como resultado de la resistencia del material durante la compresión. La contribución elástica reversible (W_e) derivada de W_t puede deducirse a partir del área bajo la curva de descarga (remoción de la compresión), por lo que la energía absorbida representará la deformación plástica (W_p), es decir, es posible calcularla a partir de la diferencia entre W_t y W_e ($W_p = W_t - W_e$) (Ponce-García *et al.*, 2008).

Dónde:
 W_e = Trabajo elástico
 (recuperable)
 W_p = Trabajo plástico
 (no recuperable)
 P_m = Carga máxima
 h_0 = Deformación parcial
 h_m = Deformación total

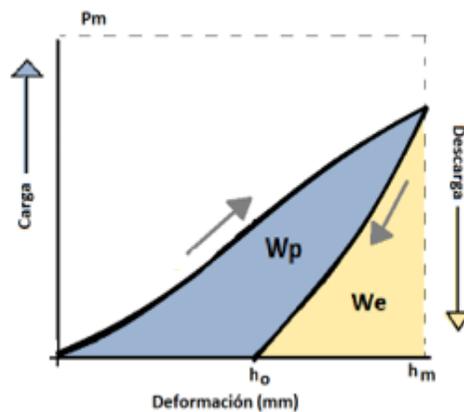


Figura 6. Representación esquemática de un ciclo de compresión (respuesta viscoelástica) durante un ciclo de carga y descarga (Adaptada de Ponce-García *et al.*, 2008).

5.8. Grado de elasticidad (*GE*)

El *GE* se expresa en porcentaje (%), a fin de que la proporción de la elasticidad respecto a W_t se interprete bajo fines más prácticos, además de que se apertura el comparativo con la resiliencia que, en ocasiones, se determina en un análisis de perfil de textura. En contexto, la relación de W_e respecto a W_t cuando el material es sujeto a un ciclo de carga y descarga representa *GE*. De manera similar, la relación W_p respecto a W_t representaría el grado de plasticidad (*GP*) (Figuroa *et al.*, 2011).

5.9. Calidad de la harina

Los criterios de calidad de las harinas para su uso final se correlacionan con base en las propiedades biofísicas del grano (peso hectolitro, dureza y granulometría, entre otras), químicas (cantidad y calidad de proteína) y de procesamiento las cuales se determinan principalmente en función de la composición del grano de trigo. La harina de trigo harinero contiene proteínas de reserva llamadas gluteninas y gliadinas, las cuales al proceso de amasado e hidratación conforman el complejo visco elástico soluble en agua denominado gluten, mismo que confiere a la masa las propiedades de fuerza y extensibilidad (Morales *et al.*, 2016).

5.9.1. Análisis fisicoquímicos

De acuerdo con Dendy y Dobrasczyk (2001), en el caso del pan, uno de los factores más importante es la fuerza potencial de las harinas, porque es necesario que el gluten tenga la capacidad de expansión reteniendo el gas producido por la levadura en contacto con los azúcares y, al mismo tiempo, la capacidad de mantener ese gas durante todo el tiempo de dicha expansión.

En este sentido, los análisis fisicoquímicos de las harinas de trigo, tales como el contenido de humedad, cenizas, gluten húmedo e índice de sedimentación o de Zeleny, son los que proporcionan un indicador más cercano de su comportamiento durante la panificación y, por tanto, permiten tentativamente predecir si la harina será útil o no.

5.9.1.1 Contenido de humedad

Determinar el contenido de humedad del grano es uno de los primeros pasos en el análisis de la calidad del trigo, ya que este dato se utiliza como referente obligado para realizar pruebas posteriores. Este parámetro también es un indicador durante el almacenamiento, ya que niveles superiores a 15% de humedad generan problemas de moho, bacterias e insectos (USDA, 2008). Sin embargo, cuando el grano se acondiciona para su molienda, el contenido de humedad se debe llevar de manera controlada a niveles entre 15% y 16%, a fin de facilitar el desprendimiento del salvado y, en consecuencia, incrementar el rendimiento harinero.

5.9.1.2. Cenizas

Se refiere al porcentaje en peso proveniente que proviene de los minerales inorgánicos (calcio, hierro, magnesio y zinc), que se obtiene después de incinerar una muestra de harina o grano de trigo a altas temperaturas para eliminar toda la materia orgánica y dejar solo los minerales inorgánicos.

No existe un valor óptimo de porcentaje de cenizas para la harina panificable, ya que esta propiedad fisicoquímica está más relacionada con la extracción de la harina (molienda) y con la calidad del grano.

La ceniza se encuentra principalmente en el salvado del grano, es por eso que los granos “chupados” suelen tener mayor porcentaje de cenizas, al ser más alto su porcentaje de salvado que de endospermo. Sin embargo, los valores oscilan entre 0.25 - 2.0%. Un contenido muy alto de ceniza puede afectar las propiedades de panificación y el color del pan. (Vásquez y Matos 2009).

5.9.1.3. Contenido de proteína

Esta propiedad está relacionada con muchas propiedades del procesamiento, como la absorción de agua y la fuerza del gluten. El contenido de proteína también se puede relacionar con los atributos del producto terminado, tales como la textura y la apariencia. Es deseable un bajo contenido de proteína para productos crujientes y contrariamente un índice alto, para productos con buen volumen y de textura suave, como el pan de molde (USDA, 2008).

5.9.1.4. Gluten húmedo

El gluten aporta firmeza y esponjosidad a los panes y masas horneadas, principalmente aquellas destinadas a la elaboración de pan. La calidad y cantidad de gluten determina las características de la masa tales como la elasticidad, extensibilidad, fuerza (retención de CO₂), estabilidad y propiedades de expansión. El gluten se forma por la interacción entre la glutenina y las gliadinas en presencia de agua y energía mecánica, es decir, al amasar se producen cambios en la configuración de estas proteínas dando lugar al gluten. La cantidad de proteínas presentes en el grano aporta información sobre la cantidad de gluten, pero no sobre la calidad y funcionalidad de este (CERERE, 2019).

5.9.1.5. Índice de sedimentación o de Zeleny

Para evaluar la calidad de las proteínas de las harinas de trigo, es habitual realizar algún tipo de un análisis de índice de sedimentación, también conocido como índice de Zeleny. Estas determinaciones se basan en la capacidad de estas proteínas para hincharse al entrar en contacto con una solución de ácido láctico; a mayor hinchamiento, mayor volumen de sedimentación (mL) y, en consecuencia, mayor fuerza del gluten. Así, tras mezclar en una bureta graduada de 100 mL la harina con agua, ácido láctico y azul de bromofenol como colorante para contrastar y observar mejor la sedimentación, la bureta con la mezcla se somete a un movimiento de vaivén. Tras este vaivén, la bureta con mezcla se deja un tiempo en reposo, dando lugar al hinchamiento de las proteínas y propiamente a la sedimentación de la harina; posteriormente se determina el volumen de sedimentación (lectura en mL). Con el tiempo la muestra se compactará más y la altura será menor. Al hincharse las proteínas, estas se compactan más lentamente, y por tanto a mayor altura más fuerte será la red de gluten, y por eso mejor será la calidad panadera de las harinas (Martínez, 2020).

5.9.2. Ensayos reológicos

Las pruebas más importantes para determinar la funcionalidad de las harinas de trigo son sin duda los llamados ensayos reológicos, los cuales tiene el objetivo de estudiar las propiedades físicas del gluten hidratado y formado por la acción del amasado. Los valores medidos, como la fuerza (W) en el alveógrafo o la capacidad de absorción de agua (%) en el farinógrafo, son valores referentes utilizados para estimar las propiedades de panificación de una harina (Sandoval *et al.*, 2012).

5.9.2.1. Alveograma

El principio del alveógrafo consiste en preparar una masa que se somete a una deformación por hinchamiento a partir de aire insuflado. Simultáneamente, un manómetro sincronizado registra las variaciones de presión dentro del alveolo hasta la ruptura de la burbuja formada (Figura 7). Estas variaciones de presión son registradas en un gráfico denominado alveograma, en el cual es posible determinar algunos parámetros reológicos de la harina hidratada (masa) (Vásquez y Matos, 2009).

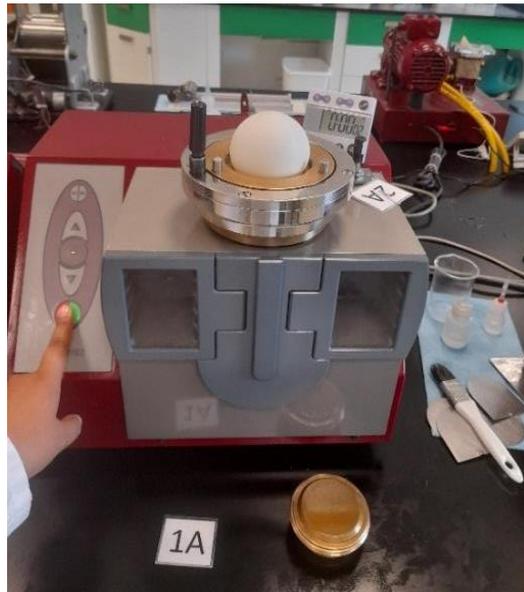


Figura 7. Alveógrafo Chopin

Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas son más viscosas y extensibles, las harinas con una relación balanceada de gliadinas y gluteninas presentan una fuerza media y son utilizadas para panadería,

las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las harinas que presentan una mayor proporción de gliadinas se utilizan para elaborar galletas (Figura 8) (De la Vega, 2009).

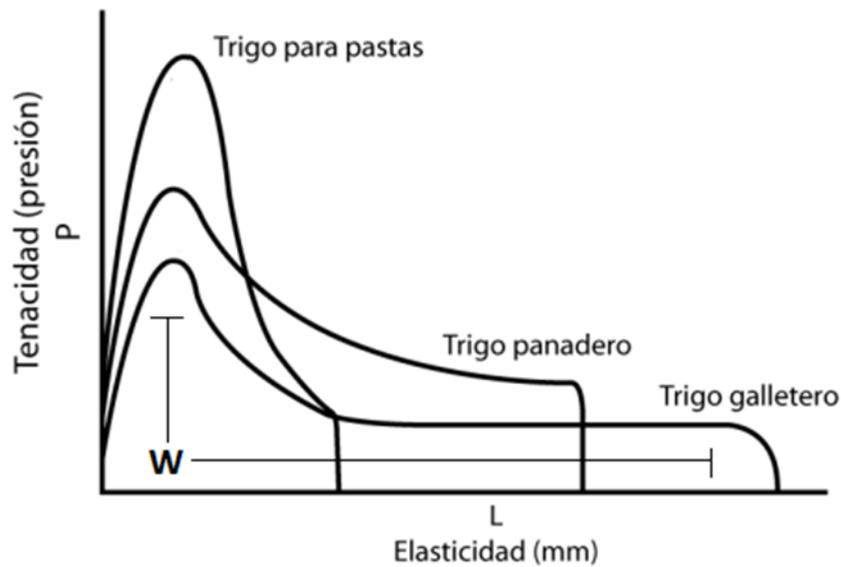


Figura 8. Alveogramas representativos de diferentes tipos de harina (Adaptado de De la Vega, 2009).

El valor de W representa la fuerza de la masa en términos del trabajo (área bajo la curva) necesario para retener el CO_2 formado durante la fermentación, hasta la ruptura de la burbuja. P expresa la tenacidad, es decir, determina la resistencia de la masa a la ruptura. L representa el valor de extensibilidad y pondera la capacidad de la masa para ser estirada; por último, la relación P/L indica el cociente o relación entre la tenacidad y la extensibilidad de la masa (Edel y Rosell, 2007).

5.9.2.2. Farinograma

En la Figura 9 (farinograma) se observan las tres etapas del proceso de mezclado: hidratación de los componentes de la harina, desarrollo del gluten y el ablandamiento de la masa, con respecto al tiempo. A partir de los datos obtenidos en un farinograma, es posible determinar el tiempo de trabajo mecánico (amasado) que se puede aplicar a la masa, hasta antes de que colapse la red de gluten. Asimismo, permite estimar el porcentaje de agua que se requiere para alcanzar una consistencia óptima de la masa 500 Unidades Brabender (UB) (De la Vega, 2009).

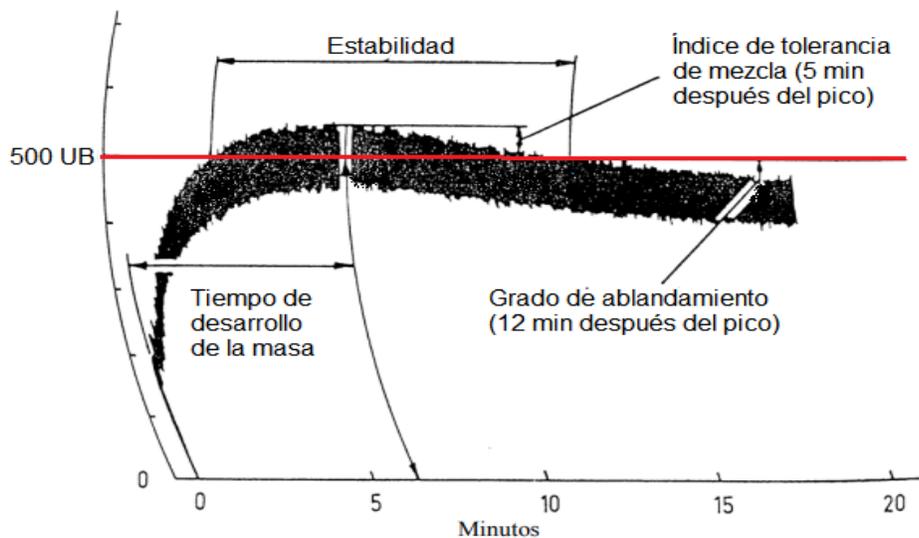


Figura 9. Farinograma representativo de harina panadera o fuerte.

(Adaptado de De La Llave, 2004).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del sitio experimental

La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrícolas, específicamente en el laboratorio de Textura de Alimentos, ubicado en el edificio del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento (CIEAF) de la UAEMéx.

6.2. Material biológico

El material biológico consistió en granos de trigo harinero (*Triticum aestivum*) de cuatro variedades mejoradas, cultivadas en el valle del Yaqui, Sonora, en el ciclo agrícola otoño-invierno 2021-2022 (Figura 10). La totalidad del material fue donado por la empresa RESOURCE SEEDS INTERNATIONAL (RSI) S. DE R.L. DE C.V. Por razones de confidencialidad requeridas por esta compañía, las variedades objeto de estudio no se mencionarán por su nombre, por lo que cada una de estas se codificó con una clave aleatoria, las cuales se presentan en el Cuadro 2. Las cuatro variedades objeto de este estudio, son el resultado de un proceso de mejoramiento de cruza Top desarrollado en la empresa. De manera general, se determinó que estos genotipos se adaptan bien a zonas trigueras de noroeste de México, son resistentes a enfermedades como *Puccinia recondita* y *Puccinia striiformis* y poseen calidad industrial aceptable con buenos rendimientos, presentando diferencias entre sí, en el área agronómica.

Cada muestra de grano se limpió manualmente utilizando cribas de aluminio con perforaciones triangulares de 1.98 mm (5/64") (Seedburo Equipment Co. IL, USA)

para remover material extraño e impurezas, hasta obtener 2 kg de cada variedad mejorada objeto de estudio. Cada muestra limpia se depositó en un contenedor de plástico dentro de una bolsa de polietileno y permanecieron en refrigeración (4 °C) hasta su utilización.



Figura 10. Identificación (códigos) de las muestras de granos de trigo harinero (*Triticum aestivum*) utilizados para esta investigación

Cuadro 2. Datos generales y codificación de los granos

Variedad	Clave	Origen	Días de espigamiento (días)
1	N6		Media (85)
2	G7	Valle del yaqui, Sonora 40 msnm	Tardía (95)
3	L8		Media (80)
4	V9		Tardía (90)

6.3. Consideraciones generales

La investigación comprendió la evaluación de 11 propiedades (7 físicas y 4 viscoelásticas) de los granos de cada una de las 4 muestras de trigo codificadas (N6, G7, L8 y V9). La determinación de cada uno de los atributos se realizó en 3 momentos identificados como Etapa 1, Etapa 2 y Etapa 3, con base al contenido de humedad (%) de los granos, a decir: 12, 16 y 20%, respectivamente. En cada etapa se realizaron en primera instancia las determinaciones biofísicas y posteriormente las viscoelásticas. En la Figura 11 se presenta el diagrama de flujo general correspondiente al desarrollo de la investigación.

Complementariamente y adicional a los objetivos trazados para este estudio, se realizaron análisis fisicoquímicos y ensayos reológicos de las respectivas harinas obtenidas del proceso de molienda de los granos, así como pruebas de panificación, a fin de establecer las características de calidad de cada una de las variedades. Los resultados derivados de estos análisis se pueden consultar en la sección de Anexos de este documento.

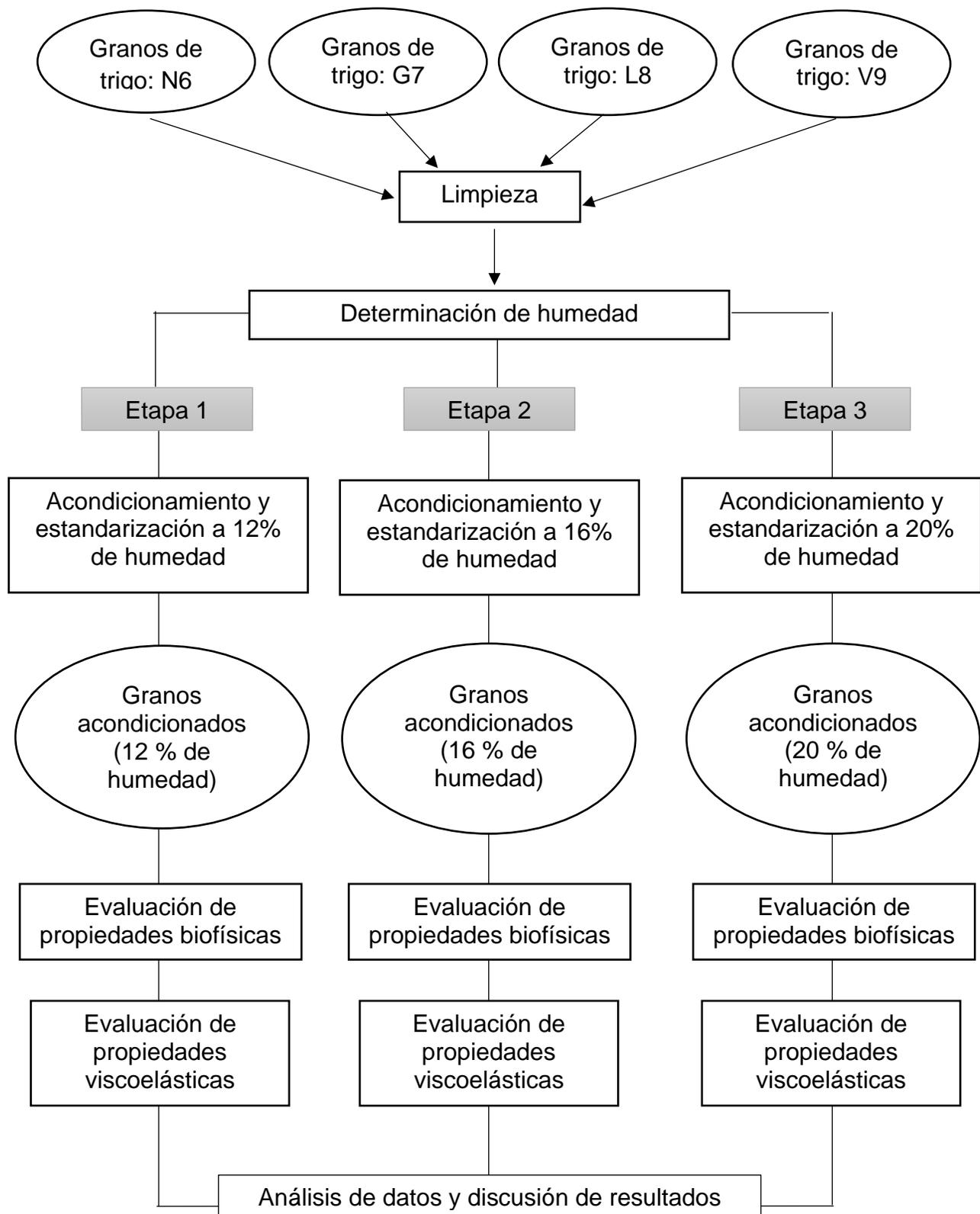


Figura 11. Diagrama de flujo general del desarrollo de la investigación.

6.4. Determinación del contenido de humedad y acondicionamiento de los granos

El contenido de humedad de las muestras se determinó por triplicado, siguiendo el método ASABE Standard S352.2.567 (1999). Para la determinación inicial (humedad original), los granos limpios se retiraron del refrigerador y se dejaron a temperatura ambiente durante 24 horas; una vez temperadas las muestras se aplicó el método. A partir del resultado de humedad inicial obtenido en cada una de las muestras de grano, separadamente se realizó su acondicionamiento a 12% de humedad aplicando la ecuación (1) propuesta por Serna-Saldivar (2012), utilizando 50 g de muestra para cada caso.

$$Agua\ a\ adicionar = \left\{ \left(\frac{100 - \% \text{ humedad inicial}}{100 - \% \text{ humedad deseada}} \right) - 1 \right\} \times (Cantidad\ de\ grano\ a\ acondicionar)$$

(1)

Concluido el proceso de acondicionamiento a 12% de humedad, se procedió a verificar el contenido de humedad de cada una de las muestras. Finalmente, cuando se requirió, se acondicionaron las 4 muestras de grano a 16% y 20% de humedad.

6.5. Caracterización de las propiedades biofísicas

Cada una de las determinaciones se realizó de acuerdo con las ecuaciones propuestas a continuación, reportando en todos los casos el valor medio de la medición de 20 granos (repeticiones) seleccionados aleatoriamente, por cada variedad y contenido de humedad. A su vez, las 7 propiedades biofísicas se

agruparon en tres categorías: apariencia (1 propiedad), peso-volumen-densidad (3 propiedades) y mecánicas (2 propiedades).

6.5.1. Apariencia

6.5.1.1. Dimensiones axiales

Se midieron el largo (L), ancho (A) y grosor (G) de cada grano, reportando los resultados en milímetros (mm). La medición se realizó con un vernier digital (REXQualis).

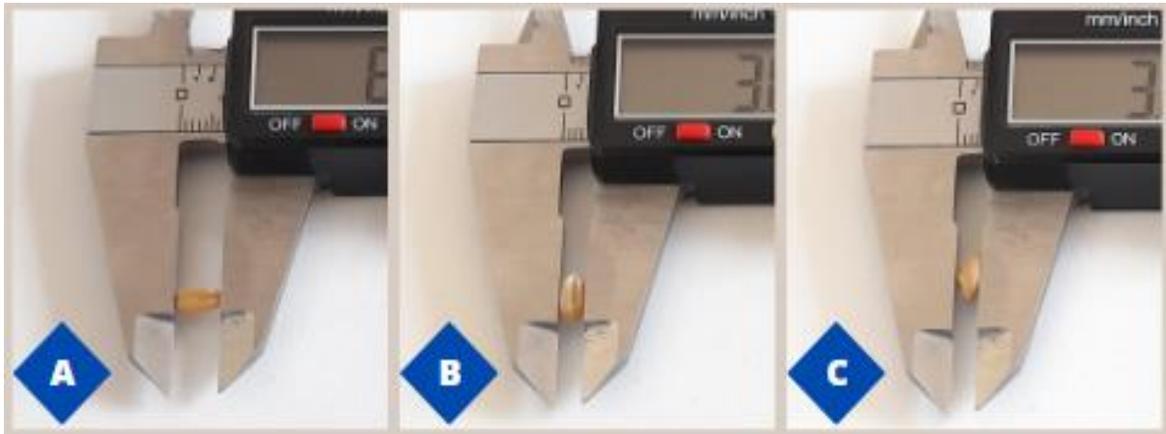


Figura 12. Medición de las dimensiones axiales en grano de trigo.
A) Largo; B) Ancho; C) Grosor

6.5.2. Propiedades de peso, volumen y densidad

6.5.2.1. Peso individual de grano (PIG)

El peso individual de grano (PIG) se obtuvo registrando el peso de cada grano en gramos (g), utilizando para ello una balanza analítica (OHAUS, mod. BBL61, Boeco, Alemania) (Figura 13A).

6.5.2.2. Peso de mil granos (PMG)

Manualmente, se contaron exactamente 1,000 granos de cada muestra y se reportó su peso en gramos. Esta determinación se realizó por triplicado y se reportó el peso promedio (Figura 13B).



Figura 13. A) Peso individual del grano. B) Peso de 1000 granos de trigo.

6.5.2.3. Densidad aparente (ρ_b)

Esta determinación se realizó considerando el Método 55-10, AACC (2005) con modificaciones. Se sustituyó el recipiente sugerido en el método oficial por un vaso de precipitado de 100 mL, al cual se le determinó su volumen exacto. Se reportó el valor promedio de 3 repeticiones. Se realizó la determinación siguiendo la ecuación (2) (Bhise *et al.*, 2014):

$$\rho_b = \frac{W_s}{V_s}$$

(2)

Dónde: ρ_b es la densidad aparente o densidad en volumen reportada en kg/hL; W_s es el peso de la muestra en kg, y V_s es el volumen ocupado por la muestra en hL.

6.5.3. Propiedades mecánicas

6.5.3.1. Fuerza máxima (F_{max}) a 5% de deformación

La F_{max} indica la fuerza máxima de compresión aplicada al grano (en Newtons) a una deformación constante de 5%. Este parámetro se determinó simultáneamente y de manera directa al momento de realizar el análisis viscoelástico de cada uno de los granos evaluados.

6.5.3.2. Dureza (D)

Este parámetro se evaluó mediante compresión uniaxial, utilizando el analizador de textura universal TA-XT2 Plus (Stable Micro Systems, Reino Unido) equipado con una sonda SMSP/2 (2 mm) (Figura 14A). La prueba consistió en colocar cada grano en la plataforma del equipo con la parte ventral hacia abajo (Figura 14B) y se comprimió hasta su ruptura (Ponce-García *et al.*, 2013). Los parámetros de evaluación considerados fueron los siguientes: 30% de deformación (compresión) y velocidades de pre-test, test y post-test de 2, 3.5 y 3.5 mm/s, respectivamente.

De cada grano se obtuvo una curva fuerza-tiempo, a partir de la cual se recuperó el valor correspondiente a la fuerza máxima (dureza) requerida para su ruptura.

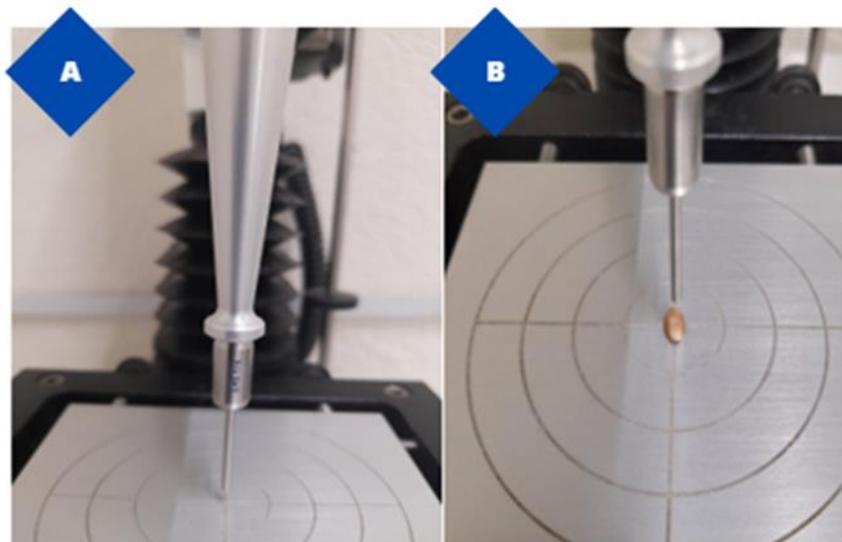


Figura 14. Analizador de textura Universal TA-XT2 con sonda SMSP/2.

6.6. Caracterización de las propiedades viscoelásticas

Para la evaluación de las propiedades viscoelásticas se utilizó el analizador de textura universal TA-XT2 Plus con sonda SMS P/25 (Figura 15), siguiendo el método de compresión uniaxial bajo pequeña deformación reportado por Ponce-García *et al.* (2017) con dos modificaciones: se sustituyó el modo de compresión simple (Return to start) por el modo TPA (doble compresión). Como segundo ajuste, se incrementó de 3% a 5% el índice de deformación durante la compresión.

Los parámetros de configuración en el analizador de textura fueron: modo TPA, 5% de deformación constante y velocidades de pre-test, test y post-test de 1, 0.1 y 0.1 mm/s, respectivamente. La determinación de las propiedades viscoelásticas se llevó a cabo para cada una de las muestras y humedades de acondicionamiento (12%, 16% y 20%).

A continuación, se describen los procedimientos específicos desarrollados para evaluar los parámetros viscoelásticos.

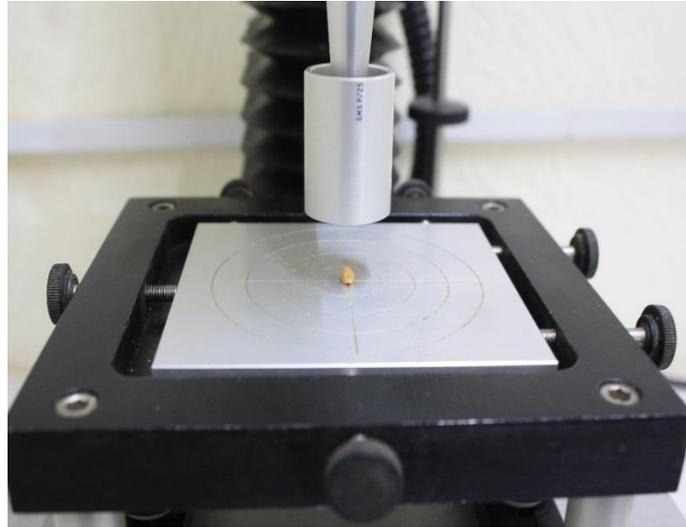


Figura 15. Analizador de textura universal TA-XT2 Plus con sonda SMS P/25

6.6.1. Trabajo total (W_t), elástico (W_e) y plástico (W_p)

El comportamiento viscoelástico de los granos individuales se determinó a partir de las respectivas curvas carga-descarga obtenida luego de la compresión al 5% (Ponce-García *et al.*, 2008). El área bajo la curva de compresión (carga) determinó el trabajo total (W_t). La contribución elástica reversible (W_e). del trabajo total se calculó a partir del área bajo la curva de descarga y la energía absorbida por la deformación plástica (W_p), misma que se calculó considerando la diferencia entre las dos primeras ($W_p = W_t - W_e$). (Gubicza *et al.*, 1996).

6.6.2 Grado de elasticidad (GE)

Es la proporción de W_e respecto a W_t luego de aplicar el ciclo de carga y descarga expresado en % (Figueroa *et al.*, 2011).

6.7. Diseño y análisis estadístico

Para evaluar las propiedades biofísicas y viscoelásticas de los granos se consideró un diseño de experimentos completamente aleatorizado de dos factores. Los factores evaluados fueron: variedad de grano y contenido de humedad (12%, 16% y 20%). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia del 95% y una prueba de Tukey para observar las diferencias entre las medias de los tratamientos ($P < 0.05$). El análisis estadístico se realizó con el software SAS, versión 9.1.3 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2002).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de las propiedades biofísicas de los granos

De acuerdo con el análisis de varianza (ANDEVA) aplicado a los resultados obtenidos en la presente investigación, fue posible demostrar que las propiedades biofísicas de las cuatro variedades mejoradas de trigo harinero (*Triticum aestivum*) evaluadas (N6, G7, L8 y V9), se vieron significativamente afectadas por el contenido de humedad de los granos (12%, 16% o 20%). Los resultados de cada una de las propiedades biofísicas se discuten detalladamente a continuación.

7.1.1. Propiedades biofísicas de apariencia

En el Cuadro 3 se observa que los valores de las propiedades biofísicas de apariencia de los granos tuvieron un comportamiento directamente proporcional respecto a su contenido de humedad, es decir, se presentó un incremento en las dimensiones axiales de los granos (largo, ancho y grosor), conforme el contenido de humedad era mayor.

Longitud (L)

Las cuatro variedades mejoradas no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre sí a un contenido de humedad del 12%, sin embargo, cuando el contenido de humedad de los granos fue 16% y 20%, se presentaron diferencias estadísticas entre variedades ($P < 0.05$).

En general, se observó que los granos de cada una de las variedades evaluadas manifestaron un incremento en el valor de *L* directamente proporcional con el contenido de humedad, siendo los granos de la variedad N6 los que mostraron

mayor incremento, al pasar de 6.6 mm a 6.9 mm a 7.0 mm, cuando el contenido de humedad fue 12%, 16% y 20%, respectivamente.

Ancho (A)

Para este parámetro se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre variedades en cada uno de los 3 niveles de humedad. Al igual que en el caso del largo de grano, la tendencia de incremento en el valor de A de los granos fue la misma, es decir, fue directamente proporcional con el contenido de humedad. Sin embargo, el incremento de los valores de ancho respecto al largo fue en menor proporción. A 12% de contenido de humedad, cada una de las 4 variedades presentó una medida inicial de ancho 2 mm menor respecto al 20% de humedad. Independientemente de las diferencias estadísticas que se presentaron, las variedades V9 y L8 fueron las que en cada nivel de humedad alcanzaron los valores de A menor y mayor, respectivamente.

Grosor (G)

Los granos de las 4 variedades a un contenido de humedad de 12% no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí ($P > 0.05$) para este parámetro. Sin embargo, y como era de esperarse, al igual que como ocurrió con las otras dos dimensiones axiales (largo y ancho), a medida que el contenido de humedad se incrementó a 16% y 20%, los valores de grosor también aumentaron, presentándose diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre variedades para ambos contenidos de humedad. Como se aprecia en el Cuadro 4, los granos de la variedad L8 fueron los que alcanzaron un mayor incremento en su grosor al pasar

gradualmente de 3.3 mm a 3.5 mm y terminar en 3.6 mm a 12%, 16% y 20% de contenido de humedad, respectivamente.

Sandra *et al.* (2020) evaluaron propiedades físicas y mecánicas de variedades locales de granos de arroz con distintos contenidos de humedad y determinaron que, cuanto mayor era el contenido de humedad, mayores eran la redondez, y las dimensiones axiales (ancho y grosor). Así mismo, para el volumen y el área de superficie aplicó la misma condición, es decir, con el aumento del contenido de humedad, se presentó un efecto significativo en ambas propiedades.

Si bien fue evidente que las 4 variedades evaluadas presentaron la misma tendencia de comportamiento como consecuencia del incremento en el contenido de humedad de los granos, cabe destacar que a 16% y 20% se presentaron diferencias estadísticas entre variedades en las 3 dimensiones axiales, mientras que a 12% de humedad, estas diferencias solo se presentaron para el parámetro ancho.

Cuadro 2. Valores medios de las propiedades biofísicas de apariencia (*L*, *A* y *G*) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.

VARIEDAD	<i>L</i> (mm)			<i>A</i> (mm)			<i>G</i> (mm)		
	Contenido de humedad (%)								
	12	16	20	12	16	20	12	16	20
N6	6.6 ±0.25a	6.9 ±0.27a	7.0 ±0.29a	3.7 ±0.12a	3.8 ±0.17a	3.9 ±0.16 ^a	3.3 ±0.19a	3.3 ±0.16ab	3.4 ±0.20b
G7	6.6 ±0.32a	6.7 ±0.35b	6.8 ±0.23ab	3.5 ±0.28b	3.5 ±0.25b	3.7 ±0.24b	3.2 ±0.214a	3.3 ±0.23b	3.5 ±0.19ab
L8	6.5 ±0.31a	6.7 ±0.28ab	6.8 ±0.25b	3.8 ±0.16a	4.0 ±0.16a	4.0 ±0.11 ^a	3.3 ±0.23a	3.5 ±0.23a	3.6 ±0.14a
V9	6.5 ±0.29a	6.6 ±0.29b	6.7 ±0.22b	3.4 ±0.22b	3.6 ±0.26b	3.6 ±0.22b	3.2 ±0.25a	3.3 ±0.17b	3.4 ±0.17b
Promedio	6.5	6.8	6.8	3.6	3.8	3.8	3.3	3.4	3.5

± Desviación estándar. En una misma columna, valores medios con diferentes letras son estadísticamente diferentes, para 12%, 16% y 20% de humedad (bh), respectivamente. *L* = Largo; *A* = Ancho; *G* = Grosor. n=20.

7.1.2. Propiedades de peso, volumen y densidad

En el Cuadro 4, se observa que los valores medios de las propiedades biofísicas de peso, volumen y densidad de los granos tuvieron un comportamiento directamente proporcional respecto a su contenido de humedad, es decir, se presentó un incremento en estos parámetros conforme el contenido de humedad era mayor. A continuación, se discuten de manera específica cada una de las propiedades evaluadas.

Peso individual del grano (*PIG*)

De acuerdo con los resultados del Cuadro 4, las cuatro variedades no presentaron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre sí a un contenido de humedad del 12%, sin embargo, cuando este incrementó a 16% y 20%, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) entre variedades.

En general, se observó que el promedio del *PIG* incrementaba ligeramente a medida que aumentaba el contenido de humedad, pasando de 0.059 g a 12% de humedad hasta 0.067 g, a 20% de humedad. La variedad L8 mostró los valores más altos de *PIG* en todos los niveles de humedad, lo que indica que este cultivar produce los granos más pesados, en contraste con la variedad V9 que presentó los valores más bajos en todos los niveles de humedad.

Por otro lado, las variedades N6 y G7 presentaron diferencias estadísticas significativas en el *PIG* para los diferentes niveles de humedad, lo que sugiere que pueden ser más sensibles a las fluctuaciones de humedad.

En un estudio realizado por Gürzoy y Güzel (2010), se evaluó el *PIG* de diversas variedades de trigo en un rango de humedad entre 8.6% y 9.7%. Los resultados obtenidos revelaron que la variedad de trigo con el contenido de humedad más elevado (9.7%) presentó el *PIG* más alto (0.053) g.

Peso de mil granos (*PMG*)

A partir de los resultados (Cuadro 4) y el ANDEVA llevado a cabo, se determinó que existieron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre variedades en cada uno de los 3 niveles de humedad.

En todas las variedades objeto de estudio, el valor promedio de *PMG* aumentó a medida que incrementaba el contenido de humedad, siendo la variedad L8 la que alcanzó los valores más altos para todos los niveles de humedad y, en contraste, la variedad V9 la que registró los más bajos.

El *PMG* es un parámetro importante que puede influir significativamente en la calidad de las harinas de trigo y, por ende, en la calidad del pan resultante. Estudios como el de De la Horra *et al.* (2012) han demostrado que existe una relación entre el *PMG* y el índice de calidad industrial (ICI) de las harinas de trigo. En este estudio, se observaron valores de *PMG* que oscilaron entre 27 y 33 g, lo que indicó que la muestra evaluada tenía una variación en su peso. Generalmente, un *PMG* más alto se asocia con un mejor rendimiento de harina, contenido de proteínas y calidad de esta, lo que resulta en panes con mayor volumen y con una miga más esponjosa.

Peso hectolitro (*phL*)

Con base en los datos presentados en el Cuadro 4, es posible afirmar que el valor de *phL* de las variedades de trigo mostró una tendencia inversamente proporcional respecto al contenido de humedad. Esto sugirió que los granos de trigo presentaron menor densidad aparente, conforme la humedad se incrementaba.

A un nivel de humedad del 12%, se observaron resultados estadísticamente significativos, destacando la variedad N6 con los valores más elevados de *phL* de 85.5 kg/hL, mientras que la variedad V9 registró el *phL* más bajo, con valores de 82.0 kg/hL. A medida que aumentó el contenido de humedad, la variedad L8 alcanzó los *phL* más altos a niveles de 16% y 20% de humedad, mientras que las variedades G7 y V9 también mostraron diferencias estadísticamente significativas. En contraste, la variedad N6 exhibió los valores más bajos de *phL* en los mismos niveles de humedad, indicando una menor densidad aparente de los granos en comparación con las otras variedades. Estas diferencias en el *phL* entre las variedades fueron más notables en niveles de humedad más bajos, como el 12% y el 16%, a diferencia de lo que ocurrió en el nivel de humedad más alto, que fue del 20%. Estos resultados sugieren una correlación negativa entre el *phL* y el contenido de humedad de los granos.

En variedades mexicanas de trigo harinero, De la O *et al.* (2012) reportaron valores de *phL* (entre 73 y 84 kg/hL) similares a los obtenidos en este estudio.

La densidad del grano está determinada por su estructura biológica y composición química, incluyendo el contenido de humedad. El peso hectolitro además está influenciado por la forma y el tamaño del grano. Otros factores como la presencia

de granos inmaduros, trigos dañados severamente por sequía o por enfermedades disminuyen el peso hectolitro y por lo tanto el rendimiento harinero (Peña *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Valores medios de las propiedades biofísicas de peso y densidad (PIG, PMG y *phL*) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.

VARIEDAD	PIG (g)*			PMG (g)**			<i>phL</i> (kg/hL)**		
	Contenido de humedad (%)								
	12	16	20	12	16	20	12	16	20
N6	0.060 ±0.006a	0.066 ±0.006a	0.068 ±0.006ab	54.5 ±0.0b	59.2 ±0.0a	62.0 ±0.0b	85.9 ±0.0a	75.9 ±0.0c	71.6 ±0.0c
G7	0.058 ±0.008a	0.058 ±0.009b	0.065 ±0.007bc	48.3 ±0.0c	51.3 ±0.0c	56.5 ±0.0c	84.8 ±0.0b	76.8 ±0.0b	71.5 ±0.0d
L8	0.061 ±0.006a	0.071 ±0.006a	0.073 ±0.005a	56.8 ±0.0a	61.6 ±0.0b	66.0 ±0.0a	81.7 ±0.0d	78.0 ±0.0a	73.2 ±0.0a
V9	0.056 ±0.008a	0.060 ±0.007b	0.060 ±0.005c	47.1 ±0.0d	49.3 ±0.0d	50.1 ±0.0d	82.0 ±0.0c	73.4 ±0.0d	72.7 ±0.0b
Promedio	0.059	0.064	0.067	51.6	55.3	58.6	83.6	76.0	72.2

± Desviación estándar. En una misma columna, valores medios con diferentes letras son estadísticamente diferentes, para 12%, 16% y 20% de humedad (bh), respectivamente. *PIG* = Peso individual de grano; *PMG* = Peso de mil granos; *phL* = Peso hectolitro. *n=20; **n=3.

7.2. Propiedades mecánicas

De acuerdo con el ANDEVA realizado, fue posible establecer que el contenido de humedad de los granos (12%, 16% o 20%) tuvo un impacto significativo sobre la fuerza máxima (F_{max}) y la dureza (D) de los granos de las cuatro variedades mejoradas de trigo harinero evaluadas (N6, G7, L8 y V9). A continuación, se presenta una discusión detallada de los resultados obtenidos para cada una de estas propiedades mecánicas.

7.2.1. Fuerza máxima (F_{max})

En el Cuadro 5 se observa los valores de la fuerza máxima (F_{max}) para diferentes variedades de trigo en función del contenido de humedad.

Las variedades N6 y L8 exhibieron tendencias similares en sus valores de F_{max} en relación con el contenido de humedad. Ambas alcanzaron su máxima resistencia a una humedad del 12%, y luego esta disminuyó gradualmente a medida que la humedad aumentaba. En el caso de la variedad N6, la fuerza máxima disminuyó de 25.2 N a 18.2 N al aumentar la humedad al 16% a 20% de humedad. Mientras que la variedad L8 disminuyó de 27.4 N a 22.3 N a medida que la humedad aumentaba del 16% al 20%.

Por otro lado, las variedades G7 y V9 no mostraron diferencias estadísticamente significativas a un 12% de humedad. Sin embargo, cuando se aumentó el nivel de humedad al 16%, estas variedades alcanzaron sus valores máximos de F_{max} , registrando 24.4 N y 22.3 N, respectivamente. No obstante, al elevar la humedad al 20%, sus valores de F_{max} disminuyeron a 23.1 N y 21.4 N, respectivamente.

Estos resultados indican que las variedades N6 y L8 tienden a perder resistencia a medida que aumenta la humedad, mientras que las variedades G7 y V9 muestran un aumento inicial en su resistencia a un nivel de humedad del 16%, pero la pierden cuando la humedad se eleva al 20%.

Resende *et al.* (2013), evaluaron granos de arroz con cáscara y descascarillados para reconocer su comportamiento en relación con el contenido de humedad. Estos investigadores determinaron que al reducir el contenido de humedad de 0,30% a 0,12% (bs), se presentaba un aumento en la fuerza de ruptura de los granos. Para el arroz con cáscara, la fuerza de ruptura aumentó de 48 a 79.5 N, mientras que, para los granos de arroz descascarillados, aumentó de 37.2 a 70.6 N. Esta variación en la fuerza necesaria para causar ruptura en la estructura de los granos está directamente relacionada tanto con el contenido de humedad del material biológico como con su resistencia física.

7.2.2. Dureza (D)

En el Cuadro 5, se presenta la dureza (D) para cada variedad de trigo (N6, G7, L8 y V9) en diferentes niveles de humedad (12%, 16% y 20%). Esta es otra propiedad mecánica clave utilizada para evaluar su calidad y su adecuación para diversos productos. La dureza se refiere a la resistencia del grano a la deformación o rotura cuando se aplica una fuerza externa (como compresión, tensión o torsión).

La variedad G7 mostró los valores más altos de dureza a cada nivel de humedad (12%, 16% y 20%). En contraste, la variedad N6 exhibió los valores más bajos. Para ilustrar aún más, el promedio de dureza a un 12% de humedad fue de 108.7 N. Cuando la humedad aumentó al 16%, el valor de dureza disminuyó a 84.8 N, y

finalmente, cuando la humedad aumentó al 20%, la dureza también disminuyó a 67.7 N. Estos resultados indican una correlación negativa entre la dureza del grano y el porcentaje de humedad. En otras palabras, a medida que la humedad aumenta, la dureza del grano tiende a disminuir.

Gabrielly *et al.* (2019), evaluaron propiedades mecánicas de granos de sorgo sometidos a compresión en diferentes niveles de humedad. Los resultados demostraron que varios factores, tales como la temperatura de secado, el contenido de humedad, la rigidez y la zona grano dónde se aplica la fuerza, pueden influir en las propiedades mecánicas de los granos. Observaron que a medida que aumentaba el contenido de humedad, la fuerza de compresión necesaria para deformar el grano de sorgo disminuía, registrando valores que oscilaban entre 139 N y 21 N, dependiendo si el contenido de humedad del grano era menor o mayor, respectivamente. Esto indica que los granos con mayor contenido de humedad presentaban una menor resistencia a la compresión.

Cuadro 4. Valores medios de las propiedades biofísicas mecánicas ($F_{m\acute{a}x}$ y D) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.

VARIEDAD	$F_{m\acute{a}x}$ (N)			D (N)		
	Contenido de humedad (%)					
	12	16	20	12	16	20
N6	32.9 ±3.7a	25.2 ±5.1ab	18.2 ±2.9b	101.2 ±11.4b	75.1 ±13.1b	61.0 ±7.6b
G7	15.4 ±2.8b	23.3 ±4.6b	23.1 ±3.4a	123.8 ±23.7 ^a	88.8 ±19.5a	80.4 ±9.4a
L8	33.1 ±5.1a	27.4 ±6.5ab	22.3 ±3.2a	109.0 ±21.9ab	82.7 ±12.8ab	64.5 ±9.5b
V9	14.3 ±2.8b	29.3 ±3.9a	21.4 ±3.9a	112.6 ±20.0ab	92.6 ±8.8a	65.0 ±7.7b
Promedio	23.9	26.3	21.3	108.7	84.8	67.7

± Desviación estándar. En una misma columna, valores medios con diferentes letras son estadísticamente diferentes, para 12%, 16% y 20% de humedad (bh), respectivamente. $F_{m\acute{a}x}$ = Fuerza máxima; D = Dureza. n=20.

7.3 Caracterización de las propiedades viscoelásticas de los granos

Con base en los resultados presentados en el Cuadro 6 se determinó que en general, entre variedades y en cada nivel de humedad (12%, 16% y 20%) se presentaron diferencias estadísticas significativas sobre las propiedades viscoelásticas evaluadas (trabajo total, trabajo elástico, trabajo plástico y grado de elasticidad).

7.3.1. Trabajo total (W_t), trabajo elástico (W_e) y trabajo plástico (W_p).

En el Cuadro 6 y la Figura 16, se observan los valores medios correspondientes a W_t , W_e y W_p para las cuatro variedades de trigo (N6, G7, L8 y V9) evaluadas a tres diferentes contenidos de humedad (12%, 16% y 20%).

Trabajo total (W_t)

En un primer escenario, con una humedad del 12% (Cuadro 6 y Figura 16) se obtuvo un valor promedio de 1.465 N·mm para W_t , siendo relevante destacar que las variedades N6 y L8 exhibieron los valores más elevados (2.355 N·mm y 2.380 N·mm respectivamente), los cuales resultaron ser estadísticamente iguales. Por otra parte, las variedades G7 y V9 presentaron los valores más bajos (0.557 N·mm y 0.568 N·mm respectivamente), manteniendo una similitud estadística entre ellas.

A medida que la humedad incrementó a 16% (Cuadro 6 y Figura 17), se evidenció un cambio significativo en los resultados, con un incremento sustancial en el valor promedio de W_t , que alcanzó los 2.006 N·mm.

No obstante, cuando la humedad se elevó a 20% (Cuadro 6 y Figura 18), se observó que las variedades G7, L8 y V9 destacaron nuevamente con los valores más altos

de W_t , no presentando diferencias estadísticas entre sí, además de que la variedad V9 fue estadísticamente igual a la variedad N6. A 20% de humedad, el valor promedio de W_t de las variedades conjuntas disminuyó (1.660 N·mm), respecto al 16% de humedad.

En particular, se destacó que el trabajo total alcanzó su punto máximo en diferentes niveles de humedad para cada variedad. Las variedades N6 y L8 exhiben sus mejores valores a un nivel de humedad del 12%. Por otro lado, la variedad V9 muestra un valor de W_t superior a un nivel de humedad del 16%, Mientras tanto, la variedad G7 muestra niveles más bajos de W_t en general y su valor más alto lo registro hasta que la humedad se elevó a un 20%, lo que sugiere que es un material más rígido y menos deformable en general.

Los resultados de la división del trabajo total (W_t), en trabajo elástico (W_e) y trabajo plástico (W_p) para las cuatro variedades de trigo evaluadas a diferentes niveles de humedad (12%, 16% y 20%) han demostrado de manera consistente que W_e es el valor más alto. Este hallazgo indica una mayor dureza del endospermo del grano, lo que se traduce en una calidad superior durante el proceso de panificación. Específicamente, las variedades N6 y L8 destacan como las opciones más adecuadas para llevar a cabo procesos de panificación de manera óptima y efectiva.

Lo anterior coincide con el estudio de Maucher *et al.* (2009), en el cual se demostró la conexión entre las propiedades mecánicas y viscoelásticas de granos de trigo y las de la masa. Se observó que las variedades con una alta relación elástica/plástica (E/P) tenían mayor resistencia al gluten. Estos resultados son clave para la calidad del trigo en la industria alimentaria.

Cuadro 5. Valores medios de las propiedades viscoelásticas (W_t , W_e , W_p y GE) de granos de trigo de cuatro variedades mejoradas, acondicionados a 12%, 16% y 20% de humedad.

VAR	W_t (N·mm)			W_e (N·mm)			Contenido de humedad (%)			GE (%)		
	12	16	20	12	16	20	12	16	20	12	16	20
	N6	2.355 ±0.43a	1.870 ±0.60ab	1.330 ±0.36b	1.962 ±0.40a	1.324 ±0.47ab	0.869 ±0.26b	0.392 ±0.07b	0.546 ±0.15bc	0.461 ±0.13b	83.0 ±2.8a	70.1 ±5.4a
G7	0.557 ±0.16b	1.613 ±0.44b	1.883 ±0.42a	0.418 ±0.16b	1.102 ±0.35b	1.171 ±0.28a	0.139 ±0.03c	0.511 ±0.12c	0.711 ±0.16a	73.2 ±9.6b	67.1 ±7.0a	62.1 ±3.7a
L8	2.380 ±0.51a	2.233 ±0.55a	1.832 ±0.45a	1.894 ±0.50a	1.60 ±0.42 ^a	1.134 ±0.28a	0.485 ±0.10a	0.633 ±0.16ab	0.697 ±0.19a	78.7 ±6.1ab	71.5 ±4.0a	62.1 ±4.7a
V9	0.568 ±0.15b	2.308 ±0.50a	1.596 ±0.38ab	0.422 ±0.14b	1.63 ±0.41 ^a	1.012 ±0.30ab	0.145 ±0.03c	0.671 ±0.12a	0.584 ±0.11ab	73.2 ±6.6b	70.4 ±3.9a	62.8 ±4.9a
Prom	1.465	2.006	1.660	1.174	1.416	1.047	0.290	0.590	0.613	77.0	69.8	63.0

± Desviación estándar. En una misma columna, valores medios con diferentes letras son estadísticamente diferentes, para 12%, 16% y 20% de humedad (bh), respectivamente. W_t = Trabajo total; W_e = Trabajo elástico; W_p = Trabajo plástico; GE = Grado de elasticidad. n=20.

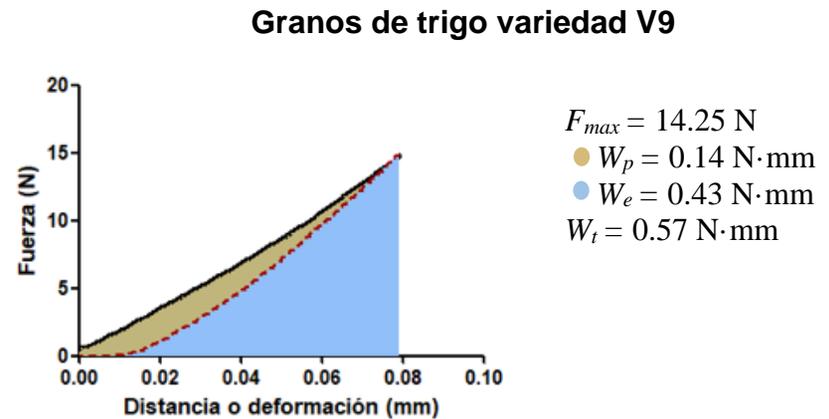
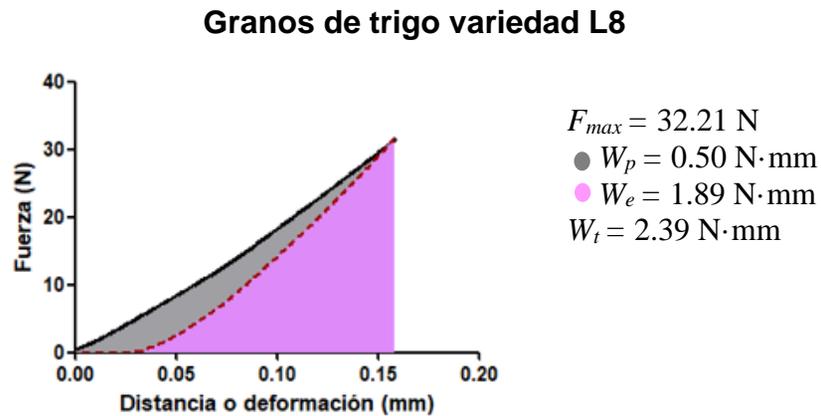
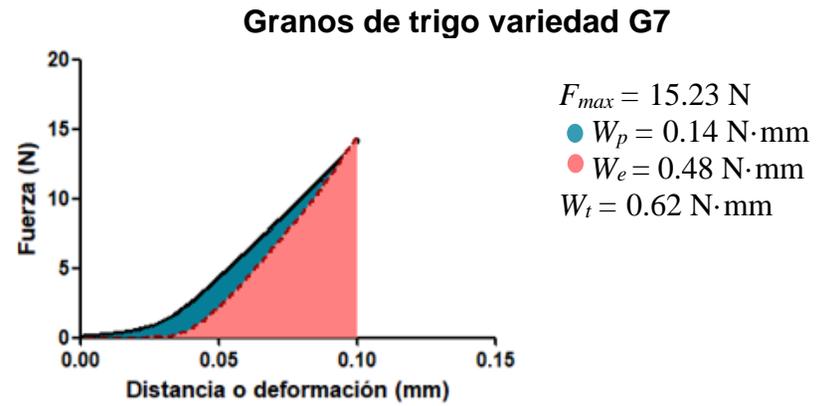
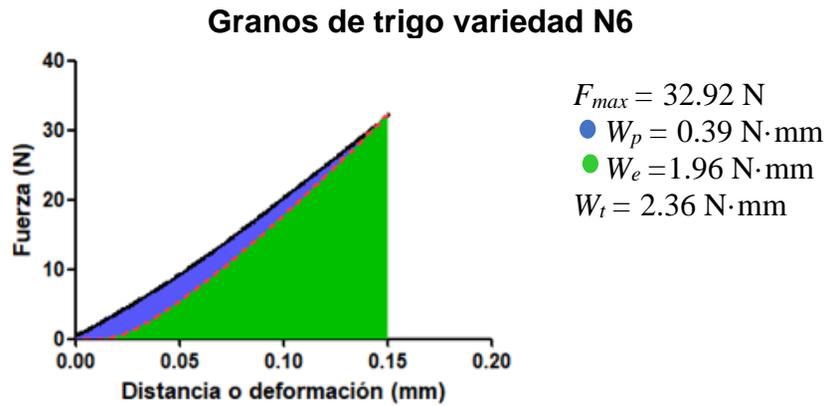
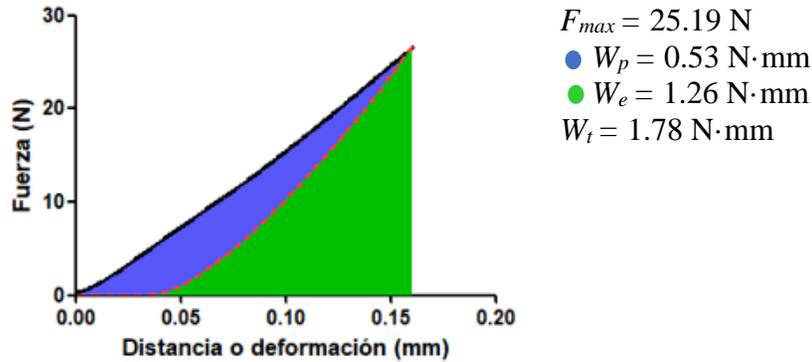
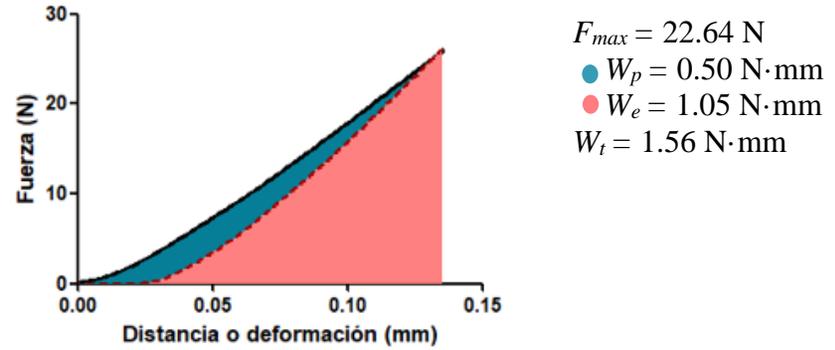


Figura 16. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 12% de humedad.

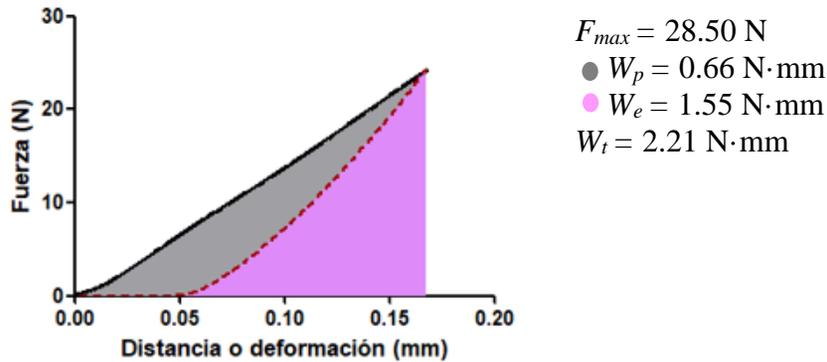
Granos de trigo variedad N6



Granos de trigo variedad G7



Granos de trigo variedad L8



Granos de trigo variedad V9

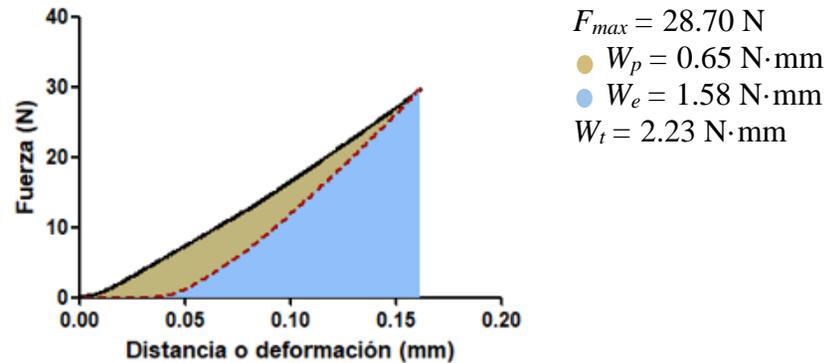


Figura 17. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 16% de humedad.

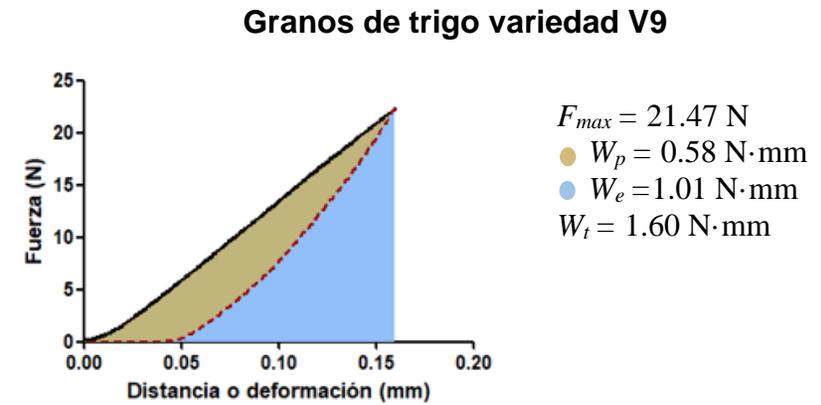
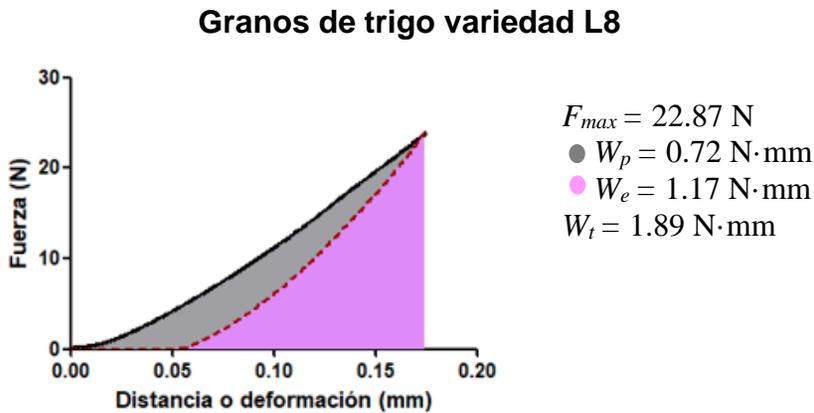
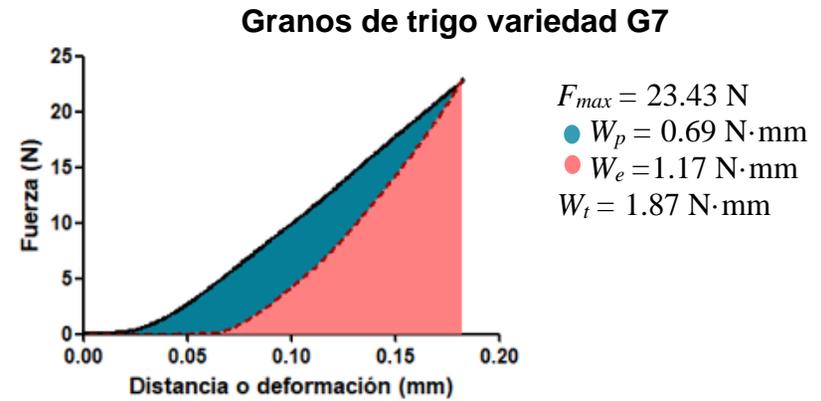
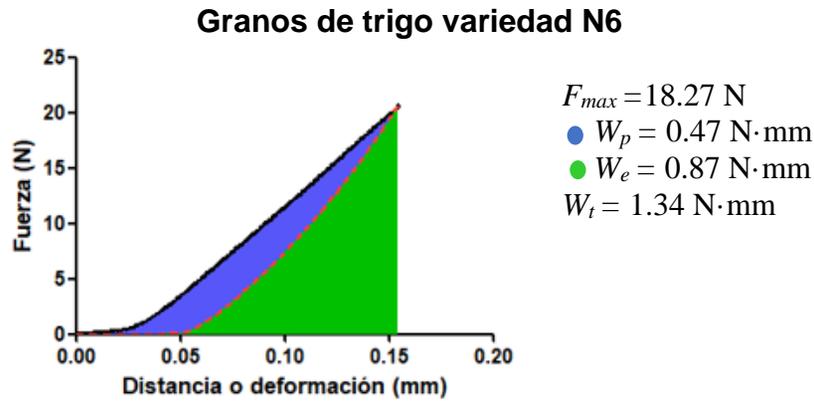


Figura 18. Curvas promedio del comportamiento viscoelástico (W_t , W_e , W_p) de granos de trigo mejorado a 20% de humedad.

Trabajo elástico (W_e)

El Cuadro 6 y Figura 18 se presenta el comportamiento de trabajo elástico (W_e) sobre distintas variedades de trigo (N6, G7, L8, V9) ante los distintos niveles de contenido de humedad (12%, 16% y 20%).

En el caso específico de la variedad N6, se puede observar una disminución en el W_e , pasando de 1.962 N·mm a 1.324 N·mm y 0.869 N·mm a contenido de humedad de 12%, 16% y 20%, respectivamente. Similarmente, la variedad L8 también experimentó una reducción en el W_e , pasando de 1.894 N·mm a 1.600 N·mm a 1.134 N·mm en el mismo rango de incremento de humedad. Estos datos reflejan claramente que tanto la variedad N6 como la L8 tienden a disminuir su capacidad de trabajo elástico a medida que la humedad se eleva.

En contraste, las variedades G7 y V9 exhiben una tendencia opuesta, ya que a medida que el contenido de humedad se incrementa, también lo hace el valor de su trabajo elástico. En el caso de la variedad G7, el W_e aumenta de 0.418 N·mm a 1.102 N·mm a 1.171 N·mm al ascender la humedad del 12% al 16% y luego al 20%. De manera similar, para la variedad V9, el trabajo elástico incrementa de 0.422 N·mm a 1.012 N·mm a medida que el contenido de humedad aumenta del 12% al 20%.

Los patrones de comportamiento en las variedades de granos de trigo indican que reaccionan de manera diferente ante las variaciones en la humedad. Este factor parece tener un impacto significativo en la capacidad de los granos de trigo para realizar trabajo elástico.

En particular, las variedades N6 y L8 tienden a perder elasticidad a medida que aumenta la humedad, mientras que otras variedades como G7 y V9 muestran un aumento en su trabajo elástico en condiciones de mayor humedad.

Esto tiene implicaciones importantes en la panificación, donde las variedades N6 y L8 se destacan como opciones preferidas, debido a varias razones, como una mejor hidratación del gluten y una mayor retención de agua, a una humedad estandarizada (de 11% a 13%). Estas características hacen que estas variedades sean especialmente adecuadas para la producción de pan de alta calidad. Por otro lado, las variedades G7 y V9, que muestran un aumento en su trabajo elástico con la humedad, pueden tener aplicaciones específicas en otras áreas de la panadería o en la producción de productos de trigo diferentes a los panes tradicionales.

Las características individuales de las variedades de trigo y su respuesta al contenido de humedad son factores esenciales a tener en cuenta al seleccionar la variedad adecuada para la producción de pan y otros productos de panadería. Esto subraya la importancia de comprender cómo estas propiedades individuales se relacionan con el proceso de panificación y cómo estas diferencias pueden influir en la calidad del producto final.

Trabajo plástico (W_p)

En el Cuadro 6 y Figura 18, se aprecia que el trabajo plástico experimentó un aumento paralelo al incremento en la humedad. Esta relación se evidencia claramente en el caso de la variedad G7, donde a un nivel de humedad del 12%, se registró un valor de W_p de 0.139 N·mm. A medida que la humedad se elevó al 16%, el valor de W_p también se incrementó significativamente, alcanzando un valor de

0.511 N·mm. Finalmente, cuando la humedad llegó al 20%, el valor de W_p se situó en 0.711 N·mm.

La variedad L8 mostró una tendencia similar de aumento en su valor de W_p a medida que la humedad aumentaba. A un nivel de humedad del 12%, se obtuvo un valor de W_p de 0.485 N·mm. Con un aumento en la humedad al 16%, el valor de W_p también creció, registrando un valor de 0.633 N·mm. Finalmente, cuando la humedad alcanzó el 20%, el valor de W_p se situó en 0.697 N·mm. Estos resultados indican una clara correlación entre el trabajo plástico y los niveles de humedad en ambas variedades. Sin embargo, no todas las variedades siguieron este mismo comportamiento, en el caso de la variedad N6, a un nivel de humedad del 12%, se registró un valor de W_p de 0.392 N·mm. A medida que la humedad aumentó al 16%, también lo hizo el valor de W_p , alcanzando 0.546 N·mm. Sin embargo, sorprendentemente, cuando la humedad llegó al 20%, el valor de W_p disminuyó a 0.461 N·mm.

Esta misma tendencia atípica se observó en la variedad V9. Con una humedad del 12%, la variedad V9 presentó un valor de W_p de 0.145 N·mm. A medida que la humedad aumentó al 16%, el valor de W_p también aumentó considerablemente a 0.671 N·mm. Sin embargo, nuevamente, cuando la humedad alcanzó el 20%, el valor de W_p descendió a 0.584 N·mm.

Sin embargo, a pesar de las variaciones en el trabajo total (W_t) y el trabajo elástico (W_e) en función de la humedad, se observa un patrón interesante en el comportamiento del trabajo plástico (W_p). En este caso, se ha notado que el valor del trabajo plástico aumenta a medida que la humedad aumenta, al mismo tiempo

que el trabajo elástico (W_e) disminuye. Esta dinámica sugiere una clara relación inversa entre el trabajo plástico y el trabajo elástico en función de la humedad. En otras palabras, a medida que un material se vuelve más propenso a la deformación plástica debido a un aumento en la humedad, su capacidad para realizar trabajo elástico disminuye.

En un estudio realizado por Ponce *et al.* (2013), se investigó el efecto del contenido de humedad en las propiedades viscoelásticas de granos individuales de trigo. Para ello, se utilizó la prueba de compresión uniaxial bajo pequeña deformación, que permitió evaluar el comportamiento de diferentes parámetros, como W_t , W_e , W_p y módulo de elasticidad (E). Los resultados obtenidos revelaron que la clase de trigo, el contenido de humedad y la interacción entre los cultivares tuvieron un impacto significativo en los valores de W_e y W_p ($P < 0.01$), siendo el contenido de humedad el factor que ejerció el mayor efecto. Se observó que los niveles más altos de humedad se asociaron con valores más bajos de W_t , lo que indicó una disminución en la elasticidad y un aumento en la viscosidad. Es decir, el incremento en la humedad provocó la plastificación de los granos y alteró sus propiedades viscoelásticas.

7.3.2 Grado de elasticidad (GE)

El Cuadro 6 presenta datos sobre el grado de elasticidad (GE) de cuatro variedades de grano (N6, G7, L8, V9) en tres niveles de contenido de humedad (12%, 16%, 20%). Se observa una tendencia consistente en la relación entre el contenido de humedad y el grado de elasticidad. A medida que la humedad aumenta, el GE disminuye, indicando que las variedades de grano tienen una mayor capacidad para recuperar su forma original en condiciones de menor humedad. Entre las

variedades, N6 muestra el *GE* más alto a 12%, disminuyendo de 83.0% a 70.1% y luego a 65.1% a medida que la humedad aumenta de 12% al 16% y 20%, respectivamente. Por otro lado, G7 presentó los valores más bajos de *GE*, con una disminución de 73.2% a 70.4% y luego a 62.8% en los mismos niveles de humedad.

La humedad tiene un impacto negativo en la elasticidad de los granos de trigo debido a la absorción de agua, cambios en la estructura interna y textura, mayor fragilidad y procesos químicos que alteran sus propiedades mecánicas. Esto es importante tenerlo en cuenta en el almacenamiento y procesamiento de granos de trigo, ya que la pérdida de elasticidad puede afectar la calidad y la utilidad de los productos derivados del trigo. En cuanto al módulo de elasticidad, se encontró que la clase de trigo, el contenido de humedad y la interacción entre los cultivares tuvieron un impacto significativo en este parámetro reológico ($P < 0.01$). Esto indica que tanto la composición del trigo, el nivel de humedad y las características específicas de cada cultivar influyeron en la rigidez y resistencia del grano frente a las deformaciones aplicadas durante la prueba de compresión.

7.4. Correlaciones simples

Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson para identificar posibles correlaciones entre las propiedades biofísicas y viscoelásticas de cuatro variedades de trigo mejoradas. Los resultados, presentados en el Cuadro 7, revelan interesantes correlaciones entre estas propiedades, lo cual brinda una visión más clara sobre cómo se relacionan entre sí y cómo pueden influir en el comportamiento del grano. Estas asociaciones son de gran importancia para la mejora y selección de variedades de trigo en futuras investigaciones y aplicaciones agrícolas.

Dentro de los hallazgos más relevantes de este análisis de correlación, se observó una correlación negativa significativa entre el largo del grano y el grado de elasticidad ($P < 0.05$), lo que indica que a medida que el grano es más largo, su elasticidad disminuye. El grosor del grano mostró una correlación positiva con el trabajo plástico ($P < 0.05$) y una correlación negativa con el grado de elasticidad ($P < 0.05$). Esto implica que a medida que el grosor del grano aumenta, se realiza más trabajo plástico durante su deformación y su elasticidad disminuye.

Adicionalmente, se observó una correlación significativa entre el peso individual del grano y el trabajo plástico ($P < 0.05$), lo que implica que a medida que el peso del grano aumenta, se realiza una mayor cantidad de trabajo plástico durante su deformación.

Asimismo, el peso hectolitro del grano exhibió una correlación negativa muy significativa ($P < 0.01$) con el trabajo plástico y positiva muy significativa ($P < 0.01$) con

el grado de elasticidad. Esto sugiere que a medida que el peso hectolitro aumentó, se observó una disminución en el trabajo plástico realizado durante su deformación, mientras que el grado de elasticidad tendió a aumentar.

Cuadro 6. Correlaciones simples de Pearson (r) entre propiedades biofísicas y mecánicas vs. propiedades viscoelásticas de granos de trigo de variedades mejoradas.

PROPIEDAD	VISCOELÁSTICA				
	W_t	W_e	W_p	GE	
BIOFÍSICA	<i>Largo</i>	ns	ns	ns	-0.593*
	<i>Ancho</i>	ns	ns	ns	ns
	<i>Grosor</i>	ns	ns	0.644*	-0.592*
	<i>PIG</i>	ns	ns	0.629*	ns
	<i>PhL</i>	ns	ns	-0.748**	0.877**
MECÁNICA	F_{max}	0.943**	0.991**	ns	ns
	<i>Dureza</i>	ns	ns	-0.714**	0.730**

W_t , Trabajo total; W_e , Trabajo elástico; W_p , Trabajo plástico; GE , Grado de elasticidad; PIG , Peso individual de grano; phL , Peso hectolitro; $F_{máx}$, Fuerza máxima. ns, no significativo ($P>0.05$); *Significativo ($P<0.05$); **Muy significativo ($P<0.01$).

En cuanto a las propiedades mecánicas, se encontraron correlaciones positivas muy significativas ($P<0.01$) entre la fuerza máxima y los respectivos trabajo total y elástico, lo que sugiere que a medida que aumenta la fuerza máxima, también aumenta el trabajo realizado durante la deformación elástica. Por otro lado, la dureza mostró una correlación negativa muy significativa ($P<0.01$) con el trabajo plástico y una correlación positiva muy significativa ($P<0.01$) con el grado de elasticidad, lo que indica que a medida que aumenta la dureza, se realiza menos trabajo plástico y se observa un aumento en el grado de elasticidad.

VIII. CONCLUSIONES

- La humedad en los granos ejerce una influencia considerable en sus propiedades biofísicas y viscoelásticas. En general, se observó un aumento en las dimensiones axiales, peso, volumen y densidad de los granos a medida que se incrementaba el contenido de humedad, destacándose diferencias estadísticamente significativas entre las diversas variedades.
- El método de compresión uniaxial a baja deformación empleado en este estudio demostró ser una herramienta eficaz para la evaluación del comportamiento viscoelástico en granos de trigo con variados niveles de contenido de humedad.
- En lo que respecta a las propiedades viscoelásticas, se observaron respuestas divergentes entre las distintas variedades en lo que respecta a los trabajos total, elástico y plástico al variar el contenido de humedad. Adicionalmente, se notó una disminución en el grado de elasticidad en todas las variedades a medida que el contenido de humedad aumentaba.
- Se establecieron correlaciones simples significativas entre las propiedades biofísicas y viscoelásticas de los granos.
- Las variedades N6 y L8 sobresalieron por sus destacadas propiedades biofísicas, incluyendo el peso individual del grano, el peso de mil granos y la densidad aparente. Asimismo, ambas variedades exhibieron propiedades viscoelásticas favorables en el trabajo total y trabajo elástico, siendo significativamente elevados. Estas cualidades constituyen indicadores esenciales de la calidad del trigo y su aptitud para la panificación.

- Los resultados presentados en este estudio poseen una relevancia significativa en el ámbito de la mejora y selección de variedades de trigo en investigaciones agrícolas futuras. Estos hallazgos proporcionan una comprensión más profunda de la interrelación entre las propiedades biofísicas y viscoelásticas, y cómo estas pueden incidir en el comportamiento de los granos.

IX. RECOMENDACIONES

La consideración del contenido de humedad y las correlaciones entre las propiedades biofísicas y viscoelásticas se torna fundamental en la búsqueda de mejoras en la calidad y los procesos de producción del trigo en los ámbitos agrícola e industrial alimentario. Por consiguiente, se recomienda la realización de estudios adicionales que aborden diversas variedades de trigo y distintos niveles de humedad del grano, adecuados a los procesos específicos a los que se someterán.

Comparar diversas variedades de trigo desde el momento de la siembra, aplicando enfoques agrícolas diversos, con el objetivo de analizar sus características viscoelásticas y evaluar su impacto.

X. REFERENCIAS CONSULTADAS

1. American Association of Cereal Chemists (AACC Int.). (2000). Método 55-10.01. En: *Approved Methods of the AACC Int.* St. Paul, MN, USA.
2. Antoine, C., Lullien-Pellerin, V., Abecassis, J. y Rouau, X. (2002). Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments*, 22:545-556.
3. ASABE Standards. American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2009) Compression test of food materials of convex shape. *ASABE S368.4. DEC2000 (R2008)*. Pp. 676-686.
4. Barroso, N. (2017). Influencia varietal y ambiental en las características agronómicas y la calidad del trigo duro (*Triticum turgidum ssp. durum* Desf.) Implicaciones en la selección de nuevas variedades. España: Universidad de Extremadura. Pp. 34-39.
5. Bhise, R., Kaur, A. y Manikantan, R. (2014). Moisture dependent physical properties of wheat grain (PBW 621). *International Journal of Engineering Practical Research*, 3:40–45.
6. Byrnes, H. y Bumb, L. (1998). Population growth, food production and nutrient requirements. *Journal of Crop Production*, 2:1-27.
7. Camarena, F., Chura, J. y Blas, R. (2014). Mejoramiento Genético y biotecnológico de plantas. Lima Peru: *Universidad Nacional Agraria La Molina*. 278 p.
8. Cazzaniga, A. (2018). Evaluación de las propiedades de los alimentos. Argentina: Universidad Nacional de Misiones. Pp. 21-48

9. Cortázar-Figueroa, L., Meléndez-Pérez, R. y Oliver-Hernández, D. (2008). Energy consumption and particle size distribution on cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and black pepper (*Piper niger L.*) milling. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7:123–130.
10. Cortés, O. (2015). Defining the materials properties resilient in architecture. *Journal of Technology*, 14:117-126.
11. De la Horra, A., Seghezzi, M., Molfese, E., Ribotta, P.D. y León, A. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29(2):81–89.
12. De La Llave, A. (2004). Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación. *Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla*. Pp. 5-15.
13. De la O, M. Espitia, R., López S., Peña, R. y Villaseñor, M. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum L.*) mexicanos de temporal*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2):271-283.
14. De la Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, (13):27-32.
15. Dendy, A. y Dobraszczyk, J. (2004). Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 403-421.
16. Edel, A. y Rosell. C. (2007). Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. *De Tales Harinas, Tales Panes*. Argentina. (1):17-72.

17. Espitia, E., Peña, R., Villaseñor, H., Huerta, E. y Limón, A. (2004). Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. Comparación de variedades y causas de la variación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4):249-256.
18. Figueroa, C., Hernández, E., Véles, J., Rayas-Duarte, P., Martínez-Flores, E. y Ponce-García, N. (2011). Evaluation of degree of elasticity and other mechanical properties of wheat kernels. *Cereal Chemistry*, 88(1):12-18.
19. FIRA, (2023). Mercados agrícolas -Trigo. *FIRA-Perspectivas 2023*:21-26.
20. Gabrielly, B., Rodrigues, R., de Oliveira C., Lígia, C. y Weder N. (2019). Mechanical Properties of Grains Sorghum Subjected to Compression at Different Moisture Contents. *Journal of Agricultural Science*, 11(4):279-287.
21. Gegas, V. C. (2010). A Genetic Framework for Grain Size and Shape Variation in Wheat, *The Plant Cell*, (22):1046-1056.
22. Gómez M., León, E. y Rosell, C. (2007). Trigo, granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. *De tales harinas, tales panes*. Argentina, 17-72.
23. Gubicza, J., Juhász, A., Tasnádi, P., Arató, P. y Vörös, G. (1996). Determination of the hardness and elastic modulus from continuous Vickers indentation testing. *Journal of Material Science*, 31(12):3109-3114.
24. Gürzoy, S. y Güzel, E. (2010). Determination of properties of some agricultural grains. *Research Journal of Applied Sciences*, 2(5):492-498.
25. Guzman, C., Dreisigacker, S., Autrique Ruiz, J., González H., Villaseñor E. y Peña, R. (2015). Uso de marcadores moleculares en el mejoramiento de la calidad de trigo II. *CIMMYT*. México, D.F. pp.8-15.

- 26.** Howard, M. (2001). Trigo Regado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 5:27-89.
- 27.** Jobet, C. (1988). Origen del trigo y su distribución en el mundo. *Ipa carillanca*, 7(3):2-6.
- 28.** Juárez, N., Bárcenas-Pozos, E. y Hernández, R. (2017). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1):79-93.
- 29.** MacRitchie, F., (2010). Concepts in Cereal Chemistry. Taylor & Francis Group, LLC. Pp 5-63.
- 30.** Maucher, T., Figueroa, J., Reule, W., y Peña, R. (2009). Influence of Low Molecular Weight Glutenins on Viscoelastic Properties of Intact Wheat Kernels and Their Relation to Functional Properties of Wheat Dough. *Cereal Chem.* 86:372-375.
- 31.** Morales, V., Martínez, E., Espitia, E. y Rosas, M. (2016). Calidad Industrial de Mezclas de Variedades de Trigo Harinero Contrastantes en Fuerza y Extensibilidad de la Masa. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3(8):17-23.
- 32.** Ocampo, R. (2015). Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de borojó (*borojoa patinoi cuatrec.*) y productos alimentarios derivados. *Universidad Internacional de Andalucía*. España. 2:24-36.
- 33.** Ocampo, R. (2018). Reología aplicada a sistemas alimentarios, *Editorial Grupo Compás*, Guayaquil, Ecuador. Pp. 102.
- 34.** Oliveros, T. y Carlos, E. (1998). Propiedades mecánicas de materiales biológicos. *Memorias de seminario textura y reología de alimentos*, Cali.

35. Osorio, F., Ciro, H. y Guillermo, L. (2005). Caracterización reológica y textural del queso edam. *Dyna*. 72:147.
36. Peña, R., Hernández, E., Pérez, H., Villaseñor, H., Gómez, M. y Mendoza, M. (2008). Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. *CONASIST-CONATRIGO*. México, D.F. 28 p.
37. Peña, R., Villaseñor H., Martínez, E., González, H. y Autrique, E. (2015) Calidad industrial de variedades mexicanas de trigo harinero. *CIMMYT*. México, D.F. 26(4):249-256.
38. Ponce-García, N., Escalante-Aburto, A., Torres-Chávez, P, y Serna-Saldívar, S. (2017). Grading Factors of Wheat Kernels Based on Their Physical Properties. *INTECH*. 275-291.
39. Ponce-García, N., Figueroa, J., López-Huape, G., Martínez, H. y Martínez-Peniche, R. (2008). Study of viscoelastic properties of wheat kernels using compression load method. *Cereal Chemistry*, 85(5):667-672.
40. Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Escalante-Aburto, A., Torres-Chávez, P. y Figueroa-Cárdenas, D. (2016). Mechanical properties in wheat (*Triticum aestivum*) kernels evaluated by compression tests: A review. En: El-Amin, M. (Ed). *Viscoelastic and viscoplastic materials*. Chapter 2. InTech. Croatia. 21-33.
41. Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P.I., Figueroa-Cárdenas, J., Serna-Saldívar, S. y Cortez-Rocha, M. (2013). Effect of moisture content on the viscoelastic properties of individual wheat kernels evaluated by the uniaxial compression test under small strain. *Cereal Chemistry*, 90(6):558-563.

42. Rajaram, S. y Peña, R. (2002). Wheat for bread and other foods. Wheat bread Improves and Production. *FAO*. 10:483-494.
43. Ramirez, J. (2006). Introducción a la reología de los alimentos. Universidad del valle de Cali, Colombia. 6 (1):15-45.
44. Resende, O., Corrêa, P., Oliveira, H., Goneli, A., y Járen, C. (2013). Mechanical properties of rough and dehulled rice during drying. *International Journal of Food Studies*, 2(2):158-166.
45. Rha, C. (1979). Viscoelastic properties of food as related to micro and molecular structures, *Food Technology*, 33(10):71-75.
46. Riesgo, E. (2019). Variación morfológica, agronómica y rendimiento de diez variedades de trigo cristalino (*Triticum Durum Desf.*) y trigo harinero (*Triticum Aestivum*). *Instituto Tecnológico De Sonora*. México. Pp. 6-27.
47. Rodríguez, E., Fernández, A., Ayala, A. (2005). Rheology and texture of doughs: applications on wheat and corn. *Revista Ingeniería e Investigación*, 57:72-75.
48. Salazar, A., Villaseñor, E. y Espitia, E. (2000). Calidad industrial del trigo para su comercialización. *INIFAP*. México. 313 p.
49. Salinas, M., Martínez, F. y Gómez, J. (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays L*). *Arch. Latinoam. Nutr.* 42:59-63.
50. Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M. y Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. *Scientia Agropecuaria*, 3(2):123-131.

51. Sandra, E., Putri, G., Djowasito y Wijaya, N. (2020). Effect of Moisture Content on Some Physical and Mechanical Properties of 'Genjah Arum' Local Rice (*Oryza sativa L*) Variety in Banyuwangi. *International Conference of Sustainability Agriculture and Biosystem*, 55:1-9.
52. Serna-Saldívar, R. (2010). Properties, Processing, and Nutritional Attributes. *Cereal Grains*. USA. Pp. 747.
53. Serna-Saldivar, R. (2012). Laboratory reference and procedures manual. *Cereal Grains*. USA. Pp. 360.
54. SIAP. (2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno de México. Pp. 142-143.
55. UNALM. (2014). Mejoramiento Genético y biotecnológico de plantas. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. 11 p.
56. UPOV. (2012). Introducción General al Examen de la Distinción, la Homogeneidad, la Estabilidad y a la Elaboración de Descripciones Armonizadas de las Obtenciones Vegetales. *Unión internacional para la protección de las obtenciones vegetales* Suiza. 10-24.
57. USDA. (2008) Wheat Marketing Center. Wheat and Flour Testing Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality. *Kansas State University*. 10-48.
58. Vásquez, M., Matos, A. (2009). Evaluación de Algunas Características Fisicoquímicas de Harina de Trigo Peruano en Función a su Calidad Panadera. *Revista de Investigación Universitaria*, 1:18-24.
59. Vázquez, M. (2013). Evaluación agroindustrial de tres variedades pre comerciales de trigo. *Ciencia y Tecnología*, 13:117-132.

60. Villaseñor, H. (2015). Sistema de mejoramiento genético de trigo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11:2183-2189.
61. Whan, A., Smith, A. y Cavanagh, C. (2014). Grain Scan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*, 10:23 <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-23>
62. Wrigley, W. (2010). Cereal-grain morphology and composition. *Cereal grains. Assessing and managing quality*. Limited, UK. 59-91.

Sitios de internet

1. CANIMOLT. (2017). Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Trigo. (Consultado: 25/02/2023). <https://www.canimolt.org/trigo>
2. CERERE. (2019). Características, propiedades y usos del trigo. Europa. (Consultado 14/04/2023). http://cerere2020.eu/wpcontent/uploads/2019/11/12_ES.pdf
3. CIMMYT. (2015). Impactos de la investigación genética internacional de trigo: 1994 – 2014. Mexico, D.F. CIMMYT. (Consultado 03/06/2023). <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/impactos-de-la-investigacion-genetica-internacional-de-trigo-1994-2014/>
4. Listman, M. (2022). Innovaciones en el fitomejoramiento. CIMMYT. (Consultado 09/08/2022). <https://www.cimmyt.org/es/noticias/innovaciones-en-el-fitomejoramiento/>
5. Martínez, M. (2020). Calidad de harinas II (proteínas). *Innograin*. España. (Consultado: 10/10/2022). <https://innograin.uva.es/2020/11/10/calidad-de-harinas-ii-proteinas/>

6. Rehault, H. (19 de diciembre de 2019). *Análisis de la textura del alimento húmedo*. Royalcanin.
<https://vetfocus.royalcanin.com/es/cientifico/an%C3%A1lisis-de-la-textura-del-alimento-h%C3%BAmedo>
7. SADER (2022) Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. *Gobierno de Mexico*. (Consultado: 01/06/2023).
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-trigo-en-mexico-todo-lo-que-debes-de-saber>
8. SEGOB. (1984). Norma Oficial Mexicana NOM-FF-36-1984 Productos alimenticios no industrializados para uso humano cereales- trigo. (*Triticum aestivum* y *T. durum*). Diario Oficial de la Federación. (Consultado: 23/03/2023).
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4660099&fecha=23/03/1984#gsc.tab=0

ANEXOS

Adicionalmente, se llevaron a cabo análisis complementarios con el propósito de determinar las características de calidad de las distintas variedades en condiciones de rendimiento óptimo. Se tomó la decisión de cultivar las muestras bajo condiciones ambientales y prácticas de manejo uniformes, con el fin de eliminar cualquier efecto ajeno a la genética y composición de las variedades. Este enfoque riguroso aseguró resultados más confiables y representativos.

Las variedades se cultivaron durante el ciclo otoño/invierno 2021-2022 en el campo experimental de RESOURCE SEEDS INTERNATIONAL S. DE R.L. DE C.V., ubicado en Ciudad Obregón, Sonora. Posteriormente, se procedió a realizar los análisis de calidad en el prestigioso laboratorio de Química y Calidad de Trigo del CIMMYT, situado en Texcoco, Estado de México.

Para determinar el color del grano, se llevó a cabo una evaluación visual por parte del personal del laboratorio. El peso hectolitro se obtuvo siguiendo la norma NMXFF-036-1996, mediante el empleo de una balanza de densidad de la marca Seedburo 44 Equipment Co., Chicago IL., junto con un rasero de madera de dimensiones específicas. La densidad del grano (peso hectolítrico) se reportó en kg/hL.

Además, se utilizó el equipo Single-Kernel Characterization System (SKCS – 4100, EUA) para obtener el peso de mil granos y evaluar la dureza del grano. Por otro lado, el contenido de proteína del grano (12.5 %B.H.) y el contenido de proteína en harina (14.0% B.H.) se determinaron mediante espectroscopia NIR (NIR Systems 6500, Foss, Dinamarca), siguiendo los métodos oficiales de la Asociación

Americana de Química de Cereales (AACC, 2002) 39-70A, 39-10 y 39-11, respectivamente.

Las muestras de grano se acondicionaron a una humedad entre el 14 y el 16% antes de ser molidas en un molino Brabender Quadrumat Jr. (C.W Brabender OHG, Alemania), con niveles de extracción en el rango de 65-70% y contenido de cenizas entre 0.38-0.48%, dependiendo de la aptitud molinera de cada variedad. Una vez obtenidas las harinas, se determinó el color (L, a, b) de las mismas mediante el uso de un colorímetro Minolta CR-410 (Konica Minolta, Japón).

Para evaluar el volumen de sedimentación de Zeleny, un parámetro relacionado con las propiedades viscoelásticas del gluten, se aplicó el método establecido por la International Association for Cereal Chemistry (ICC, 1994). Las propiedades de desarrollo de masa se determinaron con el farinógrafo Brabender (C.W. Brabender OHG, Alemania) mediante el seguimiento del método 54-21, que incluye la absorción (%), el desarrollo de masa (min), la estabilidad (min), el grado de debilitamiento (UFB) y la tolerancia al sobreamasado (UFB). Asimismo, se evaluaron las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa utilizando el alveógrafo Chopin (trippette & Renaud, Francia) según el método 54-30A (AACC, 200), que permitió medir tanto la fuerza general del gluten ($W, J \times 10^{-4}$) como la relación tenacidad/extensibilidad (P/L). Los resultados de estas metodologías se presentan en la tabla adjunta.

Para la prueba de panificación o prueba de masa directa, se siguió el método 10-10B AACC (1995), que se considera la mejor forma de corroborar el comportamiento panadero de una harina. Esta prueba midió el peso (PEP) (g), el volumen pan (VOP)

(cm³) y el volumen específico del pan (VOE) (g.cm³). La determinación del volumen del pan se realizó utilizando el método 10.05 AACCC (1995) en donde se emplean semillas de colza como referencia. Obteniendo los siguientes resultados:

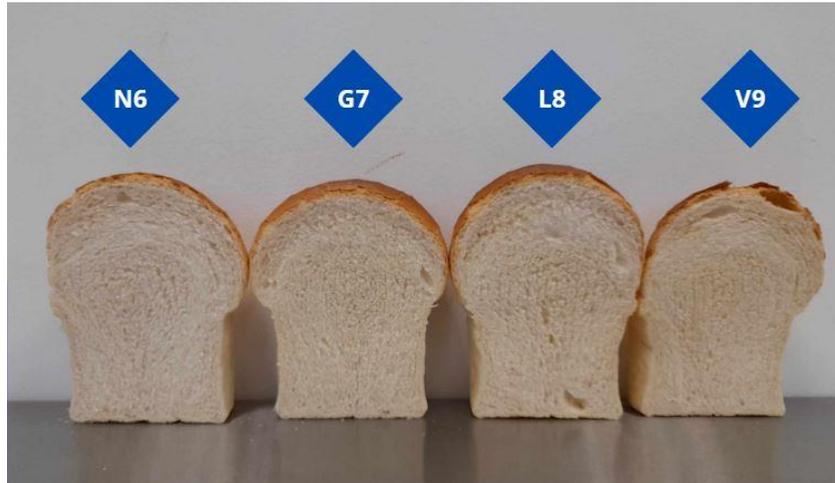


Figura 19. Resultado del proceso de panificación de las 4 variedades evaluadas.

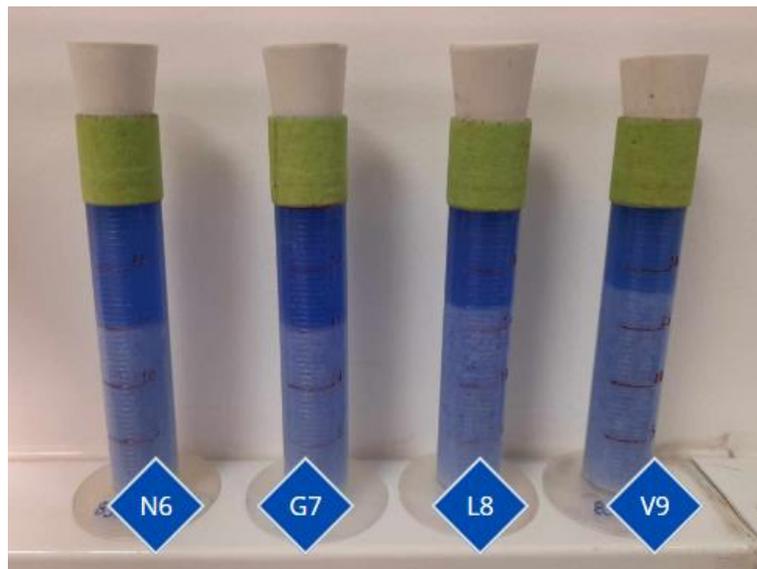


Figura 20. Resultados de la Sedimentación de Zeleny para las 4 variedades evaluadas.

Cuadro 7. Análisis de laboratorio de Química y Calidad de Trigo del CIMMYT

ENTNO		N6	G7	L8	V9
Peso Hectolitrico (kg/hl)		79.4	79.1	79.2	77.4
Peso mil granos (gr, SKCS)		53.9	46.4	56.8	41.8
Color del grano		Rojo	Blanco	Blanco	Blanco
Dureza Grano (% SKCS)		56	69	64	83
Textura grano D, SD, SS, S	D = Duro	SD	D	D	D
	SD = Semiduro				
Hardness distribution and classification code Soft-SemiSoft-SemiHard-Hard-Categoría		04-16-37-43-01	00-04-22-74-01	01-06-30-63-01	00-00-02-98-01
Rendimiento Harinero (%)		71.2	68.1	69.0	62.4
Proteína grano (12.5% BH)		12.1	11.4	13.6	11.7
Proteína Har. Ref. (14% BH)		10.4	9.9	11.7	10.0
Sedim-SDS Harina (ml)		15.5	15.5	17.5	18.0
Tiempo optimo Mezclado (min)		2.5	4.1	3.0	4.1
FARINOGRAFO	Torque Mixografico (%TQ*MIN.)	111.6	159.0	129.8	172.1
	Absorción de Agua %	58.8	59.8	62.6	62.2
	Tiempo de desarrollo (min)	3.5	6.5	5.0	7.5
	Estabilidad (min)	5.5	10.5	6.5	14.0
	Indice de Tolerancia (UFB)	90	60	90	50
ALVEOGRAFO	Debilitamiento (UFB)	100	70	100	30
	ALVW	200	316	257	362
	ALVPG	4.1	5.9	4.4	7.6
	ALVPL	1.0	1.4	1.1	2.0
	le %	42.0	51.0	53.3	55.9
	P	85	119	92	142
	L	85	83	87	71
Tipo de Gluten	F= Gluten Fuerte	MF	T	MF	T
	MF= Gluten Medio Fuerte				
	T = Gluten Tenaz				
Grupo de Calidad		2	4	2	4
Volumen de pan (ml)		740	770	840	740
Estructura Miga (MB, B, R, P, VP)		B	B	B	B

ALVEOLINK NG**ALVEO HC**

CIMMYT INT.
 KM. 45 CARRETERA MEXICO-VERACRUZ
 COLONIA EL BATAN
 TEXCOCO ESTADO DE MÉXICO

N6

FECHA : 24/10/22
 HORA : 08:49

REFERENCIA MUESTRA : 83291
 NOMBRE DE FICHERO : 10240009A122

PARAMETROS		RESULTADOS	
TEMP.LABO :	HIGRO.LABO. :	P	= 85 mmH2O
HARINA :	MOLINO :	L	= 85 mm
HUMEDAD :		G	= 20.5
PROTEINAS :	I.CAIDA :	W	= 200 10E-40
A.D. :	ABSORCION :	P/L	= 1
ZELENY :		Ie	= 42 %
CENIZAS :	EXTRAC. :	W (40)	= 132 10E-40
GLUTEN :			

COMENTARIOS
 TRIGO N6

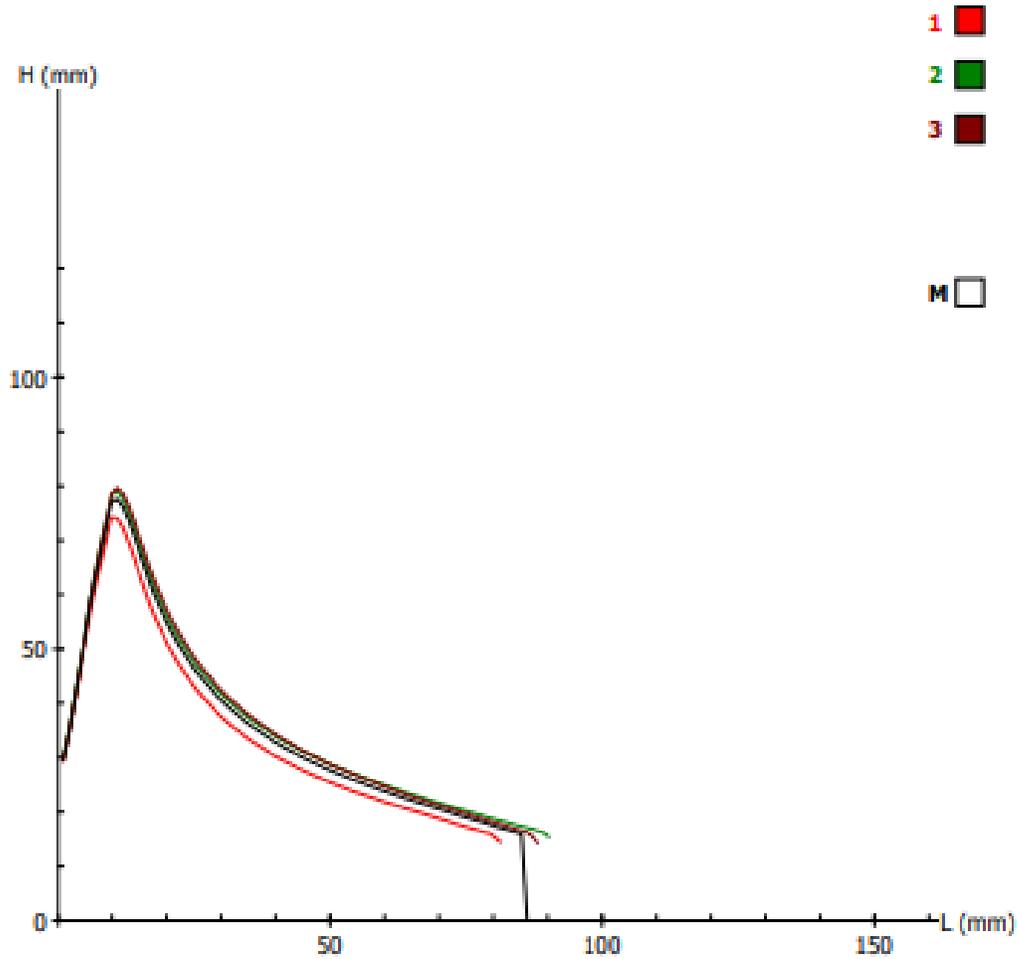


Figura 21. Alveograma variedad N6.

ALVEOLINK NG**ALVEO HC**

CIMMYT INT.
 KM. 45 CARRETERA MEXICO-VERACRUZ
 COLONIA EL BATAN
 TEXCOCO ESTADO DE MÉXICO

G7

FECHA : 24/10/22
 HORA : 09:07

REFERENCIA MUESTRA : 83292
 NOMBRE DE FICHERO : 10240011A122

PARAMETROS		RESULTADOS	
TEMP.LABO :	HIGRO.LABO. :	P	= 119 mmH2O
HARINA :	MOLINO :	L	= 83 mm
HUMEDAD :		G	= 20.3
PROTEINAS :	I.CAIDA :	W	= 316 10E-4J
A.D. :	ABSORCION :	P/L	= 1.43
ZELNY :		Ie	= 51 %
CENIZAS :	EXTRAC. :	W (40)	= 198 10E-4J
GLUTEN :			
COMENTARIOS			
TRIGO G7			

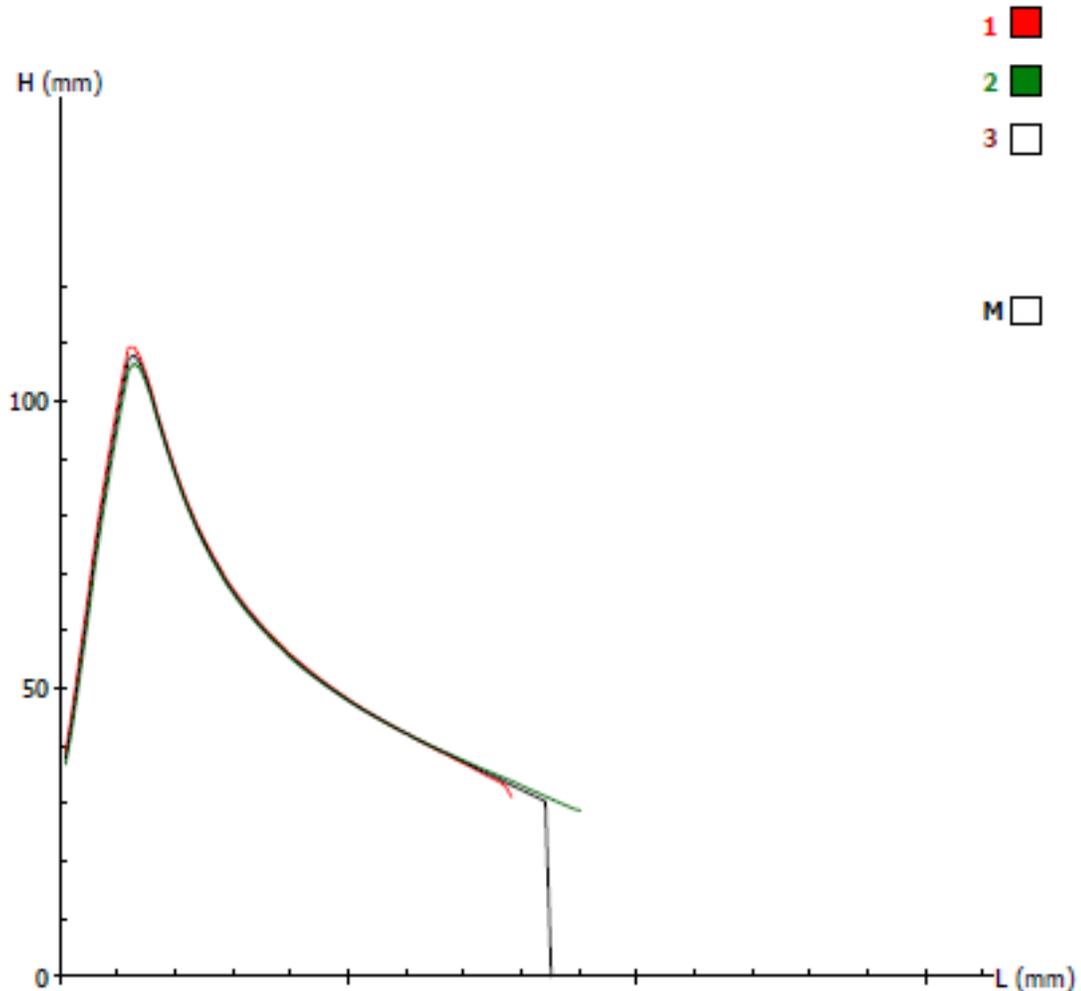


Figura 22. Alveograma variedad G7.

ALVEOLINK NG

ALVEO HC



CIMMYT INT.
KM. 45 CARRETERA MEXICO-VERACRUZ
COLONIA EL BATAN
TEXCOCO ESTADO DE MEXICO

L8

FECHA : 24/10/22
HORA : 09:36

REFERENCIA MUESTRA : 83293
NOMBRE DE FICHERO : 10240013A122

PARAMETROS		RESULTADOS	
TEMP.LABO :	HIGRO.LABO. :	P	= 92 mmH2O
HARINA :	MOLINO :	L	= 87 mm
HUMEDAD :		G	= 20.8
PROTEINAS :	I.CAIDA :	W	= 257 10E-4J
A.D. :	ABSORCION :	P/L	= 1.06
ZELNY :		Ie	= 53.3 %
CENIZAS :	EXTRAC. :	W (40)	= 157 10E-4J
GLUTEN :			

COMENTARIOS
TRIGO L8

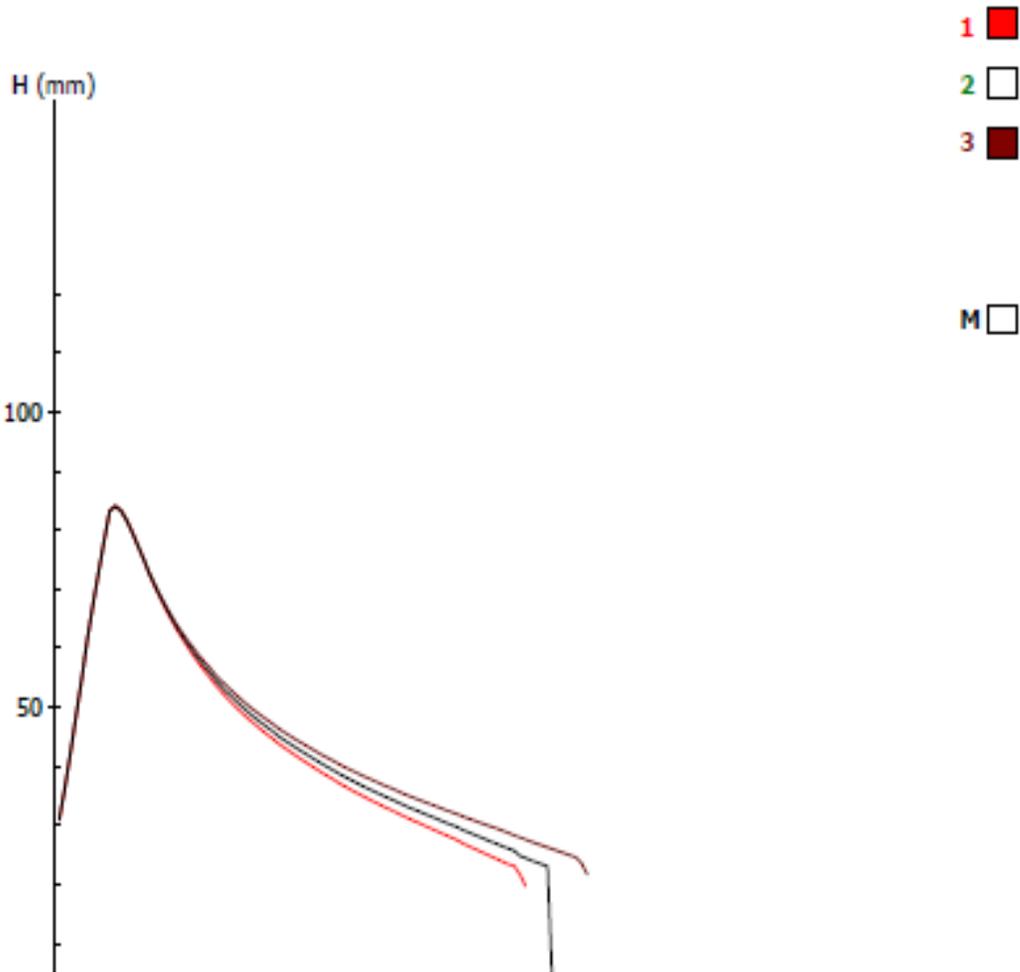


Figura 23. Alveograma variedad L8.

ALVEOLINK NG**ALVEO HC**

CIMMYT INT.
 KM. 45 CARRETERA MEXICO-VERACRUZ
 COLONIA EL BATAN
 TEXCOCO ESTADO DE MÉXICO

V9

FECHA : 24/10/22
 HORA : 11:37

REFERENCIA MUESTRA : 83294
 NOMBRE DE FICHERO : 10240015A122

PARAMETROS

TEMP.LABO :	HIGRO.LABO. :
HARINA :	MOLINO :
HUMEDAD :	I.CAIDA :
PROTEINAS :	ABSORCION :
A.D. :	EXTRAC. :
ZELNY :	
CENZAS :	
GLUTEN :	

RESULTADOS

P	=	142 mmH ₂ O
L	=	71 mm
G	=	18.8
W	=	362 10E-4J
P/L	=	2
Ie	=	55.9 %
W (40)	=	244 10E-4J

COMENTARIOS
 TRIGO V9

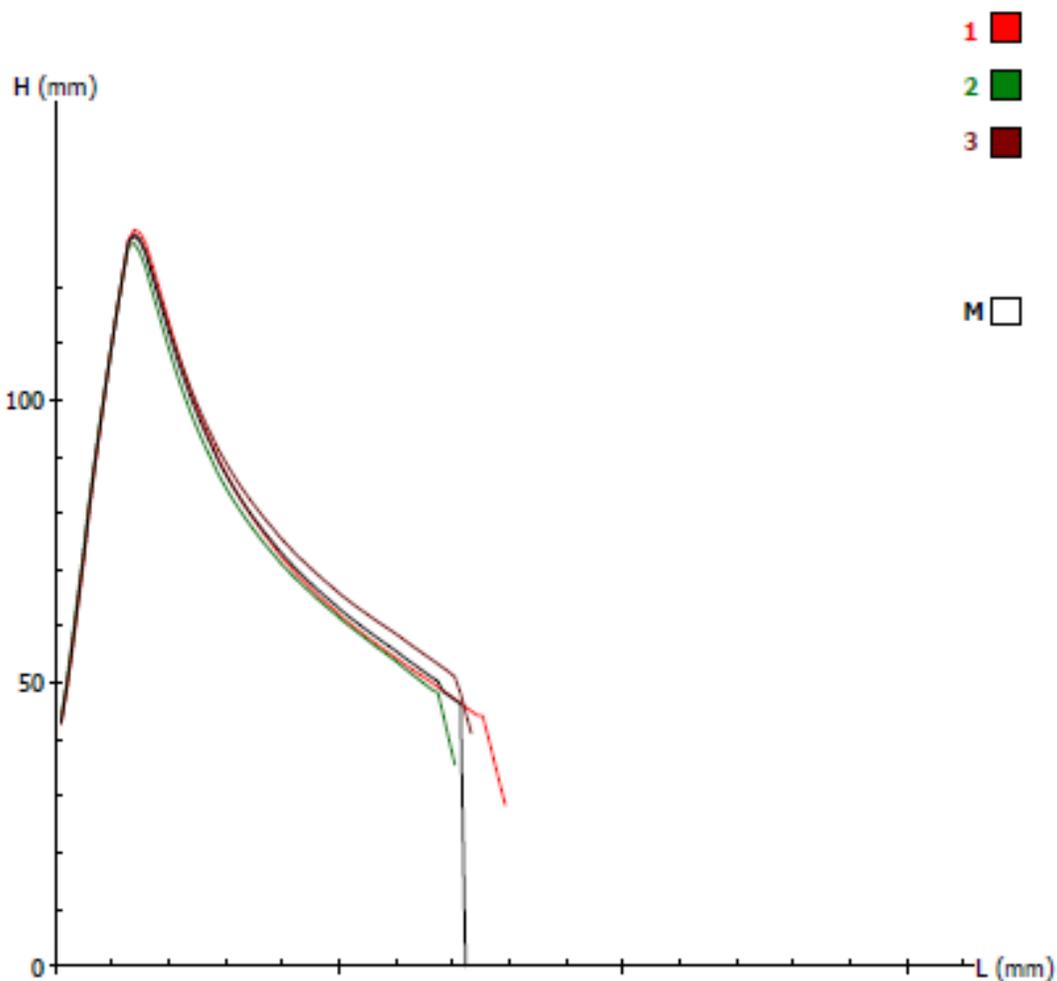


Figura 24. Alveograma variedad V9.