

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA



Relación de gliadinas y gluteninas con la calidad fisiológica en diferentes genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.)

Por:

BRENDA LIZETH HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Relación de gliadinas y gluteninas con la calidad fisiológica en diferentes
genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.)

Por:

BRENDA LIZETH HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

La cual fue revisada y aprobada por:

COMITÉ ASESOR



Dra. María Alejandra Torres Tapia
Asesora principal



Dr. Julio César Tafolla Arellano
Coasesor



Dra. Hermila Trinidad García Asuna
Coasesora

Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Relación de gliadinas y gluteninas con la calidad fisiológica en diferentes
genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.)**

Por:

BRENDA LIZETH HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Que semete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para
obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Aprobada por:



Dr. Julio César Tafolla Arellano
Presidente



Dra. María Alejandra Torres Tapia
Secretaria



Dra. Hermila Trinidad García Asuna
Sinodal



QFB. María del Carmen Julia García
Sinodal



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente

Ama Terra Mater



Brenda Lizeth Hernández Hernández

Autora Principal



Dra. María Alejandra Torres Tapia

Asesora Principal

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por permitirme estudiar en sus instalaciones, por prepararme profesionalmente, brindarme alimento, transporte y muchos conocimientos que me ayudarán no solo en mi vida profesional sino también en lo personal.

A todos mis **maestros** por enseñarme a perder el miedo a exponer en público y brindarme mucho conocimiento, explicarme cuantas veces fuera necesario, los temas que no lograba comprender a la primera, por apoyarme, por sus consejos y ánimos que me motivaron a seguir preparándome y aprendiendo.

A la **Dra. María Alejandra Torres Tapia** por aceptarme como su tesista, por enseñarme muchas cosas y conocimientos de agricultura, por explicarme cuando no entendía algunos aspectos, por corregirme, por darme su apoyo y ser muy buena Doctora.

A mis **padres** que siempre me apoyaron en todo momento, por preocuparse por mí, por todas sus llamadas y sus mensajes cuando estaba estresada, por hacerme reír cuando sentía que no podía y estaba cansada, aquellos consejos y ánimos para seguir adelante, por educarme y enseñarme muchos valores, son los mejores padres, los quiero mucho.

A mis **hermanas** que siempre creyeron en mí, por aquellos mensajes donde preguntaban si estaba bien, por todos los ánimos y palabras reconfortantes, por sacarme muchas sonrisas, por crecer juntas y por permitirme ser tía de dos hermosos bebés.

A mis **amigos** por los ánimos que nos dábamos en un examen o materias difíciles, por las sonrisas y ratos agradables a lo largo de la carrera, fueron pieza clave en mis años de universidad.

DEDICATORIA

A mis padres

Rolando Hernández Hernández

Isabel Hernández Martínez

Por apoyarme siempre, dándome palabras de aliento para continuar adelante, por darme ánimos al momento de hacer un examen y decirme que si podía.

A mis hermanas

Yaneli Yazmin Hernández Hernández

Luz Berenice Hernández Hernández

Por confiar en mí y decirme qué si podía, por hacerme reír cuando lo necesitaba, por todos sus mensajes y sus consejos.

A mis sobrinos

Gael y Mia por permitirme ser tu tía y estar en sus primeros pasos, sus primeras palabras, por hacerme sonreír con sus travesuras, por todo.

A mi novio Max S Altunar Mauricio

Gracias por todas las veces que me sentía triste y me diste palabras reconfortantes, por apoyarme cuando no entendía un tema relacionado a la carrera, por ser mi soporte, compartir sus conocimientos y enseñarme muchas cosas, gracias por toda la confianza, apoyo y amor incondicional.

A mis abuelos

Por los que están y por los que ya no están, gracias por todo el cariño, consejos y palabras sabias para formarme, por cuidarme. Los quiero y extraño.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivo general.....	3
1.2.1 Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen de la especie de trigo (<i>Triticum aestivum</i>).....	4
2.2. Importancia del trigo a nivel internacional.....	5
2.3. Importancia del trigo a nivel nacional y regional.....	5
2.4. Utilidad del trigo.....	6
2.5. Composición química.....	7
2.6. Abastecimiento de semilla nacional.....	7
2.7. Calidad de la Semilla.....	8
2.8. Fisiología de la semilla.....	10
2.8.1 Germinación.....	11
2.8.2 Vigor.....	12
2.9. Bioquímica de la semilla.....	13
2.9.1 Gliadinas.....	15
2.9.2 Gluteninas.....	15
2.10. Relación de las proteínas con la calidad fisiológica.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Obtención de material genético.....	17
3.2 Extracción de gliadinas (GLI).....	17
3.3 Extracción de glutelinas (GLU).....	18
3.4 Cuantificación de proteínas.....	19
3.5 Calidad fisiológica.....	19
3.6 Diseño experimental.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Extracción y cuantificación de proteínas.....	22
4.2 Calidad fisiológica.....	24

4.2.1	Capacidad de germinación.....	24
4.2.2	Pruebas de vigor.....	26
4.3	Correlación entre variables evaluadas.....	32
V.	CONCLUSIONES.....	34
VI.	LITERATURA CITADA.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

No. de Cuadro		Página
1	Análisis de varianza de proteínas en seis genotipos de trigo....	22
2	Análisis de varianza de la capacidad de germinación en seis genotipos de trigo.....	24
3	Análisis de varianza de vigor en seis genotipos de trigo.....	27
4	Resultado del análisis de correlaciones entre variables en seis genotipos de trigo.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

No. de Figura		Página
1	Origen del trigo harinero (hexaploide) y trigo de pasta (tetraploide) a partir de ancestros diploides y posterior poliploidización.	4
2	Anatomía del grano de trigo.	10
3	Proceso de extracción de las gliadinas a partir de semilla de trigo.....	18
4	Proceso de extracción de las glutelinas a partir del residuo de extracción de gliadinas.....	18
5	Cuantificación de gliadinas y glutelinas por espectrofotometría	19
6	Implementación de la prueba de capacidad de germinación para los genotipos estudiados	20
7	Evaluación de vigor en los genotipos estudiados.....	20
8	Comparación de medias de proteínas en seis genotipos de trigo.	23
9	Clasificación de respuesta de la capacidad de germinación en la especie de trigo.....	24
10	Comparación de medias de la capacidad de germinación en seis genotipos de trigo.....	26
11	Comparación de medias de las pruebas de vigor Primer conteo de plántulas normales a los 4 días en seis genotipos en trigo.	28
12	Respuesta de plántulas normales de la variedad Pelón colorado, en el estudio.....	28
13	Comparación de medias de las pruebas de vigor de Longitud media de radícula en seis genotipos de trigo.....	29
14	Respuesta de la longitud media de plúmula de la variedad Candela en comparación a AN-197-13, en el estudio.....	29
15	Comparación de medias del Peso Seco en seis genotipos en trigo.	30
16	Comparación de medias de la Longitud Media de Plúmula en seis genotipos de Trigo estudiados.	31

RESUMEN

El trigo es un cultivo de importancia económica y alimentaria en el mundo, se encuentra compuesto principalmente por carbohidratos, lípidos y proteínas. Dentro de las proteínas se encuentran las gliadinas y gluteninas, las primeras se encargan de aportar viscosidad y extensibilidad a la masa del trigo, y las últimas de la elasticidad y resistencia. En la presente investigación se estudió la relación entre el tipo y cantidad de proteína con la calidad fisiológica a partir de semilla en seis variedades de trigo: dos variedades recientemente registradas AN366 y AN373, dos variedades comerciales Candeal y Pelón colorado, asimismo dos líneas experimentales AN197 y AN263, producidas en el ciclo otoño-invierno 2021-2022, mediante solubilidad y espectrofotometría de Gluteninas (GLU) y Gliadinas (GLI); igualmente pruebas de germinación y vigor, obteniendo el porcentaje de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG); finalmente el vigor, con el porcentaje de plántulas de Primer conteo (PC), Longitud Media de Radícula (LMR), Longitud Media de Plúmula (LMP) y Peso Seco (PS). Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre variables; destacando AN197 con mayor contenido de GLU, seguido Pelón colorado en GLI. De igual forma, AN197 obtuvo mayor porcentaje de PN, bajo porcentaje de PA y SSG; a diferencia de Pelón colorado, que presentó menor porcentaje de germinación (PN), alto porcentaje de PA y SSG. En vigor, destacaron AN366, AN197 y AN263 al obtener mayor porcentaje de PC; así como AN197, AN373 y Pelón colorado presentaron la mayor LMR; mientras que AN373 presentó mayor PS; finalmente sobresalió AN366 con mayor LMP. El análisis de correlaciones indicó que existe una relación positiva entre el contenido de gluteninas con las plántulas normales; a mayor número de plántulas normales habrá menor semillas sin germinar; igualmente las gliadinas están asociadas de manera positiva con el vigor.

Palabras clave— trigo, variedades, proteínas, germinación, vigor.

I. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales con mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial, ya que representa el 20% del total de las calorías que consumimos (Urade *et al.*, 2018). Tiene una producción en lo que va del año de 787,3 millones de toneladas. Los suministros de semilla son de 1,110.4 millones de toneladas, donde para el comercio se han destinado 197.5 millones de toneladas según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024). El consumo a nivel mundial en los años 2021 y 2022 fue mayor a 780 millones de toneladas y 64.7 kilogramos por consumo per cápita (Orús, 2023).

De acuerdo al destino del trigo destaca su uso en la alimentación, ya que a partir de él se pueden elaborar productos como galletas, pastas, bases de pizza, ciertas bebidas energéticas, así como cerveza y principalmente pan. Inclusive, se emplea como grano y forraje. Sin embargo, el suministro y disponibilidad de semilla para producir esta especie no es suficiente sobre todo en nuestro país, ya que en el año 2016 se importó 4.7 millones de toneladas y en el 2020 fue de 4.4 millones de toneladas; en donde el 99.8 % correspondió a trigo panificable; siendo los principales países abastecedores de las importaciones mexicanas Estados Unidos (72.2 %), Canadá (21.6 %), Rusia (2.2%), Francia (2.1%) y finalmente, Ucrania con 1.4 % (FIRA, 2021). Aunado a ello, en algunas zonas productoras de leche, como en el Noreste de México, han tratado de buscar alternativas de forraje con menor tiempo de producción, con la finalidad de tener mayor número de ciclos de producción en el año.

En México se cultiva en 22 estados, principalmente en Sonora, donde en el 2021 se tuvo una producción de 3.2 millones de toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

Dentro de su composición química, el grano de trigo contiene vitaminas, minerales y proteínas; donde estas últimas forman el gluten, el cual principalmente está conformado por dos tipos de proteínas, gliadinas y gluteninas, encargadas de aportar elasticidad y consistencia a la masa del pan en los productos horneados.

Sin embargo, en los algunos estudios se ha encontrado cierta relación de estas proteínas, gliadinas y glutelinas, con la fisiología de la semilla en cereales de grano pequeño como cebada (Torres *et al.*, 2022).

Se entiende que una semilla es considerada de buena calidad cuando presenta ciertos atributos como el potencial genético, calidad fisiológica, física y de buena salud como lo menciona Bishaw *et al.* (2007). De tal manera, que los programas de control de calidad colaboraren en los sistemas producción de semillas, en implementar pruebas que permitan determinar la calidad de la semilla con mayor eficiencia y aportar mayor información sobre el desempeño que tendrá la semilla en campo. Inclusive, en programas de mejoramiento genético, el contar con mayor número de pruebas rápidas es útil en la selección de materiales genéticos.

La calidad fisiológica de las semillas se determina a través de pruebas de viabilidad, germinación y vigor; todas se han diseñado para describir el potencial fisiológico de las semillas, este se presenta mediante procesos biológicos donde participan los compuestos químicos que constituyen a la semilla para dar lugar a la biotransformación de semilla a una plántula.

Por lo anterior, el Programa de cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en los últimos años ha generado líneas de trigo con características agronómicas sobresalientes, de alto rendimiento, adaptación en ambientes semidesérticos, con alta calidad de forraje. Sin embargo, es necesario identificar la calidad fisiológica de la semilla e identificar si existe una asociación con la cantidad y tipo de proteínas que contienen estos materiales genéticos, por tal motivo, se establecieron los siguientes objetivos e hipótesis.

1.1 Hipótesis

El contenido de gluteninas se correlaciona positivamente con las plántulas normales en la prueba de germinación y las gliadinas están asociadas de manera positiva con el vigor.

1.2 Objetivo general

- Determinar la relación entre el tipo y cantidad de proteína con la calidad fisiológica de la semilla de líneas experimentales y variedades de trigo de invierno.

1.2.1 Objetivos específicos

1.2.1.1 Evaluar la calidad fisiológica de las semillas de seis genotipos de trigo producidos en Navidad, Nuevo León.

1.2.1.2 Determinar el tipo y cantidad de proteína de la semilla de seis genotipos de trigo producidos en Navidad, Nuevo León.

1.2.1.3 Determinar la asociación entre el tipo y cantidad de proteína con la calidad fisiológica de seis genotipos de trigo producidos en Navidad, Nuevo León.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen de la especie de trigo (*Triticum aestivum*)

El trigo (*Triticum aestivum* L.) tiene su origen de hace 8,000 años en algún lugar de Asia al norte de Irak y Siria, al sur de Turquía (Ávila *et al.*, 2014) a través de hibridación espontánea, es decir, un cruzamiento entre el trigo duro y *A tauschii*, que es una especie diploide (tiene dos juegos de cromosomas) para dar lugar a una descendencia pero sin la intervención del ser humano (Giménez y Barro, 2013), como se observa en la Figura 1.

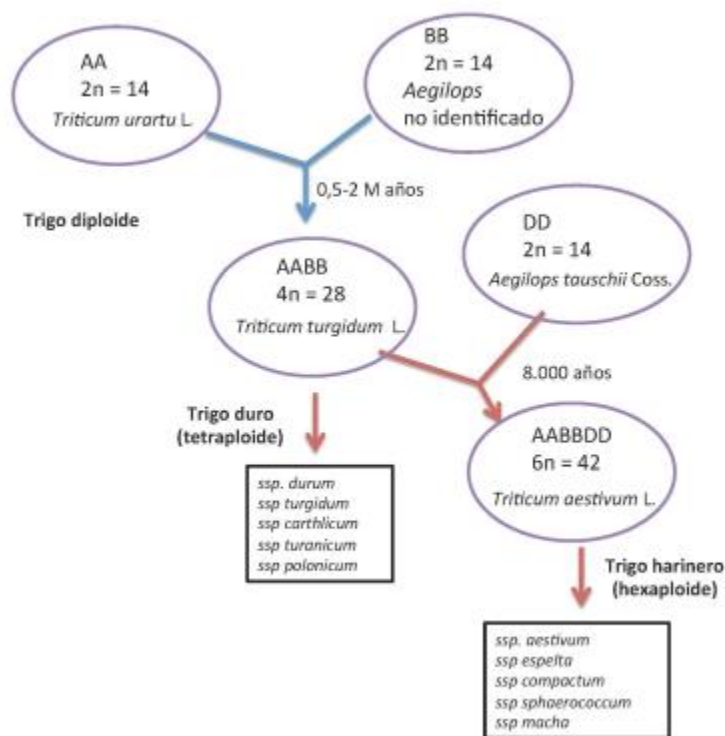


Figura 1. Origen del trigo harinero (hexaploide) y trigo de pasta (tetraploide) a partir de ancestros diploides y posterior poliploidización. El trigo harinero, que representa el 90% del trigo que se cultiva en el mundo, tiene un origen muy reciente. Extraído de: Giménez, M. J., & Barro, F. (2013). Variedades de trigo aptas para celíacos. *OmniaScience Monographs*.

2.2 Importancia del trigo a nivel internacional

El trigo es uno de los cereales con mayor importancia económica y alimentaria a nivel mundial, su producción en lo que va del año es de 787.3 millones de toneladas, los suministros de esta semilla son de 1,110.4 millones de toneladas y para el comercio se han destinado 197.5 millones de toneladas (FAO, 2024). En los años 2021/2022 se consumió en todo el mundo una cantidad mayor a 780 millones de toneladas y 64.7 kilogramos por consumo per cápita (Orús, 2023). En los años 2020/2021, los principales países productores de trigo fueron China, Unión Europea, India, Rusia y Estados Unidos, nuestro país se posicionó en el lugar 23 de acuerdo a la FIRA, 2021.

2.3 Importancia del trigo a nivel nacional y regional

El trigo se emplea como grano y forraje. Sin embargo, el suministro y disponibilidad de semilla para producir este cultivo no es suficiente sobre todo en nuestro país, ya que en el año 2016 se importó 4.7 millones de toneladas y en el 2020 4.4 millones de toneladas, en donde el 99.8 % correspondió a trigo panificable, los principales países abastecedores de las importaciones mexicanas fueron Estados Unidos (72.2 %), Canadá (21.6 %), Rusia (2.2%), Francia (2.1%) y finalmente, Ucrania con 1.4 %. (FIRA, 2021).

Aunado a ello, en algunas zonas productoras de leche han tratado de buscar alternativas de forraje con menor tiempo, para producir mayor número de ciclos de producción en el año, como es el Noreste de México.

El trigo en México se cultiva en 22 estados, principalmente en Sonora. En el año 2021 su producción fue de 3.2 millones de toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

2.4 Utilidad del trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es un cereal empleado en la dieta y se caracteriza por aportar grandes cantidades de proteínas y valor energético. El trigo se cultiva en todo el mundo siendo el segundo cereal más importante en la dieta, debido a su alto consumo es necesario su producción siendo el hemisferio norte la zona más apta al presentar bajas temperaturas y una altitud adecuada (Carranza *et al.*, 2022).

De acuerdo, al destino del trigo destaca su uso en la alimentación, ya que a partir de él se pueden elaborar productos como galletas, pastas, bases de pizza, ciertas bebidas energéticas, así como cerveza y principalmente, pan. El trigo también se emplea como forrajero en la alimentación del ganado, al ser fuente importante de carbohidratos, fibra y proteínas, puede estar en forma de pasto o ensilaje.

Existen diferentes tipos de trigo como lo menciona Wieser (2023):

- harinero o trigo blando (*Triticum aestivum* L.): Es el más cultivado y que representa el 95% del total. Se emplea en la fabricación de harina para la elaboración de galletas, pan, pasteles, etc.
- trigo duro o para pasta (*Triticum durum* L.): Representa el (5%) restante del total. Se caracteriza por tener granos más duros y en la industria alimentaria es empleado en la fabricación de pastas.
- Otros tipos de trigo que ha sido empleados en la transformación de productos especiales son escanda (*Triticum monococcum* L.), escanda (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schübler) y espelta (*Triticum spelta* L.)

2.5 Composición química

Un grano de trigo está compuesto por el salvado, el germen de trigo y el endospermo. El salvado o la capa externa representa del 13% y 17% ésta contiene nutrientes y la fibra dietética, el germen de trigo o la parte embrionaria que contiene las vitaminas, los minerales, nutrientes y aquellas grasas que son saludables representa entre un 2% y un 3% mientras que el endospermo se encuentra alrededor del 81-84%, el endospermo, que es la parte más grande se caracteriza por contener niveles altos de almidón (60–75%), seguido de proteínas (6–20%), humedad en un nivel de aproximación ~10% y finalmente en menor porcentaje se encuentran los lípidos de 1.5-2% (Barak *et al.*, 2015).

2.6 Abastecimiento de semilla nacional

El trigo harinero es principalmente empleado en la elaboración de harina, su producción a nivel nacional en el año 2021 fue de 1, 501,315 toneladas de acuerdo a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022.

En el 2020 se cosecharon 561,3 miles de hectáreas de Trigo, donde 482.2 (86%) correspondieron ciclo Otoño-Invierno y 78.4 miles de hectáreas (14%) al ciclo Primavera-Verano (FIRA, 2021).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural ha puesto en marcha el Programa Nacional de Semillas 2020-2024 (PNS 2020-2024), que busca brindar mejores semillas a los agricultores, ya sea en su forma nativa o mejorada con la finalidad de tener mayor porcentaje de productividad y que sean de calidad suficiente para el abastecimiento y compatibilidad en el mercado. En el año 2021 se obtuvo 201,270 toneladas de semillas mejoradas certificadas, donde el Trigo fue superior con 79,595 toneladas del total producido (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

2.7 Calidad de la semilla

Una semilla puede definirse como la estructura reproductora de las plantas (Doria, 2010), las semillas permiten que se perduren las especies a lo largo del tiempo de generación en generación, con el proceso de germinación se van produciendo plantas nuevas, estas estructuras pueden dispersarse a través del viento, también permiten la regeneración de los bosques luego de un incendio u otro fenómeno natural, es decir, las semillas son la base vegetal de la vida en la tierra, son de suma importancia para mantener los ecosistemas.

Una semilla es considerada de buena calidad cuando presenta ciertos atributos como el potencial genético, calidad fisiológica, calidad física y buena salud como lo menciona Bishaw *et al.* (2007), siendo el potencial genético las características genéticas de las semillas que permiten un mayor rendimiento, la calidad fisiológica el potencial que tienen para dar lugar a la germinación y los procesos de vigor, la calidad física que las semillas presenten pureza, es decir, que estén libres de contaminantes y finalmente la calidad de la salud, que se encuentren libres de plagas y enfermedades.

Existen factores que afectan la calidad de la semilla, como los factores genéticos, el entorno de producción, la cosecha y los daños mecánicos (Bishaw *et al.*, 2007), el momento y cómo se hará la cosecha es detonante para la calidad de una semilla, los daños mecánicos son los daños que sufren las semillas ya sea de manera interna o externa como fisuras o deformaciones, el entorno de producción se refiere a aquellas condiciones ambientales en las que ocurre y los factores genéticos incluyen al contenido de proteínas que tiene el grano.

La calidad física es la manera en que se ve una semilla, su apariencia física, esta calidad se determina mediante diferentes factores como lo menciona Castañeda *et al.* (2009):

1. Tamaño de la semilla

2. Peso volumétrico, indica cuánto pesa una semilla en relación al espacio.
3. La pureza, se refiere a que esté libre de cualquier contaminante, que no contenga malezas y no este mezclado con otro tipo de cultivo.
4. La brillantez, indica que la semilla se encuentra en buen estado, con buena salud y vigor.

El tamaño del grano es un factor influyente en la calidad de las semillas, las semillas con granos más grandes tienden a tener mayor rendimiento que las de tamaño pequeño a nivel de campo (Tekrony y Egli, 1997).

La calidad fisiológica se encuentra determinada por las características de manera interna que presenta una semilla, es decir, su capacidad para germinar y así dar lugar a una nueva planta viable capaz de adaptarse a las condiciones ambientales y que sea vigorosa (Castañeda *et al.*, 2009).

La calidad genética se refiere a aquellas características o atributos que el fitomejorador selecciona antes de dar lugar a una variedad nueva (Castañeda *et al.*, 2009), es decir, cruzan variedades que tengan las características deseadas ya sea una resistencia a una plaga o una enfermedad, que sean tolerantes frente a condiciones ambientales adversas, que tengan mayor productividad hasta la calidad del fruto.

Con la búsqueda por obtener variedades mejoradas que tengan un mayor rendimiento se han llevado a cabo diferentes estudios de los componentes que forman el rendimiento del grano, que son el número de espigas, número de granos por espiga y peso de 1000 semillas (Guberac *et al.*, 2000). El peso de las semillas es un indicador que permite obtener las semillas con los mejores índices de calidad física y fisiológica como lo demuestra Gutierréz *et al.* (2006) en su estudio, por otra parte, el número de granos por espiga es un indicador que permite conocer el rendimiento del grano, ya que a mayor número de granos mayor porcentaje de rendimiento como lo menciona Shah *et al.* (2019).

Un factor que tiene importancia tanto en el crecimiento, desarrollo y calidad es la temperatura, altas temperaturas a las plantas madres provocan que las semillas sean de baja calidad dañando su rendimiento, su metabolismo, reduciendo de esta manera su vigor (Grass y Burris, 1995).

2.8 Fisiología de la semilla

La fisiología de las semillas de trigo son aquellos procesos que se llevan a cabo en el interior, dentro de la semilla, va desde su desarrollo, germinación hasta el establecimiento de la planta en campo.

Dentro de la composición de un grano de trigo se encuentra el embrión, el endospermo y el pericarpio (Figura 2). El embrión es un tejido de almacenamiento y órgano reproductor que representa del 2% o 3% del peso total; la parte más grande de la semilla es el endospermo que abarca entre el 81% y 84%, el cual tiene la función de proveer la energía necesaria al grano sobre todo en la etapa de germinación (Chaquilla *et al.*, 2018). Finalmente, el pericarpio (salvado) se encuentra alrededor del 15% del peso total y está conformado por una serie de capas que se encarga de brindar protección al grano de condiciones externas, estas capas incluyen la epidermis y la cubierta (Corke, 2004).

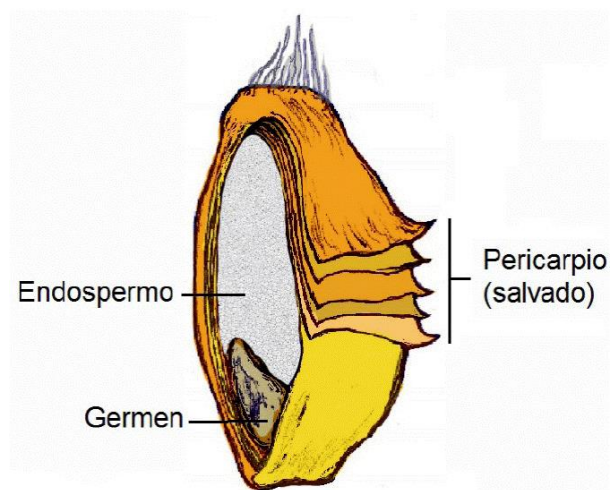


Figura 2. Anatomía del grano de trigo. Extraído de Chaquilla *et al.* (2018).
Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo.

En el trigo, el grano se ha definido como un fruto de una sola semilla, la cual se llama cariósipide como lo menciona Corke (2004).

2.8.1 Germinación

La germinación puede definirse como el conjunto de procesos fisiológicos que ocurren para dar lugar a una plántula (Poudel *et al.*, 2019), es decir, es el conjunto de cambios que tienen las semillas desde la formación del embrión hasta una planta.

El tamaño que tiene una semilla de trigo influye en la cantidad de agua que se requiere para el proceso de germinación, otros factores como la temperatura y la humedad también son importantes en la germinación e influyen en el crecimiento de las semillas (Khaeim *et al.*, 2022), dicho de otra manera, estos factores: temperatura, disponibilidad del agua, humedad afectan la germinación. Dentro del factor temperatura, cuando sean niveles base o máximos la germinación no ocurre a diferencia de las temperaturas óptimas donde el proceso de germinación se da de manera más rápida como lo menciona Rizzardi *et al.* (2009).

El primer paso en la germinación de las semillas es la absorción de agua, la cantidad de agua depende de cada variedad de trigo, las semillas se caracterizan por presentar hinchamiento seguido de la protrusión de la radícula, que marca el fin de la germinación (Fu *et al.*, 2021). La radícula es la raíz primaria que al crecer rompe los tejidos que se encuentran rodeando al embrión y emerge de la semilla al exterior iniciando el proceso de crecimiento de las plántulas hacia su posterior establecimiento en el suelo.

El agua es un recurso valioso en la germinación, ya que marca el inicio y el final, éste recurso junto con el oxígeno y la temperatura hacen que una semilla lleve con éxito el proceso (Manz *et al.*, 2005).

El proceso de adsorción de agua consta de 3 fases como lo menciona Manz *et al.*

(2005):

1. la fase I o inhibición, donde ocurre una absorción inicial y la semilla se hincha.
2. la fase II que se comporta como meseta debido a que el agua se estabiliza, es decir, hay un equilibrio.
3. y la fase III, que ocurre luego del proceso de germinación de semillas, esta fase se caracteriza por existir un aumento de la absorción del agua.

El envejecimiento de las semillas afecta su capacidad de germinación, ya que las semillas tardan más tiempo en germinar, hay más probabilidad que se tengan más plántulas anormales y las plántulas que emergen de estas semillas por lo general son más pequeñas. La tasa de germinación se ha relacionado con cambios que ocurren en la estructura de las membranas y las plántulas anormales se ha vinculado con la muerte de los tejidos (Filho, 2015).

2.8.2 Vigor

El vigor se refiere a la capacidad que tienen las semillas para germinar y dar lugar a plantas completas de buena salud y se desarrollen de manera uniforme capaces de desarrollarse en condiciones de tiempo cambiantes.

Las pruebas de vigor se han creado para describir el potencial fisiológico de las semillas, se han empleado en los programas de control de calidad de cereales para ayudar a los productores a elegir las plantas más vigorosas para los procesos de siembra en el campo. Existen diferentes pruebas que buscan evaluar el vigor y son envejecimiento acelerado, tetrazolio, pruebas basadas en el crecimiento de plántulas como lo menciona Filho (2015).

Envejecimiento acelerado a también AA, es una técnica que ha sido empleada para evaluar el potencial de almacenamiento que tienen las semillas para seguir siendo viables y su capacidad para producir plantas de alto vigor en condiciones de campo. Las semillas son hidratadas, luego se somete a altas temperaturas generalmente es a 41° con humedad del 100%, esto por varios días, finalmente después de la prueba

de envejecimiento acelerado las semillas entran a pruebas de germinación donde se evalúa la capacidad de germinación al haber sido sometidas a condiciones de estrés.

La prueba por tetrazolio es una técnica que se usa para evaluar el vigor de las semillas, se caracteriza por ser un método rápido donde se usa la solución de cloruro de 2,3,5 trifenil tetrazolio (Filho, 2015), donde las semillas que son viables se tornaran a un color rojo a diferencia de las que no.

Crecimiento de las plántulas, incluyen el primer conteo de la germinación que es el número inicial de las plantas que emergen; la velocidad de germinación nos indica cuanto tardan las semillas en germinar y dar lugar a nuevas plantas. El crecimiento de las plántulas se caracteriza por la medición de la raíz y el porcentaje de peso seco; en la clasificación del vigor se realizan análisis de determinación del color y como se ven las plántulas y, finalmente la velocidad en que emerge la raíz primaria.

Las semillas vigorosas permiten tener rodales con buen crecimiento, plántulas con crecimiento uniforme y fuertes que sean capaces de adaptarse a condiciones ambientales como estrés por sequía, que tengan la capacidad de aprovechar los recursos de manera eficiente como el agua, el suelo y los nutrientes.

2.9 Bioquímica

El trigo harinero (*Triticum aestivum*) es un cereal de importancia en el mundo ya que representa el 20% del total de las calorías que consumimos (Urade *et al.*, 2018). El trigo es un alimento que proporciona nutrientes como vitaminas, minerales y proteínas. El gluten está conformado por dos tipos de proteínas, gliadinas y gluteninas, que son las encargadas de aportar elasticidad y consistencia a la masa del pan en los productos horneados.

Entonces, el gluten puede definirse de acuerdo a Wieser (2007), como la sustancia gomosa que queda después de lavar la masa del trigo esto con el propósito de

eliminar los compuestos que son insolubles en agua, como el almidón. El gluten está conformado por proteínas con el 75 y 85 %, lípidos de 5 y 10%, y carbohidratos.

En los cereales existen 4 tipos de proteínas como lo mencionan Guerrieri y Cavaletto (2018); las albuminas que son solubles en agua y se encuentran en el endospermo; las globulinas son solubles en soluciones salinas y se localizan tanto en el endospermo como en el germen; las prolaminas son proteínas del gluten solubles en mezclas de alcohol y agua; y glutelinas que son solubles en ácidos o álcalis diluidos.

Las proteínas del gluten son importantes en la calidad del pan, las gliadinas se encargan de la elasticidad y extensibilidad de la masa, mientras que las gluteninas de la resistencia y elasticidad. La elasticidad se refiere a la capacidad de la masa para estirarse, la extensibilidad para extenderse sin llegar a romperse, la resistencia la manera en que mantiene su forma. Las gliadinas son solubles en agua y las gluteninas son insolubles.

Existen factores que se encargan de determinar la cantidad y la calidad del gluten como el clima, donde la temperatura y la humedad juegan un rol importante; el tipo de suelo, suelos con más nutrientes permiten obtener mejores plantas de trigo, y las prácticas agronómicas. La cantidad de proteína que tienen las semillas de trigo van a determinar la cantidad que se tenga de gluten (Flores, 2014).

Las proteínas tienen diferentes funciones en la semilla de acuerdo a Guerrieri y Cavaletto (2018):

-Funcionales: Son proteínas que forman parte de estructuras complejas, por ejemplo, las membranas.

-Energética: Son proteínas de almacenamiento que sirven como fuente de reserva de aminoácidos que la planta necesita para el proceso de germinación y sirve de sustrato para la síntesis de nuevas proteínas.

-Metabólicos: Son las enzimas que se emplean para acelerar la velocidad de las reacciones.

2.9.1 Gliadinas

Las gliadinas son proteínas del trigo que dan viscosidad y extensibilidad a la masa, son solubles en agua, su extracción se realiza a través del método con etanol al 70%. Son proteínas monoméricas, es decir, están compuestas por una sola cadena de polipéptidos y forman enlaces disulfuro de manera intramolecular, con pesos moleculares (PM) de alrededor de 28.000 a 55.000 Da, los enlaces disulfuro son importantes porque determinan la estructura y las propiedades que tendrán las proteínas, en las gliadinas existen 3 o 4 enlaces disulfuro (Wieser, 2007).

Las gliadinas se clasifican de acuerdo a su movilidad en geles de poliacrilamida en condiciones de pH bajo en tres grupos β -, γ -, ω - como lo señala Wieser (2007):

-Las ω -gliadinas son proteínas que tienen altas cantidades de los aminoácidos glutamina, prolina y fenilalanina, generalmente carecen del aminoácido cisteína, las gliadinas clasificadas como w - tienen secuencias repetidas de los aminoácidos glutamina y prolina.

Mientras que β -, γ - se diferencian por tener menos número de glutaminas y prolinas además de contener al aminoácido tirosina.

2.9.2 Gluteninas

Las gluteninas son proteínas de tamaño grande, su tamaño oscila de 500.000 hasta más de 10 millones de Daltons, se encuentran unidos por enlaces disulfuro intermoleculares con otras gluteninas, son proteínas que se encargan de aportar la elasticidad y resistencia de la masa del trigo (Wieser *et al.*, 2006).

Las gluteninas se dividen en dos grandes grupos: gluteninas de bajo peso molecular o LMW y proteínas de alto peso molecular o también HMW como lo menciona Markgren *et al.* (2020).

2.10 Relación de las proteínas con la calidad fisiológica

Se ha demostrado que existe relación entre el contenido de proteína con la germinación y el vigor. Las semillas que tienen mayor contenido de proteínas su germinación es más rápida, las plántulas se desarrollan y crecen más, tienen mayor cantidad de materia seca y son capaces de desarrollarse en condiciones de estrés (López y Grabe, 1973).

Las semillas de trigo con contenido de proteínas altos (gliadinas y gluteninas) y de tamaño mayor darán lugar a la obtención de plantas más vigorosas (RIES *et al.*, 1976), que crezcan de manera uniforme, más sanas y con mayor crecimiento capaces de desarrollarse en campo y aprovechar los recursos del suelo, además el vigor tiene correlación con el tamaño que tiene la semilla de trigo.

Un alto contenido de gliadinas producirá mayor número de plántulas normales y, por lo tanto, un aumento en la longitud media de plúmula y porcentaje de peso seco. En un porcentaje alto en el número de plántulas anormales habrá menor cantidad de semillas sin germinar, así como disminución del peso seco, mientras que porcentajes altos de semillas sin germinar producen que la longitud de las plántulas se vea afectada y consigo exista una disminución, como lo señala Torres *et al.* (2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención de material genético

En el estudio se evaluaron seis genotipos: dos variedades recientemente registradas AN366 y AN373, dos variedades comerciales Candeal y Pelón colorado, y dos líneas experimentales AN197 y AN263, todas producidas en el ciclo otoño-invierno de 2021-2022 en el Campo experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de Navidad, Nuevo León; ubicado en la Colonia agrícola de Navidad, del municipio de Galeana, N.L. a 84 Km de la ciudad de Saltillo, Coahuila; por la carretera 57 (Saltillo - San Roberto); localizada entre las coordenadas geográficas 25° 04' de latitud norte y 100° 37' de longitud oeste; y a una altitud de 1895.

La temperatura media anual es de 14.6°C, la precipitación media anual es de 492 mm. Se cosechó la semilla a los 130 días después de la siembra y se llevó al Laboratorio de ensayos de semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas del Departamento de Fitomejoramiento el cual pertenece a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; donde se llevó a cabo el estudio, la extracción de las proteínas (gliadinas y glutelinas) mediante solubilidad y se determinó la respuesta fisiológica de las semillas.

3.2 Extracción de gliadinas (GLI)

Se molieron 0.15-0.16 g de semilla por réplica de tres por cada genotipo a través de un mortero y se colocaron en microtubo, como se muestra en la Figura 3.

Luego se añadió 1 ml de solución A (25 mL Etanol al 70 %, 50 mg Pironina Y/G en 100 mL de agua destilada). Se dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente (Figura 3). Posteriormente se centrifugaron por 10 minutos a 4000 rpm y se guardó el sobrenadante en un microtubo para cuantificar la proteína.

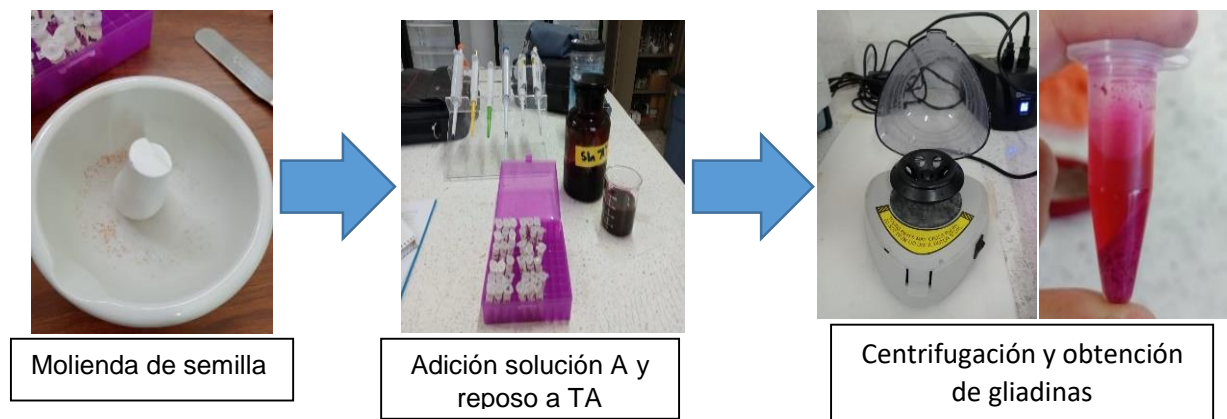


Figura 3. Proceso de extracción de las gliadinas a partir de semilla de trigo.

3.3 Extracción de glutelinas (GLU)

Del residuo sólido sostenido en un microtubo anterior, se agregaron 0.5 ml de Solución B (27 g Urea, 3.0 mL Mercaptoetanol y 10 g de Sulfato dodecil de sodio, en un volumen de 100 mL de agua destilada). Se agitó unos minutos y dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente, como se muestra en la Figura 4. Posteriormente, se centrifugó por 10 minutos a 4000 rpm y se guardó el sobrenadante en un microtubo para cuantificar la proteína.

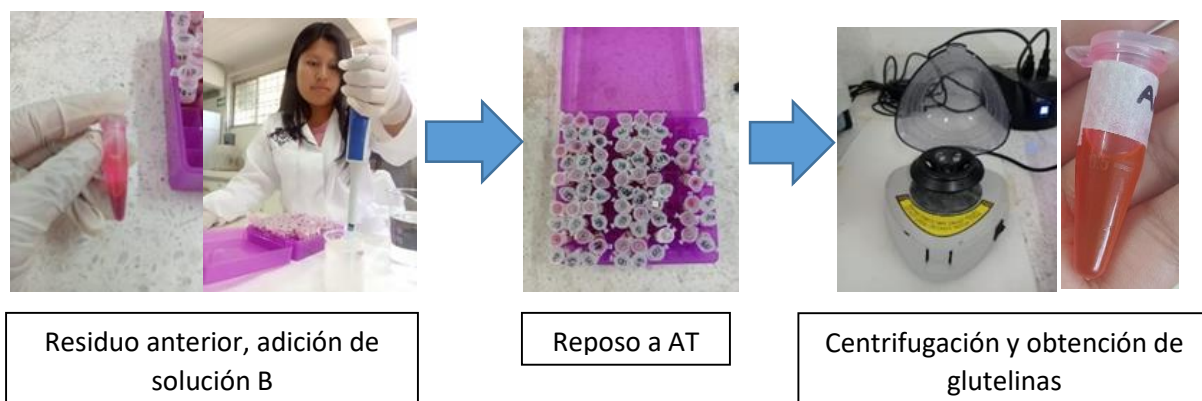


Figura 4. Proceso de extracción de las glutelinas a partir del residuo de extracción de gliadinas.

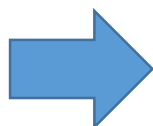
3.4 Cuantificación de proteínas

Una vez extraídas se realizó la cuantificación de proteínas mediante el método de Bradford (1976), se basa en la unión de un colorante, Comassie Blue G-250 a las proteínas extraídas. El colorante es una solución ácida azul. Las proteínas se unen al formar un complejo proteína-colorante azul con un coeficiente de extinción mayor que el colorante libre.

Este método es sensible (1-15 μg) simple, rápido, barato y requiere pocas sustancias interfieren en su determinación, entre las sustancias que interfieren están los detergentes y las soluciones básicas. Una vez dada la reacción, se utilizó un espectrofotómetro Modelo Serie BioMate 3 a 595 nm, como se muestra en la Figura 5.



Extraídas las proteínas, reaccionaron en el reactivo de Bradford



Cuantificación por espectrofotometría a 595 nm

Figura 5. Cuantificación de gliadinas y glutelinas por espectrofotometría.

3.5 Calidad fisiológica

Para la prueba de capacidad de germinación, se sembraron 25 semillas en cuatro repeticiones por cada genotipo, entre papel *humedecido* con agua destilada, y se procedió a enrollar de manera a formar un “taco”, como se muestra en la Figura 6. Una vez sembrados los materiales genéticos, se colocaron en bolsas de polietileno y se colocaron en una cámara germinadora (Lab-Line) a $25 \pm 1^\circ\text{C}$, a 16 horas luz y

8 horas oscuridad, acuerdo a la International Seed Testing Association (ISTA, 2016).



Figura 6. Implementación de la prueba de capacidad de germinación para los genotipos estudiados.

A los siete días después de la siembra, se evaluaron el número de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG), registrando el resultado en porcentaje de cada variable.

Dentro de la prueba anterior, se determinaron algunas pruebas de vigor mediante evaluación de las plántulas normales, una se consideró un Primer Conteo (PC) a los 4 días después de la siembra; y otras a los siete días, como las pruebas de la Longitud Media de Plúmula (LMP) y Longitud Media de Radícula (LMR); así como la tasa de crecimiento de plántula llamado Peso seco (PS), como muestra la Figura 7.

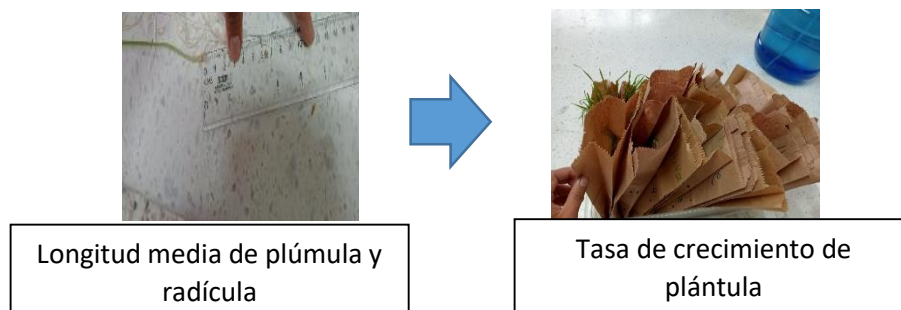


Figura 7. Evaluación de vigor en los genotipos estudiados.

3.6 Diseño experimental

El estudio se estableció en un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por cada material genético.

Los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis System (SAS, 1989), mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias con Diferencia Mínima Significativa (DMS), para un nivel de significancia de 5%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Extracción y cuantificación de proteínas

El análisis de varianza (Cuadro 1), muestra que los genotipos obtuvieron diferencias significativas, en las glutelinas con un promedio de 432.45 µg/ml; mientras en las gliadinas 387.95 µg/ml, indicando que en al menos uno de los genotipos estudiados presento una concentración diferente al resto de los genotipos, teniendo un coeficiente de variación de 7,33% en las gluteninas y 22.19% en gliadinas.

Cuadro 1. Análisis de varianza de proteínas en seis genotipos de trigo.

Fuente de Variación	gL	GLU µg/ml	GLI µg/ml
Genotipo	5	1606.60*	18418.33**
Repetición	3	1138.41*	2958.23 ^{ns}
Error Experimental	15	1006.91	7411.58
Media		432.45	387.95
C.V.		7.33	22.19
R ²		0.43	0.47
Desviación Estándar		±31.73	±86.09

*Significancia; **alta significancia; ^{ns} no significativo; gL= grados de libertad; C.V.=Porcentaje coeficiente de variación; R²=Coeficiente de determinación; GLU=Glutelinas; GLI=Gliadinas.

En la prueba de comparación de medias en la variable de proteínas se evaluaron seis variedades donde se encontró que el genotipo AN-197-13 tuvo el mayor contenido de glutelinas con 458.27µg/ml, lo que podría indicar que es un genotipo de alta calidad, dentro del estudio le siguió la variedad AN-263-13 con una concentración de 450.52 µg/ml, a diferencia de la variedad Candeal que presentó el menor contenido de esta proteína con 408.87 µg/ml respectivamente, descritos sus valores en la Figura 8.

Es importante recalcar que los altos contenido de proteínas se debe a que el trigo se ha cultivado en suelos ricos de nitrógeno con un ambiente adecuado y las prácticas de manejo de cultivo como lo menciona Ferraris (2009).

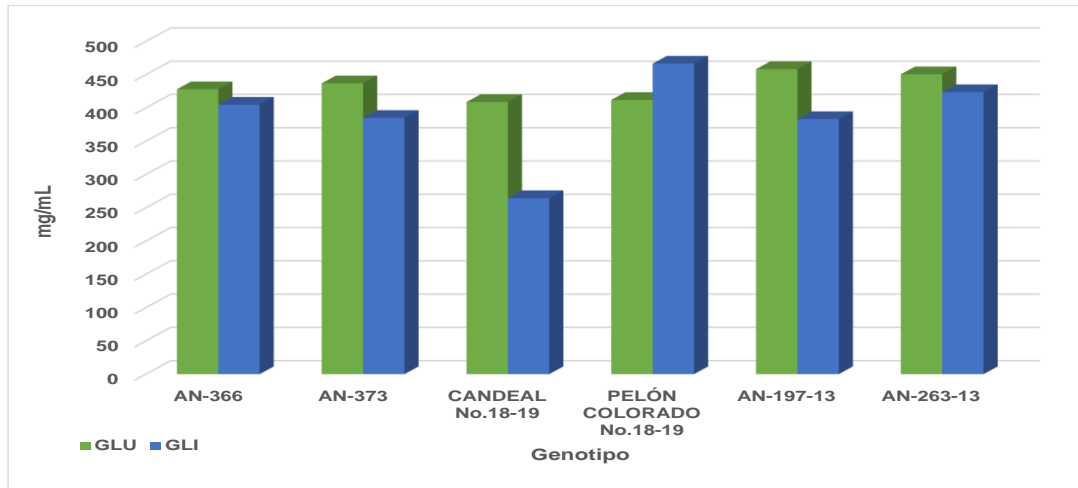


Figura 8. Comparación de medias de proteínas en seis genotipos de trigo.

Por otra parte, Pelón colorado tuvo mayor contenido de gliadinas (466.52 $\mu\text{g/ml}$), seguido de AN-263-13 con una concentración de 423.72 $\mu\text{g/ml}$ y Candeal presentó menor concentración de gliadinas con 264.45 $\mu\text{g/ml}$.

Cabe señalar que el tipo de variedad es un factor que determina la calidad de las gliadinas y gluteninas, la calidad también se ve influenciada por el genotipo y condiciones externas a la semilla como lo es el ambiente, el alto contenido de proteínas se debe principalmente a la presencia de los granos que son vítreos, que son aquellos con endospermo duro y con textura translúcida, a diferencia de aquellos con poca presencia de granos vítreos con apariencia opaca y a una falta de nitrógeno en la fase de llenado de grano o maduración que tendrán cantidades de proteína bajas (De la O et al.,2010; Peña et al.,2007) como es el caso de Candeal, variedad que presentó los más bajos niveles de proteína y pudo haber sido afectada por estos factores.

4.2 Calidad fisiológica

4.2.1. Capacidad de germinación

Los resultados obtenidos para la variable de capacidad de germinación, se encontraron diferencias altamente significativas como se señala en el Cuadro 2, teniendo un promedio general de 93% en plántulas normales; 1.83 % en plántulas anormales y 5.16% en semillas sin germinar respectivamente, como se muestra en la Figura 9 sobre esta clasificación; lo cual refleja, que en al menos uno de los genotipos estudiados presentó un porcentaje de germinación mayor que el resto, siendo un material de alta calidad fisiológica, teniendo un coeficiente de variación de 6,42% en plántulas normales, 162,21% en plántulas anormales y 86,26 % en semillas sin germinar.

Cuadro 2. Análisis de varianza de la capacidad de germinación en seis genotipos de trigo.

Fuente de Variación	gL	PN	PA	SSG
Genotipo	5	59.20*	29.46 **	93.46 **
Repetición	3	2.66 ^{ns}	2.44 ^{ns}	6 ^{ns}
Error Experimental	15	35.73	8.84	19.86
Media		93	1.83	5.16
C.V.		6.42	162.21	86.26
R ²		0.36	0.53	0.61
Desviación Estándar		±5.97	±2.97	±4.45

*Significancia; **alta significancia; ^{ns} no significativo; gL=Grados de Libertad; C.V.=Porcentaje coeficiente de variación; R² =Coeficiente de determinación; PN= Plántulas Normales; PA= Plántula Anormales; SSG= Semillas sin Germinar.



Figura 9. Clasificación de respuesta de la capacidad de germinación.

Por el resultado de las significancias en las variables de capacidad de germinación, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias, reflejando que AN-366 y AN-197-13 obtuvieron mayor porcentaje de plántulas normales con 97%, seguido el genotipo AN-263-13 con 94%, como se muestra en el Figura 10; y con el menor valor de germinación se posiciono dentro del mismo grupo la variedad Pelón colorado con tan solo 87%, de esta manera se indica que las semillas de trigo con mayor nivel de proteínas germinarán más rápido a diferencia de las que tengan menor contenido, sus plántulas tendrán mejor crecimiento y desarrollo (López y Grabe, 1973), pudiendo indicar que el genotipo AN-197-13 al presentar mayor contenido de gluteninas tuvo una capacidad de germinación más rápida a diferencia de las otras variedades.

Cabe destacar que en la variable plántulas anormales, el genotipo AN-373, resultó con el mayor porcentaje de anomalías con 7%, seguido de las variedades AN-197-13 y AN-263-13 con el 2 %; mientras AN-366, Candeal y Pelón colorado presentaron un valor de cero por ciento de anomalías, sobresaliendo como los mejores materiales al no presentar plántulas con anomalías (Figura 10). Esto podría indicar que los genotipos con altos valores en plántulas anormales son considerados de baja calidad fisiológica en el estudio.

Es importante señalar que un alto contenido de proteínas en semillas de trigo producirá mayores porcentajes de plántulas normales que sean uniformes y sanas; al existir altos porcentajes de plántulas anormales existirá disminución de las semillas que no logran germinar, como lo señala Torres *et al.* (2022).

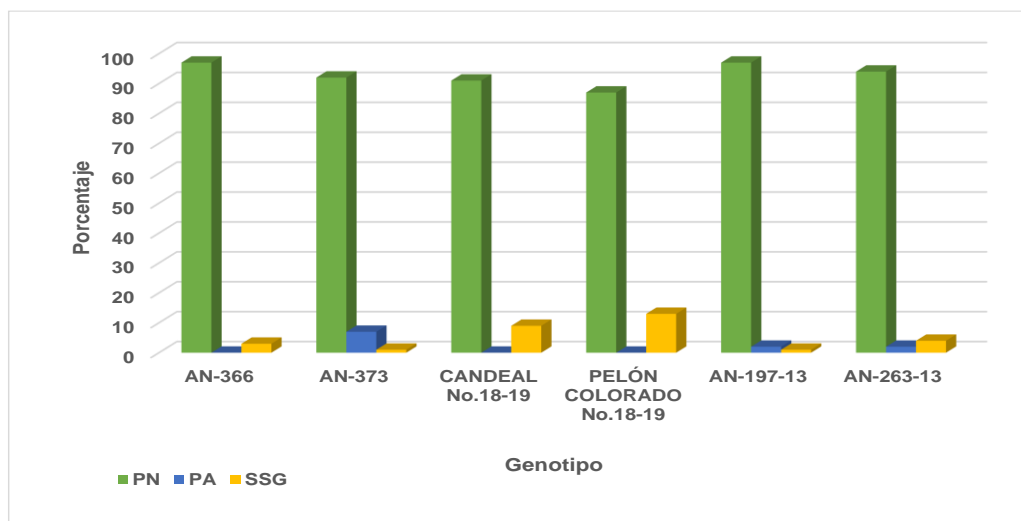


Figura 10. Comparación de medias de la capacidad de germinación en seis genotipos de trigo.

En cuanto a la variable de semillas sin germinar, la variedad Pelón colorado resultó con mayor porcentaje de semillas sin germinar con 13%, seguida la variedad Candeal con un 9%; mientras que los genotipos AN-373 y AN-197-13 obtuvieron el menor porcentaje con 1%, estos resultados indican que los genotipos evaluados no presentaban los mismos niveles de calidad y que el número elevado de plántulas anormales y semillas sin germinar se debió posiblemente al envejecimiento de la semilla (Filho *et al.*, 2015), entonces la variedad de Pelón Colorado al presentar valores altos en semillas sin germinar indicó que las semillas estaban en deterioro al ser sometidas a diferentes condiciones, como temperaturas altas y humedad.

4.2.2 Pruebas de vigor

En el Cuadro 3, se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables de vigor, encontrando entre los genotipos se obtuvieron diferencias significativas en un primer conteo de plántulas normales con un promedio de 91% y 16.10 mg/plántula en el peso seco, lo que significa que los genotipos tienen a presentar diferente velocidad de germinación y por ende de vigor, se tuvo un coeficiente de variación de 6,70% en el primer conteo y 56.81% en el peso seco.

Para las variables de Longitud Media de Radícula y Longitud Media de Plúmula no se obtuvieron diferencias significativas, lo que indica que no hay diferencia entre los materiales evaluados en estudio.

Cuadro 3. Análisis de varianza de vigor en seis genotipos de trigo.

Fuente de Variación	gL	PC	LMR	PS	LMP
Genotipo	5	37.86*	0.78 ^{ns}	99.29*	5.37 ^{ns}
Repetición	3	12.44 ^{ns}	2.61**	96.38*	3.62 ^{ns}
Error Experimental		37.51	1.04	83.76	8.73
Media		91.33	13.26	16.10	4.74
C.V.		6.70	7.68	56.81	62.33
R ²		0.28	0.43	0.38	0.22
Desviación Estándar		6.12	1.02	9.15	2.95

*Significancia; **alta significancia; ^{ns} no significativo; gL=Grados de Libertad; C.V.=Porcentaje de coeficiente de variación; R²=Coeficiente de determinación; PC=Primer conteo; LMR=Longitud Media de Radícula; PS=Peso Seco; LMP=Longitud Media de Plúmula

Teniendo en cuenta la significancia entre los genotipos se realizó la prueba de comparación medias del Primer Conteo encontrando que los genotipos AN-366, AN-197-13 y AN 263-13 mostraron los valores más altos de primer conteo con 94% como se muestra en la Figura 11, de esta manera se confirma que el contenido de proteína se encuentra relacionado con el vigor como lo menciona Ries *et al.* (1976), ya que altos contenidos de proteínas producirán plantas más vigorosas capaces de aprovechar con éxito los nutrientes, minerales y el agua. Considerando la variable del primer conteo, el genotipo AN-197-13 al presentar el mayor contenido de gluteninas resultó ser el más vigoroso al tener mayor porcentaje de plántulas normales en el estudio.

Mientras que la variedad Pelón colorado presentó el menor porcentaje con 87%, mostrando una baja respuesta en las plántulas normales como se muestra en la Figura 12. Cabe mencionar que esta variedad presentó el mayor porcentaje de gliadinas y resultó ser una variedad con bajos valores en el vigor del primer conteo.

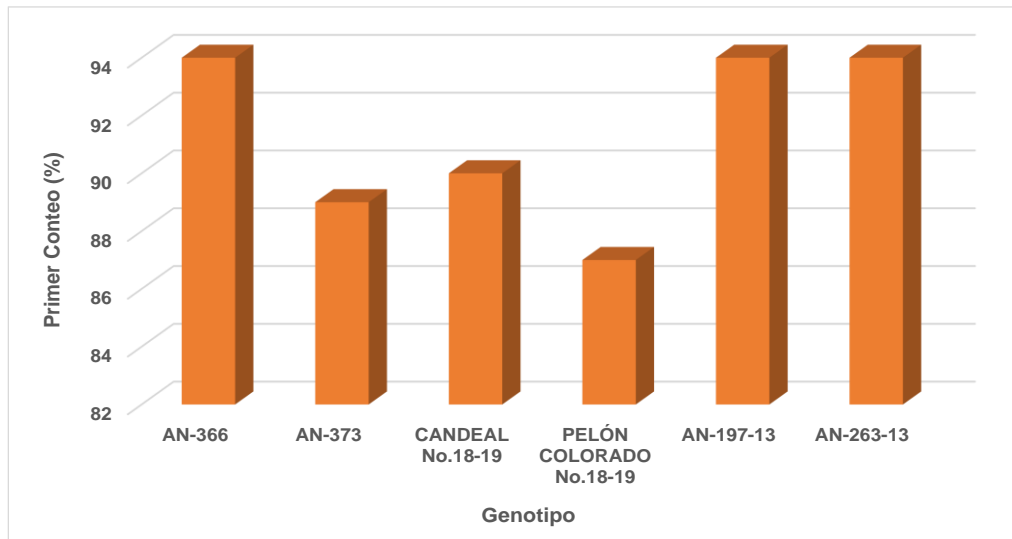


Figura 11. Comparación de medias de las pruebas de vigor Primer conteo de plántulas normales a los 4 días en seis genotipos en trigo.



Figura 12. Respuesta de plántulas normales de la variedad Pelón colorado.

Para la variable de Longitud Media de Radícula, el genotipo AN-197-13, resultó ser la de mayor longitud de radícula a diferencia del resto de los materiales con 13.68 cm/plántula, seguido AN-373 con 13.49 cm/plántula y Pelón colorado con 13.46 cm/plántula, mostrada la respuesta en la Figura 13, en cambio el genotipo Candéal, obtuvo la menor respuesta de longitud con 12.46 cm/plántula (Figura 14). Con base a lo anterior, las variedades AN-197-13 y Pelón Colorado al ser los genotipos con mayor contenido de gliadinas y gluteninas presentaron alta calidad fisiológica. Una

mayor longitud de radícula podría indicar el éxito del aprovechamiento de los nutrientes y recursos del suelo, como sabemos el agua es un recurso vital para las plantas, entonces una radícula bien desarrollada permitirá el aprovechamiento de manera eficiente de agua y nutrientes que la planta requiere para su desarrollo como lo menciona Miranda *et al.* (2016).

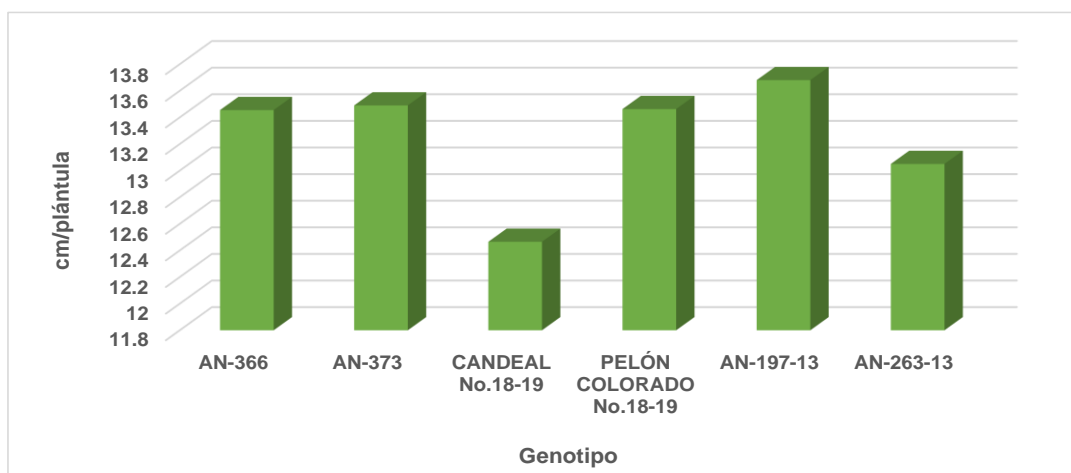


Figura 13. Comparación de medias de las pruebas de vigor de Longitud media de radícula en seis genotipos de trigo.



Figura 14. Respuesta de la longitud media de radícula de la variedad Candela en comparación a AN-197-13.

En cuanto al peso seco, el genotipo AN-373 fue superior con 26.02 mg/plántula, seguido de AN-366 (16.08 mg/plántula) calificadas como de mayor vigor y la menor fue Candeal con 12.84 mg/plántula siendo de bajo vigor al presentar menor peso, como observa en la Figura 15, entonces la variedad AN-366 al tener el valor más alto de germinación resultó ser la más vigorosa en porcentaje de peso seco, a diferencia de AN-373 al ser un genotipo que no tuvo los valores más altos en porcentaje de germinación, sin embargo fue una de las de mayor vigor tuvo en el estudio.

Los genotipos que presenten porcentajes altos de plántulas anormales en la germinación disminuyen su porcentaje de peso seco, ya que existe una relación entre el peso seco y las proteínas del trigo, ya que altas cantidades de proteínas aumentarán el porcentaje de peso seco de las semillas (Torres *et al.*, 2022), al ser el genotipo AN-373 el que presentó mayor número de plántulas anormales en la prueba de germinación su peso seco fue bajo pero alto a comparación de las otras variedades estudiadas.

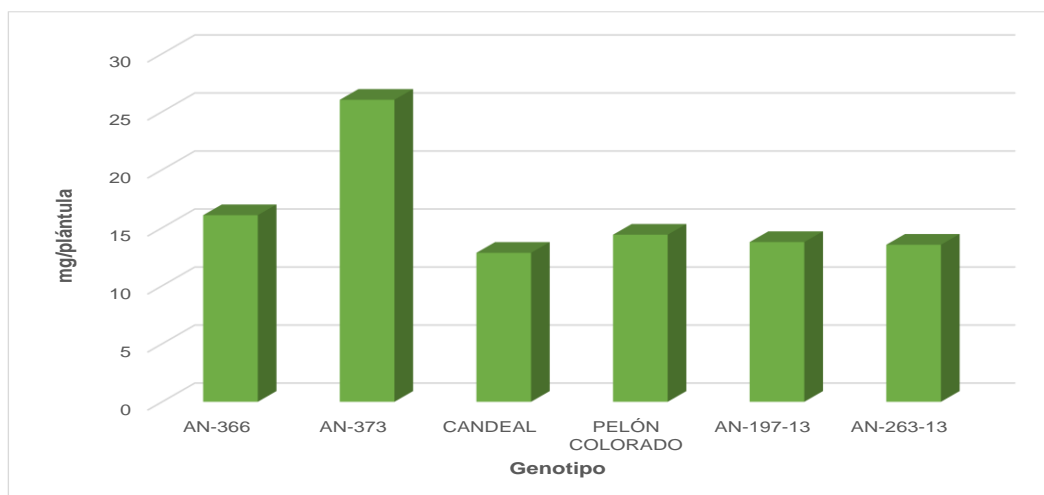


Figura 15. Comparación de medias del Peso Seco en seis genotipos en trigo.

De acuerdo con la variable LMP, en la prueba de comparación de medias se obtuvo que el genotipo AN-366 fue mayor con 6.94 cm/plántula, seguido de Pelón colorado (4.92 cm/plántula), CANDEAL (4.67 cm/plántula) respectivamente y la variedad AN-373 fue menor con 3.91 cm/plántula, como se observa en la Figura 16, la longitud media de plúmula también se ve afectada por el contenido de proteína, ya que niveles altos de proteínas producirán un aumento en la longitud Media de Plúmula(LMP), como lo demuestra Torres et al. (2022) en su estudio. Esto puede ser corroborado al ser el genotipo Pelón Colorado la que presentó el mayor nivel de gliadinas y su longitud media de plúmula se vio favorecido.

Un ambiente favorable producirá mayor número de plántulas normales y, por lo tanto, un aumento en la longitud de la plántula, de igual manera el tipo de variedad de trigo favorece la longitud de la plántula y el porcentaje de peso seco como lo demuestra Fernández *et al.* (2015), las variedades con menor longitud de plúmula confirman que son afectados por estas condiciones como lo fue con la variedad AN-373 (Figura 16).

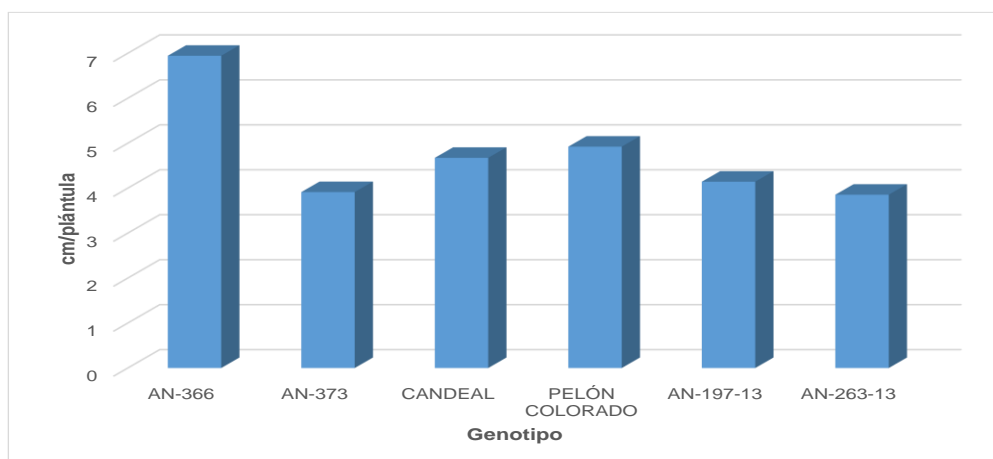


Figura 16. Comparación de medias de la Longitud Media de Plúmula

4.3 Correlación entre variables evaluadas

El análisis de correlaciones indicó que existe una asociación positiva de 0.70 de las glutelinas con la germinación de las semillas, teniendo que a mayor contenido de gluteninas se tendrá un mayor porcentaje de plántulas normales, disminución del número de semillas sin germinar con una asociación negativa de -0.34 (Cuadro 4) y que existió una relación positiva de 0.70 de las gluteninas con el Primer Conteo, la variable del primer conteo mantuvo una relación del 0.93 con la germinación de las semillas, teniendo mayor contenido de plántulas normales y disminución de plántulas anormales (-0.75).

Se encontró una asociación positiva de las gliadinas con el vigor de las semillas, con 0.71 en la longitud media de radícula, significa que a mayor contenido de gliadinas mayor vigor y habrá un aumento de la longitud de la raíz, además se encontró una asociación negativa con el número de semillas sin germinar -0.85 como indica el Cuadro 4, la variable de Longitud Media de Plúmula presentó de igual forma una relación notoria de 0.26 con las gliadinas y plántulas normales así como una asociación negativa de -0.25 con las gluteninas, finalmente la variable de Peso Seco presentó una mínima relación con las gliadinas (0.09) y con las plántulas anormales, de igual manera presentó una asociación de manera negativa con las plántulas normales, semillas sin germinar y la variable del primer conteo.

Cuadro 4. Resultado del análisis de correlaciones entre variables en seis genotipos de trigo. Nivel de significancia de $p < .05000$

	GLU	GLI	PN	PA	SSG	PC	PS	LMP	LMR
GLU	1.00	0.26	0.70	-0.24	-0.34	0.70	0.10	-0.25	0.49
GLI		1.00	-0.10	0.66	-0.85	-0.04	0.09	0.26	0.71
PN			1.00	-0.77	0.05	0.93	-0.05	0.26	0.28
PA				1.00	-0.65	-0.75	0.27	-0.17	0.34
SSG					1.00	0.17	-0.41	-0.06	-0.93
PC						1.00	-0.32	0.22	0.11
PS							1.00	0.10	0.37
LMP								1.00	0.14
LMR									1.00

V. CONCLUSIONES

El estudio permitió detectar diferencias significativas en las variables determinadas en los materiales genéticos estudiados. En las variables de tipo y cantidad de proteínas contenidas en las semillas, sobresalió la línea experimental AN-197-13 con mayor contenido de gluteninas y la variedad Pelón colorado de gliadinas.

Asimismo, en la calidad fisiológica, en la prueba de capacidad de germinación, destacó la línea experimental AN-197-13 con mayor porcentaje de germinación en plántulas normales; y menor porcentaje de semillas sin germinar; a diferencia de la variedad Pelón colorado que presentó menor porcentaje de germinación y plántulas anormales, pero mayor de semillas sin germinar.

En las pruebas de vigor, en primer conteo de plántulas normales, las variedades AN-366, AN-197-13 y AN 263-13 destacaron con mayor porcentaje, en comparación a la variedad Pelón colorado que obtuvo menor vigor. Igualmente, en longitud media de radícula, los genotipos AN-197-13, AN-373 y Pelón colorado sobresalieron con mayor longitud.

En la variable de peso seco, nuevamente destacó el genotipo AN-373 con mayor valor; y de igual forma la variedad AN-366 en la longitud media de plúmula.

En cuanto, al análisis de correlaciones indicó que existe una relación positiva del contenido de gluteninas con la calidad fisiológica esencialmente con la germinación en plántulas normales. De igual forma, indicó que, a mayor valor de plántulas normales, existirá una disminución de las semillas sin germinar. En el caso de las proteínas como las gliadinas están asociadas positivamente con el vigor de las semillas de estos materiales estudiados.

VI. LITERATURA CITADA

Abigail Orús. (2023). Consumo per cápita de trigo para fines alimenticios a nivel mundial 2000-2022. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/1312396/consumo-per-capita-de-trigo-para-fines-alimenticios-a-nivelmundial/Publicado:%20Julio%2012,%202023>.

Abigail Orús. (2023b). Evolución del consumo global de trigo 2015-2023. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/634800/consumo-alimentario-de-trigo-per-capita-en-el-mundo-2000/>

Ávila MJA; Ávila SJM, Rivas SFJ y Martínez HD.2014. El Cultivo de Trigo. Sistemas de producción en el noroeste de México. Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Agricultura y ganadería. Cultivos extensivos.

Barak, S., Mudgil, D. y Khatkar, BS. 2015. Propiedades bioquímicas y funcionales de las gliadinas del trigo: una revisión. *Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*, 55 (3), 357-368.

Bishaw, Zewdie & Niane, Abdoul & Gan, Yantai. 2007. Quality Seed Production. 349–383. doi: 10.1007/978-1-4020-6313-8_21.

Carranza-González, Salvador, Aquiles Carballo-Carballo, Héctor Eduardo Villaseñor-Mir, Adrián Hernández-Livera, y Ma. Elena-Ramírez. 2022. «Calidad física De Semilla En 24 Variedades Mejoradas De Trigo Liberadas En México». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 13 (5). México, ME:827-40.

Castañeda-Saucedo, M. C., López-Castañeda, C., León, C. D., Teresa, M.,

Molina Moreno, J. C., & Hernández-Livera, A. 2009. Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia*, 34(4), 286-292.

Chaquilla-Quilca, G., Balandrán-Quintana, R. R., Mendoza-Wilson, A. M., & Mercado-Ruiz, J. N. 2018. Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *CienciaUAT*, 12(2), 137-147.

Corke, H. 2004 Grain: morphology of internal structure. *Encyclopedia of Grains Science*, 41-49.

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. 2022. Trabaja México en el incremento de la producción agrícola a partir de semillas certificadas: Agricultura. gov.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/trabaja-mexico-en-el-incremento-de-la-produccion-agricola-a-partir-de-semillas-certificadas-agricultura>

De Agricultura y Desarrollo Rural, S. 2022a. Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México. gov.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>

De la O Olán, M., Rangel, E. E., Mir, H. E. V., Galán, J. D. M., Sánchez, H. L., Varela, A. S., & Bautista, R. J. P. (2010). Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotípicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45, 989-996.

Doria, Jessica. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00.

Ferraris, G. N. (2009). Fertilización nitrogenada de trigo y otros cereales de

invierno. Criterios de manejo para incrementar su eficiencia. Proyecto Regional Agrícola-CERBAN. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.

Fernández Sosa, R., Carballo Carballo, A., Villaseñor Mir, H. E., & Hernández Livera, A. (2015). Calidad de la semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6), 1239-1251.

FIRA. 2021. Trigo 2021. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=90263>

Flores, R. V. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería industrial*, (32), 231-246.

Fu, Ff, Peng, Ys, Wang, Gb, El-Kassaby, Ya Y Cao, Fl. 2021. El análisis integrativo del metaboloma y transcriptoma revela el mecanismo de germinación de semillas en *Punica granatum* L. *Journal of Integrative Agriculture*, 20 (1), 132-146

Giménez, M. J., & Barro, F. 2013. Variedades de trigo aptas para celíacos. *OmniaScience Monographs*.

Guerrieri, N., & Cavaletto, M. 2018. Cereals proteins. In *Proteins in food processing* (pp. 223-244). Woodhead Publishing.

Guberac, V., Martinčić, J., Marić, S., Bede, M., Jurišić, M., & Rozman, V. 2000. Grain Yield Components Of Winter Wheat New Cultivars In Correlation With Sowing Rate. *Cereal Research Communications*, 28(3), 307–314.

Gutiérrez-García, A. S., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., Vargas-Hernández, M., Trethowan, R., & Villaseñor-Mir, H. E. 2006. Characterization of

bread wheat using seed physical and physiological quality parameters. *Agricultura técnica en México*, 32(1), 45-55.

Khaeim, H., Kende, Z., Balla, I., Gyuricza, C., Eser, A., & Tarnawa, Á. 2022. The Effect of Temperature and Water Stresses on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sustainability*, 14(7), 3887.

López, A., & Grabe, D. F. 1973. Effect of protein content on seed performance in wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, 63, 106–116.

L. Grass y JS Burriss. 1995. Efecto del estrés por calor durante el desarrollo y maduración de las semillas sobre la calidad de las semillas de trigo (*Triticum durum*). I. Germinación de semillas y vigor de plántulas. *Revista Canadiense de Ciencias Vegetales*. **75** (4): 821-829.

Manz, B., Muller, K., Kucera, B., Volke, F., & Leubner-Metzger, G. 2005. Water uptake and distribution in germinating tobacco seeds investigated in vivo by nuclear magnetic resonance imaging. *Plant physiology*, 138(3), 1538-1551.

Filho, M.J. 2015. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia agricola*, 72, 363-374.

Markgren, J., Hedenqvist, M., Rasheed, F., Skepö, M., & Johansson, E. 2020. Glutenin and gliadin, a piece in the puzzle of their structural properties in the cell described through Monte Carlo simulations. *Biomolecules*, 10(8), 1095.

Miranda Domínguez, L. E., López Castañeda, C., Benítez Riquelme, I., & Mejía Contreras, J. A. (2016). Root development and yield in different genotypes of bread wheat, barley and triticale under limiting soil moisture conditions.

FAO. 2024. Nota Informativa sobre la oferta y la demanda de cereales | Situación Alimentaria Mundial | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (n.d.-a). <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es>

Peña Bautista, R. J., Perez Herrera, P., Villaseñor Mir, E., Gomez Valdez, M. M., Lozano, M., & Monterde Gabilondo, R. (2007). Calidad de la cosecha de trigo en Mexico: Ciclo otoño-invierno 2005-2006. CIMMYT

Poudel, R., Finnie, S., & Rose, D. J. 2019. Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end-use properties of the resulting whole wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 86, 33-40.

Ries, S. K., Ayers, G., Wert, V., & Everson, E. H. 1976. Variation in protein, size and seedling vigor with position of seed in heads of winter wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 56(4), 823-827.

Rizzardi, M. A., Luiz, A. R., Roman, E. S., & Vargas, L. 2009. Effect of cardinal temperature and water potential on morning glory (*Ipomoea triloba*) seed germination. *Planta Daninha*, 27, 13-21.

Shah, T., Latif, S., Khan, H., Munsif, F., & Nie, L. 2019. Ascorbic acid priming enhances seed germination and seedling growth of winter wheat under low temperature due to late sowing in Pakistan. *Agronomy*, 9(11), 757.

Torres Tapia, M.A., Villa, V. M. Z., Rico, M. C., & Suárez, G. F. 2022. Comparación de líneas de cebada y otras especies de cereales mediante atributos fisiológicos y bioquímicos de semillas. *Journal of Biological and Natural Sciences*, 2(1), 2–9.

TeKrony, D. M., & Egli, D. B. 1997. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop science*, 31(3), 816-822.

Urade, R., Sato, N., & Sugiyama, M. (2018). Gliadins from wheat grain: An overview, from primary structure to nanostructures of aggregates. *Biophysical reviews*, 10, 435-443.

Wieser, H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology*, 24(2), 115-119.

Wieser, H., Bushuk, W., & MacRitchie, F. 2006. The polymeric glutenins. *Gliadin and glutenin: The unique balance of wheat quality*, 213-240.

Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. 2023. Chemistry of wheat gluten proteins: Qualitative composition. *Cereal Chemistry*, 100(1), 23-35.