

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
DE SALVATIERRA**



**“EVALUACIÓN DE 36 GENOTIPOS DE TRIGO  
(*Triticum* spp L.) EN TRES FECHAS DE  
SIEMBRA EN EL BAJÍO, MÉXICO”**

**TITULACIÓN INTEGRAL  
(TESIS)**

**Elaborada por:**

**XIMENA RICO VILLAGÓMEZ**

**Para obtener el título de:**

**INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

**Director Interno: ME. Maribel Ramos Aguilar**

**Director Externo: Dr. Ernesto Solís Moya**

**Salvatierra, Gto.**

**Mayo, 2024**



**ANEXO XXXIII.**  
**FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL**

Saltillo, Coahuila. 13 /Mayo/2024.

**C. ING. LIZBETH ESTEFANÍA ESCOBAR PANIAGUA**  
Jefe del Departamento de Servicios Escolares  
ITES

**PRESENTE**

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto de titulación integral para para su impresión y realización del acto de examen profesional:

Nombre del estudiante y/o egresado:	XIMENA RICO VILLAGÓMEZ
Carrera:	INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE
No. de control:	AG19110121
Nombre del proyecto:	“EVALUACIÓN DE 36 GENOTIPOS DE TRIGO ( <i>Triticum spp L.</i> ) EN TRES FECHAS DE SIEMBRA EN EL BAJÍO, MÉXICO”
Producto:	TESIS

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*

M.E WALTER MANUEL ZÚÑIGA MALDONADO  
Coordinador de Ing. Innovación Agrícola

ME. MARIBEL RAMOS AGUILAR <b>DIRECTOR</b>	ING. FRANCISCO MENDEZ REYES <b>REVISOR 1</b>	M.E WALTER MANUEL ZÚÑIGA MALDONADO <b>REVISOR 2</b>
--	---	--

\* solo aplica para el caso de tesis o tesina

c.c.p. Expediente





**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SALVATIERRA  
COORDINACIÓN DE INNOVACIÓN EN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

TESIS  
Presentada por:

***Ximena Rico Villagómez***

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial  
para obtener el título de

**INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

Aprobado por

---

ME. Maribel Ramos Aguilar  
Director(a) de Tesis

---

Ing. Francisco Méndez Reyes

Revisor

---

ME. Walter Manuel Zúñiga Maldonado

Revisor

---

ME. Walter Manuel Zúñiga Maldonado

Coordinación de Innovación en Agrícola Sustentable

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a **Dios** por darme la oportunidad de vivir y contar con salud.

Al **Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) campo experimental Bajío (CEBAJ)**, por aceptarme en mi proceso de residencias profesionales permitiéndome realizar un proyecto de tesis y brindarme todo su apoyo durante la realización de la presente investigación.

Al **Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra**, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y adquirir una carrera profesional; en especial a todos los maestros que contribuyeron a mi formación académica.

Al **Dr. Ernesto Solís Moya**, por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo, por su importante colaboración y dedicación brindada en la realización de este proyecto.

A la **Dra. Lourdes Ledesma Ramírez**, por brindarme su conocimiento y apoyo incondicional durante la realización de este trabajo ya que sin ella no hubiera sido posible realizarlo. Por dedicar parte de su tiempo para resolver mis dudas, aclaraciones y observaciones. Por su comprensión, paciencia y por la confianza que deposito en mí.

A la **Ing. Maricela Morales Pérez**, por haberme apoyado en la realización de este proyecto. Por depositar su confianza en mí, motivándome a seguir adelante y estar presente cada vez que necesite su ayuda. Por brindándome parte de su tiempo para compartirme sus conocimientos, su orientación y sus consejos. Por ser parte de mi formación profesional y ofrecerme su amistad.

A la **Dr. Maribel Ramos Aguilar**, por brindarme su apoyo en esta última etapa de mi formación y estar dispuesta a compartirme de sus conocimientos. Por la confianza y por contribuir en mi formación profesional.

A mis amigas **Araceli Vera** y **Hannia León** por estar siempre conmigo brindándome sus consejos, su cariño y su confianza; apoyándome y alentándome a lograr mis metas, por sus buenos deseos y por enseñarme el valioso significado de la amistad.

## DEDICATORIAS

A mis padres el **Sr. José Guadalupe Rico Martínez** y la **Sra. María Villagómez Moreno** por ser los primeros en creer en mí, quienes a lo largo de toda mi vida han estado presentes en las buenas y en las malas; trabajando de sol a sol para darle lo mejor a sus hijos, dándonos el ejemplo de nunca rendirse. Por haberme dado la oportunidad de estudiar y querer un mejor futuro para mí, apoyándome en todo momento lo cual les agradezco infinitamente. Han sido la razón más importante por la cual yo decidí terminar mis estudios ver como se esfuerzan cada día para sacarnos adelante me daban las fuerzas para no rendirme, quiero que se sientan orgullosos de mí y que sepan que todo su esfuerzo ha valido la pena. De corazón mil gracias por todo el amor, por la confianza, por sus consejos, por enseñarme buenos valores, por la motivación, por sus buenos decesos, por eso y por todo lo que han hecho por mi gracias porque por ustedes soy una persona de bien y he llegado hasta donde estoy.

Quiero dedicarme este trabajo de tesis a mi **Ximena Rico Villagómez** porque a pesar de que pensé en algún momento que no sería capaz de terminar una carrera profesional lo estoy logrando y me siento muy feliz porque me he demostrado que con dedicación y esfuerzo soy capaz de realizar grandes cosas, lo cual me motiva a salir adelante y luchar siempre por mis sueños.

A mis hermanos **Lizbeth, Daniela, José** porque a pesar de que a veces peleamos siempre estamos el uno para el otro.

A mis abuelos **Faustino Villagómez, Josefina Moreno, Juan Rico, Juana Martínez** ya que siempre han mostrado interés en saber cómo ha ido mi formación académica, por sus sabios consejos y por todo el cariño que me han demostrado.

## Índice de contenido

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Antecedentes .....	4
1.2 Planteamiento del problema .....	8
1.3 Justificación .....	9
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo general .....	10
1.4.2 Objetivo específico .....	10
1.5 Hipótesis .....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1 Origen del trigo .....	11
2.1.1 El trigo generalidades .....	13
2.1.2 Taxonomía.....	14
2.1.3 Descripción botánica de las plantas de trigo.....	14
2.1.3.1 Raíz.....	14
2.1.3.2 Tallo .....	14
2.1.3.3 Hoja.....	15
2.1.3.4 Espiga .....	15
2.1.3.5 Fruto.....	15
2.1.4 Clasificación científica del trigo.....	15
2.1.5 Clasificación de acuerdo a su dureza de grano .....	16
2.1.6 Clasificación del trigo según época de siembra del cultivo .....	17

2.1.6.1 Trigos invernales .....	17
2.1.6.2 Trigos de primavera .....	17
2.1.7 Importancia mundial del trigo .....	18
2.1.8 Importancia nacional del trigo .....	19
2.1.9 Importancia regional del trigo.....	20
2.2 Cambio climático .....	20
2.2.1 Impactos del Cambio Climático en la Agricultura.....	22
2.3 Mejoramiento genético.....	23
2.3.1 Mejoramiento genético en trigo.....	24
2.4 Interacción genotipo ambiente.....	25
2.5 Componentes del rendimiento .....	26
2.5.1 Índice de cosecha .....	26
2.5.2 Biomasa .....	27
2.5.3 Espigas por metro cuadrado .....	27
2.5.4 Número de granos.....	28
2.5.5 Peso de granos .....	28
2.5.6 Relación entre número y peso de grano .....	28
2.6 Fecha de siembra del trigo .....	29
CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES.....	31
3.1 Localización del experimento.....	31
3.2 Diseño experimental .....	32
3.3 Manejo agronómico .....	33
3.4 Material genético utilizado .....	33
3.5 Variables evaluadas.....	35
3.6 Análisis estadístico de los resultados .....	36



3.6.1 Análisis AMMI .....	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1 Análisis de varianza individual .....	38
4.1.1 Fecha de siembra A (FSA).....	38
4.1.2 Fecha de siembra B (FSB).....	41
4.1.3 Fecha de siembra C (FSC) .....	44
4.2 Análisis combinado.....	48
4.3 Análisis de la interacción genotipo ambiente para el rendimiento de grano ....	53
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....	58
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	60
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	70
7.1 GLOSARIO .....	70

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación del trigo según su dureza de grano (Calixto, 2018). ...	16
Cuadro 2. Genotipos evaluados en tres fechas de siembra durante el ciclo IO 2022-23 .....	33
Cuadro 3. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23 .....	38
Cuadro 4. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23 .....	38
Cuadro 5. Comparaciones de medias de tratamientos de las variables evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23 .....	40
Cuadro 6. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23 .....	41
Cuadro 7. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23 .....	42
Cuadro 8. Comparaciones de medias de las variables evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23 .....	43
Cuadro 9. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23 .....	45
Cuadro 10. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23 .....	45
Cuadro 11. Comparaciones de medias de las variables evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23 .....	47
Cuadro 12. Cuadrados medios de las variables agronómicas estudiadas para tres fechas de siembra .....	48
Cuadro 13. Cuadrados medios de las variables agronómicas estudiadas para tres fechas de siembra .....	48
Cuadro 14. Comparación de medias de las variables agronómicas para tres fechas de siembras .....	50
Cuadro 15. Comparación de medias de las variables agronómicas para tres fechas de siembras .....	50
Cuadro 16. Comparaciones de medias de las variables estudiadas .....	52

<b>Cuadro 17. Análisis de varianza del modelo AMMI para 36 genotipos de trigo evaluados en 3 ambientes .....</b>	<b>54</b>
--	-----------

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1. Localización del INIFAP Campo Experimental Bajío, extraído de Google Earth 2017 _____</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2. Diseño experimental Alpha latice 6 x 6 _____</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3. Biplot de rendimiento de grano de 36 genotipos en 3 ambientes ____</b>	<b>57</b>

## RESUMEN

El trigo es uno de los tres cereales más producidos a nivel mundial debido a que este cereal forma parte importante para la alimentación humana y animal en todo el mundo por su valor nutricional y económico. En México los principales estados productores de trigo son Sonora, Baja California, Sinaloa, Guanajuato y Michoacán; de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SADER), el trigo es el segundo cultivo que más ingresos genera a nivel nacional. El Bajío contribuye con el 28.3% de la producción nacional, debido a su ubicación geográfica y a las condiciones ambientales que favorecen la obtención de los más altos rendimientos en el país.

Actualmente los productores buscan variedades de trigo que sean resistentes a los problemas más frecuentes que más se les presentan en la producción tales como plagas, enfermedades, a los cambios bruscos del clima, a la falta de agua entre otros; esto para poder obtener cultivos con buenas características agronómicas y así alcanzar altos rendimientos y cubrir la demanda alimentaria requerida por la población. Por lo que los programas de mejoramiento genético realizan una selección de genotipos considerando rendimientos, resistencia a enfermedades y valor agronómico, para evaluar la consistencia del comportamiento de los mismos sometidos en diferentes ambientes durante algunos años dentro de alguna región potencial de adaptación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar características agronómicas y rendimiento de 36 genotipos de trigo (*Triticum* spp L.) bajo tres diferentes fechas de siembra. La investigación se realizó durante el ciclo Otoño – Invierno 2022 – 2023, en el campo experimental bajío (CEBAJ) del INIFAP, ubicado en el Km 6.5 carretera Celaya – San Miguel Allende Celaya, Guanajuato, a 20° 32` LN; 100° 48`LO; con una altura de 1765 m.s.n.m. Se evaluaron 36 genotipos de trigo (*Triticum* spp L.). Los tratamientos de fechas de siembra fueron FSA (15 de noviembre), FSB (15 de diciembre) y FSC (15 de enero). Se aplicó una dosis de fertilización de 240 – 60 – 00 (NPK). La densidad de siembra fue de 120 kg ha<sup>1</sup>. Los riegos se suministraron mediante el método de riego rodado bajo un calendario de 5 riegos. El diseño experimental se estableció mediante el modelo Alpha lattice 6 x 6 con tres repeticiones por fecha de siembra. Las variables

a evaluar fueron días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$  (RG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO), peso de mil granos (PMG), granos por metro cuadrado (GPM2) y espigas por metro cuadrado (EPM2). El análisis de la interacción genotipo ambiente para rendimiento de grano se realizó con el modelo AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction). El cual combina el ANOVA como modelo aditivo para los efectos principales y los componentes para analizar la estructura multiplicativa de la interacción genotipo – ambiente (IGA).

La fecha de siembra A, 15 de noviembre 2022, alcanzó rendimientos que van desde 3749 a 6982  $\text{kg ha}^{-1}$ ; la fecha de siembra B (15 de noviembre 2022) por su parte alcanzó rendimientos que van desde 3941 a 5998  $\text{kg ha}^{-1}$  y la fecha de siembra C (15 de enero 2023) alcanzó rendimientos un poco menores que van desde 2988 a 5071  $\text{kg ha}^{-1}$ ; por lo cual los mayores rendimientos se registraron en la fecha de siembra A. El genotipo más destacado a través de los tres ambientes fue el 17 (Línea 17) con 5617  $\text{kg ha}^{-1}$  seguido del genotipo 21 (Línea 21) con 5581  $\text{kg ha}^{-1}$ ; por otro lado, el genotipo que obtuvo menores rendimientos fue el 9 (BACOREHUIS F2015) con 4064  $\text{kg ha}^{-1}$  seguido del genotipo 24 (LUMINARIA F2012) con 4071  $\text{kg ha}^{-1}$ .

## ABSTRACT

Wheat is one of the three most produced cereals worldwide because this cereal is an important part of human and animal nutrition worldwide due to its nutritional and economic value. In Mexico, the main wheat producing states are Sonora, Baja California, Sinaloa, Guanajuato and Michoacán; According to the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SADER), wheat is the second crop that generates the most income nationally. El Bajío contributes 28.3% of national production, due to its geographical location and the environmental conditions that favor obtaining the highest yields in the country.

Currently, producers are looking for wheat varieties that are resistant to the most frequent problems that arise in production such as pests, diseases, sudden changes in climate, lack of water, among others; This is to be able to obtain crops with good agronomic characteristics and thus achieve high yields and cover the food demand required by the population. Therefore, genetic improvement programs carry out a selection of genotypes considering yield, disease resistance and agronomic value, to evaluate the consistency of their behavior subjected to different environments for some years within some potential adaptation region.

The objective of this work was to evaluate agronomic characteristics and yield of 36 wheat (*Triticum* spp L.) genotypes under three different sowing dates. The research was carried out during the Autumn – Winter 2022 – 2023 cycle, in the Bajío experimental field (CEBAJ) of INIFAP, located at Km 6.5 Celaya – San Miguel Allende Celaya highway, Guanajuato, at 20° 32` LN; 100° 48` LO; with a height of 1765 m.s.n.m 36 wheat (*Triticum* spp L.) genotypes were evaluated. The sowing date treatments were FSA (November 15), FSB (December 15) and FSC (January 15). A fertilization dose of 240 – 60 – 00 (NPK) was applied. The planting density was 120 kg ha<sup>-1</sup>. Irrigation was provided using the rolling irrigation method under a 5-irrigation schedule. The experimental design was established using the 6 x 6 Alpha lattice model with three repetitions per sowing date. The variables to be evaluated were days to heading (DE), days to maturity (DM), plant height (AP), yield in kg ha<sup>-1</sup> (RG), harvest index (IC),

biomass (BIO), weight of a thousand grains. (PMG) grains per square meter (GPM2) and ears per square meter (EPM2).

For the statistical analysis of the results obtained from the evaluated variables, the AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) model was used. Which combines the ANOVA as an additive model for the main effects and the components to analyze the multiplicative structure of the genotype - environment interaction (IGA). Planting date A, November 15, 2022, reached yields ranging from 3749 to 6982 kg ha<sup>-1</sup>; Sowing date B (November 15, 2022) for its part achieved yields ranging from 3941 to 5998 kg ha<sup>-1</sup> and sowing date C (January 15, 2023) achieved slightly lower yields ranging from 2988 to 5071 kg ha<sup>-1</sup>; therefore, the highest yields were recorded on sowing date A. The genotype that stood out the most across the three environments was 17 (Line 17) with 5617 kg ha<sup>-1</sup> followed by genotype 21 (Line 21) with 5581 kg ha<sup>-1</sup>; on the other hand, the genotype that obtained the lowest yields was 9 (BACOREHUIS F2015) with 4064 kg ha<sup>-1</sup> followed by genotype 24 (LUMINARIA F2012) with 4071 kg ha<sup>-1</sup>.

# CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

## 1.1 Introducción

Actualmente, la producción de trigo ha tomado relevancia debido a que este cereal forma parte importante para la alimentación humana y animal en todo el mundo por su valor nutricional y económico; actuando como materia prima para la elaboración de harina y productos derivados, generando así oportunidades comerciales.

El trigo, es uno de los tres cereales más producidos globalmente, junto al maíz (*Zea mays* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.) además de ser el más ampliamente consumido por el hombre (Estrada *et al.*, 2014). Este cereal se cosecha prácticamente en todo el mundo, aunque el hemisferio norte presenta condiciones más propicias para su cultivo. La superficie de trigo que se siembra a nivel mundial es la más grande y su comercio es mayor que el de los demás cultivos agrícolas (Noriega *et al.*, 2019).

En México, la superficie cosechada de trigo en el año agrícola 2020 se ubicó en 561.3 miles de hectáreas, lo que significó un decremento anual de 4.3 por ciento. Así, se produjeron 2.99 mdt, es decir, 7.9 por ciento menos que en el año agrícola previo. Por tipo de grano, 60.1 por ciento del trigo correspondió al tipo panificable y 39.9 por ciento al tipo de grano cristalino. México es deficitario en trigo panificable y excedentario en trigo cristalino. En 2020 se exportaron 615.5 miles de toneladas de trigo cristalino, mientras que se importaron 4.4 mdt de trigo panificable. Las exportaciones de trigo cristalino fueron equivalentes a 51.6 % del trigo de este tipo producido en el país, mientras que las importaciones de trigo panificable fueron equivalentes a 71.1 por ciento del consumo nacional aparente de este tipo de grano (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura [FIRA], 2021).

La región de El Bajío, comprende parte de los estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro, es la segunda zona productora de trigo del país (Solís *et al.*, 2018). Produciendo bajo dos ciclos de siembra Primavera – Verano y Otoño – Invierno siendo



esta última de la cual se obtienen mayores producciones (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2017a).

El Bajío contribuye con el 28.3% de la producción nacional de trigo (*Triticum spp.*), debido a su ubicación geográfica y a las condiciones ambientales que favorecen la obtención de los más altos rendimientos en el país (Solís *et al.*, 2018).

A pesar de esto, producir trigo trae consigo ciertas desventajas ya que gracias al cambio climático los productores de este cereal han experimentado pérdidas económicas por la baja producción y la falta de horas frío en su ciclo de siembra (Moreno, 2019). Alrededor de la mitad de la cosecha de trigo del mundo sufre estrés por calor, y cada aumento de 1 °C en la temperatura reduce los rendimientos de trigo en un promedio del 6% (Listman, 2023).

Por lo cual, el objetivo del presente trabajo es evaluar características agronómicas y rendimiento de 36 genotipos de trigo (*Triticum spp L.*) bajo tres diferentes fechas de siembra. La evaluación de diferentes genotipos de trigo para su producción pretende encontrar variedades que cumplan con las mejores cualidades agronómicas y que sean capaces de generar altos rendimientos, además de que sean adaptables a los distintos ambientes que pueden presentarse de acuerdo a la zona donde se desee producir.

Una alternativa de producción de trigo que mejora los resultados esperados de la producción es el mejoramiento genético en las semillas; procedimiento por medio del cual se extraen un conjunto de características deseadas de algunas variedades ya existentes y tratar de crear una nueva variedad que contenga dichas características, así que mientras aun no sea una variedad comercial será tratada como línea experimental la cual tendrá que pasar una serie de pruebas experimentales para evaluar si se lograron las mejoras deseadas.

En general el mejoramiento genético comprende la combinación de lo científico con lo tecnológico, para mejorar la producción, calidad, sanidad, tolerancia a plagas y estreses abióticos con una estrategia integrada de selección, lo cual permite hacer un uso eficiente de la variabilidad genética (Rimieri, 2021).

Antecedentes bibliográficos señalan que la expresión de rendimiento y el periodo vegetativo de las variedades, en diferentes épocas de siembra, están relacionados con variaciones en las temperaturas del aire y del suelo, humedad del suelo y fotoperiodo; por lo que es indudable que la fecha de siembra influye además en una serie de características de la planta tales como la capacidad de macollaje, el peso de la semilla, la calidad industrial del grano, la reacción a enfermedades, etc. (Mellado, 1989).

Esta investigación es importante porque brindara nuevos conocimientos a los productores de trigo que les permitirán mejorar sus cultivos y por lo tanto aumentar sus rendimientos; por otro lado, también ayudara a los mejoradores genéticos a evaluar las líneas experimentales utilizadas y saber si ya cumplen con las características deseadas.

Con base en lo anterior, se evaluaron 36 genotipos de trigo (*Triticum* spp L.), en tres fechas de siembra: 15 de noviembre 2022 (FSA), 15 de diciembre 2022 (FSB), 15 enero del 2023 (FSC). Basados en un diseño experimental Alpha latice 6 x 6 con tres repeticiones por fecha de siembra. Las variables a evaluar fueron días a espigamiento, altura de planta, días a madurez, índice de cosecha, biomasa, granos por metro cuadrado, espigas por metro cuadrado y rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos de las variables evaluadas se empleó el modelo AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction). El cual combina el ANOVA como modelo aditivo para los efectos principales y los componentes para analizar la estructura multiplicativa de la interacción genotipo – ambiente (IGA) (Celis, 2018).

### 1.1.1 Antecedentes

Suaste (2009) menciona que en el Bajío es común la siembra de trigo en melgas con densidades de siembra que en algunos casos alcanza los 300 kg de semilla ha<sup>-1</sup>. Debido a los altos costos de producción del cultivo se han propuesto alternativas de manejo como la siembra en surcos de 75 cm de ancho que hacen más eficiente la conducción de agua de riego y permite un ahorro de hasta el 30% en uso de energía eléctrica en la extracción de agua de pozos profundos. Con el objetivo de evaluar el efecto del método y la densidad de siembra sobre el rendimiento del grano de cuatro genotipos de trigo. Las variedades Josecha F2007, Bárcenas S2002, Urbina S2007 y Gema C2004 se evaluaron en dos fechas de siembra (22 de diciembre del 2006 y 12 de enero del 2007), cuatro métodos de siembra, melgas de cuatro y seis hilos y surcos de dos y tres hilos, y cuatro densidades de siembra 60, 120, 180 y 240 kg ha<sup>-1</sup>. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas sub-subdivididas, con cuatro repeticiones. Se aplicó un calendario de cuatro riegos a los 0 – 45 – 75 y 100 días después de la siembra. Se fertilizó con la dosis 240 – 60 – 00. Se aplicó la mitad de nitrógeno y todo el fósforo a la siembra, el resto de nitrógeno se aplicó en el primer riego de auxilio.

El mayor rendimiento se obtuvo en la primera fecha de siembra ( $P < 0.01$ ). Melgas de seis hileras supero a los demás métodos en todas las densidades de siembra ( $P < 0.01$ ), excepto en la densidad de 60 kg ha<sup>-1</sup>, en la cual melgas de cuatro hileras obtuvo el mismo rendimiento. Con las densidades de 180 y 240 kg ha<sup>-1</sup> se obtuvo el mismo rendimiento y superior a las otras dos densidades. Las variedades Gema C2004 y Josecha F2007 tuvieron el mismo rendimiento superando a Bárcenas S2002 y a Urbina S2007.

Ledesma *et al.* (2012) presenta un Análisis GGE biplot del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) donde se menciona que El Bajío es una de las principales áreas productoras de trigo (*Triticum* spp.) en México, ya que contribuye con 28 % del total nacional. Entre los principales problemas que afectan la producción de trigo en El Bajío está la escasez de agua, porque el balance hidráulico subterráneo presenta un déficit

importante. A través del mejoramiento genético es posible obtener genotipos con rendimientos altos, con riego normal y restringido. El objetivo de este estudio fue analizar la interacción genotipo ambiente de ocho cultivares de trigo en tres calendarios de riego en Celaya, Guanajuato, México, con el modelo GGE biplot. En los ciclos agrícolas otoño-invierno de 1999 al 2008 se evaluaron cinco cultivares de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y tres de trigo cristalino (*Triticum durum* Desf.) con dos, tres y cuatro riegos (0-55, 0-45-75 y 0-45-75-100 d después de la siembra). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Para el análisis de estabilidad fenotípica se utilizó el modelo GGE biplot. El modelo explicó 78 % de los efectos combinados de genotipos y de la interacción genotipo ambiente, el CP1 63 % y el CP2 15 % de la variabilidad debida a genotipos y a la interacción genotipo ambiente. De acuerdo con el modelo, Bárcenas S2002 fue el cultivar más productivo en 2 ambientes, Eneida F94 sobresalió en dos y Camón5 en uno. Salamanca S75 y Saturno S86 obtuvieron los valores menores del CP2; por tanto, este modelo los clasificó como los más estables. Los resultados obtenidos mostraron que Bárcenas S2002 fue el mejor tanto con riego normal como restringido y que la estabilidad fenotípica es útil sólo cuando se considera conjuntamente con el rendimiento a través de ambientes.

Según Valenzuela *et al.* (2018) los trigos harineros y cristalinos son importantes en México por su consumo e impacto económico. Actualmente el país tiene un déficit en la producción de trigo harinero y un superávit del cristalino. Para lograr su autosuficiencia alimentaria y aumentar la productividad es necesario desarrollar variedades de mayor rendimiento e identificar sus mejores condiciones de producción. Con el propósito de determinar la especie más productiva y mejor adaptada a las regiones productoras de México bajo diferentes condiciones de riego y fechas de siembra, se diseñó un experimento con ocho genotipos cristalinos (*Triticum durum* Desf.) y ocho harineros (*Triticum aestivum* L.) sembrados en los ciclos otoño invierno 2012-2013 y 2013-2014 en 30 ambientes del Noroeste, Norte y El Bajío, como parte de los Ensayos Nacionales de Trigo de Riego (ENTRI) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. En un primer análisis se utilizaron

sólo los ambientes con fecha normal, un total de 22, y se agruparon en: 1) todos los ambientes, 2) ambientes de riego completo, 3) riego reducido, 4, 5 y 6) por región y 7, 8, 9 y 10) nivel de riego por región en el Noroeste y El Bajío. Los ocho ambientes restantes permitieron evaluar el efecto fecha de siembra. Los resultados indicaron que el rendimiento de grano varió significativamente entre regiones obteniéndose los más altos en el Noroeste, seguidos por el Norte y El Bajío. El rendimiento de trigos cristalinos fue significativamente superior al de los harineros en la mitad de los grupos de ambientes. Las mayores diferencias en rendimiento se observaron en condiciones de riego completo, donde los cristalinos fueron superiores. En riego reducido, los rendimientos de ambas especies fueron similares. El efecto fecha de siembra, de normal a tardía, afectó negativamente a ambas especies, aunque en mayor magnitud a los trigos cristalinos. Las variedades de reciente liberación tienen mayor potencial productivo que las liberadas anteriormente.

Palmeri (2019) realizó una investigación en la cual tuvo como objetivo evaluar en la región semiárida central de la provincia de Córdoba el comportamiento agronómico de cinco cultivares de trigo candeal conjuntamente con un cultivar comercial de trigo pan. El ensayo se condujo durante el año 2017 en el Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Se evaluaron cinco cultivares de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. var. durum): Cariló, Esmeralda, Facón, Quillén y Topacio, conjuntamente con el cultivar de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) Algarrobo. Se realizaron tres fechas de siembra: 23-04-2017, 23-05-2017 y 22-06-2017. Se midieron el rendimiento en grano y en biomasa aérea, peso de mil granos (g) y el número de espigas m<sup>-2</sup>; se estimaron el número de granos m<sup>-2</sup>, el índice de cosecha (%) y el número de granos por espiga. La información fue analizada estadísticamente según dos aproximaciones. La primera tuvo en cuenta solo los datos obtenidos en las tres fechas de siembra para los cultivares Algarrobo y Quillén. El segundo análisis estadístico consideró los datos correspondientes a la totalidad de los cultivares de trigo evaluados en las restantes dos fechas de siembra (23 de mayo y 22 de junio). En cuanto al rendimiento en grano, el cultivar de trigo para pan Algarrobo rindió significativamente un 21% más que el cultivar de trigo para fideos Quillén. Los

valores medios del cultivar Algarrobo en cuanto al índice de cosecha, número de granos y de espigas  $m^{-2}$  fueron significativamente mayores a los puestos de manifiesto por el cultivar de trigo para fideos Quillén. Salvo el cultivar de trigo para fideos Facón que produjo más grano cuando sembrado el 22 de junio, los restantes materiales rindieron significativamente más cuando sembrados el 23 de mayo. El cultivar de trigo pan Algarrobo rindió un 24% más que la media de los cinco cultivares de trigo para fideos evaluados. Los cultivares de trigo candeal no equipararon la producción del cultivar de trigo pan usado como testigo. Por otra parte, el cultivar de trigo candeal Esmeralda fue el que presentó mayor estabilidad en el rendimiento y peso de grano, estando un escalón por encima del resto de los cultivares de trigo candeal evaluados.

Rosas *et al.* (2022) evaluó el potencial de rendimiento de grano de la variedad de trigo cristalino Don Lupe Oro C2020 y el testigo regional CIRNO C2008, durante el ciclo 2021-2022. La fecha de siembra fue el 02 de diciembre del 2021 en la Estación Experimental Norman E. Borlaug en el Valle del Yaqui, Sonora, México. Las parcelas experimentales consistieron en dos camas de 3 m de longitud con dos hileras, separadas a 0.80 m, con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . La fertilización consistió en  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de urea en presiembra y luego se aplicó un riego para la germinación de la semilla y tres riegos complementarios durante el ciclo; antes del primer riego complementario, se aplicaron  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de urea y fósforo y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de urea en el segundo riego. En los parámetros evaluados: peso de espiga (g), peso de granos por espiga (g), longitud de grano (cm) y peso de mil granos (g), la variedad CIRNO C2008 superó a Don Lupe Oro C2020 (valores promedio 3.81 y 3.66 g, 3.27 y 3.13 g, 0.77 y 0.71 cm, 58.7 y 57.0 g, respectivamente); además, el rendimiento de grano del testigo regional fue de  $6.66 \text{ t ha}^{-1}$  superando por 500 kg a Don Lupe Oro, lo que se atribuye a los valores obtenidos en los componentes de peso de granos por espiga y longitud de granos.

## 1.2 Planteamiento del problema

En México la producción de trigo a tomado relevancia en los últimos años debido al incremento poblacional el cual aumentó la demanda en su consumo y por lo cual se busca implementar estrategias que mejoren la producción y logren un mayor rendimiento, desafortunadamente los costos de producción elevados, las variedades poco resistentes, los factores bióticos y abióticos, la disponibilidad del agua de riego, deficiencias nutrimentales del cultivo entre otros; resultan problemas importantes para la producción de trigo reduciendo considerablemente los rendimientos.

Cada fecha de siembra trae consigo diferentes condiciones ambientales que pueden beneficiar o afectar al cultivo y por lo tanto al rendimiento, sembrar en fechas con condiciones no aptas para el trigo generan resultados negativos para los productores; Una fecha de siembra temprana en la temporada de Otoño – Invierno corre riesgos por la exposición a bajas temperaturas, mientras que una fecha de siembra tardía puede no completar el ciclo de horas frío que necesita el cultivo; siendo así, el encontrar una fecha de siembra óptima es imprescindible.

No todas las variedades se desarrollan de buena manera en todos los ambientes por lo cual, también es importante saber que variedades de trigo se adaptan mejor a la zona donde se requiere producir.

Para poder liberar una nueva variedad deben hacerse numerosas pruebas en diferentes ambientes para ver su estabilidad y adaptación de cada una de las líneas elite, que fueron seleccionadas en el avance generacional que fue expuesto a condiciones de las problemáticas que se desean resolver.

En la producción de cualquier cultivo existen factores que se pueden controlar o moderar, pero existen otros que solo dependen del ambiente, por lo que estar bien informado de las condiciones y los recursos con los que se cuentan en el lugar donde queremos producir es muy importante, sabemos que producir trigo requiere de ciertas condiciones que proporciona el ambiente; así que para saber qué fecha de siembra proporciona las condiciones óptimas para que el cultivo complete correctamente todos sus ciclos vegetativos y por lo tanto que de buenos rendimientos, se tomaran en cuenta 3 fechas de siembra para saber cuál de ellas es la indicada para sembrar trigo en el Bajío, México en el ciclo de producción de Otoño – Invierno; por otro lado se evaluarán

36 genotipos de trigo dentro de los cuales se encuentran variedades comerciales y líneas experimentales que nos permitan en primer lugar saber cuál de ellas se adapta mejor al ambiente presente en esta zona; en segundo lugar, para ver el comportamiento en estabilidad y adaptabilidad en diferentes ambientes, y la comparación del rendimiento con las variedades comerciales en uso de las líneas elite que pueden ser futuras variedades y en tercer lugar para ver cual genotipo muestra mejores cualidades agronómicas y mayores rendimientos en cada una de las fechas de siembra establecidas y cuál de ellos sobresale de los demás genotipos dentro de las mismas.

### **1.3 Justificación**

En el Bajío, la temporada de siembra Otoño – Invierno es considerada por los productores como la época en la cual se logran los mayores rendimientos en el cultivo de trigo ya que las condiciones ambientales presentes en ese tiempo son las más recomendables para dicho cultivo, a pesar de esto también es importante que tomen en cuenta las recomendaciones técnicas de los profesionales en su producción, ya que para obtener altos rendimientos además de las sugerencias de manejo agronómico se deben tomar en cuenta otros aspectos que resultan ser de gran relevancia, uno de ellos es la variación entre las fechas de siembra ya que se consideran de acuerdo al tiempo como fechas tempranas, medias o tardías las cuales afectan de manera importante el crecimiento y desarrollo del cultivo, colocando a las distintas etapas de generación del rendimiento bajo diferentes condiciones de radiación, temperatura y precipitaciones; debido a esto el evaluar distintas fechas de siembra en este caso 3 (FSA 15 de noviembre, FSB 15 de diciembre, FSC 15 de enero) permitirá encontrar la fecha optima que de los mejores resultados en cuanto a características agronómicas y por tal motivo mejorando los componentes de rendimiento alcanzando una alta producción.

Otro aspecto de importancia a considerar es el elegir la variedad de trigo adecuada a la zona de producción ya que no todos los materiales comerciales son adaptables a los diferentes ambientes por lo que encontrar un material genético que se adapte a las condiciones presentes en la zona del Bajío, brindará a los productores beneficios en



el cultivo considerándolo resistente a los factores presentes y logrando mejoras a la hora de la cosecha. Actualmente derivado de las problemáticas de plagas, enfermedades, la disponibilidad del agua de riego, deficiencias nutricionales, variaciones climáticas entre otros; los mejoradores de trigo han experimentado mediante mejoramiento genético liberar nuevas variedades que cubran con características específicas de acuerdo a las necesidades de cada productor. El evaluar 36 genotipos de trigo entre variedades comerciales y líneas experimentales, facilitará definir el comportamiento y el rendimiento de cada uno de ellos bajo las condiciones presentes en el Bajío, México y por lo tanto concluir cuál de ellos es el que demuestre mejores resultados.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Evaluar características agronómicas y rendimiento de 36 genotipos de trigo (*Triticum* spp L.) bajo tres diferentes fechas de siembra.

### **1.4.2 Objetivo específico**

- Evaluar las características agronómicas de 36 genotipos de trigo bajo tres fechas de siembra.
- Evaluar el rendimiento de 36 genotipos en tres diferentes fechas de siembra.
- Identificar genotipos de trigo promisorios y sus fechas de siembra óptimas para futuras investigaciones.

## **1.5 Hipótesis**

- Las líneas experimentales de trigo evaluadas en el experimento mostrarán mejores rendimientos y adaptación a las condiciones del Bajío, México que las variedades comerciales
- La fecha de siembra del cultivo de trigo tiene relevancia en relación con la productividad del mismo.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen del trigo

El trigo (*Triticum* spp L.) se originó en el suroeste de Asia. Restos de antiguas cosechas han sido encontrados en Siria, Jordania y Turquía. Hoy en día se han descubierto parientes primitivos del trigo en excavaciones al este de Irak, de hace 9 000 años atrás. Otros hallazgos arqueológicos demuestran que el trigo ha sido cultivado en el valle del Río Nilo, alrededor de 5 000 a. C; también en países como India, China e Inglaterra de similar antigüedad (Loaiza, 2014).

Los primeros trigos que el hombre utilizó procedían de una especie silvestre, de los cuales recolectaba su grano, a este tipo de trigo primitivo se les conoce como trigos Einkorn (*Triticum urartu*), estos trigos eran diploides y contenían al genoma AA, cuyas características morfológicas básicas consistían en plantas con espiguillas muy delgadas y desarticuladas y el grano se encontraba encerrado por las brácteas, también poseían aristas muy prominentes (30,000 años a. C); posteriormente estos trigos silvestres (*T. urartu*), en algún momento se cruzaron con una especie de zacate silvestre (*Aegilops speltoides*), el cual contenía el genoma BB, obteniéndose de este modo un híbrido, que por razones desconocidas duplicó sus cromosomas tornándose fértil y como resultado de este cruzamiento se obtuvo unos trigos silvestres tetraploides conocidos como Trigos Emmer (*T. turgidum* / *T. dicoccoides*) los cuales contenían el genoma AA del Einkorn y el BB del zacate *A. speltoides* (o sea el genoma AABB), éstos mismos trigo los cuales mediante selecciones recurrentes que fue efectuando el hombre a través del tiempo estos trigos fueron evolucionando, resultando al final un trigo en el cual sus granos se encontraban desnudos y las espiguillas articuladas dando lugar a una nueva especie. Estos fueron conocidos como los primeros trigos duros (*Triticum durum*) que son trigos tetraploides y que poseen el genoma AABB, esto se cree que ocurrió aproximadamente hace unos 8 000 años, producto de la evolución y selección (Ávila *et al.*, 2019).

Se presume que, en el mismo periodo, estos trigos Emmer, nuevamente se cruzaron con otra especie de zacate diploide silvestre (*Aegilops tauschii* / *T. tauschii*), que poseía el genoma DD, obteniéndose de esta manera otra nueva especie de trigos hexaploides (*T. spelta*), hace unos 9 000 años, la cual contenía el genoma AABBDD (Ávila *et al.*, 2019).

En la historia evolutiva del trigo cobran especial relevancia las especies *Triticum urartu*, (trigo Einkorn, con dotación genómica AA), *Aegilops speltoides* (el contribuyó al genoma B del trigo) y *Aegilops tauschii* (Goatgrass, con dotación genómica DD), ya que son respectivamente las fuentes diploides inmediatas o parientes más cercanos, portadores de los genomas A, B y D de los trigos poliploides. La primera sección en clasificación del género *Triticum* está constituida por los trigos diploides, que presentan la dotación genómica más simple, genoma AA y 14 cromosomas; los trigos aloletetraploides comprenden un conjunto de especies de dotación genética AABB y un total de 28 cromosomas y por último los trigos *Triticum aestivum* da nombre a la serie alohexaploides de dotación genómica AABBDD y 42 cromosomas (Barroso, 2017).

Se dice que el trigo llegó a México en la época de la conquista, a través de embarcaciones españolas, pero la historia lo documenta de otra manera. Como los viajes del viejo mundo a América eran largos, las provisiones se consumían y terminaban antes de llegar a su destino. Nadie se preocupaba por guardar semillas para que fueran sembradas en México. Por eso fue un poco tardía la llegada del trigo a nuestro país. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gomorra, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés fue el primero en sembrar y cosechar el primer trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Solo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España (Rincón, 2017).

En las inmediaciones de Texcoco y Puebla, en el 1534 ya se tenían cosechas importantes de Trigo. Los jesuitas hicieron que el trigo llegará a la parte norte del país en donde enseñaron a los nativos a cultivarlo; con la expulsión de estos religiosos, los franciscanos siguieron la labor del cultivo en toda la región. El cultivo del trigo, así como su transformación en harina y pan en la Nueva España, fue una necesidad imperiosa de los conquistadores, para satisfacer aquí viejas costumbres en su alimentación; también enseñaron a los autóctonos la molienda y la elaboración del pan (Rincón, 2017).

### **2.1.1 El trigo generalidades**

El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de la gramínea y produce un conjunto de frutos modificados que se fusionan con su sola semilla, en una espiga terminal y puede ser silvestre o cultivada. De sus granos molidos se saca la harina. Existen dos tipos de harina: a) Tipo A o panificable con tres grados de calidad (común o estándar, fina y extrafina), y; b) Tipo B o sémolas (no panificables), en donde se incluyen las harinas para elaborar pastas y macarrones. El destino principal de la harina es la elaboración de pan y en menor medida la fabricación de pasteles, galletas y pastas. El trigo harinero llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo. (Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías [CONAHCYT], 2019).

### 2.1.2 Taxonomía

El nombre científico del trigo es "*Triticum*", las demás características de su taxonomía la podemos ver en la siguiente lista:

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae, Pooideae</i>
Tribu	<i>Triticeae</i>
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Triticum aestivum</i>

(Estrada, 2022).

### 2.1.3 Descripción botánica de las plantas de trigo

#### 2.1.3.1 Raíz

El trigo posee una raíz fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad (Becerra & Tuñoque, 2018).

#### 2.1.3.2 Tallo

Los tallos del trigo al igual que los demás cereales, son visiblemente fraccionados por nudos y entrenudos; los nudos son sólidos y constituyen la conexión vascular de las hojas del tallo; los entrenudos son huecos, la altura que alcanzan los tallos del trigo, generalmente oscila entre 60 y 120 cm, existen sin embargo trigos enanos (30 – 40 cm) que normalmente resultan ser débiles competidores de las malezas y difícil recolección o cosecha (Rincón, 2017).

### **2.1.3.3 Hoja**

Las hojas del trigo tienen una forma lineal-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas (Becerra & Tuñoque, 2018).

### **2.1.3.4 Espiga**

Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores (Conacyt, 2019).

### **2.1.3.5 Fruto**

Se desarrolla después de la polinización y alcanza su tamaño normal en los siguientes 30 a 45 días. El fruto es un grano cariósipide de forma ovalada con un sutura o pliegue en la parte ventral, en un extremo lleva germen o embrión y en el otro una pubescencia llamada generalmente brocha o mechón. El grano este cubierto por la cascarilla o pericarpio normalmente de color rojo o blanco según las variedades; el resto, que constituye la mayor parte lo forma el endospermo ya sea blanco almidonoso o cristalino. Los granos de tipo almidonoso, son los utilizados en la extracción de harina para la industria panadera mientras que los tipos cristalinos producen semolina que servirá para la industria macarronera (Villarreal, 2000).

### **2.1.4 Clasificación científica del trigo**

Las especies de trigo se clasifican en función del número de cromosomas de las células vegetativas. Se reconocen tres series: diploide o carrón, con 14 cromosomas; tetraploide o escanda con 28 cromosomas, y hexaploide, con 42 cromosomas. Las especies de trigo se hibridan con bastante frecuencia en el medio natural. La selección de las mejores variedades para su cultivo tuvo lugar en muchas regiones hace siglos (Antonini, 2010).

### 2.1.5 Clasificación de acuerdo a su dureza de grano

**Cuadro 1. Clasificación del trigo según su dureza de grano (Calixto, 2018).**

<b>Clasificación del trigo/ Grupo</b>	<b>Tipo de gluten / Fuerza</b>	<b>Características / usos industriales</b>	<b>Textura del endospermo</b>
<b>I</b>	Fuerte y elástico $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	Produce harina panificable. Industria mecanizada de panificación. Se usa como mejorador de trigos suaves	Duro o semiduro
<b>II</b>	Medio fuerte y elástico $W < 200 - \leq 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	Produce harina panificable. Industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado. Se usa como mejorador de trigos suaves.	Duro o semiduro
<b>III</b>	Suave y extensible $W > 200 \times 10^{-4} \text{ J}$	No producen harinas panificables por sí solos. Se necesita mezclar con trigos fuertes y medio fuertes. Industria galletera y elaboración de tortillas y frituras.	Suave (blando)
<b>IV</b>	Corto y tenaz $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$	No produce harinas panificables. Se necesita mezclar con trigos fuertes. Ideal para la industria pastelera y elaboración de galletas.	Duro o semiduro (no panificable)

<b>V</b>	Tenaz, corto y cristalino con contenido de caroteno $W > 300 \times 10^{-4}$ J	No es panificable, adecuado para la industria de pastas, espaguetis y macarrones.	Muy duro y cristalino (no panificable)
----------	--	---	--

## 2.1.6 Clasificación del trigo según época de siembra del cultivo

### 2.1.6.1 Trigos invernales

Se siembran en otoño – invierno y se cosechan en primavera – verano (Antonini, 2010). Las variedades consideradas como invernales tienen características de resistencia a temperaturas relativamente bajas germinando en algunas ocasiones a 0 °C, la integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1.850 °C y 2.375 °C, la temperatura no puede ser demasiado fría en invierno (Ramírez, 2017).

Puede acelerar su desarrollo mediante la exposición a un periodo de temperaturas relativamente bajas, el proceso es conocido como vernalización, estas bajas temperaturas se conocen como temperaturas vernalizantes y se definen más por su efecto que por sus valores (Ramírez, 2017).

### 2.1.6.2 Trigos de primavera

Se establecen en primavera y se cosechan a principios del otoño. Son aptos para lugares donde se padecen inviernos muy rigurosos, las recolecciones se hacen antes de que comiencen los riegos de otoño. (Antonini, 2010).

La producción de trigo en altas latitudes se beneficiará inicialmente del incremento de temperaturas, mientras que en bajas latitudes el rendimiento de trigo disminuirá por el incremento de las temperaturas. Las altas temperaturas durante el llenado de grano



normalmente reducen el rendimiento y aumentan el contenido proteico del grano (Ramírez, 2017).

### **2.1.7 Importancia mundial del trigo**

Los granos básicos, son alimentos indispensables en la dieta diaria de las personas a nivel mundial por su aportación de nutrientes, entre los más importantes se encuentran el maíz, frijol, trigo y arroz (Herrera, 2022).

Haciendo referencia específica al trigo, en el mundo se producen distintas variedades; sin embargo, el más común y conocido es el “trigo harinero”, se estima que más del 80% de esta especie es utilizada en la elaboración de pan y pastas para el consumo humano (Herrera, 2022).

En el mundo se siembra trigo en alrededor de 75 países (Estrada, 2022). Los cinco principales productores de trigo participaron en conjunto con 64.8 por ciento del total mundial: China (17.3), Unión Europea (16.2), India (13.9), Rusia (11.0) y Estados Unidos (6.4 por ciento). México se ubicó en la posición 23, con una participación de 0.4 por ciento (FIRA, 2021).

Tomado como referencia los registros del USDA y de la FAO durante los años 2020 y 2021 la producción mundial fue alrededor de 775 millones de toneladas de trigo, siendo históricamente China el país con mayor producción anual representando aproximadamente el 17% del total, seguido de la India y Rusia (Herrera, 2022).

Entre los ciclos 2016/17 y 2020/21, el consumo mundial de trigo creció a una tasa promedio anual de 1.4 por ciento, para ubicarse en un máximo histórico de 775.8 mdt. El 79.7 por ciento correspondió al consumo humano e industrial y 20.3 por ciento a consumo forrajero. El consumo humano e industrial del cereal creció a una tasa promedio anual de 1.3 por ciento en el período, mientras que el consumo forrajero lo hizo a una tasa promedio anual de 1.7 por ciento (FIRA, 2021).

### **2.1.8 Importancia nacional del trigo**

En México, el trigo es la tercera fuente de nutrientes de bajo costo en la dieta alimenticia después del maíz y el frijol, sobre todo para las poblaciones rurales y urbanas de escasos recursos; además, su cultivo, procesamiento y consumo generan una importante derrama económica y un gran número de empleos en varios sectores y actividades de la cadena del Sistema Producto Trigo (SPT). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el 2008 el trigo en México ocupó el décimo segundo lugar en el valor de la producción agropecuaria; un año antes había ocupado el 9no. Puesto. De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SADER), el trigo es el segundo cultivo que más ingresos genera a nivel nacional (Zavala *et al.*, 2022).

Los cinco principales estados productores de trigo en el país son Sonora, con 1.8 millones de toneladas; Baja California, 579 mil toneladas; Sinaloa, 364 mil toneladas; Guanajuato, 291 mil toneladas y Michoacán, 209 mil toneladas. En conjunto, dichos estados aportan el 87.1 por ciento de la producción total de trigo, donde Sonora participa con el 49.4 por ciento; Baja California, 15.1 por ciento; Sinaloa, 9.5 por ciento; Guanajuato, 7.6 por ciento y Michoacán, 5.4 por ciento (SADER, 2017b).

Sin embargo, este cultivo se produce en 23 entidades del país en una superficie registrada de 728 mil 900 hectáreas. Otras entidades productoras de trigo son Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, Tlaxcala, Coahuila, Baja California Sur, Durango, Oaxaca, Estado de México, Zacatecas, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla y Veracruz, entre otras (SADER, 2017b).

Respecto a las entidades que reportaron los mayores crecimientos en producción entre 2015 y 2016, destacan Coahuila, 29.4 por ciento; Puebla, 17.1 por ciento; Michoacán, 16.9 por ciento; Sonora, 16.3 por ciento; Veracruz, 14.2 por ciento; Sinaloa, 13.3 por ciento; Oaxaca, 10.7 por ciento, y Baja California, 7.9 por ciento (SADER, 2017b).

### **2.1.9 Importancia regional del trigo**

La región del Bajío, que comprende parte de los estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro, es la segunda zona productora de trigo del país, con una superficie cosechada en el periodo 2000-2017 de 119,954 ha. Durante este periodo en Guanajuato se cosechó un promedio de 62,625 ha con una producción media de 334,869 t y un rendimiento medio de 6.4 t ha<sup>-1</sup>; en Michoacán, Jalisco y Querétaro se cosecharon 31 mil, 26 mil y 371 ha, con una producción de 156,468; 138,766 y 2,537 t y un rendimiento medio de 5.0, 5.6 y 5.6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El Bajío contribuye con el 28.3% de la producción nacional, debido a su ubicación geográfica y a las condiciones ambientales que favorecen la obtención de los más altos rendimientos en el país (Solís *et al.*, 2018).

Históricamente el estado de Guanajuato ha jugado un papel clave en la producción de trigo; en el Bajío surge y se desarrolla a partir de la colonización, los principales municipios productores de trigo en el Bajío de 1930 a la fecha son: Salamanca, Pénjamo, Valle de Santiago, Irapuato, Abasolo, Jaral del Progreso, Villagrán, Cortázar, Huanímaro, León, Pueblo Nuevo, Cuerámara, Silao, Romita, Manuel Doblado, San Francisco del Rincón, Purísima del Rincón y Apaseo el Grande (Gómez *et al.*, 2013).

Guanajuato es uno de los ocho principales estados productores de trigo en México. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el ciclo Otoño – Invierno 2019-2020 se sembraron 58,859 hectáreas de trigo para grano en esta entidad (Solís y García, 2021).

### **2.2 Cambio climático**

El clima es el resultado de una compleja interacción entre varios elementos y factores; por ello, una pequeña modificación altera todo el sistema. Para adaptarnos a un clima diferente necesitamos saber cómo está cambiando el clima a nivel global, regional y local (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, [INECC], 2018).

El cambio climático genera grandes impactos tales como modificación de los patrones naturales de precipitación, inundaciones recurrentes, sequías más prolongadas, aumento en el número de días y noches cálidas a nivel global, disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico, disminución en la productividad agrícola, disminución de los glaciares a nivel mundial, pérdida de biodiversidad y cambio en la composición de los ecosistemas, disminución de la temperatura promedio en ciertos lugares, mayor propensión a incendio forestales, alteración de los ciclos biológicos y distribución geográfica de la flora y fauna, alteración de los vectores de enfermedades infecciosas en ciertas áreas (INECC, 2018).

El cambio climático es uno de los problemas de interés en la agenda mundial porque sus efectos se ven reflejados en todos los países, ya sea en mayor o menor medida. Sus causas pueden ser naturales o antropogénicas y se espera que el sector más perjudicado económicamente por el cambio climático sea la agricultura, viéndose afectado por la disminución del ingreso económico (Lucero *et al.*, 2022).

Las condiciones socio económicas como la pobreza y las desigualdades, la fragilidad de los ecosistemas naturales y las características geográficas y climáticas de nuestro país, hacen que México sea altamente vulnerable al cambio climático. Los efectos del cambio climático ya son tangibles en el territorio nacional, las temperaturas mínimas y máximas presentan una tendencia a un incremento de noches cálidas y una disminución de noches frías en todo el país. Se espera que entre 2015 y 2039 el promedio de la temperatura anual en el país haya aumentado 1.5 °C y 2 °C en el norte del territorio (Estrada, 2022).

El gas más abundante que se emite en México es el bióxido de carbono con 71% de las emisiones, seguido del metano con 21%, del total de estas emisiones 64% provienen del consumo de combustibles fósiles, 10% se originan por los sistemas de producción pecuaria, 8% provienen de los procesos industriales, 7% se emiten por el manejo de residuos, 6% por las emisiones fugitivas por extracción de petróleo, gas y

minerías, y 5% se generan por actividades agrícolas. El agotamiento y la degradación ambiental durante el proceso productivo genera costos ambientales, en 2018, estos costos registraron un monto por 1,019,751 mdp (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2020).

### **2.2.1 Impactos del Cambio Climático en la Agricultura**

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático a nivel mundial, ya que es altamente sensible a los cambios de temperatura y a los regímenes de precipitación. Estos cambios tendrán efectos en el rendimiento y distribución de los cultivos, en la variación de los precios, la producción y el consumo, además de afectar el bienestar de las familias productoras. Se espera que los rendimientos de los granos básicos, como arroz, maíz y trigo, disminuyan significativamente a nivel mundial para el año 2050, con diferencias entre países en vías de desarrollo y los países desarrollados. Los efectos e impactos sobre los sistemas agrícolas de cada país variarán según la interacción entre el clima, la topografía, los tipos de suelo, los tipos de cultivo, la disponibilidad de agua y las clases de cultivos, ganado y árboles utilizados por los productores en sus plantaciones (Viguera *et al.*, 2017).

Algunos efectos del cambio climático en la agricultura son: reducción de productividad y rendimiento asociados a menor disponibilidad de agua en los acuíferos, aumento de la concentración de contaminantes, pérdida de humedad del suelo, etc.; impacto en la fenología de la planta, manifestándose por floraciones erráticas, o cosechas continuas; erosión y degradación de la tierra, sedimentación en cauces y reservorios de agua, desbordamientos, deslizamientos y derrumbes provocados por lluvias inesperadas, lluvias torrenciales y otros eventos extremos como huracanes. Algunos hongos, insectos y virus se verán favorecidos por las nuevas condiciones climáticas, más calientes y de humedad variable y por el debilitamiento de los enemigos naturales, así como por la introducción de nuevos patógenos asociados a nuevas variedades (Viguera *et al.*, 2017).

Si bien es cierto, son múltiples los factores que pueden ocasionar variaciones en la producción agrícola, siendo algunas de las causas atribuidas a cambios en las condiciones climáticas. El principal caso de esto es el cultivo del trigo, que en años resientes los productores de este cereal han experimentado pérdidas económicas por la baja producción por la falta de horas frío en su ciclo de siembra (Moreno, 2019). Alrededor de la mitad de la cosecha de trigo del mundo sufre estrés por calor, y cada aumento de 1 °C en la temperatura reduce los rendimientos de trigo en un promedio del 6% (Listman, 2023).

Las sequías y la reducción de los acuíferos plantean amenazas igualmente preocupantes para el trigo, además el cambio climático es un factor importante de posibles epidemias de enfermedades, ya que el clima cambiante puede aumentar la presión de selección para que evolucionen nuevos patotipos virulentos los cuales son amenazas considerables para la producción de este cereal (Listman, 2023).

### **2.3 Mejoramiento genético**

El mejoramiento de las especies cultivadas comenzó cuando inició la agricultura. Los primeros agricultores, intuitivamente seleccionaron semillas de aquellas plantas que producían los mejores frutos (frutos que les gustaban más), estos agricultores ya comenzaron a seleccionar a los cultivos como los conocemos en la actualidad, hace ya más de 10 siglos (Nakayama *et al.*, 2018).

Darwin y Mendel establecieron las bases del mejoramiento genético moderno en el siglo XIX. Luego, con el crecimiento del conocimiento en genética, patología, fisiología, estadística entre otras disciplinas y nuevas tecnologías asociadas al mejoramiento genético en el siglo XX y XXI, los mejoradores genéticos han contribuido de manera enorme en el aumento de la producción de alimentos y a la seguridad alimentaria mundial. En las últimas décadas, debido al cambio climático, la necesidad de alimentos sanos e inoocuos y el aumento de la población mundial, requiere una respuesta rápida a estas problemáticas como también las asociadas a la agricultura y la seguridad alimentaria (Núñez *et al.*, 2020).

El mejoramiento genético de plantas se define como el conjunto de operaciones que partiendo de un grupo de individuos cuyas cualidades no se encuentran en la condición requerida, permite obtener otro grupo capaz de reproducirse, que se denomina cultivar y que constituye un progreso en algunas características, como un medio para satisfacer, cada vez en mejor forma, las necesidades de la humanidad (Nakayama *et al.*, 2018).

En general el mejoramiento genético comprende la combinación de lo científico con lo tecnológico, para mejorar la producción, calidad, sanidad, tolerancia a plagas y estreses abióticos con una estrategia integrada de selección, lo cual permite hacer un uso eficiente de la variabilidad genética disponible en el germoplasma o de la generada por métodos de selección específicos según los modos de reproducción o las estructuras genéticas involucradas (Rimieri, 2021).

### **2.3.1 Mejoramiento genético en trigo**

El mejoramiento genético de trigo en México inició en 1944, en el ahora denominado Campo Experimental Valle de México, bajo el mandato del Dr. Norman E. Borlaug. Sus investigaciones originaron las primeras variedades en 1948, que en la década de 1950's mostraron resistencia a la roya del tallo y en 1960's redujeron el porte de planta y generaron variedades que al sembrarse en África, India y Pakistán pusieron en marcha la 'Revolución Verde', impactos que galardonaron al Dr. Borlaug con el Premio Nobel de la Paz. En 1974 se diferenciaron tres programas de cruzamiento y selección: Noroeste, Bajío y Temporal; el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, tiene mayor acción en el Noroeste, pero apoya a Bajío y Temporal. Con la creación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, éstos continuaron con su misión de liberar variedades (Villaseñor *et al.*, 2021).

Hasta 2020 han pasado 76 años y se han obtenido 154 generaciones de recombinación, ubicando al programa nacional entre los más dinámicos del mundo, con la contribución de más de 250 variedades: 140 liberadas por el INIFAP, que han sido base de la producción nacional, incrementar la producción de grano en riego y fortalecer la investigación para el control de enfermedades, mayor eficiencia en el uso

de agua, tolerancia a sequía y calor y calidad, a medio plazo controlar las royas y liberar las variedades (Villaseñor *et al.*, 2021).

## **2.4 Interacción genotipo ambiente**

Para evaluar el comportamiento de los cultivares durante su mejoramiento genético y hasta antes de su liberación, es necesario tener puntos de comparación, entre los nativos, criollos o variedades regionales, además de establecer evaluaciones en diversos ambientes, en los que muestren su comportamiento sobresaliente y su potencial de rendimiento. Esta respuesta diferencial de los cultivares a condiciones ecológicas contrastantes es conocida como la interacción genotipo ambiente (Gámez *et al.*, 2020).

Un genotipo se considera estable cuando sus rendimientos se relacionan con las condiciones ambientales; al mejorarlos, también lo hace el rendimiento, que presenta pequeñas variaciones, y esa capacidad del genotipo se relaciona con su capacidad fisiológica para regular los cambios del ambiente (homeostasis). Ahora bien, si el rendimiento de un genotipo es similar o no varía entre ambientes, entonces se asume que el genotipo es estable desde el punto de vista biológico, comportamiento conocido como estabilidad estática; dicho genotipo no tiene valor económico ya que no corresponde con un mayor rendimiento al mejorar el ambiente donde se cultiva (Gámez *et al.*, 2020).

Desde el punto de vista agronómico se dice que el genotipo es estable si su rendimiento se eleva cuando las condiciones del ambiente mejoran, estabilidad conocida como dinámica, esta respuesta sí tiene valor económico; cuando esta estabilidad se obtiene a través de evaluaciones en el tiempo (años y fechas de siembra) se clasifica como estabilidad temporal o adaptación, la primera como producto de evaluaciones en diferentes ambientes dentro de un mismo año y la segunda se da a través de años. Cuando un genotipo no tiene estabilidad temporal existe mayor riesgo para los ingresos de los productores año con año, así como la producción de alimentos (Gámez *et al.*, 2020).



## **2.5 Componentes del rendimiento**

El rendimiento y los componentes de rendimiento dependen básicamente de la expresión de la variedad o genotipo, del ambiente y de la interacción del genotipo por el ambiente; para entender las relaciones que existen entre el genotipo y el ambiente, es necesario conocer la fisiología del cultivo y su relación con las características que definen el rendimiento, con relación a esto, varios estudios han demostrado que las variables climáticas son los principales factores que condicionan el crecimiento y el buen desarrollo del cultivo (Burbano *et al.*, 2022).

En estudios fisiológicos, tradicionalmente se analizan el rendimiento en términos de componentes numéricos. El rendimiento de grano es una función de componentes primarios: número de granos por m<sup>2</sup> y peso de grano. El primero, a su vez, tiene subcomponentes como plantas por m<sup>2</sup>, espigas por planta, espiguilla por espiga y granos por espiguilla (Suaste, 2009).

### **2.5.1 Índice de cosecha**

El Índice de Cosecha (IC) es una característica utilizada en los programas de mejoramiento genético de los cultivos y en la evaluación de la respuesta a diferentes tratamientos agronómicos, además, se presenta como una herramienta que permite la interpretación de la respuesta de los cultivos a diferentes ambientes y condiciones climáticas. La mejora en el rendimiento potencial del trigo es en gran parte una consecuencia de la mejora en el IC y su vez el mejoramiento del IC deriva del incremento en el número de granos y del peso individual del mismo (Villafaña, 2013).

El IC indica la cantidad de materia seca acumulada en el órgano de interés agronómico, en relación a la biomasa total (Cárdenas *et al.*, 2019). El IC se relaciona con la capacidad de la planta para movilizar fotoasimilados hacia el grano, lo cual es importante para el rendimiento bajo condiciones de estrés por calor (Anaya *et al.*, 2022).

### **2.5.2 Biomasa**

El proceso de creación de biomasa se resume en lo siguiente. Las plantas, como organismos autótrofos, tienen la capacidad de sintetizar su propia masa corporal o biomasa a partir de los elementos y compuestos inorgánicos del medio, en presencia de agua como vehículo de las reacciones y con la intervención de la luz solar como aporte energético para estas, el resultado de esta actividad, es decir los tejidos vegetales, constituyen la producción primaria (Martínez y Leyva, 2014).

La cantidad de biomasa en un periodo determinado recibe el nombre de producción de un sistema, la medición de cosecha es una medición de biomasa, entendiéndose por biomasa el peso seco de sustancias vivientes en un momento determinado (Martínez y Leyva, 2014).

### **2.5.3 Espigas por metro cuadrado**

En trigo, el número de granos queda definido a través de las distintas etapas del cultivo y fundamentalmente, dentro de la etapa reproductiva. El lapso que media desde 20 días prefloración y 10 posfloración, es de suma importancia para la generación del número de granos por unidad de área y esto está ligado a la tasa de crecimiento de espigas durante este período (Balbi *et al.*, 2013).

Las espigas empiezan a crecer cuando tienen solo el 5% de su peso final, esto ocurre 20-25 días antes de antesis. Entonces, el período de crecimiento de las espigas dura 27-32 días dependiendo de las condiciones ambientales, con poca variación entre cultivares. Así, las condiciones ambientales que se presentan durante este período crítico, inciden de manera importante en el número final de granos establecidos. En ese período se define el número de macollos que producen espigas, estableciendo el número de espigas por unidad de área y el número de primordios florales que sobrevivan en cada espiguilla, obteniéndose, como resultado, el número de flores fértiles a floración, las que finalmente tras el cuaje, quedan establecidas como grano. Del producto de ambos componentes (número de espigas.m<sup>-2</sup> y granos espiga<sup>-1</sup>) surge el número de granos por unidad de área. La relación positiva entre el peso de las

espigas y el número de flores fértiles en floración, demuestra que la cantidad de recursos alojados en la espiga; es fundamental para lograr un alto número de granos. De esta manera ante valores iguales de partición de asimilados a espigas, una mayor cantidad de biomasa acumulada a floración determina un mayor peso de las espigas y por lo tanto un mayor número de granos (Balbi *et al.*, 2013).

#### **2.5.4 Número de granos**

De los dos componentes que forman el rendimiento, el número de granos producidos es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final más que cualquier cambio en el peso individual. La determinación del número de granos, en este cereal, se ha considerado fundamental para intentar obtener los cambios en el rendimiento por causas de manejo y también por el efecto del genotipo. La duración de las etapas de crecimiento y desarrollo en trigo dependen del ambiente, principalmente temperatura, fotoperiodo y vernalización como así del genotipo y de su sensibilidad a los factores ambientales (Lóele, 2011).

#### **2.5.5 Peso de granos**

El mejoramiento genético ha provocado cambios pequeños y en algunos casos el incremento del rendimiento a ocasionado reducción de peso de grano. A través de la manipulación del desarrollo fásico, se ha tratado de influir en la expresión de los componentes del rendimiento para incrementar su potencial. El peso individual de las gramíneas está definido por la duración del periodo comprendido entre la polinización y la madurez fisiológica, al cual se le conoce como periodo de llenado de grano, en este periodo se acumulan biomasa en el grano, la acumulación de dicha biomasa esta es determinante del peso individual (Suaste, 2009).

#### **2.5.6 Relación entre número y peso de grano**

El rendimiento de grano puede calcularse con el producto del número de granos por unidad de superficie por el peso por grano; el número de granos es el principal componente del rendimiento, ya que el peso del grano ha mostrado ser un componente poco afectado por el ambiente, El rendimiento de grano por unidad de área de suelo,

también se puede expresar en términos de la cantidad de energía usada para su producción (Pecina *et al.*, 2011).

En general por el número de granos por m<sup>2</sup> está relacionado negativamente con el peso de grano en un análisis acerca de esta relación señalan que los cultivares modernos presentaron mayor número de grano por m<sup>2</sup> y menor peso de grano en que los cultivares antiguos. Esto implica que mientras el mejoramiento genético del rendimiento fue debido principalmente a un incremento en el número de granos por m<sup>2</sup> el componente peso de grano ejercía un efecto contrario, por lo que el mejoramiento genético futuro con la finalidad de incrementar el potencial de rendimiento de grano a través del número de granos por m<sup>2</sup> se podría impedir o retardar por un efecto compensatorio al reducir peso de grano (Suaste, 2009).

## **2.6 Fecha de siembra del trigo**

La fecha de siembra es una de las decisiones más importantes que el productor de trigo debe tomar en cada inicio del ciclo agrícola, sobre todo cuando se trata de producción de semilla, por lo que deberá considerar diversos factores que afectan directa e indirectamente el potencial de rendimiento de la variedad a utilizar (Noriega *et al.*, 2019).

Según Azueta & García (2017) la elección de la fecha de siembra es una de las decisiones de manejo de mayor impacto sobre la determinación del rendimiento en trigo. Junto a la elección de la densidad, el arreglo espacial y el genotipo, definen la estructura del cultivo, la cual debe ajustarse al ambiente a explorar. Es importante destacar dos características relevantes de estas medidas de manejo: (i) son decisiones con una alta relación beneficio/costo debido, por ejemplo, a que el cambio en la fecha de siembra tiene un costo similar, mientras que la diferencia de rendimiento puede ser muy importante, y (ii) son decisiones que se toman tempranamente en el planteo productivo, no pudiendo ser corregidas o modificadas a posterioridad dentro de la misma campaña.

La fecha de siembra se establece a partir de ensayos que se realizan en las diferentes regiones productoras de trigo, por instituciones de investigación como: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y de algunas de Educación Agrícola, y ha sido a través de muchos años de ensayos que en términos generales se puede establecer que el trigo puede sembrarse desde el 1° de noviembre al 31 de diciembre, siendo del 15 de noviembre al 15 de diciembre la fecha óptima de siembra, donde se obtienen los rendimientos más altos y se reducen los problemas fitopatógenos y de plagas. En siembras tempranas la planta puede ser afectada por la presencia de heladas en etapas susceptibles como el embuche y floración, estas fechas producen una planta más vigorosa, alta, con mayor número de hijuelos, en cambio en fechas tardías en el mes de enero, la planta se desarrolla poco, con menor altura, un menor número de hijuelos, espigas más pequeñas, menor número de espiguillas por espiga y menor peso del grano, con la posibilidad de presentarse daños por estrés por calor, ya que en estas fecha la etapa de formación de grano coincide con altas temperaturas provocando esterilidad en el grano del polen o inhibir la formación normal del ovario, reduciéndose así el número de granos formadas por espiguilla y granos de menor peso (Ávila *et al.*, 2019).

## CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

### 3.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, ubicado en el Km 6.5 de la carretera Celaya – San Miguel de Allende, en Celaya GTO, cuya localización geográfica se encuentra aproximadamente a 20° 34´ Latitud Norte; 100° 49´ Longitud Oeste; y una altura de 1762 msnm. El clima característico del área donde se encuentra el CEBAJ presenta valores de precipitación media anual de 578 mm y temperatura media anual de 19.8 °C (Figura 1).



**Figura 1. Localización del INIFAP Campo Experimental Bajío, extraído de Google Earth 2017**

### 3.2 Diseño experimental

La investigación se realizó durante el ciclo de Otoño – Invierno (IO) 2022 – 2023. Se evaluaron 36 genotipos de trigo (*Triticum* spp L.), en tres fechas de siembra: 15 de noviembre 2022 (FSA), 15 de diciembre 2022 (FSB), 15 enero del 2023 (FSC).

El diseño experimental se estableció mediante el modelo Alpha latice 6 x 6 con tres repeticiones por fecha de siembra, la siembra se hizo a una densidad de 120 kg ha<sup>-1</sup>. La parcela experimental y útil fueron 2 surcos de 3 metros de largo sembrados a 2 hilos en cada surco, separados a 75 cm lo que es 4.5 m<sup>2</sup> (Figura 2).



Figura 2. Diseño experimental Alpha latice 6 x 6

### 3.3 Manejo agronómico

Se realizaron tres fechas de siembra en el periodo de Otoño – Invierno en las cuales se aplicó una dosis de fertilización del 240 – 60 – 00 (NPK), la mitad de nitrógeno y todo el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio; las fuentes empleadas fueron sulfato de amonio con 20.5% de N, y para fósforo MicroEssentials®SZ con 12% N – 40% P – 10% Azufre – 1% Zinc. El agua fue suministrada por el método de riego rodado con un calendario de 5 riegos programados desde los 0, 35, 65, 85, 105 días.

### 3.4 Material genético utilizado

<b>Cuadro 2. Genotipos evaluados en tres fechas de siembra durante el ciclo IO 2022-23</b>	
<b>Nvar</b>	<b>Variedad o cruza</b>
1	Cortázar S94
2	Urbina S2007
3	Chapultepec
4	Borlaug100 F2014
5	Maya S2007
6	Barobampo C2015
7	Bárcenas S2002
8	Ibis M2016
9	Bacorehuis F2015
10	Conatrigo F2015
11	Alondra F2014
12	Noreste F2018
13	Hans F2019
14	Conasist C2015
15	Faisán S2016
16	Salamanca S75
17	HALITA/COLIBRI//THELIN/2*WBL1



<b>18</b>	Rio Bravo C2018
<b>19</b>	ENE/ZITA/3/WBLL4/KASOS//PASTOR/8/TACUPETO F2001/6/CNDO/R143//ENTE/WIEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)/4/WEAVER/5/PASTOR/7/ROLF07
<b>20</b>	V-20
<b>21</b>	DIAMANTE/SILVINITA//CELESTINA
<b>22</b>	Don Goyo C2019
<b>23</b>	Imperial
<b>24</b>	Luminaria F2012
<b>25</b>	Cisne F2016
<b>26</b>	Fuerte Mayo F2016
<b>27</b>	IBIS//LOTH/GRACIA/4/PASA/CUBA//CIRA/3/ENE/ZITA
<b>28</b>	DIAMANTE/SILVINITA//CELESTINA
<b>29</b>	Quetchehueca Oro C2013
<b>30</b>	Isabel Oro C2018
<b>31</b>	Anatoly C2011
<b>32</b>	Baroyeca Oro C2013
<b>33</b>	Testigo A
<b>34</b>	Elia M2016
<b>35</b>	HALITA/COLIBRI//THELIN/2*WBLL1
<b>36</b>	Testigo B

### 3.5 Variables evaluadas

**Días de espigamiento (DE):** Se cuantificó cuando en el 50% de la parcela hubieran emergido las espigas de la vaina de la hoja bandera.

**Altura de planta (AP):** Se midió al ras del suelo hasta la punta de la espiga (cm).

**Días a madurez (DM):** Cuando el 50% de la parcela presenta un color dorado especialmente en el pedúnculo y la espiga.

**Índice de Cosecha (IC):**

$$\text{Índice de cosecha} = \frac{\text{Peso de grano de 100 tallos (gr)}}{\text{Peso de 100 tallos (gr)}}$$

**Biomasa (BIO):**

$$\text{Biomasa} = \frac{\frac{\text{Rendimiento de parcela (kg ha}^{-1}\text{)}}{1000}}{\text{Índice de cosecha}}$$

**Peso de 1000 granos (PMG):** En gramos

**Gramos por metro cuadrado (GPM2):**

$$\text{Gramos por metro cuadrado} = \frac{\frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)}}{10}}{\frac{\text{Peso de mil granos (gr)}}{1000}}$$

**Espigas por metro cuadrado (EPM2):**

$$\text{Espigas por metro cuadrado} = \frac{\text{Biomasa (t ha}^{-1}\text{)}(100)}{\frac{\text{Peso de 100 tallos (gr)}}{100}}$$

### 3.6 Análisis estadístico de los resultados

Con los datos obtenidos en cada fecha de siembra, se realizó el análisis de varianza combinado para rendimiento de grano. Para este análisis, el modelo que explica el comportamiento de cualquier genotipo en los diferentes ambientes (fechas de siembra) de evaluación es:

$$Y_{ijk} = \mu + a_k + (r_j)_k + gi + (ga)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = comportamiento medio del genotipo “i” en la repetición “j” en el ambiente “k”

$\mu$  = media general a través de todos los ambientes

$a_k$  = efecto del ambiente “k”

$(r_j)_k$  = efecto de la repetición “j” dentro del ambiente “k”

$gi$  = efecto del genotipo “i”

$(ga)_{ik}$  = efecto de la interacción del genotipo “i” en el ambiente “j”

$\varepsilon_{ijk}$  = error experimental combinado

#### 3.6.1 Análisis AMMI

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos de las variables evaluadas se empleó el modelo AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction). El cual combina el ANOVA como modelo aditivo para los efectos principales y los componentes para analizar la estructura multiplicativa de la interacción genotipo – ambiente (IGA) (Celis, 2018).

Este modelo considera como efectos aditivos principales el genotipo y ambiente mediante el análisis de varianza y la interacción (GxA) como efecto multiplicativo por medio de un análisis multivariado de componentes principales (CP). El análisis de varianza es un modelo aditivo que describe los efectos principales de manera eficaz y determina si la IGA es una fuente significativa de variación, pero no da información sobre los patrones de comportamiento de genotipos y ambientes que dan lugar a la interacción GA (Gámez *et al.*, 2020).

Para analizar la estructura multiplicativa de la interacción, la forma funcional del modelo AMMI es:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{n=1}^N B_n \cdot t_{ij} \cdot \delta_{jn} \cdot E_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Rendimiento medio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$

$\mu$  = Media general

$G_i$  = Efecto principal del genotipo  $i$

$A_j$  = Efecto principal mejor del ambiente  $j$

$N$  = Numero de ejes de los componentes principales (CP) del modelo, producto de la SVD

$B_n$  = Valores singular de cada CP

$t_{ij}$  = Valor de los vectores de los genotipos para cada CP

$\delta_{jn}$  = Valor de los vectores de ambientes para cada CP

$E_{ij}$  = Error experimental residual

El análisis AMMI es un estimador mejorado del comportamiento de un genotipo en un ambiente, permitiendo calcular un efecto particular de la interacción (GxA) para todos los genotipos considerados. El genotipo con el menor valor absoluto es calificado como el más estable. A partir del primer componente principal, caso sea significativo y representativo (70%) de la interacción, se considera que concentra la mayor varianza en (GxA), siendo posible generar un gráfico (Biplot o doble representación) con la variable medidas, que representa las similitudes (grupos homogéneos) de genotipos y de ambientes (Celis, 2018).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de varianza individual

#### 4.1.1 Fecha de siembra A (FSA)

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas en las variables días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento por hectárea (RG), peso de mil granos (PMG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO), granos por metro cuadrado (GPM2), espigas por metro cuadrado (EPM2) en el factor de genotipos (Cuadros 3 y 4).

**Cuadro 3. Cuadros medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	GL	DE	DM	AP	RG
N. var	35	126.9**	18.5**	102.7**	882238.8**
REP	2	112.8	150.6	334	514785.6
BLOK	15	12.2	12	32	855036.7
Error	55	7.3	4.2	17.1	311104.2
Total	107				
CV		3.1	1.4	4.2	10.3

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

**Cuadro 4. Cuadros medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
N. var	36.1**	0.00088**	5.7**	5179201.9**	3059.8**
REP	13.3	0.00033	1.4	1461122.8	10177.4
BLOK	13.6	0.00058	4.4	2506107.4	1986.2
Error	8.5	0.00045	1.7	1477447.1	1068.2
Total					
CV	5	4.9	10.7	12.7	15.5

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

En la prueba de comparaciones de medias de tratamientos (Cuadro 5) fecha de siembra A, se muestra que de acuerdo con la variable días a espigamiento el genotipo con el ciclo más tardío fue el 3 (Chapultepec) con 99 días, seguido del genotipo 9 (Bacorehuis F2015) y 26 (Fuerte Mayo F2016) con 97 días; mientras que el genotipo más precoz fue el 1 (Cortázar S94) con 76 días, teniendo como diferencia 20 días entre sí; por otro lado, los primeros genotipos en llegar a su etapa de madurez fueron el 19 (Línea 19) y el 1 (Cortázar S94) a los 135 días y los genotipos que duraron más tiempo en terminar su ciclo fueron el 3 (Chapultepec) y el 26 (Fuerte Mayo F2016) completando su madurez fisiológica a los 146 días; al respecto Cherlinka (2023) menciona que los trigos de invierno pueden tardan un tiempo aproximado de 90 días en llegar a su ciclo de espigamiento y un total de hasta 160 días para completar su madurez fisiológica en los meses más fríos, dependiendo además de factores como el calor (especialmente la temperatura del suelo) y las precipitaciones o el riego que influyen en el tiempo que tarda el cultivo en crecer menciona también que el trigo de invierno, necesita más tiempo para madurar en climas helados porque allí hay más días sin potencial de crecimiento, lo que alarga dicho periodo. En la variable altura de planta los genotipos con mayor porte fueron 9 (Bacorehuis F2015), 17 (Línea 17), 26 (Fuerte Mayo F2016), 12 (Noreste F2018), 23 (Imperial), 14 (Conasist C2015), 31 (Anatoly C2011) y 13 (Hans F2019) con valores de 105 cm a 108 cm, el genotipo 7 (Bárcenas S2002) fue el de menor porte de planta con 86 cm; siendo alturas mayores a las registradas por Manangón (2014) con una diferencia de 14 cm de altura en sus plantas con mayor porte y 25 cm de sus plantas con menor porte.

Por otro lado en la variable rendimiento en kilogramos por hectárea el genotipo 21 (Línea 21) obtuvo el mayor rendimiento con 6982 kg, obteniendo además los valores más altos de biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado, esto debido a que dichos factores están estrechamente relacionados; según Balbi *et al.* (2013) el periodo de crecimiento de espigas varía debido a las condiciones ambientales que se presenten durante dicho periodo, el cual incide de manera importante en el número final de granos establecidos, los cuales a su vez comprenden un periodo de llenado de grano; en este periodo se acumula biomasa en el grano, la

acumulación de dicha biomasa es determinante del peso individual (Suaste, 2009). Seguido del genotipo 17 (Línea 17) con 6324 kg; mientras que el genotipo 24 (Luminaria F2012) fue el de menor rendimiento con 3749 kg y con los valores más bajos de biomasa y granos por metro cuadrado. En la variable de peso de mil granos se obtuvo una diferencia de 14 g entre los genotipos 5 (Maya S2007) que obtuvo el mayor peso con 64 g y 12 (Noreste F2018) que registró un peso de solo 50 g; el genotipo que presentó mayor índice de cosecha fue el 6 (Barobampo C2015) con 0.48, seguido de los genotipos 29 (Quetchehueca Oro C2013), 35 (Línea 35), 20 (V-20), 5 (Maya S2007), 31 (Anatoly C2011) con un índice de 0.47, mientras que genotipos como el 27 (Línea 27) y 9 (Bacorehuis F2015) registraron solo un 0.41 %. En la variable biomasa como pudimos observar anterior mente el genotipo con mayor biomasa fue el 21 (Línea 21) con 16.62 t y el genotipo 24 (Luminaria F2012) presentó el menor valor con tan solo 8.16 t; por otro lado, el genotipo 21 (Línea 21) obtuvo los mayores valores en las variables granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado con 12,618 granos y 351 espigas respectivamente; siendo el genotipo 24 (Luminaria F2012) el que presentó menor número de granos por metro cuadrado con tan solo 6628 y el genotipo 18 (Rio Bravo C2018) con menor número de espigas por metro cuadrado con 161.

**Cuadro 5. Comparaciones de medias de tratamientos de las variables evaluadas en el experimento FSA en el ciclo IO 2022 – 23.**

GEN	DE	DM	AP	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
1	76	135	93	5438	62	0.45	11.96	8678	242
2	78	136	96	4383	60	0.44	9.77	7309	180
3	99	146	100	5852	52	0.43	13.57	11116	210
4	95	143	103	6054	54	0.43	13.95	11264	214
5	79	141	90	5095	64	0.47	10.82	7894	201
6	91	141	100	6177	54	0.48	13.01	11439	227
7	77	136	86	5401	55	0.44	12.27	9789	237
8	79	136	90	4918	60	0.42	11.72	8125	200
9	97	144	108	4905	51	0.41	12.13	9608	201
10	95	144	101	5254	56	0.43	12.12	9267	210
11	83	141	98	4935	59	0.44	11.35	8321	174
12	94	142	105	5892	50	0.42	13.94	11781	260
13	92	144	105	5731	55	0.44	13.07	10370	167
14	92	141	105	5996	60	0.43	13.94	9960	236
15	84	140	95	5533	55	0.44	12.28	10086	244

16	85	141	93	4792	56	0.45	10.65	8450	240
17	89	142	106	6324	54	0.44	14.4	11572	227
18	93	143	90	5469	63	0.46	11.82	8669	161
19	77	135	101	5532	56	0.45	12.32	9747	229
20	92	142	100	5813	54	0.47	12.34	10657	194
21	87	140	101	6982	55	0.42	16.62	12618	351
22	93	143	88	5144	63	0.45	11.48	8141	192
23	86	141	105	5199	55	0.42	12.14	9458	188
24	77	138	88	3749	56	0.46	8.16	6628	177
25	81	140	103	4948	55	0.46	10.63	8966	181
26	97	146	105	4861	56	0.44	11.08	8710	173
27	82	138	100	5153	61	0.47	12.5	8392	215
28	88	141	96	5997	55	0.42	14.07	10847	242
29	92	141	93	6105	56	0.47	12.83	10833	196
30	88	141	95	4682	56	0.42	10.85	8199	168
31	87	138	105	5674	58	0.47	12.16	9802	193
32	93	142	103	4774	52	0.43	10.94	9142	173
33	81	139	93	4790	59	0.44	10.81	8088	202
34	84	140	101	5474	61	0.43	12.7	9075	209
35	86	140	103	6185	55	0.47	13.08	11188	225
36	77	136	91	5512	62	0.45	12.09	8894	242
DHS	9	7	13	1846	9	0.07	4.33	4024	108

GEN= genotipos, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS= diferencia honesta significativa.

#### 4.1.2 Fecha de siembra B (FSB)

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significantes en cada una de las variables días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento en kilogramos por hectárea (RG), peso de mil granos (PMG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO), granos por metro cuadrado (GPM2) y espigas por metro cuadrado (EPM2) ente genotipos (Cuadros 6 y 7).

**Cuadro 6. Cuadros medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	GL	DE	DM	AP	RG
N. var	35	26.9**	15.7**	121**	506013.7**
REP	2	5.4	50.5	84.2	9537223.1
BLOK	15	1	4.8	25.5	722413.2
Error	55	0.8	2.6	13.6	181109.3



Total	107				
CV		1.1	1.3	4.3	8.3

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

**Cuadro 7. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
N. var	43.2**	0.0016**	2.9**	2902075.8**	2021.7**
REP	56.2	0.0069	71.5	41808839.6	29070.5
BLOK	11.6	0.0057	5	2552638.9	2830.4
Error	9	0.0007	1.3	869411.1	642.7
Total					
CV	5.4	5.9	9.8	10.1	11.4

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

En el Cuadro 8 se presentan las comparaciones de medias para la fecha de siembra B, en las variables días a espigamiento (DE) y días a madurez (DM) los genotipos 9 (Bacorehuis F2015) y 26 (Fuerte Mayo F2016) mostraron un ciclo de espigamiento y de madurez fisiológica tardíos con 83 DE y 129 DM respectivamente, mientras que el genotipo 24 (Luminaria F2012) mostró ser el más precoz con tan solo 71 DE, y los genotipos 2 (Urbina S2007) y 25 (Cisne F2016) fueron los primeros en terminar su ciclo de madurez fisiológica. Para la variable altura de planta el genotipo con mayor porte fue el 26 alcanzado la altura de 1 m, seguido de los genotipos 17 (Línea 17), 9 (Bacorehuis F2015) y 10 (Conatrigo F2015), con una altura de 95 cm, el genotipo con menor porte de planta fue el 18 (Rio Bravo C2018) con 71 cm; según El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMIT] (2016), los trigos con baja estatura fueron el resultado de mejoramientos genéticos que se realizaron con el objetivo de obtener variedades de alto rendimiento, resistentes al acame y con la capacidad de producir más macollos que las variedades tradicionales, siendo los

genes *Rht1* y *Rht2*, los responsables de la corta estatura del trigo que confieren una reducción en la altura.

Por otro lado, el genotipo con mayor rendimiento fue el 20 (V-20) con un total de 5998 kg ha<sup>-1</sup> y el de menor rendimiento fue el 2 (Urbina S2007) con 3941 kg ha<sup>-1</sup> teniendo una diferencia de 2057 kg ha<sup>-1</sup>; para la variable peso de mil granos el genotipo que logró un mayor peso fue el 5 (Maya S2007) con 64 g obteniendo mayor peso que el registrado por Vázquez (2022) donde la misma variedad en su calendario de 3 riegos donde solo alcanzó un peso 51 g y el de menor peso fue el 26 con 48 g; en la variable índice de cosecha el genotipo con mayor porcentaje fue el 6 (Barobampo C2015) con 0.48, siendo el 2 (Urbina S2007) y el 26 (Fuerte Mayo F2016) los genotipos con menor índice de cosecha con 0.39; en la variable biomasa el genotipo con mayor valor fue el 26 (Fuerte Mayo F2016) con 15 t, y el genotipo con menor valor fue el 1 (Cortázar S94) con 9.46 t; Martínez y Leyva (2014) en relación a la producción de biomasa mencionan que los elementos y compuestos inorgánicos del medio, en presencia de agua como vehículo de las reacciones y con la intervención de la luz solar como aporte energético constituyen la producción primaria de biomasa, por medio de la cual si recibe las condiciones adecuadas nos llevará a tener un incremento en el rendimiento; en las variables granos por metro cuadrado (GPM2) y espigas por metro cuadrado (EPM2) el genotipo 26 (Fuerte Mayo F2016) fue el que obtuvo mayores valores registrando 12261 GPM2 y 293 EPM2, mientras que los genotipos con menores valores registrados en ambas variables fueron el genotipo 2 (Urbina S2007) con 7273 GPM2 y el genotipo 6 (Barobampo C2015) con tan solo 171 EPM2, con una diferencia de 4988 GPM2 y 122 EPM2 respectivamente.

**Cuadro 8. Comparaciones de medias de las variables evaluadas en el experimento FSB en el ciclo IO 2022 – 23**

GEN	DE	DM	AP	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
1	73	122	78	4484	60	0.47	9.4	7401	190
2	75	119	86	3941	54	0.39	10	7273	173
3	77	123	83	5176	54	0.44	11.76	9686	181
4	81	126	93	5747	53	0.44	13.02	10841	237
5	73	122	78	4696	64	0.42	11.44	7332	242
6	78	123	80	4958	50	0.48	10.2	9876	171

7	73	121	73	4614	55	0.45	10.36	8364	225
8	76	121	86	4551	56	0.43	10.49	8146	198
9	83	128	95	4845	51	0.41	11.7	9445	224
10	81	127	95	4913	55	0.42	11.67	8916	224
11	73	122	88	5372	56	0.41	13	9608	235
12	81	124	90	4489	50	0.42	10.53	8854	240
13	81	126	93	5312	56	0.42	12.61	9400	222
14	78	124	86	4853	60	0.45	10.7	8008	193
15	73	121	83	5267	56	0.44	11.86	9303	208
16	76	125	80	4982	58	0.46	10.8	8565	221
17	78	124	95	5458	53	0.47	11.64	10267	212
18	78	126	71	5466	60	0.47	11.52	9108	175
19	72	120	91	5582	57	0.43	12.74	9751	250
20	76	122	85	5998	52	0.47	12.59	11417	224
21	77	124	93	4845	54	0.42	11.48	8953	203
22	79	125	80	5268	61	0.47	11.27	8614	196
23	79	126	83	5357	54	0.47	11.42	9784	195
24	71	121	76	4417	54	0.42	10.37	8272	262
25	72	119	88	5331	56	0.44	11.86	8829	237
26	83	129	100	5931	48	0.39	15.07	12261	293
27	74	122	86	5973	62	0.41	14.85	9535	290
28	76	121	90	5582	56	0.4	13.67	9953	274
29	78	124	83	5424	54	0.47	11.55	10077	212
30	76	123	86	4847	57	0.46	10.54	8580	174
31	76	120	88	4845	51	0.47	10.27	9431	207
32	78	124	91	5260	52	0.44	12.15	9969	199
33	75	125	78	5008	60	0.45	11.3	8382	225
34	75	124	85	5361	52	0.44	12.25	10203	275
35	77	125	91	4576	52	0.41	11	8829	235
36	73	120	75	4877	63	0.47	10.34	7736	210
DHS	3	5	12	1409	10	0.08	3.77	3086	84

GEN= genotipos, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS=diferencia honesta significativa.

#### 4.1.3 Fecha de siembra C (FSC)

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas en entre genotipos en días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento en kilogramos por hectárea (RG), peso de mil granos (PMG), índice de cosecha (IC), granos por metro cuadrado (GPM2), espigas por metro cuadrado (EPM2), siendo la variable biomasa (BIO) la que presentó solo diferencias significativas (Cuadros 9 y 10).

**Cuadro 9. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	GL	DE	DM	AP	RG
N. var	35	42**	11.3**	49.2**	1515164.9**
REP	2	3.5	10.6	2	897460
BLOK	15	8	2.6	14.8	2506871.6
Error	55	1.9	2.2	11.9	430852.4
Total	107				
CV		1.6	1.3	4.3	16.9

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

**Cuadro 10. Cuadrados medios de las variables agronómicas evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23**

FV	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
N. var	23.9**	0.0082**	6.6*	6319806.4**	5015.8**
REP	39.8	0.0001	7.6	8185728.2	5964.7
BLOK	16.1	0.0022	17.9	13050925.6	9966.9
Error	11.4	0.0009	3.8	2029989.9	2031.6
Total					
CV	6.7	8.4	18.8	18.3	20

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

En las comparaciones de medias de las variables evaluadas en el experimento fecha de siembra C (Cuadro 11) se observa que el genotipo que mostró un ciclo de espigamiento precoz fue el 25 (Cisne F2016) con 59 días, mientras el genotipo más tardío fue el 26 (Fuerte Mayo F2016) con 73 días, teniendo una diferencia de 14 días; por otro lado, los primeros genotipos en completar su madurez fisiológica fueron el 5 (Maya S2007), 21 (Línea 21), 7 (Bárcenas S2002) y 24 (Luminaria F2012) a los 110 días y genotipos como 14 (Conasist C2015), 20 (V-20) y 10 (Conatrigo F2015) mostraron un ciclo de madurez fisiológica tardío con 116 días; a diferencia de los datos obtenidos por Estrada (2022) el cual registró ciclos más cortos en cuanto a madurez

fisiológica precoz y tardía con 29 y 13 días de diferencia, respectivamente. En cuanto a la variable altura de planta los genotipos que registraron mayor porte de planta fueron el 9 (Bacorehuis F2015) y el 26 (Fuerte Mayo F2016) con 86 cm y el de menor porte de planta fue el 18 (Rio Bravo C2018) con 66 cm.

En cuanto a rendimiento el genotipo que obtuvo mayores valores fue el 17 (Línea 17) con 5071 kg ha<sup>-1</sup>, con una diferencia de 2988 kg ha<sup>-1</sup> del genotipo 23 (Imperial) que solo registro 2083 kg ha<sup>-1</sup>; según Suaste (2009) en El Bajío, el retardo de la fecha de siembra expone a la floración afrontar las temperaturas altas que se registran después de haber iniciado la primavera, lo que provoca acortamiento en el periodo de grano y pérdida de peso del grano y, por lo tanto, disminución de rendimiento del cultivo; por otro lado en la variable peso de mil granos el genotipo 18 (Rio Bravo C2018) registró el peso más alto con 59 g y los genotipos de menor peso fueron el 26 (Fuerte Mayo F2016) y el 9 (Bacorehuis F2015) con 44 g; concordando con el peso registrado por Vázquez (2022); en la variable índice de cosecha el genotipo 28 (Línea 28) presentó mayores valores con 0.47 y los genotipos que presentaron menores valores fueron el 9 (Bacorehuis F2015) y el 26 (Fuerte Mayo F2016) con 0.25; al respecto Villafaña (2013) menciona que la mejora en el rendimiento potencial del trigo es en gran parte una consecuencia de la mejora en el IC y a su vez el mejoramiento del IC deriva del incremento en el número de granos y del peso individual del mismo; en la variable biomasa los genotipos 32 (Baroyeca Oro C2013) y 12 (Noreste F2018) obtuvieron los mayores valores con 13.77 t y 13.21 t, respectivamente y el genotipo con menor valor fue el 23 (Imperial) registrando solo 7.30 t; en las variables granos por metro cuadrado (GPM2) y espigas por metro cuadrado (EPM2) el genotipo 23 (Imperial) registro menor número en ambas variables con 4271 GPM2 y 133 EPM2, el genotipo con mayor número de GPM2 fue el 17 (Línea 17) con 10192 granos, y el 12 (Noreste F2018) con mayor número de EPM2 registrando 339 espigas.

**Cuadro 11. Comparaciones de medias de las variables evaluadas en el experimento FSC en el ciclo IO 2022 – 23**

GEN	DE	DM	AP	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
1	60	111	75	3817	53	0.43	8.7	7192	188
2	64	111	81	4075	46	0.35	11.6	8717	245
3	68	115	78	2944	46	0.3	9.5	6557	185
4	70	115	85	3489	47	0.31	11.54	7582	226
5	60	110	78	3990	48	0.39	10.12	8220	268
6	68	115	78	4231	50	0.41	10.34	8563	219
7	60	110	76	4442	50	0.43	10.28	8889	273
8	64	111	85	3843	50	0.41	9.4	7603	212
9	72	115	86	2443	44	0.25	9.3	5495	206
10	71	116	80	3476	49	0.34	10.08	7065	208
11	63	113	78	3368	48	0.36	9.3	6975	192
12	71	115	83	4161	46	0.31	13.21	8932	339
13	69	114	81	3390	46	0.32	10.45	7554	199
14	69	116	81	3707	50	0.34	11.06	7442	219
15	62	111	81	3636	51	0.41	8.84	7122	199
16	64	113	73	3515	52	0.42	8.39	6683	214
17	64	115	80	5071	50	0.45	11.22	10192	237
18	70	115	66	3041	59	0.37	8.66	5158	141
19	62	111	85	4840	50	0.44	10.98	9745	256
20	69	116	80	3516	47	0.36	9.5	7458	173
21	66	110	83	4918	50	0.41	11.87	9724	241
22	70	115	75	2563	54	0.28	8.95	4614	175
23	72	115	76	2083	48	0.28	7.3	4271	133
24	60	110	70	4047	48	0.42	9.5	8399	253
25	59	111	85	4902	50	0.41	11.78	9685	289
26	73	115	86	2526	44	0.25	10.09	5746	217
27	62	113	80	4570	54	0.39	11.52	8371	244
28	65	111	83	4276	56	0.47	9.12	7634	185
29	68	115	78	4929	53	0.38	12.97	9229	249
30	65	115	80	3413	50	0.34	9.8	6787	171
31	66	115	85	4964	50	0.41	12.31	9943	261
32	68	115	85	4163	48	0.3	13.77	8639	252
33	63	113	75	3992	49	0.37	10.77	8474	279
34	63	115	81	4586	46	0.38	12.16	9830	281
35	64	115	83	4407	52	0.43	10.11	8526	204
36	60	112	80	4075	53	0.4	10.2	7649	241
DHS	3	5	11	2173	11	0.1	6.51	4716	149

GEN= genotipos, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS=diferencia honesta significativa.

## 4.2 Análisis combinado

En el análisis de varianza combinado detectó diferencias altamente significativas para las variables días a espigamiento (DE), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento en kilogramos por hectárea (RG), peso de mil granos (PMG), índice de cosecha (IC), biomasa (BIO), granos por metro cuadrado (GPM2) en los factores fechas de siembra (FS) y variedad (Nvar) y diferencias significativas en espigas por metro cuadrado (EPM2) en el factor FS y altamente significativas en el factor Nvar; en la interacción FS\*Nvar se observó diferencias altamente significativas en casi todas las variables excepto en la variable BIO donde solo se obtuvieron diferencias significativas (Cuadro 12 y 13).

**Cuadro 12. Cuadrados medios de las variables agronómicas estudiadas para tres fechas de siembra**

FV	GL	DE	DM	AP	RG
FS	2	12173.4**	20344.3**	9486.1**	71338297.7**
Nvar	35	161.5**	34.1**	224.6**	1286680.8**
REP(FS)	4	24.9	23.6	99	4244610.5
BLOK(REP)	15	12	6.6	28.6	1225993.9
FS*Nvar	70	18.5**	6.3**	28.8**	1034788.2**
Error	195	3.3	3.5	15.4	480223.3
Total	323				
C.V		2.3	1.5	4.4	14.4

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

**Cuadro 13. Cuadrados medios de las variables agronómicas estudiadas para tres fechas de siembra**

FV	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
FS	1580.3**	0.17**	89.8**	91943569**	5368.8*
Nvar	75.9**	0.0046**	7.7**	7348608.1**	5352.8**
REP(FS)	33.1	0.0026	31.5	22501188.5	20707.3
BLOK(REP)	19.1	0.0015	6.4	4786070.4	4333.3
FS*Nvar	15.3**	0.0035**	5*	4235696.9**	3248.2**

Error	9.8	0.0007	3.5	2259388	1859.4
Total					
C.V	5.7	6.4	16.5	16.9	19.7

FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, \*= diferencias significativas al 0.05, \*\*= diferencias altamente significativas al 0.01, Nvar= número de variedad, REP= repetición, CV= coeficiente de variación.

En los Cuadros 14 y 15 se presentan las comparaciones de medias de las variables agronómicas evaluadas para las fechas de siembra; donde se observó que en la fecha de siembra A (15 de noviembre 2022) se obtuvieron mayores rendimientos con 5409 kg ha<sup>-1</sup> además de obtener mayores valores en las variables PMG con 57 g, una BIO de 12.21 t, GPM2 de 9530 y mayor porte de planta con 98 cm, pero resultó ser la más tardía en cuanto a días a espigamiento y días a madurez, con una diferencia de 21 DE y 28 DM de la fecha de siembra C (15 de enero 2023) que mostró ser la más precoz en dichas variables, en índice de cosecha la fecha de siembra A y la fecha de siembra B (15 de diciembre 2022) obtuvieron los valores más altos con 0.44 y la FSC fue la de menor valor con 0.38; por otro lado en la variable EPM2 las tres fechas de siembra mostraron valores similares por encima de las 210 espigas.

En cuanto a las fechas de siembra se pudo observar que cada una tiene valores diferentes siendo la FSA la que obtuvo los mayores valores en cada una de las variables evaluadas; según Ávila *et al.* (2019) sembrando trigo en noviembre se obtienen los rendimientos más altos y se reducen los problemas de fitopatógenos y de plagas, estas fechas producen plantas más vigorosas, altas y con mayor número de hijuelos, pero a pesar de esto menciona que en siembras tempranas se corre el riesgo de la presencia de heladas en etapas susceptibles como el embuche y la floración; información que coincide con la de Noriega *et al.* (2019) quien afirma que las fechas de siembra tempranas favorecen un incremento del número de tallos, la altura de planta, la longitud de espigas y el peso de mil granos, lo que conduce a un incremento del rendimiento. Por otro lado, la FSC obtuvo los valores más bajos con un rendimiento de 3873 kg ha<sup>-1</sup>, una AP de 80 cm, un PMG de 50 g, una BIO de 10.41 t y 7796 GPM2, la siembra de trigo en enero según Ávila *et al.* (2019) es considerada



como tardía ocasionando que la planta de trigo se desarrolle poco, con menor altura, un menor número de hijuelos, espigas más pequeñas, menor número de espiguillas por espiga y menor peso de grano, con la posibilidad de presentarse daños de estrés por calor; mientras que la FSB se mantuvo con valores intermedios en cada una de las variables evaluadas obteniendo un rendimiento de 5100 kg ha<sup>-1</sup>, una AP de 86, un PMG de 56 g, una BIO de 11.6 y 9211 GPM2; sembrar trigo el 15 de diciembre se considera una fecha de trigo intermedia ya que si se siembra días antes se considera temprana y días después tardía; en los resultados obtenidos se observó que los valores no fueron bajos sino que en comparación con el rendimiento más alto solo se vio una diferencia de 309 kg ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 14. Comparación de medias de las variables agronómicas para tres fechas de siembras**

FS	DE	DM	AP	RG
FSA	87a	141 <sup>a</sup>	98a	5409a
FSB	77b	123b	86b	5100b
FSC	66c	113c	80c	3873c
DHS	0.5	0.6	1.2	222

FS= fecha de siembra, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS= diferencia mínima significativa.

**Cuadro 15. Comparación de medias de las variables agronómicas para tres fechas de siembras**

FS	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
FSA	57a	0.44a	12.21a	9530a	224a
FSB	56b	0.44a	11.6b	9211a	220a
FSC	50c	0.37b	10.41c	7796b	211a
DHS	1	0.008	0.6	483	13.8

FS= fecha de siembra, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS= diferencia mínima significativa.

En cuanto a la prueba de comparaciones de medias (Cuadro 16) los genotipos que mostraron un ciclo de espigamiento precoz fueron el 1 (Cortázar S94) y el 24 (Luminaria F2012) espigando a los 69 días, mientras que los genotipos 9 (Bacorehuis

F2015) y 26 (Fuerte Mayo F2016) presentaron un ciclo de espigamiento tardío espigando a los 84 días, lo cual retrasó su ciclo de madurez fisiológica siendo los últimos en madurar a los 130 días; por otro lado, los primeros genotipos en llegar a madurez fisiológica fueron el 36 (Testigo B), el 7 (Bárcenas S2002), el 19 (Línea 19) y el 2 (Urbina S2007) a los 122 días, teniendo una diferencia de 15 DE y 8 DM respectivamente; al respecto Velázquez (2016), menciona que las especies de ámbito invernal son sembradas normalmente en otoño, las plántulas emergen y amacollan antes del invierno pasando por un tiempo de inactividad durante el periodo de frío, reanudando su crecimiento rápido en primavera y madurando en verano después de un periodo total de 9 a 11 meses. Además de que requieren de un periodo de vernalización antes de que pueda cambiar de fase vegetativa a la fase reproductiva, la cual concluye con el embuche, espigamiento, floración y formación de semilla; por lo que afirma que la fenología del trigo varía de manera considerable dependiendo del genotipo, la ubicación y la fecha de siembra. En cuanto a la variable altura de planta el genotipo 26 (Fuerte Mayo F2016) y 9 (Bacorehuis F2015) fueron los que obtuvieron mayor porte con una altura de 97 y 96 cm y el genotipo que presentó un menor porte de planta fue el 18 (Rio Bravo C2018) con 76 cm seguido de los genotipos 7 (Bárcenas S2002) y 24 (Luminaria F2012) con 78 cm; se registraron alturas que van desde los 76 cm hasta los 97 cm, alturas que son menores a las registradas por Bankar *et al.* (2018) donde observaron alturas por arriba de los 90.7 cm.

El mayor rendimiento obtenido fue de 5617 kg ha<sup>-1</sup> mientras que el menor rendimiento fue de 4064 kg ha<sup>-1</sup> correspondiente al genotipo 17 (Línea 17) y al genotipo 9 (Bacorehuis F2015) respectivamente, con una diferencia de 1553 kg ha<sup>-1</sup> entre sí; rendimientos superiores a los registrados por Upadhyaya & Bhandari (2022); en la variable índice de cosecha el genotipo 6 (Barobampo C2015) fue el de mayor valor con 0.46 y los genotipos 9 (Bacorehuis F2015) y 26 (Fuerte Mayo F2016) fueron los de menor valor con 0.36; por otro lado el genotipo con mayor biomasa fue el 21 (Línea 21) con 13.32 t y el genotipo 24 (Luminaria F2012) obtuvo el menor valor con 9.35 t; para el peso de mil granos el genotipo que registró más peso fue el 18 (Rio Bravo C2018) con 61 g seguido de los genotipos 22 (Don Goyo C2019), 27 (Línea 27), 36

(Testigo B) y el 5 (Maya S2007) con 59 g, y los genotipos 26 (Fuerte Mayo F2016), 9 (Bacorehuis F2015) y 12 (Noreste F2018) registraron menor peso con 49 g; el genotipo 22 (Don Goyo C2019) obtuvo menor número de granos por metro cuadrado con 7123 mientras que el que obtuvo mayor valor fue el 17 (Línea 17) con 10677 granos; según Pecina *et al.* (2011) el número de granos es el principal componente del rendimiento, ya que el peso del grano ha mostrado ser un componente poco afectado por el ambiente, información que coincide con lo expresado por Lóele *et al.* (2011) quien afirma que el número de granos producidos es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final más que cualquier cambio en el peso individual. En la variable espigas por metro cuadrado el genotipo con mayor número de espigas fue el genotipo 12 (Noreste F2018) con 280 espigas presentando una diferencia de 21 espigas por metro cuadrado en comparación con el genotipo 18 (Rio Bravo C2018) que fue el que presentó un menor número de espigas con 159 espigas; Balbi *et al.* (2013) menciona que el período de crecimiento de las espigas dura 27-32 días dependiendo de las condiciones ambientales, con poca variación entre cultivares, pasando por un periodo crítico el cual define el número de granos por metro cuadro y esto está ligado a la tasa de crecimiento de espigas durante dicho período se define el número de macollos que finalmente llegan a producir espigas, estableciendo el número de espigas por unidad de área y el número de primordios florales que sobrevivan en cada una de las espiguillas, obteniéndose, como resultado final, el número de flores fértiles a floración, las que finalmente luego del cuaje, quedan establecidas como grano.

**Cuadro 16. Comparaciones de medias de las variables estudiadas**

GEN	DE	DM	AP	RG	PMG	IC	BIO	GPM2	EPM2
1	69	123	82	4580	58	0.45	10.07	7757	206
2	72	122	88	4133	53	0.39	10.47	7766	199
3	81	128	87	4657	50	0.39	11.62	9119	192
4	82	128	93	5097	51	0.39	12.83	9895	225
5	70	124	82	4594	59	0.42	10.79	7815	237
6	79	126	86	5122	51	0.46	11.18	9959	206
7	70	122	78	4819	53	0.44	10.97	9014	245
8	73	123	87	4437	55	0.42	10.54	7958	203
9	84	129	96	4064	49	0.36	11.05	8182	210

10	83	129	92	4547	53	0.4	11.29	8416	214
11	73	125	88	4558	54	0.4	11.24	8301	200
12	82	127	92	4848	49	0.38	12.56	9856	280
13	80	128	93	4811	52	0.39	12.04	9108	196
14	80	127	91	4852	57	0.4	11.9	8470	216
15	73	124	86	4812	54	0.43	10.99	8837	217
16	75	126	82	4429	56	0.44	9.94	7899	225
17	77	127	93	5617	52	0.45	12.42	10677	225
18	80	128	76	4658	61	0.43	10.67	7645	159
19	70	122	92	5318	54	0.44	12.01	9747	245
20	79	127	88	5109	51	0.43	11.49	9844	197
21	77	124	92	5581	53	0.41	13.32	10432	265
22	80	127	81	4325	59	0.4	10.57	7123	187
23	79	127	88	4213	52	0.39	10.28	7838	172
24	69	123	78	4071	52	0.43	9.35	7766	231
25	71	123	92	5060	54	0.44	11.42	9363	235
26	84	130	97	4439	49	0.36	12.08	8905	228
27	72	124	88	5232	59	0.4	12.95	8766	250
28	76	125	90	5285	55	0.43	12.28	9478	234
29	79	127	85	5486	54	0.44	12.45	10047	219
30	76	126	87	4314	54	0.41	10.39	7855	171
31	76	124	92	5161	53	0.45	11.58	9725	220
32	79	127	93	4732	51	0.39	12.28	9250	208
33	73	125	82	4596	56	0.42	10.96	8315	235
34	74	126	89	5140	53	0.41	12.37	9703	255
35	75	126	92	5056	53	0.44	11.4	9514	221
36	70	122	82	4822	59	0.44	10.88	8093	231
DHS	3	3	7	1273	5	0.05	3	2762	79

GEN= genotipos, DE= días a espigamiento, DM= días a madurez, AP= altura de planta (cm), RG= rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>, PMG= peso de mil granos (gr), IC= índice de cosecha, BIO= biomasa (gr), GPM2= granos por metro cuadrado, EPM2= espigas por metro cuadrado, DHS=diferencia honesta significativa.

### 4.3 Análisis de la interacción genotipo ambiente para el rendimiento de grano

El análisis de varianza mostró un efecto del ambiente altamente significativo ( $p < 0.01$ ) con un 52.78% de la variación de la suma de cuadrados del total (SCT) (Cuadro 17). El factor genotipos fue altamente significativo ( $p < 0.01$ ) registrando 20.42% de la SCT. La interacción genotipo-ambiente fue significativa ( $p < 0.01$ ), obteniendo 26.80% de la SCT. El modelo AMMI mostró los dos primeros ejes del CP altamente significativos ( $p < 0.01$ ), explicando 60.95 y 39.04% de la SC de la interacción, respectivamente. El CP3 no fue significativo. El modelo AMMI retuvo el 89.53% de la SCT (ambiente +

genotipo + interacción) utilizando 73 grados de libertad (2 para ambientes, 35 para genotipos y 36 para el CP1). El estudio de la interacción realizado con el AMMI se completó con el empleo del biplot (Figura 3).

**Cuadro 17. Análisis de varianza del modelo AMMI para 36 genotipos de trigo evaluados en 3 ambientes**

FV	GL	SC	%SC
AMB	2	142676595 **	52.78
GEN	35	55203887 **	20.42
AMB*GEN	70	72435176 **	26.80
CP1	36	38456878 **	16.33
CP2	34	24633299 **	10.46
CP3	32	0	0

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; %SC = porcentaje de la suma de cuadrados; AMB = ambientes; GEN = genotipos; CP = componente principal.

La interpretación del análisis AMMI se facilitó con la representación gráfica (gráfico biplot), en el mismo espacio, de genotipos y ambientes. En el eje de las abscisas (X) de la Figura 3 se lee el rendimiento de grano de los genotipos y ambientes. La línea perpendicular a este eje indica el rendimiento medio. Así, a la izquierda del eje de las X's se grafican las entradas con menor rendimiento y a la derecha se localizan los genotipos y ambientes de mayor rendimiento. El eje de las ordenadas (Y) en cambio, mide la estabilidad de los genotipos y ambientes: aquellos con valores cercanos a cero son estables mientras los que presentan valores altos del primer componente principal son inestables (Vázquez, 2022).

De acuerdo a esta información los genotipos 17 (Línea 17) y 21 (Línea 21) fueron las que obtuvieron mayor rendimiento seguidos del genotipo 29 (Quetchehueca Oro C2013), 19 (Línea 19), 28 (Línea 28) y 27 (Línea 27); por otro lado, los genotipos con menor rendimiento fueron el 9 (Bacorehuis F2015), 24 (Luminaria F2012) y 2 (Urbina S2007). Según Lozano *et al.* (2015), el fitomejoramiento genético tiene como objetivo obtener genotipos con rendimientos mayores y estables en una amplia gama de condiciones ambientales, pero con frecuencia el potencial de rendimiento es

enmascarado por la interacción genotipo por ambiente ( $G \times A$ ); Muriel (2013) menciona que la estabilidad fenotípica es la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento previsible en función de las condiciones ambientales; por su parte Rodríguez *et al.* (2011) considera que la estabilidad fenotípica del rendimiento ha tenido varias interpretaciones, siendo dos de ellas la biológica y la agronómica. La biológica es cuando el genotipo presenta mínima variación a través de los ambientes, mostrando un rendimiento constante en cualquier condición de producción; mientras que la agronómica es cuando existe una mínima interacción genotipo x ambiente, lo cual está asociado a la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuestas para su evaluación, con una amplia variedad de condiciones para la obtención de genotipos estables.

Por otro lado, Noriega *et al.* (2019) menciona que la fecha de siembra es una de las decisiones más importantes que el productor de trigo debe tomar en cada inicio del ciclo agrícola, por lo que deberá considerar diversos factores que afectan directa e indirectamente el potencial de rendimiento de la variedad que vaya a utilizar. En este caso la fecha de siembra A (15 de noviembre 2022) se obtuvieron los mayores rendimientos, seguida de la fecha de siembra B (15 de diciembre 2022) la cual reflejo rendimientos no tan alejados a los obtenidos en la FSA; mientras que la fecha de siembra C (15 de enero 2023) fue la que presentó rendimientos más bajos.

Los genotipos con valores del  $CP1 > 0$  responden positivamente (se adaptan bien) a ambientes que tienen valores  $CP1 > 0$  esto es, su interacción es positiva, pero responden negativamente a ambientes que tienen valores de  $CP1 < 0$ . Lo contrario se aplica para los genotipos que tienen valores del  $CP1 < 0$  (Vázquez, 2022). Por lo cual, los genotipos más estables con valores de  $CP1$  bajos o cercanos a cero fueron 30 (Isabel Oro C2018), 8 (Ibis M2016), 10 (Conatrigo F2015), 32 (Baroyeca Oro C2013), 15 (Faisan S2016), 14 (Conasist C2015), 35 (Línea 35), 28 (Línea 28) siendo este último considerado como un genotipo estable y con mayor rendimiento en comparación con los demás genotipos que se mostraron estables a los ambientes (fechas de siembra).

Con relación a los ambientes Vázquez (2022), señala que aquellos que exhiben entre ellos un ángulo menor a los  $90^\circ$  tienen la cualidad de clasificar a los genotipos de una manera semejante, los que forman un ángulo de  $90^\circ$  no guardan relación en la forma de ordenar los genotipos y los ángulos de  $180^\circ$  tienden a tener un comportamiento opuesto. De esta forma se puede observar que la FSA y la FSB son opuestas a la FSC.

### AMMI PCA1 Score vs RENkgha from a Lattice

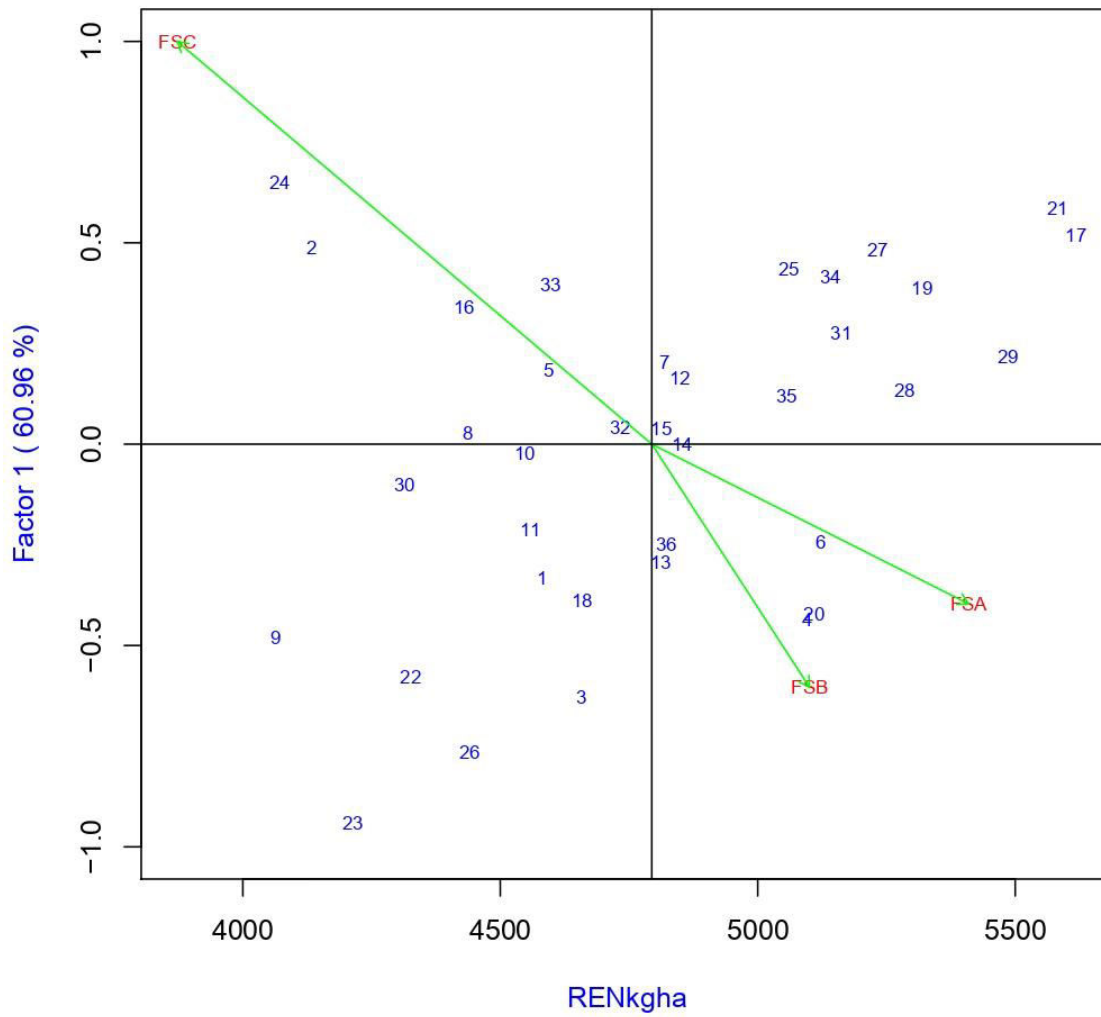


Figura 3. Biplot de rendimiento de grano de 36 genotipos en 3 ambientes



## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

La fecha de siembra A, 15 de noviembre 2022, alcanzó rendimientos que van desde 3749 a 6982 kg ha<sup>-1</sup>, en este ambiente los mayores rendimientos mostraron una relación positiva en los componentes de rendimiento biomasa, granos por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado.

La fecha de siembra B (15 de noviembre 2022) por su parte alcanzó rendimientos que van desde 3941 a 5998 kg ha<sup>-1</sup>, en este ambiente los mayores rendimientos mostraron relación positiva con los componentes de rendimiento índice de cosecha y granos por metro cuadrado.

La fecha de siembra C (15 de enero 2023) alcanzó rendimientos un poco menores que van desde 2988 a 5071 kg ha<sup>-1</sup>, en este ambiente los mayores rendimientos mostraron relación positiva con el componente de rendimiento granos por metro cuadrado.

La evaluación de los genotipos de trigo en diferentes fechas de siembra mostró que las fechas de siembra óptimas para sembrar trigo son del 15 de noviembre al 15 de diciembre ya que los genotipos completan de mejor manera su crecimiento y desarrollo vegetativo logrando obtener plantas con mejores características fisiológicas mostrando como resultado un aumento cuantitativo en sus componentes de rendimiento y de esta manera obtener los mejores rendimientos que en este caso van de las 5 a las 6.9 t ha<sup>-1</sup>.

Los mayores rendimientos se registraron en la fecha de siembra A. El genotipo que más destacó a través de los tres ambientes fue el 17 (Línea 17) con 5617 kg ha<sup>-1</sup> seguido del genotipo 21 (Línea 21) con 5581 kg ha<sup>-1</sup>; por otro lado, el genotipo que obtuvo menores rendimientos fue el 9 (Bacorehuis F2015) con 4064 kg ha<sup>-1</sup> seguido del genotipo 24 (Luminaria F2012) con 4071 kg ha<sup>-1</sup>.

Por otro lado, la hipótesis “Las líneas experimentales de trigo evaluadas en el experimento mostrarán mejores rendimientos y adaptación a las condiciones del Bajío, México que las variedades comerciales” se acepta ya que las líneas experimentales 17 (Línea 17), 21 (Línea 21), 19 (Línea 19), 28 (Línea 28) si fueron las que obtuvieron los mayores rendimientos en los tres ambientes (fechas de siembra) que van desde 5617 hasta 5285 kg ha<sup>-1</sup>.

Y la hipótesis “La fecha de siembra del cultivo de trigo tiene relevancia en relación con la productividad del mismo” se acepta observando que en fechas de siembra temprana se logró que los genotipos alcanzaran mejores cualidades agronómicas y un mayor rendimiento; mientras que, en fechas tardías los genotipos mostraron una disminución en el rendimiento lo cual nos hace concluir que de acuerdo a las condiciones presentes en cada fecha de siembra los genotipos actúan de forma diferente.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Anaya López, J. L., Rojas Tovar, L. M., Cisneros López H. C., & Acosta Gallegos J. A. (2020). Rendimiento e índice de cosecha de germoplasma de frijol pinto y flor de mayo bajo estrés por temperatura alta. *Revista Fitotecnica Mexicana* 45 (1), 33-41. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/45-1/4a.pdf](https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/45-1/4a.pdf)
- Antonini, D. (2010). *Viabilidad económica de la segregación de trigo en Argentina, de acuerdo a parámetros de calidad industrial*. [Tesis Magíster, Universidad Nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2061/Antonini-Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ávila Miramontes, J. A., Ávila Miramontes, J. M., Rivas Santoyo, F. J., & Martínez Heredia, D. (2019). *El cultivo del trigo sistemas de producción en el noroeste de México*. Universidad de Sonora, División de ciencias biológicas y de la salud, Departamento de agricultura y ganadería. [Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20TRIGO.pdf](https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20TRIGO.pdf)
- Azueta, I., & García, G. A. (2017). Fecha de siembra y rendimiento de trigo. *Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola* 27-32. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/136066>
- Barroso Pinheiro, N. M. (2017). *Influencia Varietal y Ambiental en las Características Agronómicas y de Calidad del Trigo Duro (Triticum turgiddum L.) thell.ssp. durum desf.)*. Implicaciones en la Selección de Nuevas Variedades. [Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura]. [https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/6074/1/TDUEX\\_2017\\_Pinheiro\\_NM.pdf#page=1](https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/6074/1/TDUEX_2017_Pinheiro_NM.pdf#page=1)
- Balbi, Celsa N., Rodríguez, E., & Neiff, N. (2013). *Tasa de crecimiento de espigas de trigo (Triticum aestivum) en diferentes niveles de radiación incidente en*

<https://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/download/323/284>

- Bankar, D.N., Baviskar, V.S., Yashavantha Kumar, K. J., Raskar, S. S., Khairnar S. S., Gite, V. D., Surve, V. D., Bagwan, J. H & Honrao, B. K. (2018). Evaluation of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes for Changing Climatic Condition Under Different Sowing Windows in Semi – Arid Tropics of Western Maharashtra, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (4), 761 – 770. <https://www.ijcmas.com/7-4-2018/D.N.%20Bankar,%20et%20al.pdf>
- Becerra Solano, E. R., Tuñoque Santamaria, Y. E. (2018). *Influencia de la Variedad de Trigo (Triticum aestivum) sobre la Calidad Panadera de la Harina Producida en la Empresa Alimenta Perú S.A.C.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2120>
- Burbano, P., Valencia, A. & Lagos Burbano, T. (2022). Componentes de rendimiento en Coffea arabica L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 51 – 62. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1302674003/>
- Calixto Muñoz, J. J (2018). *Evaluación de la calidad panadera de harinas de grano entero de trigo (Triticum aestivum L.) mediante marcadores bioquímicos, pruebas fisicoquímicas y reológicas.* [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/69325/TESIS%20DOCTORAL%20JJCM%2021feb2018%20VERSI%3%93N%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas Velázquez, B., Escalante Estrada., J. A. S, & Rodríguez González, M. T. (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *Terra Latinoamericana*, 37(3), 223-230. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792019000300223#B9](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792019000300223#B9)

- Celis Forero, A. (2018). Aplicación del modelo estadístico AMMI como método de selección en mejoramiento de plantas de cultivos anuales. [Tesis Magister, Universidad Tecnológica de Pereira UTP]. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/8cd3008f-1111-4ea6-aac1-7aba4f4e34af/content
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimenticia. (2020). *Consecuencias del cambio climático en México*. Repositorio Institucional. [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_n-consecuencias-n-\\_del\\_-n-cambio\\_climnotico-n-\\_en\\_mn-xico.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-consecuencias-n-_del_-n-cambio_climnotico-n-_en_mn-xico.htm)
- Cherlinka, V. (2023). *Cultivo De Trigo: Como Sembrar, Manejar Y Cosechar*. EOS DATA ANALYTICS. <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-trigo/>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2016). *Desde el oriente hasta al sur de Asia, vía México: Cómo un gen cambió el curso de la historia*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/desde-el-oriente-hasta-al-sur-de-asia-como-un-gen-cambio-el-curso-de-la-historia/>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología. (2019). *Trigo*. Cámara de Diputados LXV Legislatura. <https://conahcyt.mx/cibiogem/trigo>
- Estrada Godoy, L. J. (2022). *Evaluación de Genotipos de Trigo en Condiciones de Temporal en el Bajío México*. [Tesis de Licenciatura inédita], Instituto Tecnológico de Roque
- Estrada Santana, D. C., Martínez Gallardo, J. C., Iglesias González, L. D., & Paz Arauz, E. D. (2014). *Caracterización agronómica y económica del Trigo (Triticum aestivum) variedad Jupateco, en la comunidad La Colmena, Jinotega, Nicaragua*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/303312567\\_Caracterizacion\\_agronomica\\_y\\_economica\\_del\\_Trigo\\_Triticum\\_aestivum\\_variedad\\_Jupateco\\_en\\_la\\_comunidad\\_La\\_Colmena\\_Jinotega\\_Nicaragua](https://www.researchgate.net/publication/303312567_Caracterizacion_agronomica_y_economica_del_Trigo_Triticum_aestivum_variedad_Jupateco_en_la_comunidad_La_Colmena_Jinotega_Nicaragua)
- Ferreira, V, Grassi, E, Ferreira, A, di Santo, H, Castillo, E, & Paccapelo, H. (2015). Interacción genotipo-ambiente y estabilidad en la producción de forraje de triticales y tricepiros. BAG. *Journal of basic and applied genetics*, 26(2), 27-51.

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-62332015000300004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-62332015000300004)

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2021). *El Trigo*. Panorama Agroalimentario Dirección de investigación y Evaluación Económica y sectorial.

<https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=90263>

Gámez Vázquez, A. J., Ávila Parches, M. A., O Olan.M., Gámez Vásquez, F. P., García Rodríguez, J. J., Zamora Diaz, M., Huerta Zurita, R., Virgen Vargas, J., Teliz Triujeque, R., y Pelón Alberto. F. (2020). La interacción genotipo ambiente en la investigación Agrícola. Celaya, México: S. de R. L. de C. V.

Google Earth. (2017). INIFAP Campo experimental Bajío. Google Earth. <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

Gómez Cruz, M., Sánchez Peña, V., Asteinza Bilbao, G., Aceves Ochoa, J., Santos Cervantes, C., Gómez Hernández, T., & Castro Muñoz, T. (2013). El proceso global de la producción de trigo en el Bajío Guanajuatense. Problemas Del Desarrollo. *Revista Latinoamericana De Economía*, 17(64/65). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.1986.64/65.35619>

Herrera Almaraz, M. (2022). *El trigo como grano básico y su importancia a nivel mundial*. Forbes. <https://www.forbes.com.mx/red-forbes-el-trigo-como-grano-basico-y-su-importancia-a-nivel-mundial/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *Efectos del cambio climático*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>

Ledesma Ramírez, L., Solís Moya, E., Suaste Franco, M. P., Rodríguez Caracheo J. F., y Cruz González, M. L. (2012). Análisis GGE biplot del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) con riego normal y restringido en el Bajío, México. *Agrociencia* 46 (2), 119-131. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000200003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000200003)

- Listman, M. (2023). *Los climas cálidos y secos exigen variedades de trigo resilientes y de alto rendimiento*. CIMMIT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/los-climas-calidos-y-secos-exigen-variedades-de-trigo-resilientes-y-de-alto-rendimiento/>
- Loaiza Farfán, R. R. (2014). *Comportamiento agronómico y calidad comercial de tres cultivares de trigo harinero (Triticum aestivum L.), bajo las condiciones de valle costero*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a3f6b698-2501-4b8d-a330-242fe9b1e3b4/content>
- Lucero López, C. Y., Castruita Esparza, L. U., Legarreta González, M. A., Olivas García, J. M., Uranga Valencia, L. P., & Lujan Álvarez. C. (2022). Impacto del cambio climático en la agricultura del Distrito de Riego 005 Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13 (6) <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2881/5451>
- Lóele, J. P., Constanza, A., Lauría, M., & Olivanti, M. (2011). *Determinación de rendimiento de trigo y sus componentes*. Engormix.com. [https://www.engormix.com/agricultura/cosecha-trigo/determinacion-rendimiento-trigo-sus\\_a28974/](https://www.engormix.com/agricultura/cosecha-trigo/determinacion-rendimiento-trigo-sus_a28974/)
- Lozano Ramírez, A., Santacruz Varela, A., Vicente García, F. S., Crossa, J., Burgueño, J., y Molina Galán, J. D. (2015). Modelación de la interacción genotipo por ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 38 (4), 337-347. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/38-4/1a.pdf>
- Manangón Monteros, P. R. (2014). *Evaluación de siete variedades de trigo (Triticum aestivum L.) con tres tipos de manejo nutricional, A 2890 M.S.N.M Juan MontalvoCayambe-2012*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6717>

- Martínez Romero, A., & Leyva Galán, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el ecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362014000100002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002&lng=es&tlng=es).
- Mellado, M. (1989). *Fecha de siembra óptima para trigos invernales alternativos y primaverales*. biblioteca.inia.cl <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/35390/NR08844.pdf?sequence=1>
- Moreno Dena, J.M. (2019). *Impacto económico del cambio climático en el cultivo del trigo en regiones productoras de Sonora, México*. [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C]. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/909/1/Moreno%20Dena%20Jes%C3%BAAs%20Mario\\_DDR\\_2015-2019.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/909/1/Moreno%20Dena%20Jes%C3%BAAs%20Mario_DDR_2015-2019.pdf)
- Muriel Figueroa, J. E. (2013). Estabilidad fenotípica de 10 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) en los departamentos de Nariño Boyaca y Cundinamarca. [Tesis de Maestría, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/2272/1/90034.pdf>
- Nakayama, E. D., González M. C., Oggero, A. S., Britos, M. R., Mussi Cataldi, C., Cantero, F. A., Venancio Benítez, J., & Peralta López. I. (2018). *Fitomejoramiento Participativo ka'a he'ë*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. [https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload\\_editores/u454/Manual-Fitomejoramiento.pdf](https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u454/Manual-Fitomejoramiento.pdf)
- Noriega Carmona, M. A., Cervantes Ortiz, F., Solís Moya, E., Andrio Enríquez, E., Rangel Lucio, A., Rodríguez Pérez, G., Mendoza Elos, M., & García Rodríguez, J.G. (2019). Efecto de la Fecha de Siembra sobre la Calidad de Semilla de Trigo en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 42 (4) <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n4/0187-7380-rfm-42-04-00375.pdf>



- Núñez Zarantes, V. M., Barrero Meneses, L. S., Enciso Rodríguez, F. E., Cañas Álvarez, J. J., & Martínez Rocha, J. F. (2020). *Aplicación de la edición génica en la agricultura para América Latina y el Caribe*. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16338\\_-\\_EdicionGenetica\\_-\\_Estado\\_del\\_Arte.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16338_-_EdicionGenetica_-_Estado_del_Arte.pdf)
- Palmeri, G. (2019). *Efecto de la Fecha de Siembra sobre el Comportamiento Agronómico de Cinco Cultivares de Trigo Candeal (*Triticum turgidum* L. var. durum) y un Cultivar de Trigo Pan (*Triticum aestivum* L.)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Córdoba]. <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/15059/Palmieri%2C%20Guido%20-%20Efecto%20de%20la%20fecha%20de%20siembra%20sobre%20el%20comportamiento%20agron%C3%B3mico%20de%20cinco%20cultivares%20de%20trigo%20candeal...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pecina Martínez, J. Agapito, Mendoza Castillo, Ma. del Carmen, López Santillán, J. Alberto, Castillo González, Fernando, Mendoza Rodríguez, Moisés, & Ortiz Cereceres, Joaquín. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 34(2), 85-92. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000200006&lng=es&tlng=es)
- Rimieri, P. (2021). Aspectos agronómicos de relevancia en poblaciones utilizadas como base para el mejoramiento genético vegetal. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 32(2), 71-74. [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sag.org.ar/jbag/wp-content/uploads/2021/12/BAG\\_VXXXII\\_Issue2\\_2021\\_ART8.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sag.org.ar/jbag/wp-content/uploads/2021/12/BAG_VXXXII_Issue2_2021_ART8.pdf)
- Rincón Montiel, J. (2017). *Evaluación de variables de crecimiento en trigo (*Triticum turgidum* L.) variedad Júpare C2001 bajo diferentes regímenes de riego*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio

digital Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.  
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/42121>

- Ramírez Martínez, C. (2017). *Asociación entre la temperatura de planta y el NDVI con los componentes de rendimiento en trigos duros (Triticum durum L.)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42457/K%2064901%20RAMIREZ%20MARTINEZ%20CRHISTOPEER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez González, R.E., Ponce Medina, J.F., Rueda Puente, E.O., Avendaño Reyes, L., Paz Hernández, J.J., Santillano Cazares, J., y Cruz Villegas, M. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 543-558. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200015&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200015&lng=es&tlng=es).
- Rosas Jáuregui, I. A., Félix Fuentes, J. L., Fuentes Dávila, G., Ortiz Avalos, A. A., y Cortés Jiménez, J. M. (2022). Evaluación de la variedad de trigo cristalino Don Lupe Oro C2020 durante el ciclo 2021-2022 en el valle del yaqui, sonora, México. *South Florida Journal of Development, Miam*, 3 (6), 6418-6429. DOI: 10.46932/sfjdv3n6-006
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017a). *El ciclo de cultivo Primavera/Verano*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-ciclo-de-cultivo-primavera-verano>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017b). *Se incrementa producción de trigo "Hecho en México" 14.6 en 2016*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-incrementa-produccion-de-trigo-hecho-en-mexico-14-6-en-2016>
- Solís, E., Aguillón, A., García Mesa, P. (2021). *Nuevas variedades de trigo para El Bajío*. Control Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). <https://idp.cimmyt.org/nuevas-variedades-de-trigo-para-el-bajio/>

- Solís Moya, E., Hurta Espino, J., Pérez Herrera, P., Villaseñor Mir, H. E., Ramírez Ramírez, A., & Ledesma Ramírez, L. (2018). 4179» *ELIA M2016 Nueva variedad de trigo harinero de gluten medio fuerte para riego restringido para el Bajío*. Biblioteca Digital del INIFAP. [https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/\\_Content?/=4179](https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=4179)
- Suaste Franco, M. P. (2009). *Floración y rendimiento de grado de trigo bajo manejo del método densidad y fechas de siembra*. [Tesis de Licenciatura inédita]. Instituto Tecnológico de Roque
- Upadhyaya, N & Bhandari, K. (2022). Assessment of different genotypes of wheat under late sowing condition. *Heliyon*, 8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022000147>
- Valenzuela Antelo, J. L., Benítez Riquelme, I., Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., Lobato Ortiz, R., Bueno Aguilar, G & Vargas Hernández, M. (2018). Comparación del Rendimiento de Trigos Harineros y Cristalinos a Través de Diferentes Ambientes de Riego. *Revista Fitotecnica Mexicana* 41 (2), 159 – 166. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-2/7a.pdf>
- Vázquez Vera, J. A. (2022). Efectos del Numero de Riegos en el Rendimiento y las Características Agronómicas de Treinta y Seis Genotipos de Trigo. [Tesis de Licenciatura, tesis inédita] Tecnológico Nacional de México - Roque.
- Velázquez Miranda, H. (2016). Método de regeneración ex situ de ancestros silvestres del trigo de especies de *Triticum* y *Aegilops*. [Tesis de Maestría. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3741/Velazquez\\_Miranda\\_H\\_MC\\_Botanica\\_2016.pdf;jsessionid=EBEA5CE2CDE7C871FDB2B786F5D5DB76?sequence=1](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3741/Velazquez_Miranda_H_MC_Botanica_2016.pdf;jsessionid=EBEA5CE2CDE7C871FDB2B786F5D5DB76?sequence=1)
- Viguera, B., Martínez Rodríguez, M. R., Donatti C., Harvey, C.A., & Alpízar, F. (2017). *Impacto del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación*. Materiales de fortalecimiento de capacidades

técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE).  
[http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_n-consecuencias-n-\\_del\\_-n-cambio\\_climnotico-n-\\_en\\_mn-xico.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-consecuencias-n-_del_-n-cambio_climnotico-n-_en_mn-xico.htm)

- Villafaña Arroyo, T. L. (2013). *Producción de Biomasa y Rendimiento de Trigo en Respuesta a la Fertilización Nitrogenada en Diferentes Etapas Fenológicas*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64373/MCARN%20TANIA%20LILIBETH%20VILLAFANA%20ARROYO-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villarreal Ruiz, M. (2000). *Efectos de la Producción del Trigo (Triticum aestivum L) en el Mundo, México y en la Región 5 Manantiales*. [Monografía de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1183/EFFECTOS%20DE%20LA%20PRODUCCION%20DEL%20TRIGO%20%28Triticum%20aestivum%20L.%29%20EN%20EL%20MUNDO%2C%20MEXICO%20Y%20EN%20LA%20REGION%205%20MANANTIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., Solís Moya, E., Rodríguez García, M. F., Martínez Cruz, E., & Espitia Rangel, E. (2021). Mejoramiento genético en trigo realizado por el INIFAP desde 1985 a 2020. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 12(25), 27–31. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2809>
- Zavala Álvarez, J., Martínez Partida, J. A., Gastélum López, L. C. (2022). La organización de productores de trigo de Baja California. *Polis*. 18(2), 185-214. *Epub*  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S187023332022000200185](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187023332022000200185)

## CAPÍTULO VII. ANEXOS.

### 7.1 GLOSARIO

**Antesis:** Periodo de florescencia o floración de las plantas.

**Aristas:** Son estructuras filiformes que forman parte de la espiga.

**Brácteas:** Envoltura o cubierta basal y estéril de las espiguillas o inflorescencias de las gramíneas.

**Cromosomas:** Estructuras que se encuentran en el centro (núcleo) de las células que transportan fragmentos largos de ADN.

**Degradación:** Reducir o desgastar las cualidades inherentes a alguien o algo.

**Desarrollo fásico:** Comprende la fase emergencia comenzando con la siembra y dura hasta que empieza la elongación del tallo

**Diploides:** células que tienen un número doble de cromosomas, es decir, la que posee dos series de cromosomas.

**Errática:** Impredecible o que cambia con frecuencia.

**Fotoasimilados:** Sustancias sintetizadas a partir del CO<sub>2</sub> y de la energía solar) son empleados por las células para la obtención de energía metabólica

**Fotoperiodo:** Conjunto de procesos que permite a las plantas regular sus funciones biológicas utilizando el número de horas de luz que hay a lo largo de todo el año.

**Genoma:** Es la secuencia total de ADN que posee un organismo en particular

**Genotipo:** Se refiere a la información genética que posee un organismo en particular, en forma de ADN.

**Germoplasma:** Conjunto de genes que se transmiten a la descendencia por medio de células reproductoras, y que permiten perpetuar una especie o una población de organismos.

**Homeostasis:** Capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior.

**Imprescindible:** Necesario, obligatorio.

Inocuo: Que no hace daño

**Poliploide:** se define como el fenómeno por el cual se originan células, tejidos u organismos con tres o más juegos completos de cromosomas de la misma o distintas especies o con dos o más genomas de especies distintas.

**Tangible:** Es literalmente todo lo que se puede tocar.

**Topografía:** Conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial.

**Variedad:** Grupo definido de plantas, a partir de las cuales, mediante un minucioso trabajo de selección y de investigación, se logra obtener una variedad mejorada.

**Vernalización:** Es la condición natural física a periodos variables de frío de algunas plantas herbáceas para que se produzca la apertura de sus flores.

**Vigorosa:** Potencial que tiene la semilla para germinar y emerger rápidamente, generando plántulas normales en una amplia gama de condiciones ambientales.