

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del Rendimiento de Grano y Forraje de Treinta Genotipos de  
Trigo Harinero en Galeana, Nuevo León

Por:

**LUIS ANDRÉS MURILLO RÍOS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del Rendimiento de Grano y Forraje de Treinta Genotipos de  
Trigo Harinero en Galeana, Nuevo León

Por:

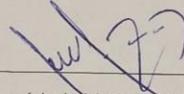
**LUIS ANDRÉS MURILLO RÍOS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

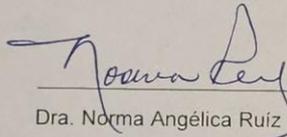
**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría



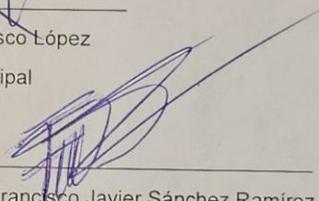
Dr. José Luis Velasco López

Asesor Principal



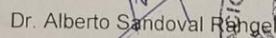
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor



Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023.

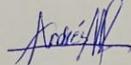
### **Derechos de Autor y Declaración de no plagio**

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la 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.

Pasante



---

Luis Andrés Murillo Ríos

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme en este camino, por darme fortaleza, perseverancia y guiarme por el bien para lograr mis metas. Que cuando me encontré en apuros me ayudó.

A mi ALMA MATER por darme el mejor de los estudios, por brindarme un lugar para alojarme y alimento. Pero más por las amistades y relaciones hechas en este lugar, amistades y relaciones que deseo que perduren durante mi estadía en este mundo. Además, por aumentar mi amor por el campo y en ver el bien por el país. Gracias por hacerme sentir cálido y seguro a pesar de la distancia de mi familia.

Al Dr. José Luis Velasco López, que sin su ayuda esta investigación no hubiera sido posible, por su confianza, amistad y por haber sido mi profesor. Por su paciencia y por darme cátedras de mejoramiento.

A la Dra. Norma Angélica Ruíz Torres, por haberme enseñado tanto sobre semillas y su importancia, por ser una excelente docente.

Al Dr. Javier Sánchez Ramírez, por haber colaborado en la revisión y por ser un buen docente en lo que a Experimentación se refiere.

A la Dra. Alejandra Torres Tapia, por ser una excelente docente y que indirectamente me enseñó a tomar las cosas por el lado bueno.

A mis amigos, por ser y estar, por las risas, lagrimas, momentos de apoyo, pláticas, convivencia, etc. Espero conservar su amistad durante mi existencia: Ángel García, Geovanni Quintero, Miguel Becerra, Magaly Villeda (por ser, estar y por su apoyo), Adamari Ramírez, Luis Rey y Modesto Rodríguez, gracias, por tanto. Los quiero, amo y respeto, que el éxito perdure y que logren sus sueños, que no dejen de luchar. Paciencia y disciplina. Que Dios los bendiga y los cuide.

A José Galindo, Yamilet Pineda, Carlos Carmona, Eduardo Alonso, Jonathan González, Alfonso Medrano, Luis Pérez. Por tantas risas, conocimiento y experiencias. Que Dios los guíe por buen camino y los llene de sabiduría.

## DEDICATORIA

A mi madre, María Elena Ríos Villa por apoyarme en toda mi carrera, tanto en lo emocional como en lo económico, que a pesar de los obstáculos nunca me dejó solo y siempre me apoyó a su manera. Que con su amor y enseñanza me fue la más grande ayuda para ser el hombre que ahora soy.

A mis hermanos Adán Murillo Ríos y Karla Andrea Murillo Ríos, por siempre escucharme y estar ahí cuando más los necesité. Siempre voy a estar para ustedes y mamá. A mi hermana por entenderme y platicar conmigo cuando fue necesario y ser la mejor. A mi hermano por darme consejos y ser el hermano mayor que siempre quise.

A mi sobrina Emma Murillo, que, aunque aún es una bebé, espero que Dios me preste vida para guiarla y apoyarla en todo lo que pueda.

A mis abuelos Otilia Villa Reza (†) y Anastasio Ríos Hernández (†), por darme la mejor de las niñeces, por las pláticas que tuvimos, por todo el amor, sabiduría y por heredarme el amor por el campo. Los llevo en mi mente y corazón a cada día.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa (†), por haber sido mi tutor, asesor y amigo. Que indirectamente me enseñó a mantener buena actitud y carisma, gracias a una mente tan brillante.

## ÍNDICE GENERAL

### Tabla de contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 General .....	3
1.2 Específicos .....	3
1.3 Hipótesis:.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1 Producción de Trigo a Nivel Mundial .....	4
2.2 Importancia a Nivel Nacional .....	5
2.3 Importancia del Mejoramiento Genético del Cultivo de Trigo .....	6
2.4 Características Morfológicas del Trigo Tolerantes al Estrés.....	7
2.5 Requerimientos Edafoclimáticos.....	8
2.6 Importancia de la Fertilización Nitrogenada .....	9
2.7 Respuesta de la Densidad de Siembra.....	10
2.8 Cobertura Vegetal.....	11
2.9 Madurez Fisiológica.....	11
2.10 Descripción Botánica.....	12
2.10.1 Sistema Radicular .....	12
2.10.2 Espiga y Espiguillas .....	12
2.10.3 Tipo de Reproducción .....	12
2.10.4 Estructura del Grano .....	12
2.10.5 Fisiología de la Producción y Componentes del Rendimiento .....	13
2.11 Rendimiento de Grano y su Relación con sus Componentes	14

2.11.1	<b>Rendimiento de Grano</b> .....	14
2.11.2	<b>Número de Espigas por Metro Cuadrado</b> .....	14
2.11.3	<b>Peso promedio del grano</b> .....	16
2.11.4	<b>Granos por Espiga</b> .....	17
2.11.5	<b>Espiguillas por espiga</b> .....	18
2.11.6	<b>Altura de Planta (AP)</b> .....	18
2.11.7	<b>Peso Hectolítrico (PH)</b> .....	19
2.11.8	<b>Cantidad de Biomasa</b> .....	19
2.11.9	<b>Índice de Cosecha</b> .....	20
2.12	<b>Interacción Genotipo por Ambiente (G x A)</b> .....	20
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	<b>Material Genético</b> .....	22
3.1	<b>Ubicación del Sitio Experimental</b> .....	23
3.2	<b>.1 Características del Sitio Experimental</b> .....	23
3.3	<b>Diseño Experimental</b> .....	23
3.4	<b>Manejo Agronómico del Experimento</b> .....	24
3.5	<b>Variables registradas</b> .....	25
3.5.1	Forraje verde (FV).....	25
3.5.2	Forraje seco (FS) .....	25
3.5.3	Altura de planta (AP).....	25
3.5.4	Espigas por Metro Cuadrado (EM2).....	25
3.5.5	Rendimiento de Grano .....	25
3.5.6	Componentes de Rendimiento de Grano.....	26
	Longitud de Espiga (LE).....	26
	Espiguillas por Espiga (EE).....	26
	Granos por Espiga (GPE).....	26
	Peso de Grano por Espiga (PGE).....	26

3.6 Análisis Estadístico .....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
4.1 Análisis de Varianza .....	28
4.2 Características agromorfológicas de los genotipos .....	29
4.3 Correlación del rendimiento de rendimiento de grano y sus componentes .....	35
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Principales Países Productores de Trigo (Millones de Toneladas). .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Principales Estados Productores de Trigo Cristalino en México. ..	6
<b>Cuadro 3.</b> Material genético utilizado en el estudio durante el ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. ....	22
<b>Cuadro 4.</b> Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas. Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. ....	28
<b>Cuadro 5.</b> Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas. Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. ....	28
<b>Cuadro 6.</b> Valores medios de los genotipos para las variables evaluadas en campo durante el Ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. ....	30
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias de los genotipos para las variables evaluadas durante el Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. .....	34
<b>Cuadro 8.</b> Coeficientes de correlación de las variables evaluadas en campo y laboratorio de los 30 genotipos de trigo harinero durante el ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León. ....	36

## RESUMEN

El trigo harinero es un alimento sumamente importante en México, ya que con él se elaboran alimentos de consumo a diario. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el rendimiento de grano y forraje de 30 genotipos de trigo harinero y con los resultados ofrecer a los productores de la región del valle de Navidad, Galeana, Nuevo León una solución para la producción de grano. Los genotipos de trigo estudiados fueron proporcionados por el programa de cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), los cuales se evaluaron durante el ciclo otoño-invierno 2022-2023 bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Con la información obtenida se realizó análisis de varianza para cada variable de estudio, pruebas de comparación de medias con el método de Diferencia Mínima Significativa (DMS) y análisis de correlación de Pearson. En los resultados se observaron a cinco genotipos con rendimientos de grano superiores: AN-275-1, AN-173-1, AN-390-0, AN-14-15, AN-165-1 con 2.15, 2.10, 2.08, 1.73, 1.67 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; estos fueron superiores a las variedades comerciales BACANORA, GALVEZ y PAVON que rindieron 1.45, 1.42 y 1.27 t ha<sup>-1</sup>, correspondientemente.

Los bajos rendimientos de grano que se observaron en este estudio fueron causados principalmente por las altas concentraciones de carbonatos en el sitio experimental, lo que limitó el desarrollo y crecimiento de las plantas, ya que las raíces no absorben de manera óptima los nutrientes de la solución del suelo; la producción de biomasa fue afectada por la presencia de una helada tardía cuando los genotipos estaban en la etapa de embuche.

En los análisis de correlación se observó que el peso de granos por espiga está asociado con el rendimiento de grano ( $r=0.45$ ), por lo que en próximas investigaciones se podría tomar más en cuenta para incrementar el rendimiento de grano.

**Palabras clave:** Rendimiento de grano, forraje, componentes, trigo harinero.

## I. INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los cultivos más importantes para la alimentación humana; los productos derivados del grano, con su buen rendimiento permiten que los precios se mantengan razonables para que sea accesible a la mayor parte de la población mexicana.

La propiedad más importante del grano de trigo es la capacidad de cocción de la harina debida a la elasticidad del gluten que contiene; esta característica permite la panificación, constituyendo un alimento básico para el hombre.

El cultivo ocupa el primer lugar, entre los cereales, en la aportación de proteínas pues contribuye con un 75 % del consumo proteínico a nivel mundial. Además, se prevé que la demanda de trigo aumente en un 50 % con respecto a los niveles actuales para 2050; mientras tanto, el cultivo está en riesgo constante de plagas y enfermedades, nuevas y más agresivas, menor disponibilidad de los recursos hídricos, limitación en el uso de tierra disponible para el cultivo y la inestabilidad de las condiciones climáticas (CIMMYT, 2023).

Ante el panorama anterior, varios centros de investigación en diferentes partes del mundo se han concentrado en la investigación y el desarrollo de nuevas variedades que puedan tolerar estos factores bióticos y abióticos, tal como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) que contribuye con el 70% de los trigos que se siembran a nivel global.

En México el trigo representa alrededor del 21 % del consumo de granos básicos, y es el segundo lugar después del maíz, con un consumo per cápita de 57 kg por año (FAO, 2019). Los estados de Sonora, Guanajuato, Michoacán, Sinaloa y Baja California concentraron el 87% (483 mil hectáreas) de la superficie sembrada en el 2022, en condiciones de riego y temporal (SIAP, 2022). Por la importancia económica que representa el cultivo en estos estados se buscan variedades con buen potencial de rendimiento, resistencia a royas y que cumpla con los requerimientos de la industria.

El norte de México se caracteriza por ser semiárido, con temperaturas altas en verano y muy bajas en invierno, además de que no se tienen lluvias

constantes durante el año, por lo que el trigo, debido a su rusticidad, es un cultivo que muestra buen desarrollo y rendimiento bajo estas condiciones de suelo y clima.

De manera general, los suelos de los estados de Nuevo León y Coahuila se caracterizan por presentar cantidades altas de carbonatos de calcio y poca materia orgánica, tienen una estructura pobre en comparación de otras regiones como Sonora y Guanajuato; no obstante, el trigo al ser un cultivo que se aprovecha principalmente el grano puede utilizarse también el rastrojo como alimento para los animales y en este sentido el estado de Nuevo León se encuentra cerca de la cuenca lagunera, donde la demanda de forraje es alta y el forraje de trigo puede ser una alternativa rentable.

El rendimiento y calidad de grano son aspectos muy importantes para los productores de estas zonas ya que algunos de ellos venden sus cosechas a empresas que se dedican a la producción harinas.

A nivel mundial se están enfrentado un incremento de la población, cambios climáticos y desarrollo de enfermedades más agresivas y difíciles de controlar, por lo que son factores que perjudican el desarrollo y producción de los cultivos; bajo este contexto, los fitomejoradores de trigo buscan mediante diversos métodos de fitomejoramiento generar mayor diversidad genética que permita hacer frente a los problemas bióticos y abióticos del presente y futuro, por lo que la identificación de materiales con características superiores como lo son: precocidad, resistencia a enfermedades, tolerancia a sequía y adaptabilidad a las condiciones adversas, permitirá la obtención de nuevas variedades con mayor estabilidad en el rendimiento de grano y forraje, que contribuirán a satisfacer las necesidades de los agricultores y cubrir las demandas de la industria.

## Objetivos

### 1.1 General

- Evaluar el rendimiento de grano y forraje de treinta genotipos de trigo harinero en Galeana, Nuevo León y seleccionar los superiores con base en el comportamiento de los tres testigos comerciales.

### 1.2 Específicos

- Evaluar el rendimiento de grano y sus componentes de treinta genotipos y tres variedades comerciales de trigo harinero.
- Evaluar el rendimiento de forraje de treinta genotipos y tres variedades comerciales de trigo harinero.
- Determinar la correlación entre los caracteres que se asocian al rendimiento de grano y forraje en trigo harinero.

### 1.3 Hipótesis:

- Al menos uno de los genotipos de trigo harinero evaluados en este estudio mostrará mayor rendimiento de forraje y grano que el resto y que los testigos comerciales, y además podrán usarse en la producción de doble propósito forraje y grano para la región del valle de Navidad, Galeana, Nuevo León.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Producción de Trigo a Nivel Mundial

El trigo es uno de los tres cereales más producidos a nivel global, seguido del maíz y el arroz, y es el más ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza, y una gran variedad de productos alimenticios (SIAP, 2017).

La palabra “trigo” proviene del vocablo latino *triticum*, que significa quebrado, triturado o trillado, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum*, significa, por lo tanto, el grano que es necesario trillar para poder ser consumido (SIAP, 2017).

La proyección de la demanda de trigo, se estima que para el 2050 aumente 70% sobre el nivel actual, debido al aumento de la población y el cambio de los hábitos alimenticios. Además, por la importancia que representa el cultivo en el suministro del 20% de las calorías en la alimentación global.

Los principales países productores de trigo son la Unión Europea, China, India, Federación Rusia, Estados Unidos de América y Canadá (Cuadro 1); aunque en estas regiones también es donde se registran los principales problemas del cultivo: plagas y enfermedades, falta de variedades más productivas, estrés por sequía, reducción de la tierra cultivable y condiciones climáticas adversas atribuidas al efecto invernadero y cambio de clima (Solís *et al.*, 2017).

**Cuadro 1.** Principales Países Productores de Trigo (Millones de Toneladas).

País	Promedio de 5 años	2017	2018	2019
Unión Europea	150.3	152	137.5	149

China	129.2	133	128	129
India	94.6	98.5	99.7	99
Fed. Rusia	70.5	85.9	72.1	79
Estados Unidos de América	54.6	47.4	51.3	52
Canadá	30.2	30	31,8	33
Total	529.4	546.8	520.4	541

---

Los países están clasificados según su producción promedio de 5 años.  
Fuente de Consulta: (FAO, 2021).

## **2.2 Importancia a Nivel Nacional**

En México, el trigo es el segundo cereal más importante en la alimentación de los mexicanos, que consumen en promedio 57.4 kg per cápita al año. El grano de trigo constituye el 40% del total del gasto de los hogares mexicanos en cereales y proporciona 10% del total de calorías de la dieta (SAGARPA, 2017).

La producción del grano de trigo se divide en dos tipos: el primero es el trigo cristalino, que es utilizado principalmente en la elaboración de pastas, y además representa el 59.79% de la producción de trigo, con lo que se satisface el consumo nacional y también posiciona a México como el tercer exportador de este producto a nivel mundial. En contraste, el segundo tipo es el trigo harinero, la cual su producción se encuentra localizada en áreas más dispersas de México, y es insuficiente para abastecer la demanda nacional, por lo que existe una dependencia de las importaciones, equivalentes a 74.93% del consumo nacional (SAGARPA, 2017).

A nivel nacional, los estados de Sonora y Baja California son más reconocidos por la producción de trigo cristalino, mientras que Guanajuato y Jalisco se produce más el trigo harinero con gluten medio fuerte (FIRA, 2014). Tan solo cinco estados concentran la mayoría de la superficie sembrada en México, además, son los que muestran los rendimientos más altos (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Principales Estados Productores de Trigo Cristalino en México.

Estado	Superficie Sembrada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Sonora	245,983.00	1,766,554.50	7.24
Baja California	32,226.00	189,929.42	6.30
Guanajuato	11,750	83,169.40	7.08
Sinaloa	6,477.00	42,099.00	6.50
Nuevo León	350.00	1,315.00	3.76
Total	296,786.00	2,083,067.32	30.88

Estados Clasificados según su producción en el cierre del año 2022.  
Fuente de Consulta: (SIAP, 2023).

### 2.3 Importancia del Mejoramiento Genético del Cultivo de Trigo

Los resultados del mejoramiento genético de trigo en México se pueden sintetizar en la liberación de 234 variedades que han sido la base de la producción nacional, los principales objetivos están encaminados hacia el control genético de la roya del tallo, la reducción de la altura de planta,

incremento en el rendimiento de grano, control genético de las royas de la hoja y amarilla, mejoramiento de la calidad industrial, tolerancia a enfermedades foliares y la tolerancia a la sequía (Villaseñor, 2015).

Los principales estados con mayor producción de trigo cristalino se caracterizan por usar materiales mejorados, por lo que tienen mejores atributos de rendimiento, calidad de grano y tolerancia a sequía.

Los avances genéticos en el rendimiento de grano han sido sumamente importantes ya que se ha incrementado aproximadamente de 4 a 7.3 t ha<sup>-1</sup> de 1948 al 2014 (Paquini *et al.*, 2016).

#### **2.4 Características Morfológicas del Trigo Tolerantes al Estrés**

Los efectos de estrés por sequía afectan los procesos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas (Tricker *et al.*, 2018). Un aspecto que ha tomado importancia conforme pasa los años son las raíces en el caso de la tolerancia a sequía. En condiciones de sequía, un sistema de raíces más profundas y efectivas han demostrado ser esenciales para un mejor aprovechamiento de la extracción de agua a un nivel más profundo en el perfil del suelo, ya que mejora significativamente el rendimiento (Wasson *et al.*, 2012; Lynch, 2013; Thorup *et al.*, 2020). De manera similar, raíces más gruesas otorgan tolerancia a la sequía debido a que pueden penetrar capas más profundas y obtener más agua del subsuelo (Zheng *et al.*, 2000; Gowda *et al.*, 2011).

El trigo *durum* presenta la desventaja ante el trigo harinero en términos de ganancia genética bajo dosis limitantes de nitrógeno; esto sugiere que tal vez haya menos variabilidad genética de este rasgo en el trigo *durum*, lo cual podría estar limitando los avances (Ayala, 2001).

Marti y Slafer (2014) han encontrado que el rendimiento del trigo cristalino es superior en condiciones más favorables, mientras que el trigo harinero tiene mejor desempeño en condiciones de estrés hídrico.

## **2.5 Requerimientos Edafoclimáticos**

El trigo es un cultivo de estación fría cuya temperatura mínima de crecimiento es de aproximadamente 2 a 4° C, la óptima alrededor de 25 a 31°C y la máxima en torno a los 31 a 43° C.

Los trigos de invierno son cultivados en las áreas de inviernos benignos y necesitan un periodo vernalización para la floración; estos se siembran en otoño y las plántulas emergen y amacollan antes del invierno, pasando por un período de inactividad durante el tiempo frío. Las plántulas reanudan su crecimiento rápido en primavera y maduran en verano. Este tipo de trigos requiere de un período de vernalización (exposición a temperaturas de 1 a 5° C) antes de que la fase vegetativa cambie a reproductiva.

El frío invernal puede tener consecuencias negativas ocasionando necrosis en una parte de las hojas o destruyendo las plántulas. Los daños por frío invernal dependen tanto de la sensibilidad como del estado de desarrollo. Después de la germinación el trigo es particularmente sensible al frío. A partir del momento en que la planta llega al final del período de ahijamiento, la resistencia al frío empieza a disminuir

Durante la floración, una temperatura inferior a los 16° C puede causar una disminución de la fecundación, por debajo de esta temperatura, las anteras no se abren y los estigmas ya no son receptivos. Los fríos tardíos acompañados de niebla y carencias nutricionales pueden ocasionar la no fecundación de espiguillas terminales, así como las segundas o terceras flores de cada espiguilla (Carrera y Mateo, 2005).

Las temperaturas demasiado altas también pueden ser perjudiciales para la planta, pues limitan los intercambios gaseosos al cerrar los estomas. Mayor intensidad de calor e iluminación implica mayor evapotranspiración, deteniendo la migración de reservas de las hojas y los tallos hacia el grano, fenómeno conocido como asurado fisiológico. Ante ese caso, se pueden seleccionar variedades más precoces en las regiones en las que el riesgo es importante.

Una alta humedad y altas temperaturas limitan el buen desarrollo de los cereales, porque estas condiciones propician el desarrollo de enfermedades. Los vientos demasiado fuertes provocan el acame de las plantas especialmente en variedades de tallo largo (Parsons, 1989).

El trigo es un cultivo que se desarrolla mejor en suelos profundos y bien drenados. Los suelos demasiado arcillosos suelen provocar asfixia radicular durante el período de lluvias, limitando el desarrollo y funcionalidad de las raíces y favoreciendo el desarrollo de enfermedades. Por el contrario, en suelos arenosos el trigo padece deficiencias nutricionales y estrés hídrico en el período de maduración de grano.

El pH del suelo tolerado por el trigo está comprendido entre 5 y 8, si bien el óptimo se sitúa entre 6 y 7. En relación con la salinidad, el trigo se considera tolerante, estimándose que el rendimiento se ve afectado cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo es superior a  $6 \text{ dS m}^{-1}$ . La fase de mayor sensibilidad es la germinación, cuando la salinidad no debería pasar de  $3.5$  a  $4 \text{ dS m}^{-1}$  en la capa más superficial. La tolerancia de las plantas a la salinidad, refiriéndola a disminuciones del rendimiento de un 0, 10, 25 y 50%, por efecto de la salinidad del suelo en el extracto de pasta saturada (CES) o del agua de riego (CEar) ha sido tabulada por Ayers y Westcot (1976) y Carter (1981).

## **2.6 Importancia de la Fertilización Nitrogenada**

El rendimiento y calidad del grano de trigo invernal depende fuertemente de la cantidad y aplicaciones de nitrógeno durante la temporada de crecimiento. Una mayor eficiencia de aplicación de nitrógeno para el trigo invernal se logra cuando se hacen de 3 a 4 aplicaciones durante la etapa de crecimiento con pequeñas dosis de entre  $20$  y  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ; también cuando la aplicación de nitrógeno se realiza en las fases cruciales del crecimiento y desarrollo de la planta, tal como la siembra, amacollamiento, elongación de tallo y llenado de grano (Abedi *et al.*, 2011). De acuerdo con Haile *et al.* (2012) una alta productividad de grano invernal se puede conseguir con una dosis de

nitrógeno de 120 kg ha<sup>-1</sup> cuando es aplicada en tres etapas: 25% en la siembra, 50% en el amacollamiento y 25% en la antesis.

La tasa óptima de fertilización nitrogenada en el trigo invernal se ha encontrado entre 70 y 120 kg ha<sup>-1</sup>, por lo tanto, el mejor método para el aprovechamiento de los nutrientes es realizar aplicaciones de éste a lo largo de sus etapas de desarrollo. (Abedi *et al.*, 2011).

## **2.7 Respuesta de la Densidad de Siembra**

La densidad y el método de siembra son importantes porque determinan el establecimiento apropiado del cultivo, la competencia entre plantas y la conversión de energía solar en productos cosechables (Kabesh *et al.*, 2009). La cantidad de semilla óptima por hectárea permite que las plantas capten más del 90 % de la radiación incidente al inicio del crecimiento de las espigas (Satorre, 1999).

La densidad de siembra óptima está determinada por la fecha de siembra (Sekhon *et al.*, 2002). En siembras tempranas hay rendimientos mayores que en siembras tardías debidos al ciclo biológico más prolongado (Tanveer *et al.*, 2003). El crecimiento vigoroso está asociado a la emergencia rápida y uniforme de las plántulas, como también a la combinación adecuada de tamaño de hojas y número de macollos; Kirby (1993) en un estudio de trigo de primavera observó que el aumento de la densidad de siembra no favoreció el incremento del rendimiento de grano.

Según Baloch *et al.* (2010), siembras en fechas tempranas aumentan el número de tallos, la altura de la planta, la longitud de las espigas y el peso de mil granos, lo que favoreció el incremento del rendimiento; éste disminuyó con las siembras en fechas tardías debido a que provocó reducción del amacollamiento. Solís *et al.* (2004) señalaron que en las siembras en fechas tempranas (16 de noviembre) el ciclo es más largo porque el cultivo se desarrolla con temperaturas bajas, y la etapa reproductiva tardía (espiguilla terminal a antesis) duró 49 días, en siembra intermedia (15 de diciembre) la duración fue de 40 días y 35 días en fecha tardía (15 de enero). Las temperaturas medias de los periodos correspondientes a las fechas de

siembras, temprana, intermedia y tardía fueron de 14.7 °, 15.7 ° y 17.3 ° C y los rendimientos fueron de 7 735, 6 828 y 5 184 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

## **2.8 Cobertura Vegetal**

La cobertura vegetal es una capa formada por el área foliar del cultivo que cubre al suelo desde el inicio de su desarrollo. El índice de cobertura inicial tiene un gran impacto en la actividad fotosintética de la planta. Cuando una planta tiene una mayor cobertura temprana puede captar mejor la radiación incidente logrando obtener un aumento en el sombreado del suelo lo que favorece a un uso más eficiente del agua debido a que se disminuye la evaporación (Pask *et al.*, 2013).

El índice de cobertura también nos permite conocer la capacidad que tiene la planta para aprovechar la energía luminosa y transformarla en energía química. En este sentido para obtener una alta producción es necesario una intercepción adecuada que aproveche al máximo la radiación solar incidente; es por esto por lo que la cobertura vegetal y el rendimiento final están correlacionados (Rentería, 2022).

## **2.9 Madurez Fisiológica**

La madurez fisiológica es la última etapa fenológica del cultivo; se considera cuando la planta ha completado el llenado de grano, la proteína del grano ya se encuentra formada y alcanzó su máxima acumulación de peso seco por lo que ya no es necesario nutrirse de la planta y comenzará a perder humedad hasta llegar a la humedad requerida para cosechar. Se puede identificar cuando el 50% de los pedúnculos presentan un cambio de coloración de verde a amarillo (Pask, 2013).

Las variedades de trigo se clasifican en precoces, intermedias y tardías; sin embargo, esta clasificación depende de la región en la que se cultiva, es decir, una variedad puede ser considerada precoz al presentar 120 días a madurez fisiológica, mientras que en otra región esta misma variedad puede considerarse como tardía (Velasco, 2011).

## **2.10 Descripción Botánica**

### **2.10.1 Sistema Radicular**

El trigo al ser una planta monocotiledónea, la raíz primaria no es la principal, llega un momento en el que deja de crecer y las funciones de sostén y absorción de nutrientes las desempeñan numerosas raíces adventicias que se desarrollan en la base del tallo. El trigo genera raíces fasciculadas, las primeras son llamadas embrionales ya que surgen de la germinación, y las raíces secundarias, permanentes o adventicias nacen del primer nudo del tallo al comenzar la etapa de ahijamiento y su crecimiento es variable debido a la genética de la variedad y condiciones del suelo (Carrera, 2005).

### **2.10.2 Espiga y Espiguillas**

La principal diferencia morfológica del trigo con respecto a otros cereales se encuentra en la espiga que presenta dos glumas por nudo del raquis con una sola espiguilla que incluye un número variable de flores fértiles, que depende de la genética de la variedad y las condiciones de desarrollo, pero que suele oscilar entre dos y cinco, que generalmente es de tres. Cada espiguilla está formada por dos brácteas o glumillas, la inferior, denominada lema, se inserta sobre un corto pedúnculo y en algunas variedades es aristada, en su axila tiene una flor que está recubierta por la gluma superior, la palea. El número de espiguillas por centímetro de raquis define la compacidad de la espiga, diferenciándose espigas compactas y espigas laxas (Carrera y Mateo, 2005)

### **2.10.3 Tipo de Reproducción**

El trigo es una planta autógama, cuando los estambres salen, la fecundación ya se ha producido. Lo anterior determina una alta capacidad de las variedades para mantener sus características agronómicas constantes a lo largo de los procesos de reproducción.

### **2.10.4 Estructura del Grano**

Forma del grano de trigo puede ser, elíptica, ovalada, ovoide, redondeada y oblonga. Sobre la cara central tiene un surco profundo y sobre la parte apical en uno de sus extremos lleva un mechón de pelos fácilmente observables

poco después de la recolección, pero que son difíciles de identificar en trigos muy secos por ser muy quebradizos.

El germen (embrión) está situado en la parte inferior de la cara dorsal del grano, en los que se encuentran los principales órganos de la futura planta.

El tegumento (salvado interior) está constituido por pigmentos que dará color al grano ya sea blanco, rojo o amarillo. Estos pigmentos pueden ser carotenoides o flavonoides (Hoseney, 1991).

En el pericarpio (salvado exterior) se encuentran células intermedias de pared fina, células alargadas longitudinalmente y células tubulares. El pericarpio cubre a la semilla y constituye entre el 5 y 7% del peso del grano.

Para el caso del endospermo es un tejido de reserva cuya función es la de movilizar las reservas desde el albumen hasta el embrión durante la germinación. Es la parte inferior de la cara dorsal que comprende las estructuras básicas necesarias para el desarrollo de la nueva plántula y está rodeada por el escutelo o cotiledón.

#### **2.10.5 Fisiología de la Producción y Componentes del Rendimiento**

En la mayor parte de los cultivos, la producción puede ser explicada como el producto de varios parámetros o componentes. Este análisis por componentes permite estudiar con gran exactitud la contribución de las distintas partes de la planta a la cosecha de grano y las causas de variación de la producción final (Biscos y Gallagher, 1977).

Los distintos componentes del rendimiento se establecen secuencialmente a lo largo del desarrollo de la planta, fijándose primero el número de tallos hijos, seguido por el número de espiguillas por espiga, el número de granos o espiguilla y, finalmente, el peso medio de los granos, siendo el resultado de procesos muy complejos. Así, el número de espigas depende tanto de la cantidad de tallos hijos formados por la planta como del porcentaje de estos que producen espiga de cosecha. Los granos por espiga resultan del número de primordios florales formados por el meristemo floral, de la cantidad de ellos que producen espiguilla fértil y del porcentaje de éstos que han sido

fecundados en la antesis para originar granos viables. El peso del grano está en función tanto de la duración de la etapa de maduración como de la velocidad de crecimiento del grano, parámetros inversamente relacionados en la mayoría de las situaciones (García y Ramos, 1989; Royo, 1992).

La formación secuencial de los componentes de la cosecha proporciona a los cereales, si las condiciones ambientales lo permiten, la capacidad de compensar efectos adversos sobre los primeros componentes de rendimiento mediante la evaluación de los siguientes. De esta manera logran equilibrar la cosecha bajo muy diversos ambientes y circunstancias. Precisamente ésta es una de las razones que explican la elección de los cereales como cultivos desde tiempos remotos (Evans y Wardlaw, 1976; Royo *et al.*, 1988).

## **2.11 Rendimiento de Grano y su Relación con sus Componentes**

### **2.11.1 Rendimiento de Grano**

El rendimiento del trigo se analiza a menudo en términos de los componentes del rendimiento: espigas por área, granos por espiga o tamaño de grano, así como entre sus correlaciones. Sin embargo, las compensaciones entre ellos es la principal barrera para mejorar el rendimiento utilizando este enfoque (Slafer *et al.*, 2014). El estrés por un agente biótico puede modificar los componentes del rendimiento, como reducir el número de espigas fértiles por unidad de área y el número de granos por espiga (Abayomi y Wright, 1999, como se citó en Espitia) y es reconocido que el llenado de grano es influenciado negativamente por altas temperaturas y sequía durante la maduración (Espitia, 2021).

El factor primordial que afecta los componentes de rendimiento es desde luego el clima, en particular la cantidad y distribución estacional de las lluvias intensas y las posibles heladas, otro factor que influye es la proliferación de hongos e insectos.

### **2.11.2 Número de Espigas por Metro Cuadrado**

El número final de espigas depende del número de plantas por unidad de superficie, del número de tallos producidos y la proporción de estos que darán

lugar a la espiga (Bulman y Hunt, 1988; Hucl y Baker, 1989; García *et al.*, 1991b). El número de plantas viene determinado por el número de semillas germinadas, que darán lugar a plantas viables. Dicho número puede ser reducido en los primeros estadios de la vida de la planta (especialmente durante a germinación-nacencia) y depende de la calidad de semilla y su preparamiento, de la profundidad, densidad y fecha de siembra, además de las condiciones climáticos durante esas primeras fases.

Un elevado número de tallos hijos agrava la competencia por los factores nutritivos y por la luz siendo, por tanto, las condiciones ambientales y la densidad de población las que determinan el porcentaje de tallos que darán lugar a espiga y los que morirán sin hacerlo (Davidson y Chevalier, 1990).

Numerosos estudios sobre la producción y supervivencia de los tallos hijos en los cereales han demostrado que, independientemente de las condiciones ambientales y la variedad de que se trate, existe un patrón general para la evolución del ahijamiento (Bunting y Drenan, 1966). El número de tallos aumenta progresivamente hasta alcanzar un máximo al final de periodo de ahijamiento, después disminuye progresivamente hasta estabilizarse en el momento de emergencia de las espigas, manteniéndose así hasta la recolección (García *et al.*, 1984).

El conteo de número de espigas por metro cuadrado que se realiza una vez alcanzada la madurez fisiológica (Rousseau, 1984); se debe medir con precisión el área a cosechar y no es necesario que la muestra se colecte en alguna hora en específico, pero se recomienda que sea durante la mañana debido a que en ese momento la espiga cuenta con mayor humedad y se reduce el riesgo de pérdida de granos.

Distintos investigadores como Syme (1972), Finlay (1971), Willey y Holliday (1971), Thorne y Blacklock (2019) determinaron que el número de espigas por unidad de área aumentó a medida que la densidad de siembra aumentaba. Según Kinra *et al.* (1963), no se observan diferencias significativas conforme al número de espigas/m<sup>2</sup> en diferentes densidades de siembra; sin embargo, Kirby (1963) observo un incremento en el número de espigas/m<sup>2</sup> mediante el

aumento de la densidad de siembra. Riesgo (2019) determinó que el incrementar las densidades de siembra entre 300 a 400 granos por m<sup>2</sup> incremento el número de espigas/m<sup>2</sup>.

### **2.11.3 Peso promedio del grano**

El peso final de los granos es el último componente del rendimiento que se forma en el trigo. Su magnitud se establece durante la fase de maduración, es decir, desde la antesis hasta que la planta se encuentra completamente seca y lista para la recolección. Este componente depende de gran medida del número de células del endospermo, el cual es fijado en las fases iniciales del desarrollo de grano (García y Ramos, 1989). La velocidad de formación de células del endospermo está asociada con el suministro de carbohidratos durante este periodo y con el nivel de citoquininas del grano. Factores tales como genotipo, nivel de radiación, disponibilidades hídricas o competencia entre los granos en desarrollo pueden alterar la producción de células durante esta fase, influyendo poderosamente sobre el peso final de los granos (Gallagher *et al.*, 1976; Brockhleurst, 1977).

La máxima tasa de crecimiento del grano oscila entre 0.9 y 2.2 mg grano<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Scott *et al.*, 1983), encontrándose con frecuencia inversamente relacionada con la longitud del periodo de llenado del grano (Gallagher *et al.*, 1976). En los cereales, el peso final del grano es un componente de la cosecha relativamente estable (Gallagher *et al.*, 1976), estabilidad atribuida a la movilización de las reservas de carbohidratos almacenados en el tallo y otros órganos vegetativos, los cuales pueden compensar una disminución en la capacidad de fotosíntesis durante el llenado de grano, fenómeno frecuentemente en zonas secas y calurosas (Ramos *et al.*, 1982; Ramos *et al.*, 1985).

En condiciones de temperatura y lluvia no limitantes, un alto porcentaje del peso seco del grano proviene de la fotosíntesis después de la emergencia de la espiga (Thorne, 1966). Sin embargo, en ambientes secos y calurosos, la contribución de las reservas de la preantesis aumenta considerablemente, llegando al 45% o más, muy posiblemente porque la fotosíntesis después de

la emergencia de la espiga se encuentra muy limitada (Austin *et al.*, 1980; García y Ramos, 1989; Acevedo *et al.*, 1991).

Bajo este contexto el peso del grano es un factor muy importante relacionado con la producción y la calidad. Es un elemento el cual permite caracterizar una variedad y mostrar evidencia de anomalías producidas en el grano durante la etapa de su formación, así como también el estudio de la influencia que provocan los tratamientos realizados en el cultivo o de las condiciones ambientales presentadas, las cuales en conjunto lo modifican (López, 1991).

#### **2.11.4 Granos por Espiga**

En general, el número de granos por espiga depende del propio potencial de la variedad para formar espigas, espiguillas y flores. Además, se encuentra muy influido por las condiciones climáticas durante la formación de espigas y en la antesis. Así, las heladas tardías después de la emergencia de la espiga causan el aborto de muchas espiguillas, sobre todo las de la parte apical de la espiga, principalmente en aumentos de: fertilidad de espiguillas; el tamaño y la actividad de la superficie fotosintética durante la formación de espigas, espiguillas y flores; la capacidad de transporte de los asimilados fotosintéticos hacia la espiga y los granos (Sibony y Pinthus, 1988; Reilly, 1990). La competencia entre las espigas de una misma planta y entre espiguillas de las mismas espigas por asimilados, hace aumentar el porcentaje de aborto sobre todo de las espiguillas más jóvenes. Por otra parte, un momento en el número final de las espigas por planta, generalmente se acompaña de la disminución en el número de granos por espiga y el peso medio de los granos (Cannel, 1969; Pollhamer, 1981; García *et al.*, 1991b).

En trigo el rendimiento de grano depende del número de granos por espiga y del peso individual de grano, donde un incremento en cualquier de los componentes favorecerá un aumento del rendimiento, siempre y cuando no exista una disminución en los otros dos componentes (Ataei, 2006).

### **2.11.5 Espiguillas por espiga**

Los cereales tienen la peculiaridad de que todas las espiguillas fértiles florecen casi al mismo tiempo. Este carácter se adquiere durante la iniciación de la espiguilla, ya que, aunque transcurra varios días entre la iniciación de la primera y última espiguilla, estas crecen y se desarrollan con distinta velocidad. Así, cuando se llega la antesis, todas las espiguillas alcanzan aproximadamente el mismo tamaño y se encuentran en idéntico estadios de desarrollo (Kirby y Appleyard, 1986).

Entre la iniciación de la inflorescencia y la antesis pueden transcurrir unas pocas semanas o incluso algunos meses, normalmente dependiendo de la variedad y condiciones ambientales. En ambientes mediterráneos, es conveniente que la diferenciación de la espiga no sea muy temprana, ya que si se evita el riesgo de heladas. Sin embargo, es deseable que la maduración de los granos se inicie pronto, para que no coincida con las elevadas temperaturas y falta de agua del verano (Kirby y Appleyard, 1980; García *et al.*, 1991b).

### **2.11.6 Altura de Planta (AP)**

La altura de la planta es uno de los varios componentes indirectos del rendimiento e influye en el de una manera importante. El rendimiento de grano aumenta conforme se tiene mayor altura de planta, sin embargo, se debe de considerar que cuanto más alto sea el trigo, más propenso es al acame, por lo que sería importante explorar la posibilidad de desarrollar un programa para obtener trigos con tallo mucho más fuerte (Cortázar, 1990).

El reemplazar los trigos altos aumentó los rendimientos de una manera significativa a principios de la década de los 1960's de 1.0 t ha<sup>-1</sup> a casi 2.7 t ha<sup>-1</sup> a fines de 1990 (Singh *et al.*, 2002). Debido a que una planta con menor altura beneficia la repartición de nutrientes.

Okuyama *et al.* (2005) encontraron que la altura de planta, el diámetro del tallo y especialmente la longitud de la espiga son caracteres relacionados con el rendimiento de grano, por lo que la etapa reproductivo es sin duda, la más

importante en términos de generación de componentes del rendimiento, debido a que durante ésta se define el número de espigas por  $m^2$  y el número de granos por espiga, componentes centrales del número de granos  $m^2$  (Slafer *et al.*, 2003); esta última variable es la que presenta mayores posibilidades de mejoramiento; sí se incrementa el número de óvulos y su fertilidad en las espigas (carácter multi-ovarios), se expresaría en un mayor número de granos por espiga y granos por  $m^2$  (Reynolds *et al.*, 2005; McDonald *et al.*, 2008) observaron una relación positiva entre el número de granos por  $m^2$  y el rendimiento de grano en trigo en un estudio realizado en 13 ambientes de secano con diferentes niveles de estrés hídrico en Australia, México y Paquistán, confirmando la factibilidad de utilizar al número de granos  $m^2$  como un carácter práctico para la selección de nuevas variedades con mayor rendimiento de grano.

#### **2.11.7 Peso Hectolítrico (PH)**

El peso hectolítrico es el criterio más utilizado para la determinación de grano y calidad; es una medida de densidad de la muestra, que se expresa en kg/hl (100 L.), y es un posible indicador de rendimiento.

El peso hectolítrico es una variable importante para considerar debido a que está relacionado con la condición física del grano (forma, tamaño de grano). Cuando existe presencia de granos dañados, picados, inmaduros, el peso específico disminuye y por el ende el rendimiento harinero también (Olán, 2012).

#### **2.11.8 Cantidad de Biomasa**

La cantidad de biomasa representa el rendimiento general del crecimiento de la planta y del cultivo, y se considera esencial para determinar el crecimiento general del cultivo. Esta variable se encuentra asociada con la nutrición, la densidad de siembra y la altura de las plantas y el cultivo (Mekonnen, 2017).

Calcular la producción de biomasa de un cultivo ayuda a conocer la distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta. Cuando disminuye la intercepción de la luz solar (más específicamente la fotosíntesis)

se disminuye la producción de biomasa lo que ocasiona que se produzcan menos fotosintatos los cuales se utilizan al momento de llenado de grano; cuando es menor la biomasa el grano no se llena completamente lo que disminuye el rendimiento (Pask *et al.*, 2013).

### **2.11.9 Índice de Cosecha**

El índice de cosecha es la relación entre el rendimiento de grano y la producción de biomasa superficial. Este parámetro indica la cantidad de materia seca acumulada en los órganos de interés, en este caso en el grano de trigo, en relación con la biomasa total (Cárdenas, 2019).

En un estudio realizado para medir la estabilidad de rendimiento en el trigo del Valle de Mexicali se encontró que la variedad Cachanilla F2000 una de las variedades con más superficie sembrada contó con un índice de cosecha promedio de 0.45 y Yécora F70 otra variedad sembrada en el Valle de Mexicali alcanzó un índice de 0.47; esto nos indica que su producción de materia seca es mayor que la de grano por lo que se creería que no obtendría un buen rendimiento sin embargo, en este mismo estudio presentaron un rendimiento de grano de 7 721.9 y 7 600 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente el cual es un valor alto considerando su bajo índice de cosecha (Rodríguez *et al.*, 2014).

### **2.12 Interacción Genotipo por Ambiente (G x A)**

La selección de genotipos adaptados se dificulta por las interacciones entre el genotipo (G) y el ambiente (A).

La variación en la época de siembra en trigo determina cambios sustanciales en el ambiente que explorará el cultivo lo que modifica la duración de los eventos fenológicos y la capacidad de captura de radiación, disponibilidad hídrica, temperatura de crecimiento, determinando la producción de biomasa y consecuentemente el rendimiento de grano.

El objetivo principal del fitomejoramiento del trigo incluye la obtención de variedades capaces de expresar su máximo potencial de rendimiento y calidad en distintos tipos de ambientes, esto con la necesidad de conocer y

definir el entorno en el que la variedad puede expresar su máximo rendimiento y calidad (Castillo *et al.*, 2012).

El rendimiento y la calidad del grano de trigo son rasgos complejos en la interacción entre una serie de procesos bioquímicos y un gran número de genes (Stone y Savin, 2000). Estos rasgos son definidos mediante la combinación de factores genéticos y factores ambientales, como las características del suelo, la precipitación, fertilización, temperatura del suelo y aire, entre otros (interacción genotipo x ambiente) (Peterson *et al.*, 1992).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Material Genético

El material genético consistió en 27 genotipos (líneas avanzadas F<sub>6:10</sub>) de trigo harinero desarrollado por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), mismos que son de hábito intermedio-invernal; la evaluación incluyó tres variedades comerciales: Bacanora, Pavón y Gálvez utilizadas como testigos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Material genético utilizado en el estudio durante el ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

No.	Genotipos	Origen
1	AN-396-13	UAAAN
2	AN-277-02	UAAAN
3	AN-240-93	UAAAN
4	AN-434-13	UAAAN
5	AN-255-98	UAAAN
6	AN-462-13	UAAAN
7	AN-121-02	UAAAN
8	AN-64-98	UAAAN
9	AN-441-02	UAAAN
10	AN-279-13	UAAAN
11	AN-817-15	UAAAN
12	AN-292-02	UAAAN
13	AN-91-98	UAAAN
14	AN-178-98	UAAAN
15	AN-235-02	UAAAN
16	AN-390-02	UAAAN
17	AN-324-13	UAAAN
18	AN-47-15	UAAAN
19	AN-165-15	UAAAN
20	AN-13-15	UAAAN
21	AN-273-13	UAAAN
22	AN-14-15	UAAAN

23	AN-259-13	UAAAN
24	AN-283-13	UAAAN
25	AN-11-15	UAAAN
26	AN-275-13	UAAAN
27	AN-173-15	UAAAN
28	BACANORA*	INIFAP
29	PAVÓN*	INIFAP
30	GÁLVEZ*	INIFAP

\* Testigos comerciales; INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

### **3.1 Ubicación del Sitio Experimental**

El estudio se desarrolló en el campo agrícola experimental “Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizado en la localidad Navidad, Galeana, Nuevo León, ubicado geográficamente en los 25° 04' Latitud Norte y a 100° 56' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1,895 msnm.

#### **3.2.1 Características del Sitio Experimental**

El terreno donde se estableció el experimento presenta una topografía plana, suelo franco, pH de 7.58, CIC de 66.3 me/100 g, salinidad de 5.44 dS/m, densidad aparente de 1.03g/cm<sup>3</sup>, contenido de materia orgánica de 2.93 % y con alto contenido de carbonatos 73.4 %.

Con base al análisis de suelo realizado es un suelo con alto contenido de sales, carbonatos y baja conductividad hidráulica.

El agua de riego utilizada en esta región proviene del subsuelo de mantos acuíferos la cual presenta altos contenidos de sales como sodio, calcio, magnesio y azufre, por lo cual los cultivos se ven afectados por las concentraciones altas de estos elementos.

### **3.3 Diseño Experimental**

La evaluación se llevó a cabo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 4.5 m<sup>2</sup>, compuesta por cinco hileras de 3 m de longitud, con una distancia de 0.30 m

entre hileras. Los tratamientos consistieron en 30 genotipos de trigo con tres repeticiones cada uno, dando como resultado 90 parcelas.

### **3.4 Manejo Agronómico del Experimento**

Para la preparación del terreno se realizaron las labores de barbecho, rastreo y rayado, actividades que tradicionalmente se utilizan para la siembra de cereales en la región del valle de Navidad, nuevo León.

La siembra se llevó a cabo el día 10 de febrero del 2023, en suelo seco y de forma manual al depositar la semilla al fondo del surco y posteriormente se cubrió con suelo, y dos días después se aplicó el riego por aspersión para su germinación. La densidad de siembra fue de 120 kg ha<sup>-1</sup> de semilla.

La fertilización aplicada fue con una dosis de 230N – 80P – 00K, la mitad del nitrógeno y el total del fósforo se aplicaron el día de la siembra al voleo y se incorporó con una cultivadora al momento de marcar los surcos y la segunda mitad del nitrógeno se aplicó en el tercer riego que correspondió a la etapa fenológica de amacollamiento.

Los riegos se aplicaron por medio del sistema de aspersión, que correspondieron a la siembra y cuando más de 50% de las parcelas llegaron a las etapas de amacollamiento, encañe, embuche, floración y llenado de grano. En total se aplicaron 6 riegos y e cada riego fue de 8 h.

El control de malezas se realizó mediante una aplicación de 2-4D Amina, con una dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup> cuando las malezas presentaron entre dos y tres hojas verdaderas y una segunda aplicación, cuando el cultivo estaba en la etapa de principio de amacollamiento. Posteriormente, cuando el cultivo llegó a la etapa de encañe también se observó la presencia de nuevas generaciones de malezas de hoja ancha entre los surcos y calles del experimento por lo que se realizó una tercera aplicación de 30 g ha<sup>-1</sup> de Prosulfuron (Peak WG).

El control de plagas se llevó a cabo mediante el muestreo cada 15 días después de emergencia y durante la etapa de principio de amacollamiento se observó más del 15% de daño por pulgón verde del follaje (*Schizaphis graminum*), por lo que se aplicó dimetoato (DANAPYR MR 40 CE) en una dosis de 0.75 L ha<sup>-1</sup>.

### 3.5 Variables registradas

3.5.1 **Forraje verde (FV).** Cuando más del 50% de los genotipos de trigo llegaron a la etapa de llenado de grano (lechoso masoso) se tomó una muestra de plantas de 0.15 m<sup>2</sup> (0.30 m x 0.5 m), que consistió en cortar las plantas a 5 cm sobre la superficie del suelo de una hilera central de cada unidad experimental y posteriormente se pesó registrando el valor en g para después transformarlo en t ha<sup>-1</sup>.

3.5.2 **Forraje seco (FS)** a partir de las muestras de FV se colocaron en el asoleadero de la Sección Cereales donde se dejó que perdiera humedad y cuando las muestras mostraron un peso constante se registró el valor en g para posteriormente transformarlo en t ha<sup>-1</sup>.

3.5.3 **Altura de planta (AP).** Una vez que los genotipos de trigos llegaron a la etapa de madurez fisiológica, con ayuda de una cinta métrica se procedió a tomar la altura de planta en cm, para esto se identificó la parcela que será medida y se colocó la cinta métrica en el centro de la parcela y desde la base del suelo a la parte distal de las espigas se registró el valor de la altura en cm.

3.5.4 **Espigas por Metro Cuadrado (EM2).** Se contó el número de espigas totales en un metro lineal de una de las hileras centrales de cada parcela y después se extrapolaron los datos a número de espigas por m<sup>2</sup>.

#### 3.5.5 Rendimiento de Grano

La cosecha se realizó cuando los materiales llegaron a la etapa de cosecha es decir cuando el grano alcanzó en promedio un 13% de humedad, esto fue determinado por medio de un equipo portátil “Medidor de humedad de grano” MT-PRO PLUS. Posteriormente, con la ayuda de una hoz se cortaron las plantas a 30 cm desde la superficie del suelo de dos hileras centrales de cada parcela, cuyas medidas fueron de 0.30 m de ancho por 3 m de largo, por lo que el tamaño de muestra recolectada fue 1.8 m<sup>2</sup>. Con la muestra cosechada se trilló con una maquina estacionaria, el material trillado se colocó en el asoleadero de la Sección Cereales, donde el grano se limpió, se determinó su peso en kilogramos y finalmente se determinó el rendimiento de grano en toneladas por hectárea ajustado a una humedad de 12%.

### 3.5.6 Componentes de Rendimiento de Grano

Cuando los materiales llegaron a la etapa de cosecha, se colectaron 10 espigas de cada parcela de manera aleatoria, estas se colocaron en una bolsa de papel Kraft, y se llevaron al laboratorio de las cuales se midieron las siguientes variables:

**Longitud de Espiga (LE).** De cada una de las diez espigas colectadas se midió su longitud en cm con ayuda de una regla y se registró el promedio por parcela.

**Espiguillas por Espiga (EE).** De cada una de las espigas se contó el número de espiguillas por espiga y se registró el promedio por parcela.

**Granos por Espiga (GPE).** De cada una de las espigas se trilló de manera manual, se limpió, se contó el número de granos y se registró el promedio del número de granos por espiga por cada parcela.

**Peso de Grano por Espiga (PGE).** Después de contar los granos por espiga se colocaron en sobres por separado, posterior a tres semanas se pesó cada uno de los sobres y se registró el peso promedio de granos por espiga de cada parcela en g.

### 3.6 Análisis Estadístico

Con la información obtenida se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (DMS,  $p < 0.05$ ); también se llevó a cabo un análisis de correlación lineal de Pearson entre el rendimiento de grano y sus componentes. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS, 2002).

El modelo estadístico general utilizado fue:

$$y_{ij} = \mu + \beta_i + G_j + e_{ij}$$

Dónde:

$y_{ij}$  = Variable observada

$\mu$  = Efecto de la media general

$\beta_i$  = Efecto de la  $i$ -ésimo bloque

$G_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo genotipo

$e_{ij}$  = Error experimental para el  $i$ -ésimo bloque del  $j$ -ésimo genotipo

Cuando existieron diferencias significativas se realizó comparación de medias con DMS.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de Varianza

Entre variedades (VAR) se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para las variables estudiadas, excepto para FV y FS; esto demostró la amplia variación entre los genotipos evaluados en este estudio (Cuadro 4 y Cuadro 5).

Los coeficientes de variación para todas las variables de respuesta están por debajo del 30% lo que nos permite confiar en la realización del experimento.

**Cuadro 4.** Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas. Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

FV	GL	EE	GPE	LE	PGE	EM2
BLOQ	2	2.74 <sup>ns</sup>	35.1 <sup>ns</sup>	1.47 <sup>**</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	144.1 <sup>ns</sup>
VAR	29	3.92 <sup>*</sup>	35.1 <sup>**</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.06 <sup>**</sup>	15606.6 <sup>**</sup>
EE	58	2.08	13.4	0.28	1.18	7212.8
CV (%)		9.46	10.8	6.48	14.4	24.9

<sup>ns</sup>= no significancia; <sup>\*</sup>= significativo ( $p < 0.05$ ); <sup>\*\*</sup>= altamente significativo ( $p < 0.01$ ); FV= fuente de variación; BLOQ= Bloques; VAR= Variedades; EE= error experimental; CV (%) = coeficiente de variación; GL= Grados de libertad; EE= espiguillas por espiga; GPE= granos por espiga; LE= longitud de espiga; PGE= peso de granos por espiga; EM2= Espigas por metro cuadrado.

**Cuadro 5.** Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas. Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

FV	GL	REND	FV	FS	AP
BLOQ	2	0.03 <sup>ns</sup>	1.09 <sup>ns</sup>	0.88 <sup>ns</sup>	32.5 <sup>ns</sup>
VAR	29	0.30 <sup>**</sup>	23.2 <sup>ns</sup>	4.09 <sup>ns</sup>	86.4 <sup>**</sup>
EE	58	0.02	14.1	2.88	29
CV (%)		12.5	23.2	29.1	8.14

<sup>ns</sup>= no significancia; <sup>\*</sup>= significativo ( $p < 0.05$ ); <sup>\*\*</sup>= altamente significativo ( $p < 0.01$ ); FV= fuente de variación; BLOQ= bloques; VAR= variedades; EE= error experimental; CV (%) = Coeficiente de variación; GL= grados de libertad; REND= rendimiento de grano; FV= forraje verde; FS= forraje seco; AP= altura de planta.

## 4.2 Características agromorfológicas de los genotipos

Las pruebas de medias para el rendimiento de forraje verde (FV) mostraron a 14 genotipos y dos testigos comerciales con rendimiento sobresaliente entre 16.04 y 21.9 t ha<sup>-1</sup>. Los genotipos sobresalientes fueron AN-275-1, AN-173-1, AN-14-15, AN-441-0, AN-396-1, AN-283-1, AN-13-15, AN-121-0, AN-462-1, AN-273-1, AN-324-1, AN-279-1, AN-292-0, AN-259-1, BACANORA y GALVEZ; además tres genotipos: AN-13-15, AN-259-1 y AN-441-0 con 20.00, 20.75 y 21.91 t ha<sup>-1</sup>, superaron a los tres testigos comerciales BACANORA, GALVEZ y PAVON, que mostraron rendimientos de 16.04, 19.46, y 13.31 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 6).

Para forraje seco (FS) se observaron 23 genotipos superiores y los tres testigos comerciales con mejor rendimiento entre 5.18 y 7.91 t ha<sup>-1</sup> y que el resto de genotipos con valores entre 2.73 a 4.97 t ha<sup>-1</sup> estos materiales fueron AN-275-1, AN-173-1, AN-14-15, AN-13-15, AN-441-0, AN-277-0, AN-434-1, AN-396-1, AN-283-1, AN-91-98, AN-817-1, AN-121-0, AN-462-1, AN-273-1, AN-324-1, AN-279-1, AN-235-0, AN-292-0, AN-47-15, AN-259-1, BACANORA, GALVEZ, PAVON. De manera similar, se observó que tres genotipos AN-283-1, AN-259-1, AN-441-0 con 7.463, 7.647, 7.91 t ha<sup>-1</sup>, superaron a los tres testigos comerciales BACANORA, GALVEZ y PAVON, que mostraron rendimientos de 6.377, 7.267, 7.267 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Cuadro 6).

Rentería (2022) en su estudio con trigos reportó 12 genotipos sobresalientes con una acumulación de biomasa mayor a 11 t ha<sup>-1</sup>; dos genotipos (ITES 6 y ITES 11) produjeron 12.31 t ha<sup>-1</sup>, que comparados con AN-441-0 con un rendimiento promedio de 7.91 t ha<sup>-1</sup> hay una diferencia de 4,4 t ha<sup>-1</sup>, las cuales se asociaron con diferencias en el momento en el que se hizo el muestreo; no obstante, coincidió en que la variedad que tuvo mejor rendimiento de forraje seco no fue la que tuvo mayor rendimiento de grano.

Para la variable altura de planta (AP) se observaron 13 genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 67.6 y 76.6 cm y el resto de los genotipos con valores entre 47.6 a 66.6 cm estos materiales fueron AN-173-1, AN-390-0, AN-14-15, AN-441-0, AN-434-1, AN-283-1, AN-11-15, AN-121-0, AN-273-1, AN-279-1, AN-47-15, AN-259-1, GALVEZ. Asimismo, se observó a un

genotipo AN-283-1 con 76.66 cm que superó a los tres testigos comerciales BACANORA, PAVON y GALVEZ, que mostraron alturas de 62, 65 y 74.6 cm respectivamente (Cuadro 6).

El genotipo AN-92-97 y la variedad comercial GALVEZ registraron la misma altura máxima de 70 cm, la media general para este carácter fue de 50.37 cm, esto reveló que el tipo de suelo y agua de riego actuaron como factores limitantes en su expresión, dado que normalmente estos trigos poseen alturas promedio de 90 cm (Ramírez *et al.*, 2004); esto debido a los niveles altos de carbonatos y sodio que posee el suelo que afectan la absorción de otros nutrientes.

Los resultados del número de espigas por metro cuadrado (EM2) fueron diferentes estadísticamente entre los genotipos ( $p \leq 0.05$ ). Esta variable evaluada ayuda a estimar el rendimiento de grano (Rentería, 2022); sin embargo, un mayor número de espigas por  $m^2$ , no significa que el rendimiento de grano vaya a ser mayor, porque el incremento en el rendimiento también se puede deber al tamaño de espiga, al número de grano por espiga y al aspecto físico del grano como lo reportan Pask *et al.* (2013) y Rentería (2022). Para esta variable se concuerda con los autores antes mencionados, ya que el mayor rendimiento no lo tuvo el genotipo con mayor promedio de espigas por metro cuadrado.

Para la variable rendimiento de grano (REND) se observaron tres genotipos con  $2.1 \text{ t ha}^{-1}$  y el resto de los genotipos con valores entre  $0.88$  y  $1.73 \text{ t ha}^{-1}$  estos materiales fueron AN-275-1, AN-173-1 y AN-390-0. Estos genotipos superaron a los tres testigos comerciales, GALVEZ, PAVON, y BACANORA, que mostraron valores de 1.27, 1.45,  $1.42 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Valores medios de los genotipos para las variables evaluadas en campo durante el Ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

Genotipos	FV	FS	AP	REND
AN-275-1	17.93 <sup>a-g</sup>	5.867 <sup>a-e</sup>	70.66 <sup>a-e</sup>	2.1567 <sup>a</sup>
AN-173-1	16.647 <sup>a-h</sup>	6.063 <sup>a-e</sup>	69.66 <sup>a-f</sup>	2.1067 <sup>a</sup>
AN-390-0	12.49 <sup>f-h</sup>	3.777 <sup>ef</sup>	71.33 <sup>a-d</sup>	2.0833 <sup>a</sup>
AN-14-15	18.57 <sup>a-f</sup>	6.623 <sup>a-d</sup>	68.66 <sup>a-f</sup>	1.73 <sup>b</sup>

AN-165-1	10.843 <sup>h</sup>	2.733 <sup>f</sup>	47.66 <sup>h</sup>	1.6733 <sup>bc</sup>
AN-13-15	20 <sup>a-c</sup>	6.51 <sup>a-e</sup>	65.66 <sup>c-g</sup>	1.6633 <sup>bc</sup>
AN-64-98	13.02 <sup>efgh</sup>	4.78 <sup>cdef</sup>	61 <sup>fg</sup>	1.5267 <sup>b-d</sup>
AN-441-0	21.91 <sup>a</sup>	7.91 <sup>a</sup>	68.66 <sup>a-f</sup>	1.52 <sup>b-d</sup>
AN-277-0	14.467 <sup>c-h</sup>	5.49 <sup>a-f</sup>	63.33 <sup>d-g</sup>	1.51 <sup>b-e</sup>
AN-434-1	13.78 <sup>d-h</sup>	6.867 <sup>a-d</sup>	67.66 <sup>a-g</sup>	1.5033 <sup>b-e</sup>
AN-396-1	16.957 <sup>a-h</sup>	5.397 <sup>a-f</sup>	66.66 <sup>b-g</sup>	1.4833 <sup>b-f</sup>
BACANORA	16.043 <sup>a-g</sup>	6.377 <sup>a-e</sup>	62 <sup>e-g</sup>	1.4467 <sup>c-f</sup>
AN-283-1	17.91 <sup>a-g</sup>	7.463 <sup>a-c</sup>	76.66 <sup>a</sup>	1.43 <sup>c-g</sup>
GALVEZ	19.46 <sup>a-d</sup>	7.267 <sup>a-d</sup>	74.66 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>c-g</sup>
AN-178-9	14.537 <sup>c-h</sup>	4.977 <sup>b-f</sup>	61 <sup>fg</sup>	1.4033 <sup>c-g</sup>
AN-91-98	15.33 <sup>b-h</sup>	5.51 <sup>a-f</sup>	63.33 <sup>d-g</sup>	1.37 <sup>d-h</sup>
AN-817-1	14.487 <sup>c-h</sup>	5.247 <sup>a-f</sup>	65.66 <sup>c-g</sup>	1.33 <sup>d-i</sup>
AN-11-15	13.11 <sup>e-h</sup>	4.933 <sup>b-f</sup>	69 <sup>a-f</sup>	1.31 <sup>d-i</sup>
AN-121-0	18.8 <sup>a-e</sup>	6.667 <sup>a-d</sup>	67.66 <sup>a-g</sup>	1.283 <sup>d-i</sup>
PAVON	13.31 <sup>e-h</sup>	7.267 <sup>a-d</sup>	65 <sup>c-g</sup>	1.27 <sup>d-i</sup>
AN-462-1	17.11 <sup>a-g</sup>	6.667 <sup>a-d</sup>	63 <sup>e-g</sup>	1.27 <sup>d-i</sup>
AN-240-9	11.867 <sup>hg</sup>	4.557 <sup>d-f</sup>	65.33 <sup>c-g</sup>	1.27 <sup>d-i</sup>
AN-273-1	18.043 <sup>a-f</sup>	5.18 <sup>a-f</sup>	70 <sup>a-e</sup>	1.24 <sup>e-i</sup>
AN-324-1	17.867 <sup>a-g</sup>	6.157 <sup>a-e</sup>	66.33 <sup>b-g</sup>	1.21 <sup>f-j</sup>
AN-279-1	18.8 <sup>a-e</sup>	6.11 <sup>a-e</sup>	68.66 <sup>a-f</sup>	1.1567 <sup>g-k</sup>
AN-235-0	15.33 <sup>b-h</sup>	5.533 <sup>a-e</sup>	59.66 <sup>g</sup>	1.11 <sup>h-k</sup>
AN-255-9	13.423 <sup>d-h</sup>	4.687 <sup>c-f</sup>	62 <sup>e-g</sup>	1.0567 <sup>i-k</sup>
AN-292-0	15.78 <sup>a-h</sup>	5.267 <sup>a-f</sup>	64 <sup>c-g</sup>	0.9367 <sup>jk</sup>
AN-47-15	15.51 <sup>b-h</sup>	5.513 <sup>a-e</sup>	69.66 <sup>a-f</sup>	0.93 <sup>k</sup>
AN-259-1	20.75 <sup>ab</sup>	7.647 <sup>ab</sup>	72.66 <sup>a-c</sup>	0.8867 <sup>k</sup>
DMS	6.14	2.77	8.81	0.28

FV= forraje verde en t ha<sup>-1</sup>; FS= forraje seco en t ha<sup>-1</sup>; AP= altura de planta en cm; REND= rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>; DMS= diferencia mínima significativa; medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<0.05).

De los componentes de rendimiento de grano, para el número de espigas por m<sup>2</sup> (EM2) se observaron a 8 genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 406 y 496 espigas/m<sup>2</sup> y el resto de los genotipos con valores entre 211

y 355 espigas/m<sup>2</sup> estos materiales fueron AN-13-15, AN-441-0, AN-283-1, AN-91-98, AN-121-0, AN-279-1, AN-235-0, AN-259-1, PAVON. Asimismo, se observaron a cinco genotipos AN-279-1, AN-283-1, AN-441-0, AN-259-1, AN-121-0, con 440, 442, 455, 467, 496 espigas/m<sup>2</sup>, que superaron a los tres testigos comerciales PAVON, BACANORA, y GALVEZ, que mostraron 331, 333 y 427 espigas/m<sup>2</sup> respectivamente (Cuadro 7).

Para longitud de espiga (LE) se observaron 13 genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 8.49 y 9.32 cm y el resto de los genotipos con valores entre 7.0 a 8.39 cm estos materiales fueron AN-275-1, AN-173-1, AN-14-15, AN-277-0, AN-434-1, AN-396-1, AN-178-9, AN-817-1, AN-462-1, AN-240-9, AN-235-0, AN-292-0, AN-47-15, GALVEZ. Asimismo, se observó a dos genotipos AN-275-1 y AN-396-1 con 9.00 y 9.01 cm que superaron a los tres testigos comerciales BACANORA, PAVON y GALVEZ, que mostraron alturas de 7.67, 7.76 y 8.9 cm respectivamente (Cuadro 7).

Estos resultados son similares a los reportados por Ramírez *et al*, (2004), donde documenta a 14 genotipos de trigo generados con germoplasma de la UAAAN fueron superiores a los testigos comerciales con medias entre 7.58 y 8.81 cm.

Para el número de espiguillas por espiga (EE) se observaron 14 genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 15 y 18 espiguillas/espiga, y el resto de los genotipos con valores entre 13 a 14.9, estos materiales fueron AN-173-1, AN-390-0, AN-14-15, AN-165-1, AN-64-98, AN-277-0, AN-396-1, BACANORA, AN-283-1, AN-121-0, AN-462-1, AN-240-9, AN-292-0, AN-47-15, AN-259-1, GALVEZ. Asimismo, se observaron a seis genotipos AN-64-98, AN-165-1, AN-277-0, AN-14-15, AN-462-1, AN-240-9 con 16.6, 17, 17.2, 17.5, 17.53, 16.6 espiguillas/espiga que superaron a los tres testigos comerciales, PAVON, GALVEZ, BACANORA, que mostraron 14.9, 15.4, 16.07 espiguillas/espiga, respectivamente (Cuadro 7).

El peso del grano es un factor muy importante relacionado con la producción y la calidad (Cuadro 7); es un elemento que permite caracterizar una variedad y mostrar evidencia de anomalías producidas en el grano durante la etapa de formación, así como también el estudio de la influencia que provocan los

tratamientos realizados en el cultivo o de las condiciones ambientales presentadas, las cuales en conjunto lo modifican (López, 1991). En este estudio la variable con mayor correlación fue el peso de granos por espiga.

Kirby (1963) observó un incremento en el número de espigas/m<sup>2</sup> mediante el aumento de la densidad de siembra. Así mismo Seleiman *et al.* (2010), determinaron que el incrementar las densidades de siembra entre 300 a 400 granos por m<sup>2</sup> incrementará por ende el número de espigas/m<sup>2</sup>. La variable espigas por metro cuadrado no influye directamente con el rendimiento, ya que al tener más espigas es una indicación de que se tiene una mayor población; sin embargo, esto no influye en el rendimiento ya que la competencia entre individuos será mayor.

Para el número de granos por espiga (GPE) se observaron ocho genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 35.5 y 41.3, y el resto de los genotipos con valores entre 27.6 a 35.1 granos/espiga, estos materiales fueron AN-275-1, AN-390-0, AN-64-98, AN-277-0, AN-396-1, AN-462-1, AN-292-0, GALVEZ. Asimismo, se observó a un genotipo AN-277-0 con 41.33 que superó a los tres testigos comerciales, PAVON, BACANORA, GALVEZ, que mostraron 30.87 34.67, 41.03 granos/espiga, respectivamente (Cuadro 7).

Para el peso de granos por espiga (PGE) se observaron cinco genotipos y un testigo comercial con mayor valor entre 1.12 y 1.34 g, y el resto de los genotipos con valores entre 0.8 a 1.03 g, estos materiales fueron AN-275-1, AN-173-1, AN-390-0, AN-14-15, AN-277-0, GALVEZ. En esta variable no se observó algún genotipo que superara al testigo comercial, GALVEZ, que mostró un peso de 1.34 g/espiga respectivamente (Cuadro 7).

En trigo el rendimiento de grano depende del número de granos por espiga y del peso individual de grano, donde un incremento en cualquier de los componentes favorecerá un aumento del rendimiento, siempre y cuando no exista una disminución en los otros dos componentes (Ataei, 2006). En esta investigación se concuerda con el autor antes citado, ya que los genotipos sobresalientes son los que tuvieron ambas variables por arriba de la media, por lo que tuvieron rendimientos altos.

**Cuadro 7.** Comparación de medias de los genotipos para las variables evaluadas durante el Ciclo O-I 2022- 2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

Genotipos	EM2	LE	EE	GPE	PGE
AN-275-1	308.89 <sup>d-j</sup>	9.0033 <sup>ab</sup>	13.97 <sup>ef</sup>	36.49 <sup>a-f</sup>	1.203 <sup>a-c</sup>
AN-173-1	335.56 <sup>b-j</sup>	8.54 <sup>a-f</sup>	15.733 <sup>a-f</sup>	32.76 <sup>d-k</sup>	1.206 <sup>a-c</sup>
AN-390-0	211.11 <sup>j</sup>	8.08 <sup>c-j</sup>	15.3 <sup>a-f</sup>	39.093 <sup>a-c</sup>	1.18 <sup>a-d</sup>
AN-14-15	300 <sup>f-j</sup>	8.7 <sup>a-c</sup>	17.5 <sup>a</sup>	32.23 <sup>f-k</sup>	1.12 <sup>a-e</sup>
AN-165-1	240 <sup>ij</sup>	8.1 <sup>c-j</sup>	17 <sup>a-c</sup>	34.33 <sup>c-j</sup>	1.02 <sup>c-h</sup>
AN-13-15	360 <sup>a-i</sup>	7.54 <sup>h-k</sup>	14.5 <sup>d-f</sup>	31.9 <sup>e-k</sup>	0.956 <sup>d-h</sup>
AN-64-98	315.56 <sup>d-j</sup>	7.23 <sup>jk</sup>	16.6 <sup>a-d</sup>	36.06 <sup>a-f</sup>	1.03 <sup>b-g</sup>
AN-441-0	455.56 <sup>a-c</sup>	7.8 <sup>d-k</sup>	13.9 <sup>ef</sup>	34.2 <sup>c-i</sup>	0.853 <sup>f-h</sup>
AN-277-0	262.22 <sup>h-j</sup>	9.32 <sup>a</sup>	17.2 <sup>ab</sup>	41.333 <sup>a</sup>	1.26 <sup>ab</sup>
AN-434-1	246.67 <sup>ij</sup>	8.73 <sup>a-c</sup>	14.167 <sup>ef</sup>	33.26 <sup>c-k</sup>	0.96 <sup>d-h</sup>
AN-396-1	320 <sup>c-j</sup>	9.01 <sup>ab</sup>	15.433 <sup>a-f</sup>	35.5 <sup>a-g</sup>	1.04 <sup>bc-f</sup>
BACANORA	333.34 <sup>b-j</sup>	7.67 <sup>f-k</sup>	16.067 <sup>a-e</sup>	34.66 <sup>c-i</sup>	0.98 <sup>c-h</sup>
AN-283-1	442.22 <sup>a-d</sup>	8.15 <sup>b-i</sup>	15.567 <sup>a-f</sup>	29.4 <sup>h-k</sup>	0.91 <sup>e-h</sup>
GALVEZ	331.11 <sup>b-j</sup>	8.9 <sup>a-c</sup>	15.4 <sup>a-f</sup>	41.033 <sup>ab</sup>	1.34 <sup>a</sup>
AN-178-9	335.55 <sup>b-j</sup>	8.48 <sup>a-g</sup>	14.733 <sup>c-f</sup>	34.96 <sup>c-h</sup>	0.94 <sup>e-h</sup>
AN-91-98	388.89 <sup>a-h</sup>	7.74 <sup>f-k</sup>	14.567 <sup>d-f</sup>	34.06 <sup>c-j</sup>	0.98 <sup>c-h</sup>
AN-817-1	313.33 <sup>d-j</sup>	8.59 <sup>a-e</sup>	14.39 <sup>d-f</sup>	32.61 <sup>d-k</sup>	0.8 <sup>h</sup>
AN-11-15	331.11 <sup>b-j</sup>	7.43 <sup>i-k</sup>	13.5 <sup>f</sup>	28.6 <sup>jk</sup>	0.93 <sup>e-h</sup>
AN-121-0	495.56 <sup>a</sup>	7.08 <sup>k</sup>	15.2 <sup>a-f</sup>	32.033 <sup>d-k</sup>	0.88 <sup>f-h</sup>
PAVON	426.67 <sup>a-f</sup>	7.76 <sup>f-k</sup>	14.933 <sup>b-f</sup>	30.86 <sup>f-k</sup>	0.953 <sup>d-h</sup>
AN-462-1	355.5 <sup>b-i</sup>	8.51 <sup>a-g</sup>	17.533 <sup>a</sup>	37.5 <sup>a-e</sup>	1.05 <sup>b-f</sup>
AN-240-9	302.22 <sup>e-j</sup>	8.49 <sup>a-g</sup>	16.6 <sup>a-d</sup>	34.71 <sup>c-i</sup>	0.87 <sup>f-h</sup>
AN-273-1	297.78 <sup>f-j</sup>	8.37 <sup>b-h</sup>	14.033 <sup>ef</sup>	32.9 <sup>d-k</sup>	1.06 <sup>b-f</sup>
AN-324-1	306.67 <sup>d-j</sup>	8.39 <sup>b-h</sup>	13.433 <sup>f</sup>	29.9 <sup>g-k</sup>	0.86 <sup>f-h</sup>
AN-279-1	440 <sup>a-e</sup>	8.21 <sup>b-i</sup>	14.637 <sup>def</sup>	33.65 <sup>c-j</sup>	0.886 <sup>e-h</sup>
AN-235-0	406.67 <sup>a-g</sup>	8.83 <sup>a-c</sup>	14.933 <sup>b-f</sup>	35.1 <sup>b-h</sup>	1.02 <sup>c-h</sup>
AN-255-9	280 <sup>g-j</sup>	8.31 <sup>b-h</sup>	14.4 <sup>d-f</sup>	27.633 <sup>k</sup>	0.803 <sup>gh</sup>
AN-292-0	251.11 <sup>h-j</sup>	8.47 <sup>a-g</sup>	15.5 <sup>a-f</sup>	37.96 <sup>a-d</sup>	0.94 <sup>e-h</sup>
AN-47-15	351.1 <sup>b-i</sup>	8.66 <sup>a-d</sup>	15.267 <sup>a-f</sup>	33.1 <sup>d-k</sup>	0.85 <sup>f-h</sup>
AN-259-1	466.66 <sup>ab</sup>	7.66 <sup>g-k</sup>	15.633 <sup>a-f</sup>	28.867 <sup>i-k</sup>	0.79 <sup>h</sup>

DMS	131.81	0.87	2.35	5.99	0.23
-----	--------	------	------	------	------

EM2= número de espigas por m<sup>2</sup>; LE= longitud de espiga en cm; EE= espiguillas por espiga; GPE= granos por espiga; PGE= peso de granos/espiga en g; DMS= Diferencia mínima significativa; medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

### 4.3 Correlación del rendimiento de rendimiento de grano y sus componentes

El análisis de correlación (Cuadro 8) mostró que el peso de granos por espiga está correlacionado significativamente con el rendimiento del grano ( $r=0.45$ ). Por esta razón, el incremento en el rendimiento de grano sería posible si se incrementa en el peso de granos por espiga, y el incremento de peso de granos por espiga está dado por el número de espiguillas/espiga, longitud de espiga y el número de granos/espiga.

Los caracteres de altura de planta, forraje verde, espigas/m<sup>2</sup>, espiguillas/espiga mostraron correlación significativa con forraje seco  $r= 0.49$ ,  $r=0.64$ ,  $r=0.73$  y  $r=0.79$  respectivamente (Cuadro 8). Esta correlación mostró que los genotipos de trigo evaluados han sido previamente seleccionados principalmente para la producción de forraje, ya que, a mayor altura, espigas/m<sup>2</sup>, mayor biomasa y, por lo tanto, la producción de forraje seco se incrementará.

En este sentido conocer la correlación entre las variables de este estudio permite identificar las variables que se deben de tomar en cuenta como indicadores de selección para rendimiento de grano y forraje. Esto se pudo constatar con la variedad AN-462-1 que mostró mayor número de espiguillas por espiga de 17.5, sin embargo, no tiene un rendimiento de grano sobresaliente, por lo que el genotipo AN-173-1 presentó mayor rendimiento con 2.1 t ha<sup>-1</sup> pero con una cantidad de espiguillas/espiga menor de 15 (Cuadro 8).

El genotipo con el mayor número de granos/espiga fue AN-277-0, aún con esta cantidad no logró tener un rendimiento sobresaliente ante los demás genotipos, por lo que no se asoció el número de granos por espiga al obtener un mayor rendimiento (Cuadro 8).

El número de espigas/m<sup>2</sup> no influyó en el rendimiento de grano, ya que materiales que tuvieron una gran cantidad de espigas por metro cuadrado no tuvieron el mejor rendimiento. AN-121-0 tuvo una media de 495.56 espigas por m<sup>2</sup>; sin embargo, su rendimiento no fue sobresaliente ante otros genotipos de menor número de espigas/m<sup>2</sup>.

Los genotipos AN-275-1, AN-173-1 y AN-390-0 que presentaron los rendimientos de granos más altos también presentaron los pesos de granos más altos, por lo que el peso de grano por espiga es una variable asociada al rendimiento (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Coeficientes de correlación de las variables evaluadas en campo y laboratorio de los 30 genotipos de trigo harinero durante el ciclo O-I 2022-2023, Navidad, Galeana, Nuevo León.

VAR	EE	GPE	LE	PGE	EM2	FV	FS	AP
GPE	0.30**							
LE	0.25*	<b>0.52**</b>						
PGE	<b>0.40**</b>	<b>0.66**</b>	<b>0.49**</b>					
EM2	0.05 <sup>ns</sup>	-0.28**	-0.28**	-0.11 <sup>ns</sup>				
FV	0.10 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>	<b>0.63**</b>			
FS	<b>0.79**</b>	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.10 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	<b>0.64**</b>	<b>0.73**</b>		
AP	-0.04 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	0.24*	0.23 <sup>ns</sup>	<b>0.49**</b>	<b>0.38*</b>	
REND	0.10 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	<b>0.45**</b>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>= no significancia; \* = significativo (p<0.05); \*\*= significativo (p<0.01); VAR= variedad; EE= espiguillas por espiga; GPE= granos por espiga; LE=longitud de espiga en cm; PGE= peso de granos por espiga en g; EM2= espigas por metro cuadrado; RG= rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>; FV= forraje verde en t ha<sup>-1</sup>; FS= forraje seco en t ha<sup>-1</sup>; AP= altura de planta en cm.

En el estudio no se encontró correlación entre el forraje seco y el rendimiento de grano, esto probablemente se debió a la presencia de la helada durante el inicio de la antesis. Así como menciona Pask *et al.* (2013), el peso seco de la paja se le relaciona a la capacidad potencial de las plantas para formar granos, y en este caso el genotipo que tuvo menos rendimiento de grano tuvo el mayor rendimiento de forraje seco.

## **V. CONCLUSIONES**

De acuerdo con los resultados de este trabajo de investigación se puede concluir que:

Para la variable rendimiento de grano, se identificaron tres genotipos de trigo harinero AN-275-1, AN-173-1 y AN-390-0 superiores a los testigos comerciales.

En cuanto a los componentes de rendimiento de grano, el peso de granos por espiga está directamente correlacionada con el rendimiento de grano.

Los genotipos AN-275-1, AN-14-15, AN-13-15, AN-441-0 y AN-173-1, podrían funcionar como doble propósito, por su buen rendimiento de forraje seco y rendimiento de grano.

Con base en los resultados se recomienda realizar más evaluaciones en los próximos ciclos, así como en ambientes contrastantes para identificar los efectos directos e indirectos de los componentes que determinan el rendimiento en trigo.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abedi, T., Alemzadeh, A., Abdolreza, S. (2011). Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount timing. *Australian Journal of Crop Science* 5 (3): 330-336.
- Ataei, M. (2006). Path analysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) yield. *Journal of Agricultural Sciences* 12: 227-232.
- Austin, R. B., Morgan, C. L., Ford, M. A., Blackwell, R. D. (1980). Contributions to grain yield from pre-anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Ann. Bot.*, 45: 309-319.
- Baloch, M. S., Shah, I. H., Nadim, M.A., Khan, M. I., Khakwani, A. (2010). Effect of seeding density and planting time on growth and yield attributes of wheat. *Agricultural and Food Sciences. Journal of Animal and Plant Sciences*. Vol 20: 239-242.
- Biscos, P. V., Gallagher, J. L. (1977). Weather, dry matter production and yield. In: *Environmental effects on Crop Physiology*. J. J. Landersberg y c.v. cutting (eds): 75-100.
- Brocklehurst, P. A. (1977). Factors controlling grain weight in wheat. *Nature* 266: 348-9.
- Buenrostro, R., Covarrubias, P. G., Solís, M. E. (2022). Impactos del ambiente y riego restringido en el rendimiento de grano de trigo en Guanajuato, México". *Revista Fitotecnia Mexicana* 45. 65-73.
- Bulman, P. and Hunt, L. A. (1988). Relationships among tillering, sike number and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L') in Ontario. *Can. J. Plant Sci.* 68: 583-596.
- Bunting, A. H. and Drennan, D. S. H. (1966). Some aspects of the morphology and physiology of cereals in the vegetative phase, In the *Growth of cereale and Grasses*, F.L. Milthorpe y J.D. Ivins (ede.). Butterworths, London: 20-38.
- Cannel, R. Q. (1969b). The tillering pattern in barley varieties. I. Production, survival, and contribution to yield by component tillers. *J. Agric. Sci., Camb.*, 72: 405-422.
- Cárdenas V., J. A. (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *TERRA Latinoamericana*. 223-230.

- Carrera, M. M. y Mateo, B. J. M. (2005). Prontuario de agricultura: Cultivos agrícolas. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa: 87-105.
- Castillo, D., Matus, I., Del Pozo, A., Madariaga, R. & Mellado, M. (2012). Adaptability and Genotype  $\times$  Environment Interaction of Spring Wheat Cultivars in Chile using Regression Analysis, AMMI, and SRAG. *Chi. J. Agric. Res.*, 72: 167-174.
- Cortázar S., René (1990) Altura de planta y rendimiento en trigo. *Agricultura Técnica*. 50 (3): 286-288.
- Cuniberti, M. B. (2011). Trigo: Muestreo en pre-cosecha y clasificación calidad industrial de variedades argentinas. *Temas: Alimentos*. 6.
- Davidson, D. J. and Chevalier, P. M. (1990). Parenthesis Tiller Mortality in Spring Wheat. *Crop Science*. 30: 832-836.
- Espitia, R. E., Martínez, C., Villaseñor M. E. (2021). Variabilidad genética y criterios de selección del rendimiento y los componentes en trigos harineros de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12 (2). 305-315
- Evans, L. T. y Wardlaw, I. F. (1976). Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Adv. Agron*. 28: 301-359.
- Finlay, R. C., Reinbergs, E. and Daynard, T. B. (1971). Field response of spring barley to row spacing and seeding rate. *Can. J. Plant Sci*. 51: 527-533.
- Gallagher, J. N., Biscoe, P. V., Hunter, B. (1976). Effects of drought on grain growth. *Nature* 264: 541-542.
- García M., L. F. (1991). Leaf area, grain yield and yield components following forage removal in triticale. *J. Agron. Crop Sci*. 168: 100-107.
- García, M. L. F. y Ramos, J. M. (1989). Fisiología de la producción de grano. In *La cebada*. J.L. Molina-Cano (ed), Mundi-Prensa-MAPA., Madrid. 137-178.
- García, M. L. F., Ramos, J. M. y García, M. M. B. (1991a). El análisis por coeficientes de sendero y su aplicación al estudio de las relaciones entre el rendimiento y sus componentes en cebada. *Invest. Agrar. Prod y Prot. Veg*. 6: 305-317.
- García, M. L. F., Ramos, J. M. and Recalde, L. (1984). Tillering dynamics of winter barley as influenced by cultivar and nitrogen fertilizer: A field study. *Crop. Sci*. 24: 179-181.
- García, M. L. F., Ramos, J. M., y Recalde Martínez, L. (1982). Estudio de algunos aspectos ecofisiológicos en el análisis de la producción de grano en los

- cultivos de cebada. II. Efecto del nitrógeno y del azufre por vía foliar. *Anal. Edaf. Agrobiol.* 41: 1373-1387.
- García, M. L. F., Ramos, J. M., García, M. M. B. and Jiménez, T. P. (1991b). Ontogenetic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Sci.* 31: 1179-1185.
- Gowda, V. R. P., Henry, A., Yamauchi, A., Shashidhar, H. E., Serraj, R. (2011). Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. *Field Crops Research* 122: 1–13.
- Haile, D., Nigussie, D. and Ayana, A. (2012). Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* Vol.12 (3). 389-410.
- Hoseney, R. C. (1991). *Principios de ciencia y tecnología de los cereales*. Acribia.
- Hucl, P. and Baker, R. J. (1989) Tiller Phenology and Yield of Spring Wheat in a Semiarid Environment. *Crop Science*, 29: 631-635.
- Kabesh, M. O., El-Kramany, M. F., Sary, G. A., Elnaggar, H. M. and Gehan, S. H. B. (2009). Effects of sowing methods and some bio-organic fertilization treatments on yield and yield components of wheat. *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 5: 97-102.
- Kirby, E. J. M. y Appleyard, M. (1980). Effects of photoperiod on the relation between development and yield per plant of a range of spring barley varieties. *Z. Pflanzenzüchtg.* 85: 226-239.
- Kirby, E. J. M. y Appleyard, M. (1986). *Cereal Development Guide*. N. A. C. Stoneleigh. 95.
- López, B. L. (1991). *Cultivos herbáceos. Cereales*. Mundi-Prensa. Vol. I: 539 p.
- Marti, J., and Slafer, G. A. (2014). Bread and durum wheat yields under a wide range of environmental conditions. *Field Crops Research*. Vol 156. SSN 0378-4290. 258-271.
- McDonald G. K., Y. Genc, B. Nurzhanuly, R. Trethowan, M. Reynolds, M. Yaqub Mujahid, and H. Wallwork. (2008). Quantifying the value to grain yield of QTL for adaptation and tolerance to abiotic stress in bread wheat. In: *Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium*. 24-29, Brisbane, Queensland, Australia. Vol. 3. R. Appels, R. Eastwood, E. Lagudah, P. Langridge, M. Mackay, L. McIntyre, and P. Sharp (eds.). Sydney University Press. Sydney, Australia. 934-936.

- Mekonnen, A. (2017). Effects of Seeding Rate and Row Spacing on Yield and Yield Components of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Gozamin District, East Gojam Zone, Ethiopia. 19-37.
- Okuyama L. A., L. C. Federizzi and J. F. B. Neto. (2005). Plant traits to complement selection based on yield components in wheat. *Ciencia Rural* 35:1010-1018
- Olán, M. (2012) Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. vol. 3, (2): 271-283.
- Pask, A., Pietrallaga, J., Mullan, D., Chávez, P., Reynolds, M. (2013). Fitomejoramiento fisiológico II: una guía de campo para la caracterización fenotípica de trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 140.
- Paquini, R., Sara, L., Benítez, R. I., Villaseñor, M. H. E., Muñoz, O. A., Vaquera, H. H. (2016). Incremento en el rendimiento y sus componentes bajo riego normal y restringido de variedades mexicanas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 39 (4). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 367-378.
- Parsons, D. B. (1989). Trigo, cebada, avena. Basado en el trabajo de David B. Parsons; con la colaboración de J. R. Mondoñedo et al. Manuales para educación agropecuaria. Área: producción vegetal. 2ª. ed. Trillas. SEP. México. Reimpresión 2004. 58.
- Peterson, C. J., Graybosch, R. A., Baenziger, P. S., Grombacher, A. W. (1992). Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Science* 32: 98-103.
- Ramírez, M. J. A. (2004). Evaluación de Líneas Elite de Trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo Régimen Restringido de Humedad en la Región de Navidad, N.L. 2003. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 60.
- Ramos, J. M, García, M. L. F. and Recalde, L. (1982.) The influence of pre-and post-anthesis periods on yields of winter barley varieties in southern Spain. *J. Agric. Sci., Camb.* 99: 521-523.
- Ramos, J. M., García, M. L. F. and Recalde, L. (1985). Vegetative growth of winter barley in relation to environmental conditions and grain yield. *J. Agric. Sci., Camb.* 104: 413-419.

- Ramos, J. M., García, M. L. F., Molina Cano, J. L., Salamanca, P. and Roca de Togores, F. (1989). Effects of an early application of Sulphur or Etephon as foliar spray on the growth and yield of spring barley in a Mediterranean environment. *J. Agron. Crop. Sci.* 163: 129-137.
- Reilly, M. L. (1990). Nitrate assimilation and grain yield. En: Nitrogen in higher plants. Y.P. Abrol (ed.). Wiley & Sons, Grab Bretaña. 335-366.
- Rentería, M. K. D. (2022). Selección de Genotipos de Trigo Harinero Con Alto Potencial de Rendimiento en el Valle de Mexicali. (Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California. 57.
- Reynolds M. P., A. Pellegrineschi and B. Skovmand. (2005). Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Annals of Applied Biology* 146:39-49
- Riesgo, P. E. (2019). Variación morfológica, agronómica y rendimiento de diez variedades de trigo cristalino (*Triticum durum Desf.*) y trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Sonora. Biblioteca ITSON. 103
- Rodríguez, G. R. E., Paz, H. J. J., Iñiguez, M. C. G., Rueda, P. E. O. (2014). Estabilidad de rendimiento en trigo en Valle de Mexicali, México. *Phyton (Buenos Aires)*, 83 (1). 65-70.
- Rousseau, O. J. (1984). Cosecha de granos: trigo, maíz, frejol y soya. FAO. 58 pp.
- Royo, C. (1992) El triticale. Bases Para El Cultivo y aprovechamiento. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 96.
- Royo, C., Romagosa, I., Martin, J. A., y Michelena, A. (1988). Estabilidad de los componentes del rendimiento en triticale. *Ann. Est. Exp. Aula Dei.* 19: 133-141.
- SAGARPA. 2017. Trigo grano cristalino y harinero Mexicano.
- Satorre, E. H. (1999). Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. In E.H. Satorre and G.A. Slafer (ed.) *Wheat Ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, New York.141–159.
- Scott, W. R., Appleyard, M., Fellowes, G. and Kirby, E. J. M. (1983). Effect of genotype and position in the ear on carpel and grain growth and mature grain weight of spring barley. *J. Agric. Sci. Camb.* 100: 382-391.

- Sekhon, H. S., Singh, C. and Brar, J. S. (2002). Effect of population density and planting geometry on the growth and yield of mungbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes. *Environ Ecol.* 20: 897-901.
- Seleiman, M. F., Abdel-Aal, S. M., Ibrahim, M. E. and Monneveux, P. (2010). Variation of yield, milling, technological and rheological characteristics in some Egyptian bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Emir. J. Food Agric.*, 22: 84-90.
- SIAP. 2017. Trigo grano: dando de comer a México.
- Sibony, M. and Pinthus, M. J. (1988). Florent initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ann. Bot.* 61: 473-479.
- Slafer G. A., D. J. Miralles, R. Savín, E. M. Whitechurch y F. G. Gonzalez. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. In: *Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo*. E. H. Satorre, R. L. B. Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin (eds.). Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 100-132.
- Solís, M. E, Grajeda, C. O. A., Borodanenko, A., Hernández, M. M., Aguilar, A. J. L. (2004). Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 27: 323-332.
- Solís M. E., Huerta, E. J., Pérez, H. P., Villaseñor, M. H. E., Ramírez, R. A. & Ledesma, R. L. (2017). Cisne F2016: nueva variedad de trigo harinero de gluten fuerte para El Bajío, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (12): 1911-1917.
- Stone, P. and Savin, R. (2000). An introduction to the physiological– ecological analysis of wheat yield. In Satorre, E., and G. Slafer (eds.) *Wheat: Ecology and physiology of yield determination*. Chapter 1. Viva Books Private Limited, New Delhi, Mumbai, Chennai. 3-11.
- Tanveer, S., Hussain, I., Sohail, M., Kissana, N. S. & Abbas, S. G. (2003). Effects of Different Planting Methods on Yield and Yield Components of Wheat. *Asian Journal of Plant Sciences.* 2.
- Thorne, G. N. (1966). Physiological aspects of grain yield in cereals. In *The Growth of Cereals and Grasses*. F.L. Milthorpe and J.D. Ivins (eds). Butterworths, London. 88-105.

- Thorup, K. K., Halberg, N., Nicolaisen, M., Olesen, J. E., Crews, T. E., Hinsinger, P., Kirkegaard, J., Pierret, A., Dresbøll, D. B. (2020). Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science* 25. 406–417.
- Tricker, P. J., El-Habti, A., Schmidt, J., Fleury, D. (2018). The physiological and genetic basis of combined drought and heat tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany* 69: 3195–3210.
- Velasco, J. E. (2011). Caracterización de 20 genotipos de trigo harinero en dos ambientes del Valle del Yaqui, Sonora. Universidad Autónoma del Estado de México. 10.
- Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, SC., Prasad, S. V., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J. A., Christopher, J., Watt, M. (2012) Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany* 63: 3485–3498.
- Willey, R. W., Holliday, R. (1971). Plant population, standing and thinning studies in wheat. *J. Agric. Sci.* 77: 453-461.
- Ye, C. M. E., Días, S. H., Lozano, R. A. J., Zamora, V. V. M., Ayala, O. M. (2001) Agrupamiento de germoplasma de triticale forrajero por rendimiento, ahijamiento y rusticidad. *Revista Tecnología Pecuaria*. 39: 29.
- Zheng, H. G., Babu, R. C., Pathan, M. S., Ali, L., Huang, N., Courtois, B., Nguyen, H. T. (2000). Quantitative trait loci for root-penetration ability and root thickness in rice: comparison of genetic backgrounds. *Genome* 43: 53–61.