

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Índice de Fertilidad y Rendimiento de Grano en Triticales de Diferente  
Hábito de Crecimiento

Por:

**VICTORIA PATRICIA LÓPEZ MENDOZA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Índice de Fertilidad y Rendimiento de Grano en Triticales de Diferente  
Hábito de Crecimiento

Por:

**VICTORIA PATRICIA LÓPEZ MENDOZA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alejandro Javier Lozano del Río  
Asesor Principal



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos  
Coasesor



Dr. José Luis Velasco López  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.  
Junio de 2025

## DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, junio de 2025.

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado "Índice de Fertilidad y Rendimiento de Grano en Triticales de Diferente Hábito de Crecimiento", es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenida de cualquier otra tesis, obra intelectual, artículo, memoria (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente que en caso de comprobarse plagio en el texto o no se respetaron los derechos de autor, esto será objeto de sanción por parte del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar, quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.

Victoria Patricia López Mendoza



---

Nombre

---

Firma

## DEDICATORIA

A mamá y papá: Juventino López Ramos y Patricia Mendoza Herrera por ser mi mayor inspiración, por su gran amor sin condiciones, su inmensa espera y su incansable esfuerzo. Gracias por enseñarme, con el ejemplo, el valor del trabajo, la humildad y la perseverancia. Este logro también es suyo, porque sin su apoyo, este camino no habría sido posible. Como bien se dice “Yo siempre será la hija de unos agricultores, pero ustedes siempre serán los papás de una ingeniera”.

Los amo con el alma, son mi todo y mi amor eterno.

A mis sobrinas Nicol Osbeidy López Torres y Fernanda Ajelet López Torres, mis niñas, una de mis mayores razones para nunca rendirme, porque sabía que ellas veían en mi un ejemplo, si soy una mejor persona es por y para ustedes, desde que llegaron a mi vida la transformaron y la llenaron de luz, amor y esperanza.

Las amo.

A mi abuela Elvira Mendoza Herrera, por ser un gran ejemplo de superación, una mujer trabajadora, valiente, luchona y sobre todo una abuela tierna y amorosa, la cual siempre me ha llevado de su mano, gracias por tanto. Te amo.

A mi asesor de tesis Alejandro Javier Lozano del Rio, por su enorme fe en mí y en mis capacidades, por nunca rendirse y siempre impulsarme a ser mejor estudiante día con día, porque es un gran hombre y ejemplo a seguir.

Y en especial a mí misma, por no rendirme cuando las dudas pesaban, por recuperar fuerzas en mis momentos más difíciles, por confiar en mis sueños incluso en los momentos más inciertos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco con el corazón a quienes hicieron posible este logro.

A Dios, por acompañarme con fuerza, sabiduría y salud en los momentos más difíciles del trayecto.

A mis seres de luz por siempre acompañarme en cada examen, presentación, etc. Por brindarme su sabiduría y apoyo, sin ustedes no hubiera logrado estar donde estoy.

A mis padres, por ser mi refugio y mi impulso, por su esfuerzo, sus palabras de aliento y su amor incondicional. Este logro también les pertenece.

A mi familia: hermanos Omar Juventino López Mendoza y Fernando Yair López Mendoza, por cada palabra de aliento y cada gesto de cariño, ya sea al llevarme a la Universidad o el simple hecho de estar para mí. Abuela Elvira Mendoza Herrera, gracias por siempre apoyarme, darme palabras de aliento y enseñarme lo fuerte que puedo ser. Mis sobrinas: Nicol Osbeidy López Torres y Fernanda Ajelet López Torres, por ser mi impulso, por apoyarme y darme fuerzas cada que sentía que no lo iba a lograr. A mi cuñada Zabdi Ajelet Torres Martínez por ser esa hermana que nunca tuve, por siempre darme cariño, estar para mí y brindarme palabras de aliento. Y a mi familia en general aunque a la distancia sé que se preocupan por mí y me brindan sus buenos deseos.

A mi pareja José Alfredo Hernández Peña por su infinito amor hacia mí, su paciencia y comprensión en momentos difíciles, por su apoyo en los momentos más difíciles, por nunca soltar mi mano y siempre caminar a mi lado, por

impulsarme a ser mejor persona y por enseñarme miles de cosas que jamás pensé saber. Por cuidarme como si fuera su niña, y por hacerme inmensamente feliz.

A mis amistades: mi mejor amiga Yaritzi García por su cariño y amistad incondicional, por siempre estar para mí, por celebrar mis logros como si fueran los tuyos y sobre todo por ser mi ejemplo a seguir, un ejemplo de valentía y superación, porque a pesar de que la vida no te ha sido fácil, nunca te has rendido, estoy tan orgullosa de ti como yo sé que tú lo estas de mí. Gracias por todo y por tanto.

A Paloma Yocelin Cerda Hernández mi primer amiga en la Universidad, gracias por pasar este viaje a mi lado, por cada momento y aventuras vividas y por tu inmenso cariño.

A Ana Karen Cárdenas Abarca mi alma gemela, haberte encontrado en la Universidad fue como un curita al corazón, gracias por compartir mil aventuras a mi lado, gracias por tu apoyo y tu incondicional cariño y gracias por siempre estar para mí.

A mis compañeros de Palomares 2: Jhovany Gaspar, Delfino Flores, Melvin Guízar, Brayan, Cesar, Sebastián y la Paikita, por tantos momentos memorables y por brindarme su amistad y cariño, por las miles de risas y por acompañarme en este viaje.

Agradezco al Cuerpo Académico del Programa por su compromiso y dedicación a lo largo de mi formación.

A mi asesor de tesis, Alejandro Javier Lozano del Rio, por su orientación experta, revisiones oportunas, por derramar su sabiduría en mí y brindarme su apoyo en cada momento.

A mi equipazo: Oscar González Cepeda, José Antonio Salinas Rosales, Javier Orsua de la Peña y Héctor Mario Colín Jaramillo, por su apoyo al momento de realizar mi experimento, sin ustedes no lo hubiera podido lograr, gracias por su apoyo y sobre todo gracias por su amistad y cariño, para mí no solo son los trabajadores de Cereales, sino que son mis grandes amigos, y compañeros de aventuras.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, expreso mi más profundo agradecimiento por haberme formado no solo como profesionista, sino también como ser humano comprometido con el campo, la ciencia y el servicio.

Gracias por brindarme las herramientas, el conocimiento y los valores necesarios para enfrentar con responsabilidad los retos del mundo agrícola.

Cada aula, cada práctica y cada experiencia vivida dentro de esta institución ha dejado una huella imborrable en mi vida.

Y finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron en este camino hacia la meta. Gracias por su apoyo, sus palabras de aliento, sus buenos deseos y su cariño.

## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Aspectos generales del cultivo.....	3
Origen .....	3
Importancia .....	3
Tipos .....	4
Requerimientos edafoclimáticos para óptima productividad del cultivo. ....	5
Cambio climático y su efecto sobre el rendimiento de los cereales .....	6
Estrés térmico .....	6
Llenado de grano en los cereales .....	8
El tamaño del carpelo, el llenado del grano y la morfología determinan el peso individual del grano .....	8
Llenado de grano en triticale.....	9
Mejoramiento para potencial de producción y adaptación al estrés en los cereales .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Sitio Experimental .....	11
Desarrollo del Experimento.....	11
Material genético utilizado.....	11
Preparación del terreno .....	12
Siembra.....	12
Tamaño de parcela experimental.....	12
Fertilización.....	12
Riegos.....	12

Cosecha.....	13
Variables registradas .....	13
Análisis estadísticos.....	14
Correlación entre variables. ....	15
Pruebas de comparación de medias.....	15
DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES .....	41
LITERATURA CITADA .....	42

## INDICE DE CUADROS

1. Resultados de los análisis de varianza del grupo 1 (hábito de crecimiento primaveral) de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	17
2. Resultados de los análisis de varianza del grupo 2 (hábito de crecimiento facultativo), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	18
3. Resultados de los análisis de varianza del grupo 3 (hábito de crecimiento intermedio-invernal), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024. ....	19
4. Resultados de los análisis de varianza del grupo 4 (hábito de crecimiento invernal), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	20
5. Resultados del análisis de varianza entre los diferentes grupos en relación con las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	21
6. Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 1, caracterizado por habito de crecimiento primaveral, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	22
7. Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 2, caracterizado por habito de crecimiento facultativo, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	24
8. Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 3, caracterizado por habito de crecimiento Intermedio-Invernal, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	26
9. Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 4, caracterizado por hábito de crecimiento invernal, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	28

10. Resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos, de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.....	30
--	----

## **INDICE DE FIGURAS**

1. Fotografía ilustrativa de los diferentes hábitos de crecimiento.....	3
2. Localización del Rancho “La Soledad”, Municipio de Matamoros, Coahuila...	11
3. Temperaturas máximas, mínima y promedio a lo largo del ciclo del cultivo....	16
4. Valores máximo, mínimo y promedio de humedad relativa a lo largo del ciclo del cultivo.....	16
5. Visualización de la comparación de medias de LESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	32
6. Visualización de la comparación de medias de ESPI entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	33
7. Visualización de la comparación de medias de FLOESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	33
8. Visualización de la comparación de medias de PESOGRA entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	34
9. Visualización de la comparación de medias de RDTOG entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	35
10. Visualización de la comparación de medias de GRANOESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	36
11. Visualización de la comparación de medias de IF entre los diferentes hábitos de crecimiento.....	37
12. Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG Y GRAESP.....	38
13. Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG Y PGRA.....	38
14. Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG y IF.....	40

## **RESUMEN**

En la Región Lagunera y el sur del estado de Chihuahua, durante la etapa final de producción de semilla de diversas variedades de triticale desarrolladas por la UAAAN, el llenado de grano se ve afectado por distintos tipos de estrés, siendo el más relevante el provocado por las altas temperaturas al cierre del ciclo del cultivo. Como resultado, es común que se presenten pérdidas significativas en el rendimiento, atribuibles principalmente a estos factores térmicos.

Esta investigación tuvo como propósito evaluar el impacto de las temperaturas elevadas al final del ciclo sobre la fertilidad de las espigas y, por ende, sobre el rendimiento de grano y sus componentes en variedades con distintos hábitos de crecimiento, bajo condiciones de riego en una localidad de la Región Lagunera. Asimismo, se buscó identificar, mediante análisis de correlación, los componentes del rendimiento que presentan una asociación positiva con el rendimiento de grano. El estudio se llevó a cabo durante el ciclo otoño-invierno 2022-2023 en el Rancho “La Soledad”, ubicado en el municipio de Matamoros, Coahuila. En total, se evaluaron 324 genotipos, de los cuales 162 correspondieron a líneas experimentales de hábito primaveral, 40 al tipo facultativo, 81 al intermedio-invernal y 41 al tipo invernal. Se midieron las siguientes variables: longitud de espiga (LESP), número de espiguillas por espiga (ESPI), número de florecillas por espiga (FLORESP), número de granos por espiga (GRAESP), índice de fertilidad (IF), peso seco del grano de cinco espigas (PGRA) y rendimiento de grano (RDTOG). En cuanto al rendimiento de grano (RDTOG), el grupo con hábito primaveral (Grupo 1) presentó, de manera estadísticamente significativa, el mayor rendimiento en comparación con los grupos de hábito más tardío (Grupos 2, 3 y 4), lo que se atribuye a su precocidad y mejor adaptación a las condiciones ambientales del lugar de evaluación. Como conclusión, se recomienda considerar el peso de grano por espiga (PGRA) como un criterio confiable para la selección de genotipos con alto potencial de rendimiento, independientemente del hábito de crecimiento.

**Palabras clave:** triticale, índice de fertilidad, rendimiento, correlaciones.

## INTRODUCCIÓN

El triticale (*X Triticosecale Wittmack*), híbrido sintético producto del cruce entre trigo y centeno, fue desarrollado artificialmente por científicos y actualmente se reconoce por ofrecer rendimientos potenciales de grano iguales o superiores a los de otros cereales de grano pequeño como el trigo, cebada, centeno y avena. A nivel mundial, una parte considerable de su producción se destina a la alimentación animal, debido a su alto contenido de proteínas y aminoácidos esenciales, como el triptófano. Esta planta es aprovechada tanto como forraje, en diversas modalidades (heno, ensilado o pastoreo directo), como también en forma de grano, especialmente en dietas para cerdos y aves de corral (Rojas, 2004). Esto la convierte en una excelente alternativa productiva, combinando la resistencia a factores bióticos y abióticos proporcionada por el centeno con el potencial de rendimiento y las propiedades nutricionales del trigo.

En el caso de México, destaca la importancia de generar semilla de alta calidad para variedades orientadas al uso forrajero a nivel comercial. En regiones del norte del país, particularmente en la Región Lagunera y el sur de Chihuahua, la fase de llenado de grano enfrenta diversos tipos de estrés, siendo las elevadas temperaturas al final del ciclo del cultivo uno de los principales factores que afectan negativamente el rendimiento.

Considerando los avances logrados por la UAAAN en el desarrollo y registro de nuevas variedades forrajeras con distintos tipos de hábito de crecimiento en esta zona, resulta esencial identificar los elementos que contribuyen a mejorar el rendimiento de grano (semilla) en función del hábito de crecimiento. Bajo esta perspectiva, se planteó la presente investigación con los siguientes objetivos:

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Registrar la posible reducción en el potencial de rendimiento de grano (semilla) en variedades con distintos hábitos de crecimiento, como consecuencia del efecto de altas temperaturas durante la fase final del cultivo, bajo condiciones de riego en una localidad de la Región Lagunera.

### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar el efecto de las altas temperaturas en la etapa final del ciclo de cultivo sobre el rendimiento de grano (semilla) y sus componentes en variedades con distintos hábitos de crecimiento.
2. Identificar y registrar los componentes del rendimiento que muestran una asociación positiva con el rendimiento de grano, a través del análisis de correlaciones.

## **HIPÓTESIS**

- a) Las altas temperaturas en la fase terminal del cultivo no generan diferencias en el rendimiento de grano entre los distintos hábitos de crecimiento.
- b) No se encontró una relación positiva entre los componentes del rendimiento y el rendimiento de grano en ninguno de los hábitos de crecimiento evaluados.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Aspectos generales del cultivo**

#### **Origen**

Según Lukaszewski y Gustafson (1979), fue en 1888 cuando el investigador alemán Rimpau documentó por primera vez la obtención de un triticale auténtico, resultado del cruce entre trigo hexaploide y centeno diploide. Este nuevo cereal fue cultivado inicialmente en Escocia y Suecia. Las variedades actuales de triticale (x Triticosecale Wittmack) se derivan de cruzamientos en los que el trigo (*Triticum* sp.) actúa como progenitor femenino, mientras que el centeno (*Secale cereale* L.) funge como progenitor masculino. Por lo general, estos cruzamientos se realizan entre trigo duro o cristalino (*Triticum durum* L.) y centeno diploide (*Secale cereale* L.).

En la actualidad, tanto a nivel internacional como nacional, la mayoría de los programas de mejoramiento genético de triticale enfocan sus esfuerzos en el desarrollo de nuevas variedades mediante cruces secundarias entre diferentes líneas de triticale, es decir, triticale x triticale (Lozano et al., 2009).

#### **Importancia**

Actualmente, el triticale ofrece rendimientos de grano comparables o incluso superiores a los del trigo, centeno y avena. En países de Europa del Este —como Polonia, Rusia y Alemania—, que se destacan como los principales productores a nivel mundial, así como en el centro de México, su cultivo se destina principalmente a la alimentación de animales monogástricos, como cerdos y aves de corral. En estos casos, el grano se utiliza en la elaboración de concentrados, ya que presenta ventajas competitivas frente al maíz y la cebada tanto en calidad nutricional como en costo (Rojas, 2004).

Bajo condiciones de estrés hídrico (temporal), el triticale puede superar en rendimiento al trigo. Desde el punto de vista forrajero, su capacidad de rebrote es superior, lo cual depende de su hábito de crecimiento y del manejo agronómico. Esta característica le permite mantener la producción bajo pastoreo directo, compensando las pérdidas ocasionadas por el pisoteo y las excretas del

ganado, algo que no sucede con la misma eficiencia en trigo o cebada (Mendoza et al., 2006).

Además, como cultivo forrajero, destaca por su alta producción de materia seca y por conservar mejor su calidad, particularmente en cuanto al contenido de proteína, a medida que avanza su desarrollo fenológico. Esto lo diferencia favorablemente frente a otros cultivos como la avena y la cebada (Romero et al., 1999).

### **Tipos**

En México, y específicamente en el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), se han desarrollado variedades de este híbrido intergenérico para uso forrajero, de acuerdo a su fenología y hábito de crecimiento, para henificado, cortes múltiples o pastoreos (Lozano del Río, 2002), siendo criterio importante la capacidad de rebrote de los genotipos, que depende del hábito de crecimiento, etapa fenológica al corte, clima, prácticas de manejo, humedad y fertilidad del suelo e intensidad del corte o pastoreo, (Poysa, 1985). Por su hábito de crecimiento, se clasifican como primaverales, invernales y facultativos (Lozano del Río, 2002). Los primaverales (precoces) tienen rápido crecimiento y diferenciación, sin requerimientos de vernalización, con crecimiento inicial erecto que facilita su cosecha mecánica, con bajo amacollamiento y capacidad de rebrote, adecuados para henificado. Los tipos facultativos (semiprecoces) tienen crecimiento inicial semipostrado, amacollamiento intermedio y buena capacidad de rebrote después del corte o pastoreo. Los tipos invernales son adecuados para cortes o pastoreos múltiples, y son excelentes en la producción de forraje de alta calidad debido a su capacidad de rebrote, mayor relación hoja-tallo y alta calidad nutritiva, en comparación con los facultativos, avenas y trigos. Ye *et al.*, (2001), reportó un cuarto tipo, denominado intermedio-invernal, de hábito semipostrado, con alto ahijamiento y capacidad de rebrote, pero menos tardíos que los tipos invernales verdaderos (Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001; Lozano *et al.*, 2009), Figura 1).



Figura 1. Fotografía ilustrativa de los diferentes hábitos de crecimiento.

### **Requerimientos edafoclimáticos para óptima productividad del cultivo.**

- Temperatura:
- Temperatura óptima de germinación: 20 °C
- Temperatura óptima de crecimiento: 10-24 °C
- Temperatura mínima de supervivencia: -10 °C
- Temperatura máxima de supervivencia: 38 °C

Suelos: Se adapta bien a suelos ácidos y alcalinos, preferentemente del tipo migajón-arenoso.

Riegos:

Las etapas críticas del cultivo incluyen la presiembra (besana), la siembra en seco, el amacollamiento, el encañe, el espigamiento, la floración y el llenado del grano. Generalmente, los requerimientos hídricos varían entre 400 y 900 mm por año, dependiendo tanto de la variedad como de la región donde se cultiva. Bajo

condiciones de temporal (250-300 mm), en las zonas áridas y semiáridas del norte y centro de México, el cultivo rinde adecuados rendimientos de grano y/o forraje (Lozano del Río, 2002).

## **Cambio climático y su efecto sobre el rendimiento de los cereales**

### **Estrés térmico**

El aumento de la temperatura por encima de un umbral crítico durante un periodo prolongado puede provocar daños irreversibles en el desarrollo de las plantas. La tolerancia al calor se refiere a la capacidad de los cultivos para crecer y alcanzar rendimientos económicamente viables bajo condiciones de altas temperaturas. En particular, temperaturas superiores a 30 °C tras la antesis afectan negativamente el llenado del grano, así como la duración y tasa de acumulación de fotosintatos, lo que finalmente repercute en el rendimiento (Joshi et al., 2007). El triticale, al igual que el trigo, muestra una mayor sensibilidad al calor durante la fase reproductiva que en la vegetativa, lo que se traduce en una reducción tanto en el número como en el peso de los granos (Wardlaw et al., 1989; Wollenweber et al., 2003). La velocidad de llenado del grano en esta etapa está determinada por el genotipo y por factores ambientales como la disponibilidad de nutrientes (Hunt et al., 1991).

En este contexto, el estrés térmico representa actualmente una seria amenaza para la productividad agrícola a nivel global (Kumar et al., 2012; Lobell et al., 2012). Hatfield et al. (2018) destacan que la etapa reproductiva es especialmente vulnerable a las altas temperaturas, ya que el estrés interfiere con el desarrollo y funcionamiento tanto del polen como del saco embrionario. Según Hedhly (2011), el polen es particularmente sensible al calor en todas las fases de su desarrollo, mientras que el saco embrionario muestra una menor sensibilidad, aunque esta varía según la especie y las condiciones térmicas (Parrotta et al., 2016).

En síntesis, el estrés térmico altera múltiples procesos fisiológicos y morfológicos en cereales de grano pequeño, afectando su desarrollo y disminuyendo considerablemente el rendimiento (McClung et al., 2010). La respuesta de las plantas depende de la intensidad, duración y del momento fenológico en que

ocurre el estrés. Por ejemplo, los procesos fotosintéticos suelen ser más resistentes a temperaturas entre 30 °C y 35 °C, pero se ven seriamente comprometidos cuando estas superan los 40 °C. Además, el incremento de la temperatura en las hojas reduce el contenido de agua y el potencial hídrico, lo que conlleva a una disminución de la fotosíntesis y del transporte de asimilados desde las fuentes hacia los sumideros (Farooq et al., 2009; Lipiec et al., 2013). Durante el desarrollo reproductivo, el estrés térmico también impacta el crecimiento de las raíces al reducir la partición de carbono hacia ellas (Porter et al., 1999). En cuanto a los componentes del rendimiento, se observa una disminución en el número de granos y, en consecuencia, del índice de cosecha en trigo (Lukac et al., 2011). La sensibilidad de estos componentes varía según la fase de desarrollo: temperaturas por encima de 20 °C entre espigamiento y anthesis aceleran el desarrollo de la espiga, pero disminuyen el número de espiguillas y granos por espiga (Ma, 2009).

Asimismo, las altas temperaturas pueden provocar esterilidad masculina, ya que dañan la microspora y las células del polen. Incluso temperaturas ligeramente superiores a 30 °C durante la floración pueden causar esterilidad total, dependiendo del genotipo (Kaur et al., 2010). Se ha observado que anteras expuestas a tres días de estrés térmico durante la anthesis resultan en florecillas no funcionales (Hedhly et al., 2011). Además, temperaturas de 31/20 °C (día/noche) modifican la estructura de la capa de aleurona y del endospermo, causando contracción del grano (Dias et al., 2008).

El periodo de llenado del grano en trigo es particularmente vulnerable al calor. El estrés térmico no solo acelera la tasa de llenado sino que también acorta su duración (Dias et al., 2009a). Por ejemplo, un incremento de 5 °C por encima de los 20 °C puede reducir este periodo en hasta 12 días (Yin et al., 2009). Además, se ha encontrado que el aumento de la temperatura nocturna afecta más negativamente que el diurno, reduciendo el llenado de grano y el rendimiento (Prasad et al., 2008). En condiciones de 32/22 °C (día/noche), Song (2015) reportó una disminución significativa en la tasa de llenado en comparación con cultivares mantenidos a 25/15 °C.

Finalmente, el estrés térmico también repercute en la calidad del grano de cereales y leguminosas, debido a la menor disponibilidad de asimilados y la reducción en la remobilización de nutrientes.

### **Llenado de grano en los cereales**

Actualmente, el triticale ofrece rendimientos de grano comparables o incluso superiores a los del trigo, centeno y avena. En países de Europa del Este —como Polonia, Rusia y Alemania—, que se destacan como los principales productores a nivel mundial, así como en el centro de México, su cultivo se destina principalmente a la alimentación de animales monogástricos, como cerdos y aves de corral. En estos casos, el grano se utiliza en la elaboración de concentrados, ya que presenta ventajas competitivas frente al maíz y la cebada tanto en calidad nutricional como en costo (Rojas, 2004).

Bajo condiciones de estrés hídrico (temporal), el triticale puede superar en rendimiento al trigo. Desde el punto de vista forrajero, su capacidad de rebrote es superior, lo cual depende de su hábito de crecimiento y del manejo agronómico. Esta característica le permite mantener la producción bajo pastoreo directo, compensando las pérdidas ocasionadas por el pisoteo y las excretas del ganado, algo que no sucede con la misma eficiencia en trigo o cebada (Mendoza et al., 2006).

Además, como cultivo forrajero, destaca por su alta producción de materia seca y por conservar mejor su calidad, particularmente en cuanto al contenido de proteína, a medida que avanza su desarrollo fenológico. Esto lo diferencia favorablemente frente a otros cultivos como la avena y la cebada (Romero et al., 1999).

### **El tamaño del carpelo, el llenado del grano y la morfología determinan el peso individual del grano**

Shewry *et al.*, (2009), mencionan que el peso del grano se determina en el período entre la antesis y la madurez. Asimismo, reportan que el peso individual

del grano es determinado por el tamaño del carpelo en la antesis, la tasa de acumulación de materia seca, la absorción y pérdida de agua del grano y su peso final en diferentes posiciones dentro de las espiguillas. El mismo autor menciona que el grano acumula materia seca mediante el proceso de deposición de almidón (60-70% del peso del grano maduro), proteínas (8-15%) y otros nutrientes (por ejemplo, minerales, vitaminas y fibras).

### **Llenado de grano en triticale**

En este cultivo, el conocimiento sobre el efecto del estrés terminal sobre el crecimiento del grano, expresado como la combinación de velocidad y duración del llenado del grano, es muy limitado. Además, falta información sobre las diferencias en los patrones de llenado de grano entre cultivares de diferentes hábitos de crecimiento para ambientes mediterráneos y áreas similares como por ejemplo en el norte de México.

En un estudio con materiales de diferentes hábitos de crecimiento, Santiveri *et al.*, (2004), reportó que la tasa máxima de llenado de grano dependió principalmente del genotipo, pero también fue afectada por las condiciones ambientales. En su estudio, los genotipos de hábito primaveral tuvieron un promedio de llenado máximo del grano 40% mayor que el de los tipos invernales; asimismo, el rendimiento de grano no se correlacionó genéticamente con la duración del llenado del grano, sino más bien con la tasa de llenado y con el peso máximo del grano. Los genotipos de primavera produjeron un 21% más que los tipos de invierno, probablemente debido a que escaparon del estrés hídrico terminal.

Anteriormente, Giunta *et al.*, (1999) estudiando diferentes tipos, analizaron el efecto del peso final del grano sobre el rendimiento bajo condiciones mediterráneas, y sugirieron que el mayor peso del grano resultó de una mayor tasa de acumulación de fotosintatos por las condiciones más favorables en el período previo a la antesis. Los genotipos de primavera tuvieron una combinación de menor duración del ciclo desde la siembra hasta la antesis, mayor tasa de llenado del grano, el peso del grano y el rendimiento. Lo anterior es consecuencia de los mayores esfuerzos de mejoramiento realizados para aumentar los

rendimientos en los tipos primaverales que en los tipos de invierno en condiciones mediterráneas (Royo *et al.*, 1994). Estos resultados indican que los tipos más precoces escaparon de las altas temperaturas al final del ciclo de crecimiento por lo que pueden ser más adecuados para áreas o regiones propensas al estrés terminal.

### **Mejoramiento para potencial de producción y adaptación al estrés en los cereales**

La adaptación de los nuevos genotipos y variedades será un factor clave para definir qué tan graves serán los efectos del cambio climático sobre la producción de alimentos, incluyendo el desarrollo de cultivares con tolerancia al calor. Además, ajustes agronómicos como el cambio en las fechas de siembra o la sustitución de cultivos podrían contribuir a mitigar los impactos negativos del cambio climático (Molden, 2007).

Asimismo, se ha observado que los avances genéticos dirigidos a incrementar el potencial de rendimiento muestran su máxima expresión en condiciones favorables, pero también están relacionados con mejores desempeños bajo escenarios de sequía (Araus *et al.*, 2002; Abeledo *et al.*, 2003).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio Experimental

El presente estudio se realizó en el ciclo otoño - invierno 2022-2023 en el Rancho “La Soledad”, municipio de Matamoros, Coahuila, ubicado entre las coordenadas 25° 30' 49'' Latitud Norte y 103° 07' 26'' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1,120 msnm (Figura 1).



**Figura 2.** Localización del Rancho “La Soledad”, Municipio de Matamoros, Coahuila.

### Desarrollo del Experimento

#### Material genético utilizado

Se evaluaron 324 genotipos del Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de los cuales 162 fueron de hábito primaveral, 40 facultativos, 81 intermedio- invernial y 41 invernales.

## **Preparación del terreno**

Previo a la siembra, se realizaron las labores tradicionales para este tipo de cultivos; barbecho, doble rastreo y nivelación. Cuando estuvo terminada la cama de siembra, el surcado del lote experimental se realizó utilizando una cultivadora con surcos separados a 30 cm.

## **Siembra**

La siembra se llevó a cabo en seco el 30 de diciembre de 2022. El proceso fue manual, mediante el método de “chorrillo”, colocando la semilla en el fondo del surco y cubriéndola con tierra utilizando el pie.

## **Tamaño de parcela experimental**

Cada parcela experimental estuvo compuesta por tres surcos de 3 metros de longitud, con una separación de 30 cm entre hileras, lo que representa una superficie total de 2.7 m<sup>2</sup>. Para delimitar los genotipos evaluados, se dejó un surco sin sembrar entre cada unidad experimental.

## **Fertilización**

Antes del establecimiento del experimento, el lote experimental fue fertilizado con 150 kg/ha de urea (46% N); antes del segundo riego de auxilio, se aplicaron adicionalmente 300 kg/ha de sulfato de amonio, dando la dosis de fertilización siguiente: 132 N-00 P-00 K.

## **Riegos**

Durante la siembra se realizó un riego por gravedad, al que se sumaron cinco riegos adicionales en las siguientes fechas:

Primer auxilio: 23 de Enero de 2023;

Segundo auxilio: 15 de Febrero de 2023;

Tercer auxilio: 16 de Marzo de 2023;

Cuarto auxilio: 10 de Abril de 2023;

Quinto auxilio: 05 de Mayo de 2023.

Se aplicaron un total de 6 riegos, incluyendo el de siembra, con una lámina aproximada de 10 cm, (60 cm de lámina).

## **Cosecha**

El 3 de junio de 2023 se llevó a cabo el muestreo, realizando dos cortes de submuestra de 40 cm lineales en el surco central de cada unidad experimental, bajo condiciones de competencia completa (0.24 m<sup>2</sup>). Posteriormente, la muestra recolectada fue trillada utilizando una trilladora estacionaria tipo Pullman.

## **Variables registradas**

- Longitud de espiga (LESP): En cada unidad experimental en la etapa de madurez se tomaron 5 espigas al azar, se midió su longitud en cm y se registró el promedio.
- Número de espiguillas por espiga (ESPI): En las mismas 5 espigas para el registro de LESP, se contó el número de espiguillas y se registró el promedio.
- Número de florecillas por espiga (FLOESP): En las mismas 5 espigas para el registro de LESP, se contó el número de espiguillas, se multiplicó por 3 y se registró el promedio.
- Número de granos por espiga (GRAESP): Las 5 espigas tomadas al azar se trillaron en forma manual, se contó el total de granos y se registró el promedio.
- Índice de fertilidad (IF): Se determinó dividiendo el número de granos por espiga (GRAESP) entre el número de florecillas por espiga (FLOESP).
- Peso seco del grano de 5 espigas (PGRA): El grano de las 5 espigas trilladas en forma manual se registró su peso en gramos (g).
- Rendimiento de grano (RDTOG): Este se determinó cosechando 2m lineales del surco central, se trilló en una máquina estacionaria tipo Pullman y se registró el peso limpio de grano en g; posteriormente se transformó a t ha<sup>-1</sup>.

### **Diseño experimental utilizado en campo**

El diseño experimental utilizado fue un bloques completos al azar con dos repeticiones por variedad.

### **Análisis estadísticos**

Se efectuaron análisis de varianza individuales entre variedades dentro de cada grupo, y entre grupos para cada una de las variables en estudio

### **Modelo estadístico de los análisis de varianza entre variedades, por grupo, para las variables en estudio.**

$$Y_{ij} = \mu + R_i + V_k + E_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = media general

i = repeticiones

k = variedades

$E_{ij}$  = error experimental.

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable observada.

$\mu$  : = Efecto de la media general.

$R_i$  = Efecto de la i-ésima repetición.

$V_k$  = Efecto de la k-ésima variedad.

$E_{ij}$  = Error experimental.

### **Modelo estadístico de los análisis de varianza entre grupos para las variables en estudio.**

$$Y_{ij} = \mu + R_i + G_k + E_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = media general

i = repeticiones

k = grupos

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable observada.

$\mu$  : = Efecto de la media general.  
 $R_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima repetición.  
 $G_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo grupo.  
 $E_{ij}$  = Error experimental.

### **Correlación entre variables.**

Se realizaron correlaciones entre el rendimiento de grano y sus componentes para determinar las variables con mayor asociación positiva, utilizando el paquete estadístico Statistica 7.0 (2001).

### **Pruebas de comparación de medias.**

Se realizaron análisis para las variables evaluadas, considerando comparaciones entre variedades dentro de cada grupo y también entre los diferentes grupos. Con el objetivo de identificar genotipos destacados, para cada variable en estudio se estableció un valor de referencia basado en la media más una y dos veces el error estándar de la media ( $\mu + EE$ ;  $\mu + 2EE$ ). Asimismo, se calculó el coeficiente de variación para las variables analizadas, empleando la siguiente fórmula:

$$C.V. = \sqrt{\frac{CMEE}{\bar{x}}} \times 100$$

Donde:

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

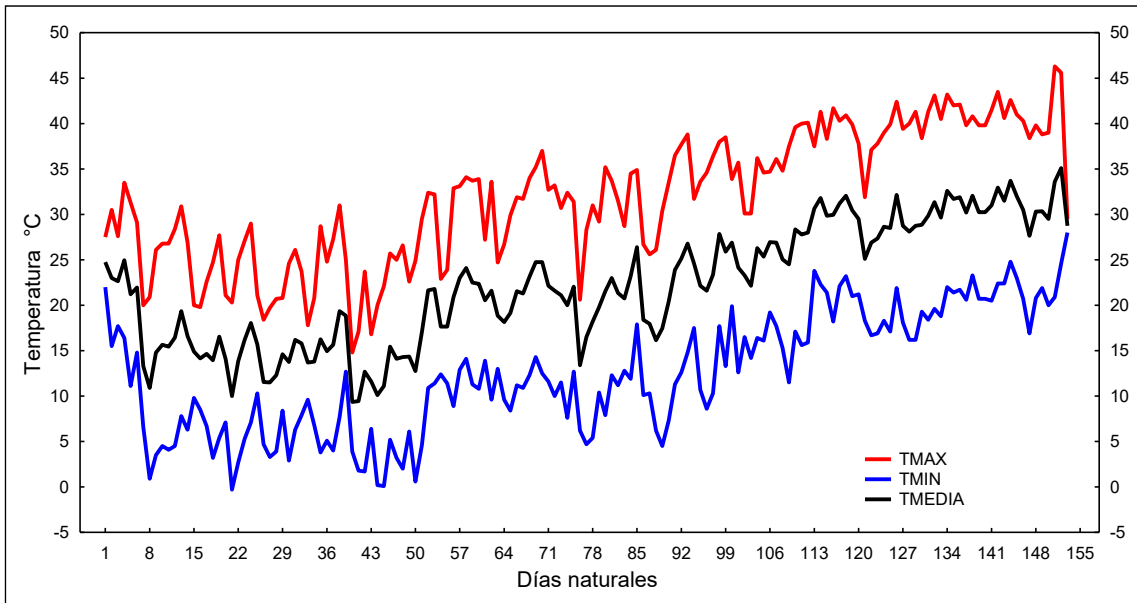
$\bar{x}$  = Media general del carácter.

Los análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias se realizaron con el paquete estadístico SAS 8.1 (1999); las gráficas se construyeron con el paquete estadístico Statistica 7.0 (2001).

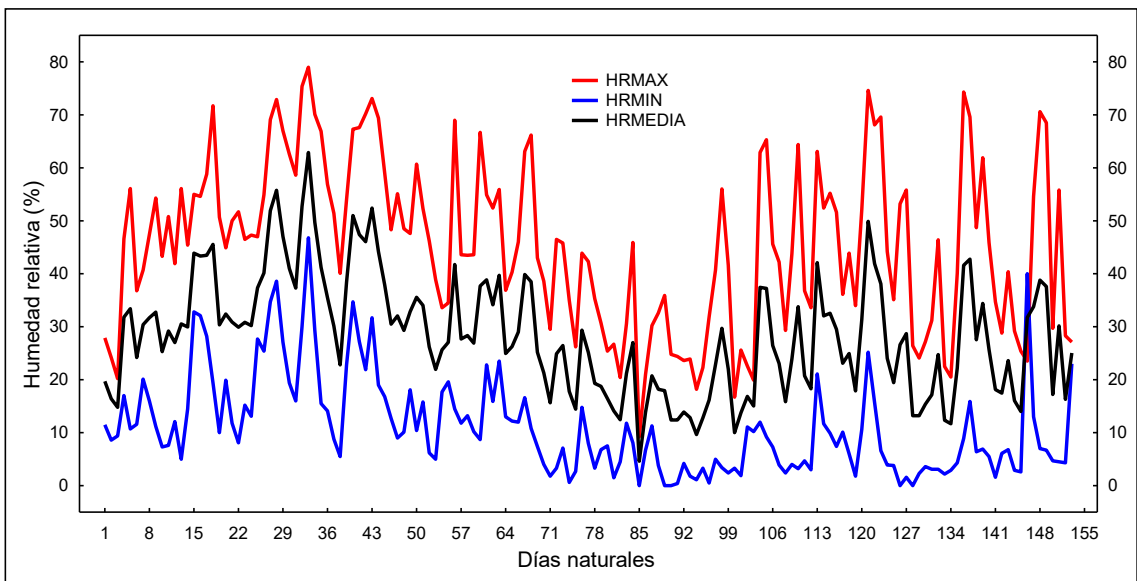
## RESULTADOS

### Datos meteorológicos registrados durante el ciclo de cultivo.

A lo largo del ciclo de cultivo (155 días), se obtuvieron registros de temperatura y humedad relativa utilizando un termo higrómetro ambiental con datalogger en la localidad. (Figuras 2 y 3).



**Figura 3.** Temperaturas máximas, mínima y promedio a lo largo del ciclo del cultivo.



**Figura 4.** Valores máximo, mínimo y promedio de humedad relativa a lo largo del ciclo del cultivo.

**Resultados de los análisis de varianza de las características en estudio. Rancho “La Soledad”, Matamoros, Coah. Ciclo 2023-2024.**

**Cuadro 1.-** Resultados de los análisis de varianza del grupo 1 (hábito de crecimiento primaveral) de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

CUADRADOS MEDIOS								
FV	GL	LESP (cm)	FLOESP (#)	IF	ESPI (#)	GRAESP (#)	PGRA (g)	RDTOG (t/ha <sup>-1</sup> )
VAR	158	2.207 **	71.122 **	0.026 **	6.400 **	3236.6 **	8.102 **	1.519 **
REP	1	0.124 n/s	741.04 **	0.012 n/s	106.4 **	28226.4 **	135.13 **	14.316 **
ERROR	158	0.451	30.538	0.012	2.693	1948.1	4.176	0.336
TOTAL	317	-	-	-	-	-	-	-
MEDIA GENERAL		11.1	77	0.831	25	321	11.8	4.093
CV %		6.0	7.1	13.4	6.3	13.7	17.2	14.1

n/s: no significativo. \*\*: altamente significativo al 1% de probabilidad, \*: significativo al 5% de probabilidad; VAR: variable; CV: %coeficiente de variación; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

Los análisis de varianza del grupo primaveral se observaron diferencias estadísticamente muy significativas entre las variedades para todas las variables analizadas; entre repeticiones también se reportaron diferencias altamente significativas excepto en las variables LESP y IF. Los resultados anteriores muestran la diversidad genética existente entre las diferentes variedades, aunque fueran del mismo tipo. Las diferencias entre las repeticiones en la mayoría de las variables estudiadas confirman las posibles diferencias entre las condiciones ambientales de evaluación (suelo y fertilización). Los coeficientes de variación variaron entre 6.0 y 17.2% (Cuadro 1).

**Cuadro 2.-** Resultados de los análisis de varianza del grupo 2 (hábito de crecimiento facultativo), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

CUADRADOS MEDIOS								
FV	GL	LESP (cm)	FLOESP (#)	IF	ESPI (#)	GRAESP (#)	PGRA (g)	RDTOG (t/ha <sup>-1</sup> )
VAR	42	1.224 **	136.67 **	0.018 **	7.784 **	3573.9 **	7.354 **	2.035 **
REP	1	4.066 **	74.11 n/s	0.036 **	0.569 n/s	669.7 n/s	4.604 n/s	0.682 n/s
ERROR	42	0.494	32.134	0.004	4.141	885.7	3.200	0.223
TOTAL	85	-	-	-	-	-	-	-
MEDIA GENERAL		11.9	90	0.651	29	294	9.6	3.423
CV %		5.8	6.2	10.6	6.8	10.1	18.5	13.8

n/s: no significativo. \*\*: altamente significativo al 1% de probabilidad, \*: significativo al 5% de probabilidad; VAR: variable; CV: %coeficiente de variación; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

El análisis de varianza del grupo facultativo (Cuadro 2), registraron diferencias altamente significativas entre las variedades en todas las variables, por lo que se confirma la diversidad genética existente entre las variedades integrantes del grupo, aunque son del mismo tipo; entre repeticiones sólo se reportaron diferencias altamente significativas en las variables LESP y IF. En contraste con el grupo anterior (primaverales), las diferencias estadísticas entre las repeticiones solo en las variables mencionadas muestran que fueron afectadas por las condiciones ambientales de evaluación (suelo y fertilización). Los coeficientes de variación variaron entre 5.8 y 18.5 %

**Cuadro 3.-** Resultados de los análisis de varianza del grupo 3 (hábito de crecimiento intermedio-invernal), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

CUADRADOS MEDIOS								
FV	GL	LESP (cm)	FLOESP (#)	IF	ESPI (#)	GRAESP (#)	PGRA (g)	RDTOG (t/ha <sup>-1</sup> )
VAR	79	1.448 **	77.202 **	0.017 **	8.776 **	2309.5 **	5.186 **	2.023 **
REP	1	2.314 *	8.450 n/s	0.0009 n/s	0.0 n/s	198.56 n/s	8.078 n/s	1.019 n/s
ERROR	79	0.490	37.981	0.005	3.311	1100.0	2.375	0.417
TOTAL	157	-	-	-	-	-	-	-
MEDIA GENERAL		11.9	90	0.612	30	296	9.9	3.430
CV %		5.8	6.7	12.3	5.8	11.1	15.4	18.8

n/s: no significativo. \*\*: altamente significativo al 1% de probabilidad, \*: significativo al 5% de probabilidad; VAR: variable; CV: %coeficiente de variación; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

Los análisis de varianza del grupo de variedades de tipo intermedio-invernal, se observaron diferencias estadísticamente muy significativas entre las variedades para todas las variables analizadas; entre repeticiones sólo se reportó diferencia significativa en la variable LESP. Los resultados confirman la diversidad genética existente entre las diferentes variedades integrantes de este grupo. La ausencia de diferencias estadísticas entre las repeticiones excepto en la variable LESP confirma las posibles similitudes entre las condiciones ambientales de evaluación (suelo y fertilización). Los coeficientes de variación variaron entre 5.8 y 18.8%, los cuales son considerados aceptables (Cuadro 3).

**Cuadro 4.-** Resultados de los análisis de varianza del grupo 4 (hábito de crecimiento invernal), de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024

CUADRADOS MEDIOS								
FV	GL	LESP (cm)	FLOESP (#)	IF	ESPI (#)	GRAESP (#)	PGRA (g)	RDTOG (t/ha <sup>-1</sup> )
<b>VAR</b>	42	1.918 **	68.425 *	0.020 **	8.906 n/s	5424.1 **	6.297 **	1.769 **
<b>REP</b>	1	1.458 n/s	2.390 n/s	0.00003 n/s	5.627 n/s	4703.4 n/s	1.458 n/s	0.171 n/s
<b>ERROR</b>	42	0.644	34.176	0.005	5.723	1471.6	3.013	0.312
<b>TOTAL</b>	85	-	-	-	-	-	-	-
<b>MEDIA GENERAL</b>		12.06	91	0.639	30	255	8.4	2.750
<b>CV %</b>		6.6	6.3	11.7	7.8	15.0	20.4	20.3

n/s: no significativo. \*\*: altamente significativo al 1% de probabilidad, \*: significativo al 5% de probabilidad; VAR: variable; CV: %coeficiente de variación; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

Los análisis de varianza del grupo de variedades invernales (Cuadro 4), se observaron diferencias estadísticamente muy significativas entre las variedades para las variables analizadas: LESP, IF, GRAESP, PGRA y RDTOG; diferencia significativa en la variable FLOESP. No se registró diferencia estadística en la variable ESPI. Para la variable de mayor interés en este estudio (RDTOG), se confirma la diversidad genética existente entre las variedades integrantes del grupo y la oportunidad de selección de los materiales más rendidores dentro de este grupo. Entre repeticiones no se reportaron diferencias estadísticas en las ninguna de las variables. Los coeficientes de variación variaron entre 6.3 y 20.4 %.

**Cuadro 5.-** Resultados del análisis de varianza entre los diferentes grupos en relación con las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

CUADRADOS MEDIOS								
FV	GL	LESP (cm)	FLOESP (#)	IF	ESPI (#)	GRAESP (#)	PGRA (g)	RDTOG (t/ha <sup>-1</sup> )
<b>GRUPO</b>	3	41.681 **	10050.4 **	2.241 **	1274.8 **	107636.3 **	342.161 **	48.037 **
<b>REP*GRU</b>	4	2.001 **	206.50 **	0.012 n/s	28.165 **	8473.7 **	37.194 **	4.051 **
<b>VAR*GRU</b>	321	1.854 **	80.418 **	0.022 **	7.494 **	3338.5 **	7.052 **	1.743 **
<b>ERROR</b>	319	0.492	33.179	0.008	3.432	1540.7	3.460	0.337
<b>TOTAL</b>	647	-	-	-	-	-	-	-
<b>MEDIA GENERAL</b>		11.5	84	0.729	28	303	10.6	3.665
<b>CV %</b>		6.0	6.8	12.9	6.5	12.9	17.4	15.8

n/s: no significativo. \*\*: altamente significativo al 1% de probabilidad, \*: significativo al 5% de probabilidad; VAR: variable; CV: %coeficiente de variación; FV: fuente de variación; GL: grados de libertad.

En el Cuadro 5, se reportaron diferencias estadísticas altamente significativas tanto dentro como entre grupos, indicando la gran diversidad genética presente en la población total de los genotipos evaluados, de manera independiente de su hábito de crecimiento, lo que ofrece una oportunidad para la selección de los genotipos más sobresalientes, principalmente en el aspecto del rendimiento de grano o semilla. En forma general, se confirman las diferencias estadísticas entre las repeticiones para la mayoría de las variables en estudio ya observadas en los análisis individuales de cada grupo (Cuadros 1-4). Los coeficientes de variación variaron entre 6.0 y 17.4%, confirmando la confiabilidad de los datos obtenidos.

**Resultados de las pruebas de comparación de medias dentro de cada grupo de las características en estudio. Rancho “La Soledad”, Matamoros, Coah. Ciclo 2023-2024**

**Cuadro 6.-** Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 1, caracterizado por habito de crecimiento primaveral, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

LESP (cm)			FLOESP (#)			IF			ESPI (#)			GRAESP (#)			PGRA (g)			RDTOG (t/ha-1)		
VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG
560011	13.4	**	AN137	97	**	965007	1.098	**	AN137	33	**	965007	84	**	965008	17.35	**	560009	6.087	**
560246	13.4	**	ERONGA	97	**	560114	1.063	**	360019	32	**	965008	84	**	965084	16.65	**	860032	5.930	**
360019	13.3	**	360019	95	**	560176	1.031	**	ERONGA	32	**	560246	83	**	860004	16.45	**	560176	5.844	**
560085	13.3	**	AN85	93	**	560225	1.020	**	AN85	31	**	965101	82	**	965079	16.40	**	965064	5.657	**
560244	13.3	**	AN125	93	**	560093	1.011	**	AN125	31	**	560225	81	**	560229	16.15	**	560150	5.650	**
965088	13.2	**	860011	91	**	860040	1.007	**	860011	30	**	965012	81	**	560139	15.55	**	860033	5.560	**
560004	13.2	**	CAN3	90	**	965008	1.005	**	AN29	30	**	560176	80	**	560114	15.30	**	965081	5.540	**
AN125	13.1	**	AN29	89	**	50072	0.999	**	CAN3	30	**	360019	77	**	965012	15.30	*	560008	5.527	**
560009	12.9	**	965054	89	**	360012	0.992	**	560229	30	**	560139	77	*	560176	15.10	*	965062	5.434	**
AN85	12.9	**	965101	88	**	560173	0.988	**	965054	30	**	560011	77	*	965081	15.10	*	560093	5.417	**
560176	12.8	**	560229	88	**	965060	0.983	*	965102	30	**	560114	76	*	965101	15.10	*	560225	5.414	**
860030	12.7	**	965102	88	**	965012	0.981	*	965101	29	**	360034	75	*	560004	15.05	*	965058	5.390	**
560171	12.7	**	AN123	86	**	560011	0.977	*	560246	29	**	560229	75	*	560135	14.70	*	560118	5.367	**
AN88	12.5	**	560246	86	**	CAN1	0.976	*	965063	29	**	965079	75	*	560141	14.60	*	560214	5.327	**
560119	12.5	**	965085	86	**	560246	0.974	*	965081	29	**	860010	74	*	965054	14.50	*	560045	5.270	**
560007	12.5	**	AN88	86	**	560096	0.965	*	965085	29	**	860030	74	*	965058	14.50	*	560231	5.237	**
AN137	12.5	**	860045	85	**	860013	0.963	*	AN123	29	**	860047	74	*	965059	14.50	*	560091	5.227	**
ERONGA	12.4	**	965081	85	**	560179	0.960	*	AN88	29	*	965054	74	*	860003	14.40	*	860004	5.210	**
560045	12.4	**	965063	85	**	860030	0.960	*	360013	28	*	965059	74	*	560225	14.30	*	560237	5.200	**
560070	12.4	**	560124	84	*	560150	0.957	*	560124	28	*	860049	73	*	CAN3	14.10	*	860034	5.157	**

\*\* VAR: variedad; MED: media; SIG: significancia; \*\*: altamente significativo; \*: significativo

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 1 (primaverales) de las variables investigadas, tomando como base las 20 variedades que mostraron estadísticamente los mayores valores. Para la variable longitud de espiga (LESP), la media general (162 genotipos) fue de 11.1 cm; 36 genotipos (22%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 13.4 y 8.2 cm, respectivamente. Con respecto a la variable espiguillas x espiga (ESPI), la media general fue de 25.0 espiguillas; 24 variedades (14.8%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) a los demás genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 33 y 21 espiguillas, respectivamente. En el caso de la variable florecillas por espiga (FLOESP), se registró para este grupo una media general de 77 florecillas x espiga; 20 genotipos (12.3%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los genotipos investigados. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 97 y 62 florecillas, respectivamente. Para la variable número de granos x espiga (GRAESP), la media general (162 genotipos) fue de 64 granos; 10 variedades (6.1%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los tratamientos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 84 y 41 granos, respectivamente. Con respecto al índice de fertilidad (IF), la media general fue de 0.831; 10 genotipos (6.1%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 1.098 y 0.498, respectivamente. Para la variable peso de grano (PGRA), la media general fue de 11.75 g; 14 genotipos (8.6%), fueron superiores estadísticamente ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 17.35 y 6.55 g, respectivamente. Para el rendimiento de grano (RDTOG), la media general fue de 4.067 t ha<sup>-1</sup>; 34 variedades fueron estadísticamente superiores (20.9%) al resto de los genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron de 6.087 y 1.977 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Cuadro 7.-** Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 2, caracterizado por habito de crecimiento facultativo, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

LESP (cm)			FLOESP (#)			IF			ESPI (#)			GRAESP (#)			PGRA (g)			RDTOG (t/ha-1)		
VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG
PC112	14.1	**	PC46	110	**	AN276	0.855	**	PC46	37	**	AN276	80	**	AN444	15.50	**	AN248	4.907	**
AN444	13.7	**	PC112	108	**	AN103	0.828	**	PC112	36	**	AN444	72	**	AN276	12.55	**	AN365	4.640	**
PC88	13.7	**	AN338	102	**	AN444	0.816	**	PC71	34	**	AN103	71	**	PC71	12.05	*	PC2	4.613	**
PC46	13.2	**	PC40	102	**	AN84	0.812	**	AN338	34	**	AN365	68	**	PC88	11.85	*	AN444	4.510	**
PC84	13.1	**	PC82	102	**	AN38	0.758	**	PC40	34	**	PC6	68	**	AN103	11.85	*	PC81	4.277	**
PC79	13.0	**	PC71	101	**	AN248	0.731	*	PC69	34	**	AN248	67	**	PC81	11.75	*	PC71	4.227	**
AN276	12.9	**	PC44	100	**	PC81	0.726	*	PC82	34	**	PC46	67	*	AN365	11.55	*	PC6	4.204	**
AN299	12.9	**	PC69	100	**	AN402	0.705	*	PC44	33	**	PC81	66	*	PC112	11.40	*	AN462	4.082	**
PC82	12.8	**	AN365	98	*	AN71	0.705	*	AN365	33	*	PC40	65	*	PC6	11.30	*	PC112	3.937	*
PC80	12.7	*	PC6	97	*	PC6	0.702	*	AN299	32	*	PC71	65	*	PC84	11.0	*	PC80	3.790	*

\*\* VAR: variedad; MED: media; SIG: significancia; \*\*: altamente significativo; \*: significativo.

En el Cuadro 7 se reportan los resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 2 (facultativos, 40 variedades), mostrando las primeras 10 variedades que mostraron estadísticamente los mayores valores. Para longitud de espiga (LESP), la media general (40 genotipos) fue de 11.9 cm; 9 genotipos (22.5%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 14.1 y 10.2 cm, respectivamente.

En la variable espiguillas x espiga (ESPI), la media general fue de 30.2 espiguillas; 8 variedades (20.0%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) a los demás genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 37 y 26 espiguillas, respectivamente. Con respecto a la variable florecillas por espiga (FLOESP), se registró una media general de 90.9 florecillas x espiga; 8 genotipos (20.0%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los genotipos investigados. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 110 y 78 florecillas, respectivamente.

Para la variable número de granos x espiga (GRAESP), la media general (40 genotipos) fue de 58.9 granos; 10 variedades (15.0%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los tratamientos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 80 y 28 granos, respectivamente. Para la variable índice de fertilidad (IF), la media general fue de 0.651; 5 genotipos (12.5%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 0.855 y 0.324, respectivamente. Para la variable peso de grano (PGRA), la media general fue de 9.78 g; sólo un genotipo (2.5%), fue superior estadísticamente ( $p < 0.01$ ) al resto. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 15.50 y 4.30 g, respectivamente. Para el rendimiento de grano (RDTOG), la media general fue de 3.238 t ha<sup>-1</sup>; 8 variedades fueron estadísticamente superiores (20.0%) al resto de los genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 4.907 y 1.924 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Cuadro 8.-** Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 3, caracterizado por habito de crecimiento Intermedio-Invernal, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

LESP (cm)			FLOESP (#)			IF			ESPI (#)			GRAESP (#)			PGRA (g)			RDTOG (t/ha-1)		
VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG
PC39	14.3	**	PC39	103	**	PC99	0.786	**	PC39	34	**	PC99	74	**	PC16	14.85	**	PC75	5.797	**
AN314	14.1	**	PC105	101	**	PC19	0.747	**	PC105	34	**	PC16	71	**	AN215	12.55	**	PC19	5.614	**
PC90	13.7	**	PC106	101	**	PC87	0.743	**	PC106	34	**	PC19	70	**	PC19	12.40	**	PC74	5.530	**
PC111	13.5	**	PC31	101	**	PC16	0.736	**	PC31	34	**	AN215	70	**	PC47	12.30	**	AN69	5.270	**
PC15	13.4	**	PC75	101	**	AN204	0.735	**	PC75	34	**	PC31	67	**	AN69	12.25	**	AN215	5.167	**
PC53	13.1	**	PC96	101	**	AN186	0.735	**	PC96	34	**	AN204	67	**	PC21	12.25	**	PC22	5.084	**
PC30	12.9	*	AN215	99	*	AN388	0.734	**	AN215	33	*	PC42	67	**	AN388	11.85	**	PC59	4.937	**
PC92	12.9	*	PC83	99	*	PC98	0.727	**	PC109	33	*	AN186	66	*	PC99	11.55	*	AN242	4.934	**
PC43	12.8	*	PC109	99	*	PC22	0.726	**	PC50	33	*	PC87	66	*	PC22	11.45	*	PC77	4.867	**
PC47	12.8	*	PC50	98	*	AN69	0.722	**	PC83	33	*	PC75	66	*	PC23	11.45	*	PC47	4.773	**

\*\* VAR: variedad; MED: media; SIG: significancia; \*\*: altamente significativo; \*: significativo.

En el Cuadro 8 se presentan los datos obtenidos en la comparación de medias del Grupo 3. (intermedio-invernal) de las variables investigadas, tomando como base las 10 variedades que mostraron estadísticamente los mayores valores. Para la variable longitud de espiga (LESP), la media general (81 genotipos) fue de 11.9 cm; 6 genotipos (7.4%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 14.3 y 10.1 cm, respectivamente. Con respecto a la variable espiguillas x espiga (ESPI), la media general fue de 30.3 espiguillas; 6 variedades (7.4%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) a los demás genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 34 y 26 espiguillas, respectivamente. En el caso de la variable florecillas por espiga (FLOESP), se registró para este grupo una media general de 90.9 florecillas x espiga; 6 genotipos (7.4%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los genotipos investigados. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 103 y 78 florecillas, respectivamente. Para la variable número de granos x espiga (GRAESP), la media general (81 genotipos) fue de 55.6 granos; 7 variedades (8.6%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los tratamientos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 74 y 15 granos, respectivamente. Con respecto al índice de fertilidad (IF), la media general fue de 0.612; 11 genotipos (13.5%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 0.786 y 0.172, respectivamente. Para la variable peso de grano (PGRA), la media general fue de 9.46 g; 7 genotipos (8.6%), fueron superiores estadísticamente ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 14.85 y 2.60 g, respectivamente. Para el rendimiento de grano (RDTOG), la media general fue de 3.301 t ha<sup>-1</sup>; 19 variedades fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los genotipos (23.4%). Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron de 5.797 y 0.913 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Cuadro 9.-** Resultados del análisis comparativo de medias del Grupo 4, caracterizado por hábito de crecimiento invernal, en las variables evaluadas. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

LESP (cm)			FLOESP (#)			IF			ESPI (#)			GRAESP (#)			PGRA (g)			RDOG (t/ha-1)		
VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG	VAR	MED	SIG
PC103	14.1	**	PC56	102	**	PC36	0.862	**	PC56	34	**	PC36	82	**	PC36	13.55	**	AN223	5.574	**
PC18	14.1	**	AN31B	99	*	PC27	0.819	**	AN31B	33	*	AN174	72	**	PC18	12.50	**	PC36	5.220	**
AN31B	13.7	**	PC29	99	*	AN66	0.816	**	PC29	33	*	AN66	72	**	PC13	12.25	**	PC18	5.133	**
AN447	13.3	**	PC48	99	*	AN174	0.763	**	PC37	33	*	PC20	70	**	AN223	11.85	**	PC60	5.000	**
PC102	13.2	**	PC37	99	*	PC28	0.760	**	PC48	33	*	AN31B	69	**	AN31B	11.40	*	AN184	4.997	**
PC36	13.1	**	PC60	98	*	PC20	0.750	**	PC60	33	*	PC28	69	**	PC28	11.10	*	PC28	4.357	**
PC24	12.9	*	AN184	98	*	AN223	0.714	*	AN184	33	*	PC33	68	**	PC51	10.95	*	AN66	4.190	**
PC29	12.8	*	AN447	97	*	PC33	0.714	*	PC103	33	*	PC27	67	*	PC24	10.75	*	PC20	4.094	**
ANPELÓN	12.8	*	PC102	97	*	ANPELÓN	0.705	*	PC18	33	*	PC60	67	*	PC25	10.65	*	PC119	3.923	*
PC119	12.8	*	PC103	97	*	AN31B	0.693	*	AN447	32	*	AN223	66	*	PC17	10.55	*	PC11	3.824	*

\*\* VAR: variedad; MED: media; SIG: significancia; \*\*: altamente significativo; \*: significativo.

El Cuadro 9 presenta los resultados de la prueba de comparación de medias correspondiente al Grupo 4 (invernales, 41 variedades), mostrando las primeras 10 variedades que registraron estadísticamente los mayores valores. Para longitud de espiga (LESP), la media general (41 genotipos) fue de 12.0 cm; 6 genotipos (14.6%), fueron estadísticamente superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 14.1 y 10.3 cm, respectivamente. En la variable espiguillas x espiga (ESPI), la media general fue de 30.5 espiguillas; solo una variedad (2.4%), fue superior ( $p < 0.01$ ) a los demás genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 34 y 27 espiguillas, respectivamente. Con respecto a la variable florecillas por espiga (FLOESP), se registró una media general de 91.6 florecillas x espiga; solo un genotipo (2.4%), fue estadísticamente superior ( $p < 0.01$ ) al resto de los genotipos investigados. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 102 y 79 florecillas, respectivamente. Para la variable número de granos x espiga (GRAESP), la media general (41 genotipos) fue de 58.5 granos; 7 variedades (17.0%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de los tratamientos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 82 y 33 granos, respectivamente. Para la variable índice de fertilidad (IF), la media general fue de 0.639; 6 genotipos (14.6%), fueron superiores ( $p < 0.01$ ) al resto de las variedades. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 0.862 y 0.410, respectivamente. Para la variable peso de grano (PGRA), la media general fue de 9.43 g; 4 genotipos (9.7%), fueron superior estadísticamente ( $p < 0.01$ ) al resto. El valor máximo y mínimo para esta variable fue de 13.55 y 5.15 g, respectivamente. Para el rendimiento de grano (RDTOG), la media general fue de 3.209 t ha<sup>-1</sup>; 8 variedades fueron estadísticamente superiores (19.5%) al resto de los genotipos. Los valores máximos y mínimos para esta variable fueron 5.574 y 0.557 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Cuadro 10.-** Resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos, de las variables evaluadas en el experimento. Rancho “La Soledad, Matamoros, Coahuila. Ciclo 2023-2024.

LESP (cm)			FLOESP (#)			IF			ESPI (#)			GRAESP (#)			PGRA (g)			RDTOG (t/ha-1)		
GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG	GPO	MED	SIG
4	12.0	**	4	92	**	1	0.831	**	4	31	**	1	64	**	1	11.76	**	1	4.067	**
2	12.0	**	2	91	**	2	0.651	-	3	30	**	2	59	-	2	9.79	-	3	3.302	-
3	11.9	**	3	91	**	4	0.639	-	2	30	**	4	59	-	3	9.47	-	2	3.238	-
1	11.2	-	1	78	-	3	0.612	-	1	26	-	3	56	-	4	9.44	-	4	3.209	-

GPO: Grupo; MED: media; SIG: significancia; \*\*: altamente significativo; \*: significativo.

La prueba de comparación de medias entre los grupos en estudio reportó los siguientes resultados:

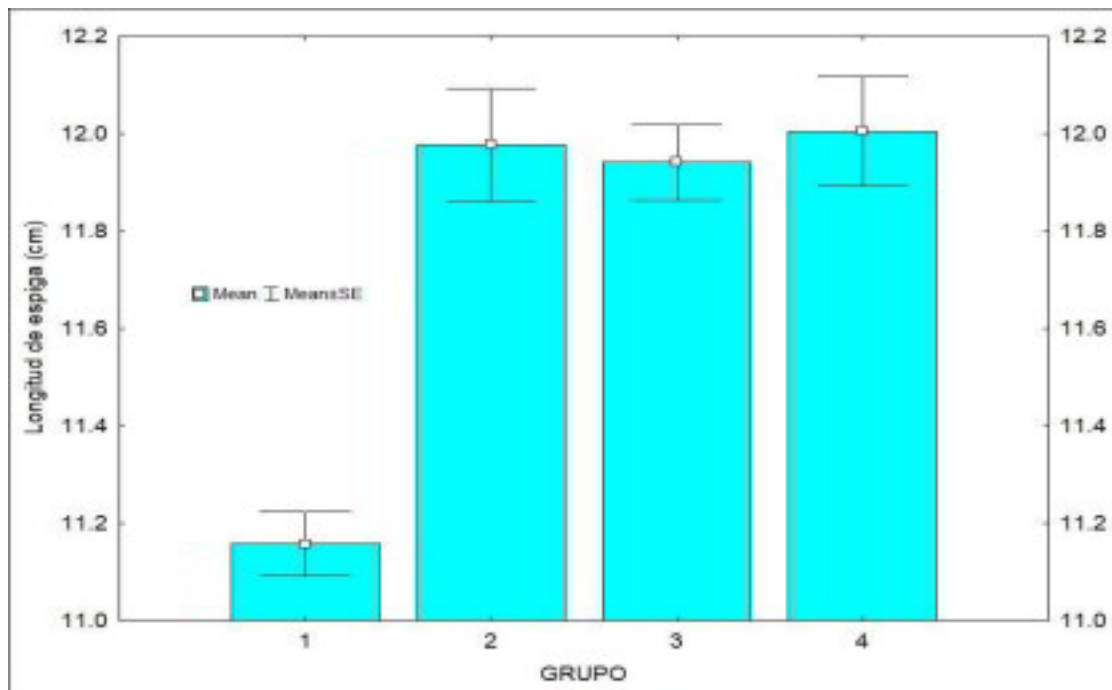
Para la variable longitud de espiga (LESP), los genotipos de hábito facultativo y tardíos (grupos 2, 3 y 4), Se detectaron diferencias altamente significativas en términos estadísticos, en comparación con el grupo 1 (primaverales) para las variables LESP, FLOESP y ESPI, evidenciando las diferencias morfológicas y estructurales de las espigas de los grupos primeramente mencionados en comparación con las estructuras reproductivas de los tipos primaverales. Por el contrario, el grupo primaveral (precoces), registró diferencias estadísticas mayormente significativas en comparación con los grupos de genotipos más tardíos (grupos 2, 3 y 4), en las variables que inciden positivamente en el rendimiento de grano (RDTOG), como son el índice de fertilidad (IF), el número de granos por espiga (GRAESP) y el peso del grano (PGRA).

## DISCUSIÓN

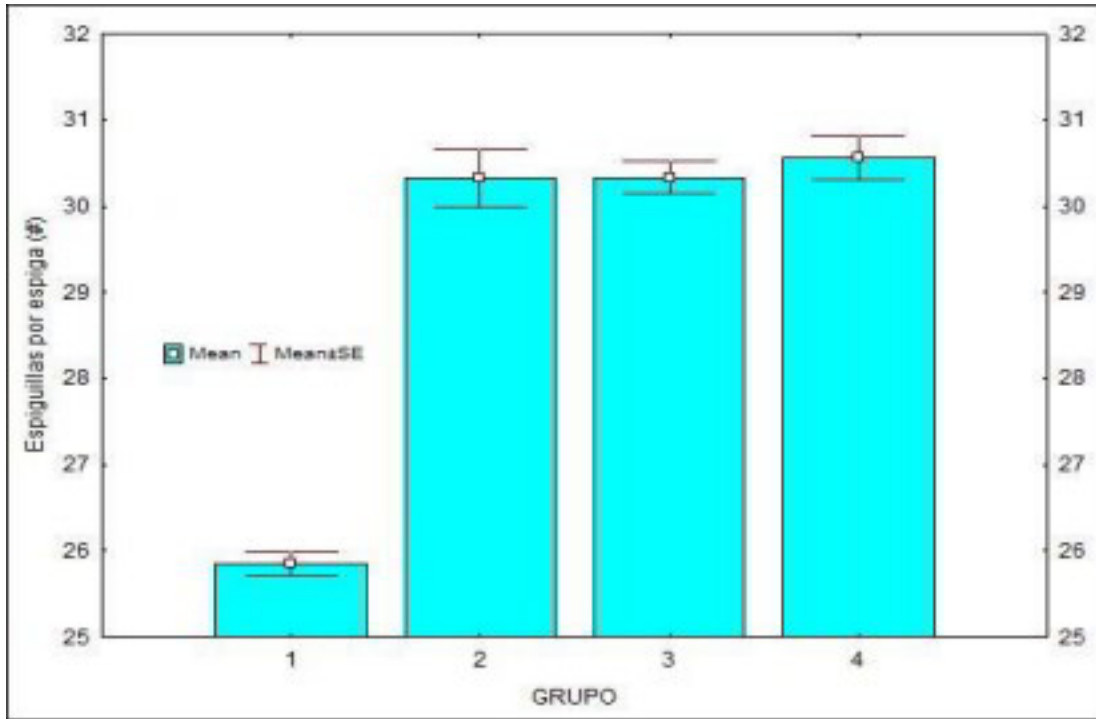
Los resultados derivados del análisis de varianza realizado dentro y entre los grupos de genotipos (Cuadros 1 al 5), revelaron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de las variables estudiadas, confirmando la existencia de una alta e importante variabilidad genética en la población global de variedades incluidas en el experimento. Lo anterior concuerda con lo reportado por diversos autores (Lozano del Río, 2002; Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001; Lozano *et al.*, 2009), que también reportaron diferencias significativas entre genotipos de triticale pertenecientes a diferentes hábitos de crecimiento.

En el presente estudio, los tipos más tardíos (Grupo 2, 3 y 4) registraron significativamente mayores valores en variables morfológicas y estructurales como longitud de espiga (LESP), número de espiguillas por espiga (ESPI) y número de flores por espiga (FLORESP), en comparación con el tipo primaveral precoz (Grupo 1). Lo anterior puede estar relacionado con factores ambientales como la disponibilidad hídrica y altas temperaturas durante el periodo de diferenciación floral (fase de espigamiento), que afectan directamente la formación y desarrollo de espiguillas; está documentado que los anteriores factores afectan la longitud de las estructuras reproductivas en cereales. Por otra parte, el número de espiguillas por espiga está gobernado por el componente genético, con menor sensibilidad a las variaciones ambientales. Estudios recientes han demostrado que una mayor eficiencia reproductiva no siempre depende del tamaño de la espiga, sino de la capacidad de esta para concentrar más espiguillas fértiles y granos en una menor longitud (Slafer *et al.*, 2015). Este concepto se conoce como eficiencia de fructificación o índice de fertilidad, y ha sido una de las estrategias modernas para incrementar el rendimiento sin comprometer la arquitectura de la planta ni aumentar su susceptibilidad al acame (Reynolds *et al.*, 2012). Asimismo, la reducción de la longitud de espiga está asociada a una mayor densidad de espiguillas fértiles por unidad de longitud, una característica seleccionada para mejorar la eficiencia en la asignación de asimilados durante el llenado de grano (Ferrante *et al.*, 2017). En conjunto, estos

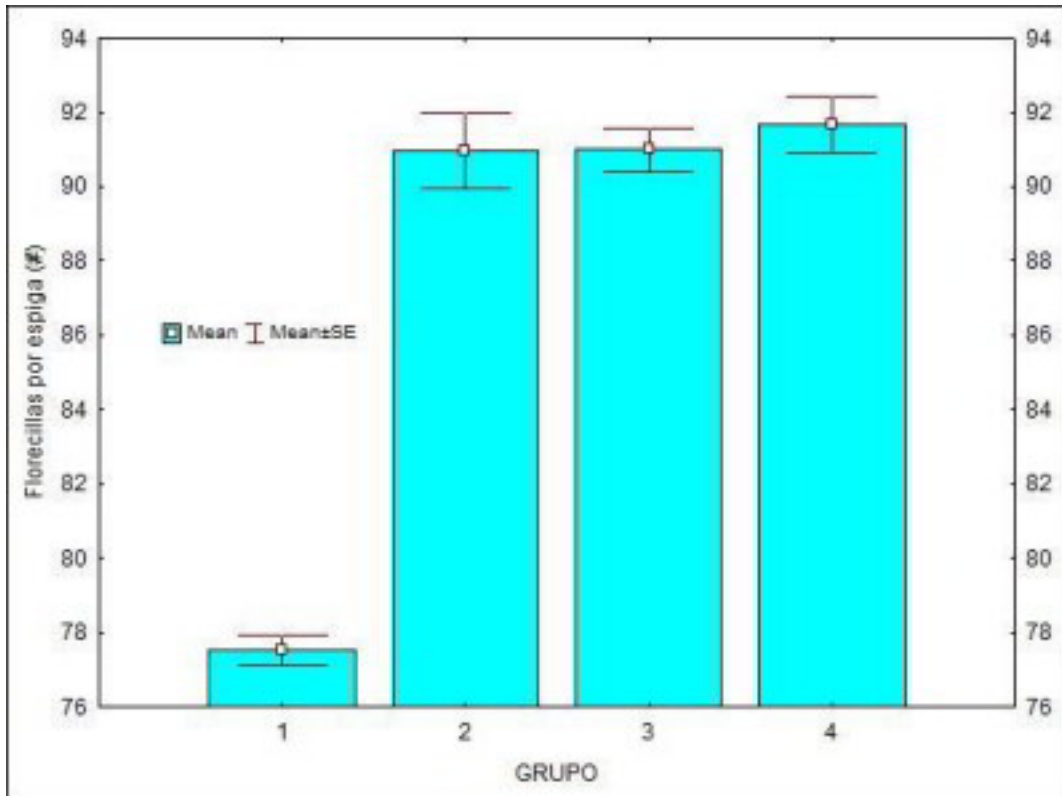
resultados confirman que el avance genético ha modificado la arquitectura de la espiga y la asignación de recursos a los granos, enfocándose en características que elevan el número total de granos por espiga, del tamaño del grano, tal como lo reportan Acreche y Slafer (2011). Aunque tradicionalmente una mayor longitud de espiga se ha asociado a una mayor capacidad de carga de granos (Fischer et al., 1998), diversos estudios han demostrado que no necesariamente una espiga más larga implica mayor rendimiento, si no va acompañada de un aumento en el número de espiguillas fértiles y granos por espiga (Slafer et al., 2015). En este sentido, la reducción de la longitud de espiga en variedades modernas, pasando de tipo laxa a compacta, refleja una estrategia de mejoramiento enfocada a la eficiencia reproductiva, priorizando la fertilidad de espiguillas y la densidad de granos por unidad de longitud, más que la expansión estructural de la espiga.



**Figura 5.** Visualización de la comparación de medias de LESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.



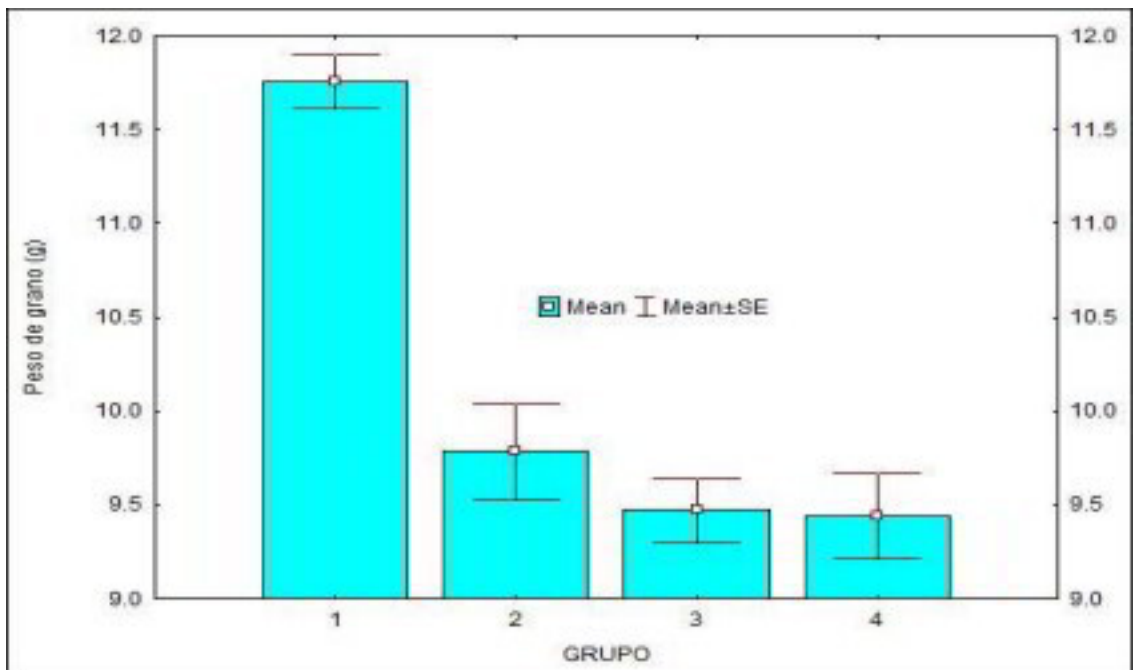
**Figura 6.** Visualización de la comparación de medias de ESPI entre los diferentes hábitos de crecimiento.



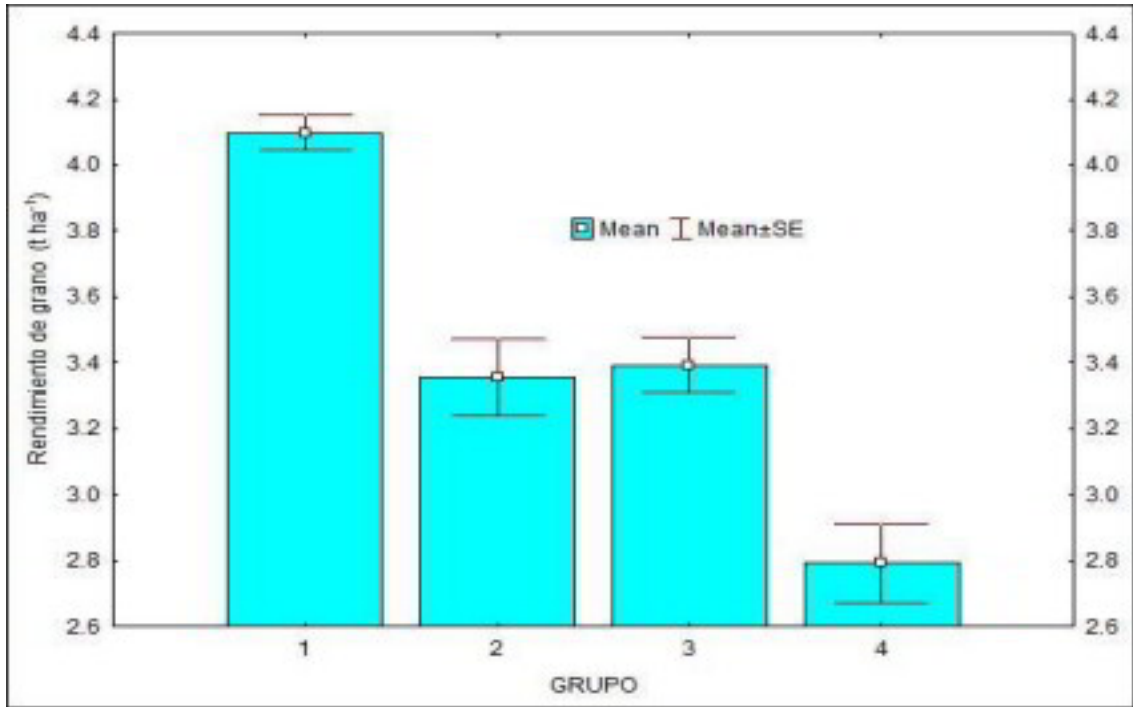
**Figura 7.** Visualización de la comparación de medias de FLOESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.

A pesar de lo anterior, el Grupo 1 (primaveral) registró valores superiores en variables productivas clave como peso de grano (PESOGRA) y rendimiento de grano (RDTOG), concordando con lo reportado por Santiveri *et al.*, (2004).

El peso de grano fue más alto en el grupo 1 con 11.76 g, seguido por los grupos 2 (9.79), 3 (9.47 g) y 4 (9.44 g), diferencia altamente significativa (Figura 7). En cuanto al rendimiento total de grano (RDTOG), el grupo 1 también fue superior con un promedio de 4.067 t/ha, frente a valores entre 3.209 y 3.302 t/ha en los otros grupos, destacando una diferencia significativa (Figura 8).



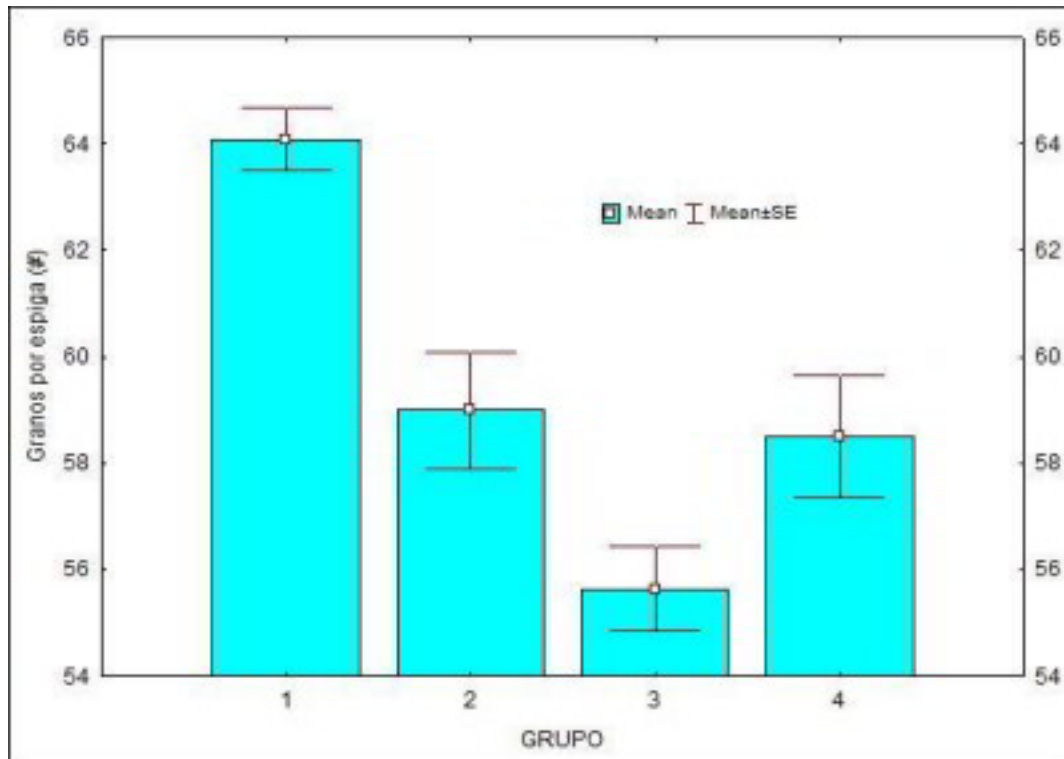
**Figura 8.** Visualización de la comparación de medias de PESOGRA entre los diferentes hábitos de crecimiento.



**Figura 9.** Visualización de la comparación de medias de RDTOG entre los diferentes hábitos de crecimiento.

Estos resultados surgieron que. Si bien los tipos más tardíos generaron una mayor estructura reproductiva, el grupo primaveral precoz logro una mayor eficiencia en el llenado del grano, probablemente debido a que alcanzo la madurez fisiológica antes de que se presentaran condiciones de estrés térmico similares a lo reportado por McClung *et al.*, (2010). En este estudio, los grupos tardíos habrían estado expuestos a temperaturas mayores a 35 °C, afectando negativamente la tasa de llenado y peso final del grano.

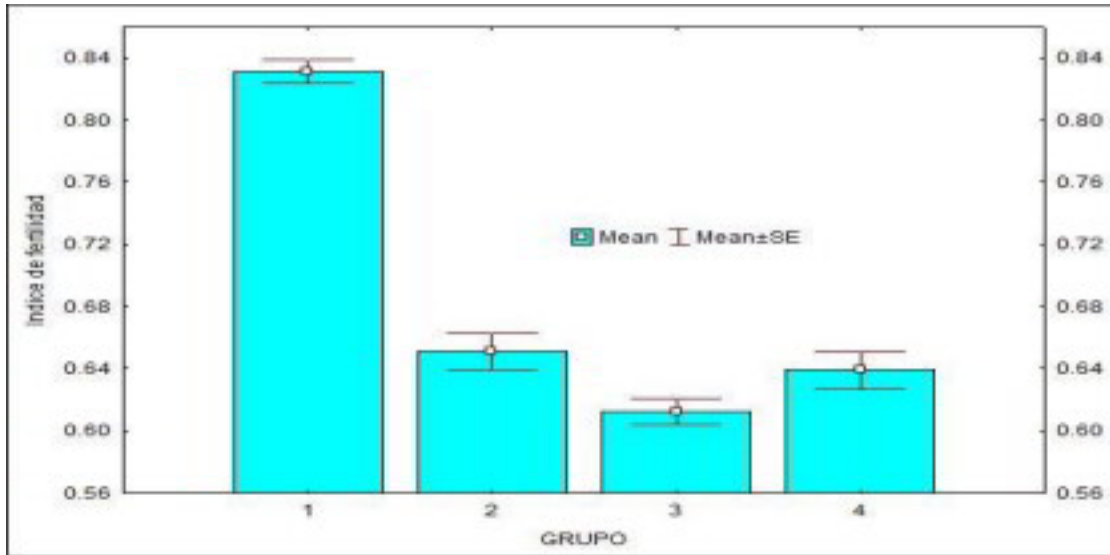
Por otro lado, al analizar el número de granos por espiga (GRANOESP), el grupo 1 registro el mayor valor (64), también con diferencia altamente significativa respecto a los grupos 2, 3 y 4 (56-59), indicando una mayor eficiencia en la formación y llenado de grano en estructuras más compactas (Figura 9).



**Figura 10.** Visualización de la comparación de medias de GRANOESP entre los diferentes hábitos de crecimiento.

La variable índice de fertilidad (IF) el grupo 1 (primaveral) presentó el valor más alto (0.831). esto indica una mayor eficiencia reproductiva, es decir un mayor porcentaje de flores que lograron convertirse en granos viables. Este comportamiento se alinea con el alto rendimiento de grano (4.067 t/ha) observado en este grupo. El grupo 2 y el 4 registraron valores intermedios ( 0.651 y 0.639 respectivamente). Finalmente el grupo 3 presento el índice más bajo (0.612) lo que sugiere una menor eficiencia en la conversión de flores a granos posiblemente afectados por factores ambientales o menor adaptación fisiológica (Figura 10).

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Giunta *et al.* (1999) y Santiveri *et al.* (2004), quienes destacan que los genotipos de habito primaveral no solo escapan del estrés térmico terminal, sino que también poseen una combinación favorable de duración de ciclo, alta tasa de llenado de grano y eficiencia reproductiva.



**Figura 11.** Visualización de la comparación de medias de IF entre los diferentes hábitos de crecimiento.

En correlación de las variables con el rendimiento, es evidente que en este estudio, el peso de grano (PESOGRA) y el número de granos por espiguilla son los principales determinantes del rendimiento observado, especialmente en el grupo 1 (Figura 11, Figura 12). Esto coincide con lo señalado por Giunta et al. (1999), quienes encontraron que los genotipos de primavera compensan su menor duración del ciclo con una mayor tasa de llenado de grano, mayor peso del grano y, en consecuencia, mayor rendimiento.

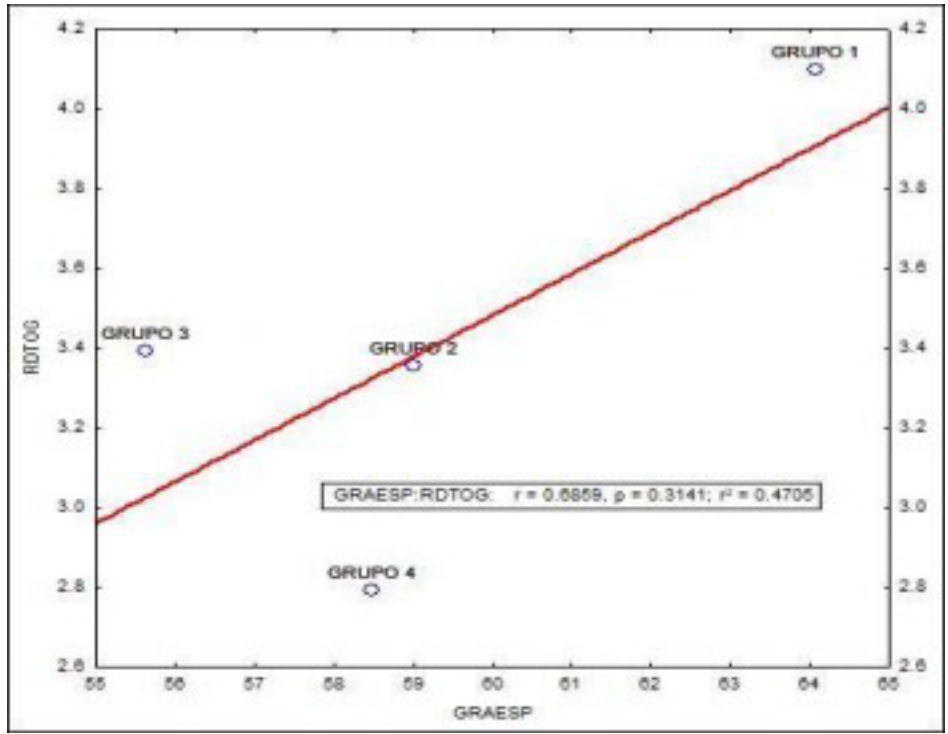


Figura 12. Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG Y GRAESP.

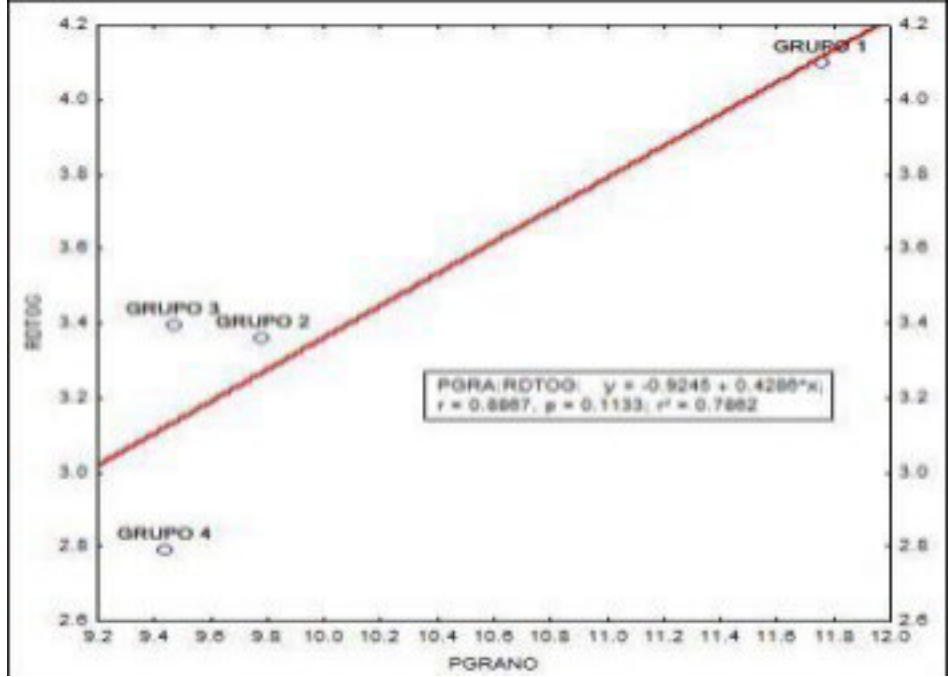
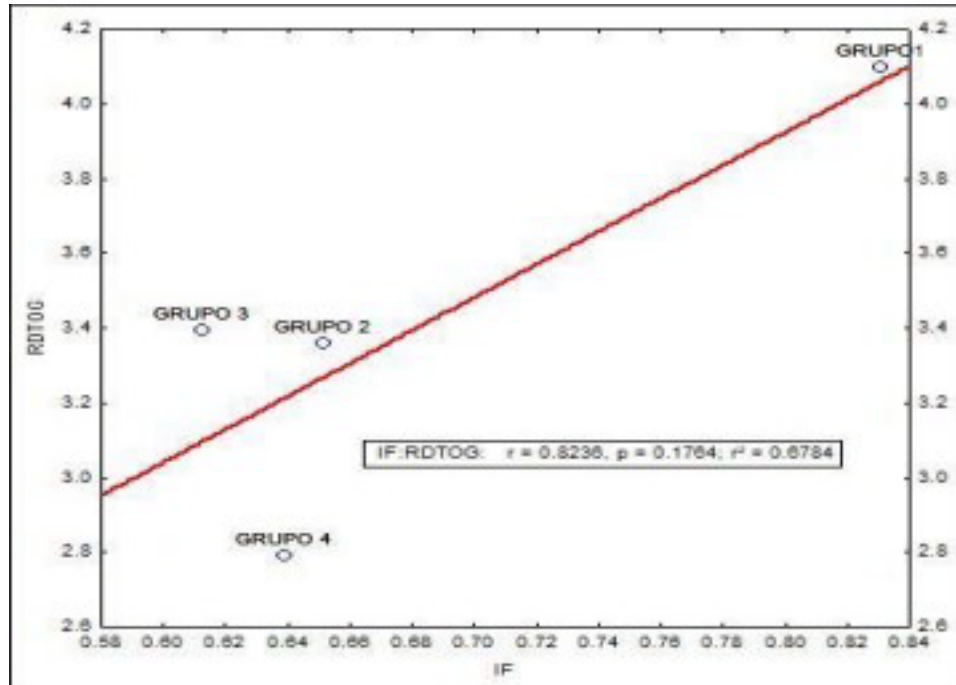


Figura 13. Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG Y PGRA.

En cuanto a índice de fertilidad (IF), el grupo 1 presento tanto el valor más alto de IF (0.831) como el mayor rendimiento de grano (4.067 t/ha), lo que indica una relación positiva y directa entre ambos componentes en este grupo. Esta tendencia sugiere que en materiales precoces, una mayor eficiencia reproductiva se traduce efectivamente en mayor producción.

En grupo 2, con un IF de 0.651, logró un rendimiento de 3.238 t/ha, mientras que el grupo 4, con un IF de 0.639, obtuvo 3.209 t/ha. Aunque estos valores muestran cierta correspondencia, la diferencia en el rendimiento no fue tan marcada como en el caso del grupo 1. Esto podría deberse a que, aunque el IF es alto, otros factores como el llenado de grano o el peso de grano no fueron tan eficientes como en el grupo 1. Por otro lado el grupo 3 tuvo el IF más bajo (0.612) con rendimientos de 3.302 t/ha, lo que sugiere una posible limitación en la eficiencia reproductiva, afectando negativamente la productividad final (Figura 11).

En conjunto, los datos sugieren que existe una asociación positiva general entre IF y RDTOG, aunque no necesariamente lineal ni uniforme entre grupos. Es decir, un alto IF puede favorecer el rendimiento, siempre que este acompañado de otros componentes favorables como peso de grano y número de granos por espiga. Esta observación coincide con lo reportado por Giunta et al. (1999), quienes encontraron que el rendimiento no depende únicamente de la eficiencia reproductiva inicial, sino también de la capacidad del genotipo para llenar y madurar los granos bajo condiciones ambientales adversas.



**Figura 14.** Visualización gráfica de la correlacional entre RDTOG y IF.

Estos resultados sugieren que, bajo condiciones donde existe riesgo de estrés terminal, los materiales de hábito primaveral presentan una ventaja adaptativa al escapar del estrés mediante un ciclo más corto, asegurando un mejor llenado y el incremento del contenido de materia seca en el grano.

Por lo tanto, su adaptación podría ser recomendada en regiones propensas a altas temperaturas en etapas finales del ciclo fenológico, como es el caso de la localidad en estudio.

## CONCLUSIONES

Considerando las condiciones en que se desarrolló, el presente estudio, se establecieron las siguientes conclusiones:

- El hábito de crecimiento primaveral (Grupo 1) demostró ser el más eficiente en términos de rendimiento de grano (4.067 t/ha), asociado a un mayor peso de grano (11.76 g), mayor índice de fertilidad (0.831) y una mayor eficiencia en la conversión de estructuras florales a granos viables. Este grupo logro completar su ciclo de desarrollo entre 15 y 25 días antes que los demás, lo cual permitió escapar al estrés térmico terminal, condición común en la región de estudio.
- El análisis de la relación entre índice de fertilidad (IF) y el rendimiento (RDTOG) mostró una tendencia positiva, particularmente marcada en el grupo 1, donde el alto IF coincidió con el rendimiento más elevado. Sin embargo, esta relación no fue estrictamente lineal en todos los grupos, indicando que el rendimiento depende de la combinación de varios componentes, como numero de granos por espiga y peso de grano.
- En términos generales, los tipos primaverales mostraron mejor adaptación a las condiciones de la Región Lagunera, caracterizadas por temperaturas altas al final del ciclo, debido a su menos duración de ciclo, mayor tasa de llenado de grano y mejor eficiencia en el uso de recursos fisiológicos para el llenado de grano.
- Se confirma que, bajo condiciones ambientales limitantes como el estrés térmico terminal, los genotipos precoces representan una mejor opción para mantener y/o mejorar el rendimiento, por lo que se recomienda su utilización en programas de mejoramiento genético y en estrategias de producción para zonas con características agroclimáticas similares al área de estudio

## LITERATURA CITADA

- Abeledo, L. G., Calderini, D. F., and Slafer, G. A. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133: 291–298.
- Acreche, M. M., Briceño-Félix, G., Sánchez, J. A. M., & Slafer, G. A. 2011. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European journal of agronomy*, 28, 162-170. doi: 10.1016/j.eja.2007.07.001. 263
- Alonso, M., Mirabella, N., Panelo, J., Cendoya, M., & Pontaroli, A. 2018. Selection for high spike fertility index increases genetic progress in grain yield and stability in bread wheat. *Euphytica*, 214, 112. doi: 0.1007/s10681-018-2193-4.
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P., and Royo, C. 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for ? *Ann. Bot—London* 89: 925–940.
- Dias, B. A. 2008. Ultrastructure and biochemical traits of bread and durum wheat grains under heat stress. *Braz J Plant Physiol*, 137-147.
- Farooq, B. H. 2009. Plant drought stress: Effects, mechanism and management. *Agron Sustain Dev*, 185-212.
- Ferrante, A., Savin, R., Slafer, G.A., 2012. Differences in yield physiology between modern, well adapted durum wheat cultivars grown under contrasting conditions. *Field Crops Res.* 136, 52–64.
- Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M. 1999. Grain yield analysis of a triticale (XTriticosecale, Wittmark) collection grown in a Mediterranean environment. *Field Crop Res.* 63, 199–210.
- Hatfield JL, Antle J, Garrett KA, Izaurralde RC, Mader, T. 2018. Indicators of climate change in agricultural systems. *Clim Change*.
- Hedhly, H. J. 2011. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends Plant Sci*.
- Hunt, L. A., Van Der Poorten, G. & Pararajasingham, S. 1991. Postanthesis temperature effects on duration and rate of grain filling in some winter and spring wheats. *Canadian Journal of Plant Science* 71, 609–617.

- Joshi AK, Mishra B, Chatrath R, Ferrara GO, Singh, RP. 2007. Wheat improvement in India: present status, emerging challenges and future prospects. *Euphytica* 157(3):431–446.
- Kumar, S. 2012. Terminal heat-an emerging problem for wheat production. *Biotechnol today*, 7-9.
- Lipiec, M.B. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield. *Int Agrophys*, 463-477.
- Lobell, D. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant physiology*, 1686-1697.
- Lozano del Río, A, J. 2002. Triticales forrajeros para la Región Lagunera. *Revista Agropecuaria Laguna*. 29(6):4-5.
- Lozano-del Río, A. J., Zamora-Villa, V. M., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera. S. A., de la Cruz-Lázaro, E., y de la Rosa-Ibarra, M. 2009. Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale wittm.*). *Universidad y Ciencia*. 25(31):81-92.
- Lukac, G. M. 2011. Asynchronous flowering and within plants flowering diversity in wheat and the implication for the crop resilience to heat. *Ann Bot*, 843-850.
- Lukaszewski y Gustafson. 1979. Translocation of chromosomes in triticale x wheat hybrids. *Theor App Genet* 64: 239-248.
- Ma, S. 2009. Impact of climate change in wheat in England and Wales. *JR Soc, Interface*, 343-350.
- McClung. M.S. 2010. Ambient thermometer in plant. *Physiological Output towards mechanism of thermal sensing*, 1086 - 1092.
- Mendoza, M; Andrio, E; García, JG. 2006. El Triticale: un cereal para forraje con futuro para zonas marginadas. Artículo de Difusión. *Revista TECNOAGRO*, México. 26:48-50.
- Parrotta L, Faleri C, Cresti M, Cai, G. 2016. Heat stress affects the cytoskeleton and the delivery of sucrose synthase in tobacco pollen tubes. *Planta* 243:43–63.
- Porter, G. M. 1999. Temperature and growth and development of wheat. *European Journal of Agronomy*, 23-36.

- Poysa, V.W. 1995. Effect of forage harvest on grain yield and agronomic performance of winter triticale, wheat and rye. *Can. J. Plant Sci.* 65:879-888.
- Prasad, B. K. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crop Research*, 398-411.
- Rojas, GC. 2004. Manual de producción de bovinos de carne para la VIII, IX y X regiones, INIA, Carillanca, Chile. 25 p.
- Romero, O; Rojas, C; Butendieck, N; Hazard, S. 1999. Producción de materia seca y calidad nutritiva de tres especies de cereales: avena, cebada y triticale para ensilaje. XXXIV Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal (SOCHIPA), Temuco, Chile. 27-29 de octubre. Sociedad Chilena de Producción Animal, Santiago Chile. p. 49-50.
- Royo, C. 1992. El triticale. Base para el cultivo y aprovechamiento. Madrid, España. Agro-vías. Mundi-prensa. 96 p. SAS, 2002. Statistical Analysis System. Version 9.0 Institute Inc. Cary NC, USA.
- Royo, C., Insa, J.A., Boujenna, A., Ramos, J.M., Montesinos, E., García del Moral, L.F. 1994. Yield and quality of spring triticale used for forage and grain as influenced by sowing date and cutting stage. *Field Crops Res.* 37, 161–168.
- Saini HS, Westgate ME. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy* 68: 59–95.
- Santiveri, F., Royo, C., Romagosa, I. 2004. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions. *Europ. J. Agronomy* 20, 281–292
- SAS Institute Inc. 1999. User's Guide. Statistics, Version 8.1. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Shewry, PR, Underwood, C, Wan, Y, Lovegrove, A, Bhandari, D, Toole, G, Mills, K, Mitchell, RAC. 2009. Storage product synthesis and accumulation in developing grains of wheat. *Journal of Cereal Science* 50, 106–112.
- 
- Slafer, G.A., Elia, M., Savin, R., García, G.A., Terrile, I.I., Ferrante, A., Miralles, D.J., González, F.G., 2015. Fruiting efficiency: an alternative trait to further rise wheat yield. *Food Energy Secur.* 4, 92–109.

- Song WF, Z. L. 2015. Effect of timing of heat stress during grain filling in two wheat varieties under moderate and very high temperature. *Indian. J Genet*, 121-124.
- Statistica. 2001. By Statsoft Inc. U.S. A. Versión 6.1.
- Wardlaw, I. F., Dawson, I.A. & Munibi, P. 1989. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Grain development. *Australian Journal of Agricultural Research* 40, 15–24.
- Wollenweber, B, Porter, JR, Schellberg, J. 2003. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. *J. Agron. Crop Sci* 189:142–150.
- Ye, C.W., Díaz, S.H., Lozano-del Río, A.J., Zamora-Villa, V.M., Ayala, O.M. 2001. Agrupamiento de germoplasma de triticale por rendimiento, ahijamiento y gustosidad. *Téc. Pecu.* 39(1):15-29.
- Yin, G. W. 2009. A quantitative approach to characterize sink-source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Res*, 114-119.
- Yoshida S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Annual Review of Plant Physiology* 23: 437–464.

