

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Producción de biomasa en líneas de trigo elite con alto índice de flores fértiles en Torreón, Coahuila

Por

Luis Alfredo Ortiz Barrios

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Producción de biomasa en líneas de trigo élite con alto índice de flores
fértiles en Torreón, Coahuila**

Por:

Luis Alfredo Ortiz Barrios

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobado por:



Dr. Jorge Quiroz Mercado
Presidente



Dra. Oralia Antuna Grijalva
Vocal



Dr. Armando Espinoza Banda
Vocal



M.C. Jaime Lozano García
Vocal suplente



M.E. Javier López Hernández
Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Producción de biomasa en líneas de trigo élite con alto índice de flores
fértils en Torreón, Coahuila**

Por:

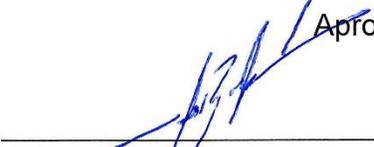
Luis Alfredo Ortiz Barrios

TESIS

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobado por el Comité de Asesoría:



Dr. Jorge Quiroz Mercado
Asesor Principal



Dra. Oralia Antuna Grijalva
Coasesor



Dr. Armando Espinoza Banda
Coasesor



M.C. Jaime Lozano García
Coasesor



M.E. Javier López Hernández
Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Mayo 2024

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida y poder culminar esta etapa que tanto anhelaba, hubo momentos difíciles, pero agradezco infinitamente a Dios por brindarme las fuerzas de seguir adelante y sobre todo no desviarnos del objetivo a pesar de los obstáculos.

A mi ALMA TERRA MATER por abrirme las puertas y darme la oportunidad de conocer a muchas personas maravillosas que me ayudaron a formarme como estudiante y profesionista, gracias por darme las herramientas para poder superarme en la vida y tener una educación de calidad para poder sobresalir en el ámbito laboral gracias por ayudarme a cumplir una meta.

A mis padres por apoyarme económica y físicamente aún a pesar de la distancia que nos separa jamás me hicieron sentir solo, gracias por haberme enseñado los valores como la humildad, respeto y la perseverancia, gracias a ellos soy y estoy cumpliendo esto que siempre había deseado.

A mis amigos que siempre me apoyaron en los peores momentos de mi vida gracias por apoyarme cuando más necesitaba de ustedes, Carlos Sánchez Morales, Edgardo Hernández López, Ricardo Sánchez Morales y a todos mis conocidos que en algún momento me apoyaron de diferentes maneras.

Mis más sinceros agradecimientos al Doctor Jorge Quiroz Mercado, más que un asesor un gran amigo, estoy cordialmente agradecido por haberme brindado la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, por brindarme la atención, asesoría, confianza y por transmitirme sus conocimientos.

Agradezco al CIMMYT por haber proporcionado el material genético gracias a eso se pudo llevar a cabo este trabajo de investigación; agradezco infinitamente por brindarnos esa oportunidad de participar en este proyecto que sin duda alguna los resultados obtenidos pueden ser de gran ayuda para seguir mejorando el trigo.

DEDICATORIAS

A mi madre, por haberme apoyado en los peores momentos, por haber sacrificado muchas cosas para que a mí no me hiciera falta nada, para que yo pudiera culminar mi carrera profesional, no solo me apoyo en mis estudios si no también me educo y gracias a ella me considero una persona capaz de superar mis límites, nunca darme por vencido, conseguir lo que uno quiere sin perjudicar a nadie al contrario siempre conseguir las cosas con humildad, respeto y mucho esfuerzo.

A mis hermanos, por nunca olvidarse de mí y nunca abandonarme gracias por los consejos y palabras de aliento cuando todo parecía imposible.

A mis hermanas, por ser uno de los pilares más fundamentales en mi vida, por confiar en mí, también por consentirme y por darme consejos constructivos.

A toda mi familia, por nunca dudar de mí, gracias por que me demostraron que a pesar de venir de una familia de bajos recursos podemos lograr cosas magníficas, gracias a ellos se lo que significa la palabra familia gracias por compartir los buenos y malos momentos a mi lado.

RESUMEN

La producción de trigo destaca como uno de los cultivos fundamentales a nivel global debido a que satisface una cantidad significativa de los requerimientos alimenticios de la población humana. El rendimiento puede explicarse como el resultado de la biomasa y el índice de cosecha. De igual manera, la biomasa se calcula como el resultado de la cantidad de radiación capturada por el cultivo y la eficiencia con la que esta radiación se convierte en biomasa. El incremento en el rendimiento de trigo ha sido asociado fuertemente al mejoramiento en la partición de asimilados al grano. Por lo anterior, una alternativa para lograr futuras ganancias de rendimiento en variedades modernas requerirá un aumento de biomasa y aprovechamiento de los recursos en ambientes adversos (ej. altas temperaturas, déficit hídrico terminal, etc.). Este trabajo tiene como finalidad la evaluación del rendimiento de grano y la obtención de biomasa en un set de líneas de trigo élite (con alto índice de flores fértiles), en ambientes característicos de la región lagunera. En el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, se estableció un experimento mediante un diseño de bloques al azar durante el ciclo otoño-invierno de 2019, para evaluar 29 líneas de trigo élite, registrando las siguientes variables: días desde siembra a antesis, días desde antesis a madurez fisiológica y días desde siembra a madurez fisiológica, porcentaje de captura de radiación, peso seco de tallos, peso seco de hojas, peso seco de espigas y rendimiento de grano. Los resultados obtenidos de los análisis de varianza muestran que hubo diferencias significativas al menos al 0.05 para altura de planta, peso de mil granos, número de granos por m^{-2} y días desde la siembra a madurez fisiológica. En el rendimiento de grano no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), sin embargo, los mayores valores de rendimientos de grano lo obtuvieron las líneas L12 ($6.0 t ha^{-1}$), L26 ($5.8 t ha^{-1}$) y L27 ($5.8 t ha^{-1}$). Las líneas más precoces fueron L7, L23 y L26 todas con 114 días y la más tardía fue L6 con 122 días. Por otra parte, hubo relación entre el rendimiento de grano con la producción de biomasa aérea. Los resultados de este trabajo demuestran que la evaluación de nuevos materiales de trigo élite en lugares característicos de Torreón permite describir los alcances y limitaciones del

rendimiento y sus componentes numéricos, además de usarse como herramienta en nuevos programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: Líneas de trigo, Rendimiento, Biomasa, Radiación

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
TABLA DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURA	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Producción trigo y escenarios futuros a nivel mundial	4
2.2 Producción actual de trigo a nivel nacional	5
2.3 Factores que limitan la producción de los cultivos	5
2.4 Determinantes fisiológicos de la producción de biomasa	7
2.5 Mejoramiento genético del trigo a nivel nacional	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Ubicación del experimento	11
3.2 Material genético	11
3.3 Diseño experimental	13
3.4 Manejo del trabajo experimental	13
3.5 Fertilización	13
3.6 Riego	14
3.7 Control de plagas	14

3.8 Variables de estudio	15
3.8.1 Etapas fenológicas	15
3.8.2 Producción de biomasa y rendimiento de grano	15
3.8.3 Porcentaje de intercepción de radiación	16
3.9 Análisis estadístico.....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 Análisis de varianza.....	17
4.2 Comparación de medias entre líneas de trigo élite.....	18
4.3 Producción de biomasa y porcentaje de intercepción de radiación	22
V. CONCLUSIONES	24
VI. BIBLIOGRAFÍA	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Líneas de trigo élite evaluadas en este estudio.	12
Cuadro 2 Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para días de siembra a antesis (S-ANT), días de antesis a madurez fisiológica (ANT-MF), días de siembra a madurez fisiológica (S-MF), peso seco de tallos (PST), peso seco hojas (PSH), peso seco espigas (PSE), biomasa aérea (BIO), intercepción de radiación (IR) y rendimiento de grano (REN). Ciclo otoño-invierno de 2019, Torreón, Coahuila, México.	18
Cuadro 3 Comportamiento promedio de las 29 líneas de trigo élite siembra antesis (S-ANT) antesis a madures fisiológica (ANT-MF) siembra a madures fisiológica (S-MF) peso seco de tallos (PST) peso seco hojas (PSH) peso seco espigas (PSE) intercepción de radiación (IR) biomasa total (BIOT) rendimiento (REN). Ciclo otoño-invierno de 2019, Torreón, Coahuila, México.	21

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Relación entre la biomasa aérea y la intercepción de radiación en antesis en 29 líneas de trigo élite.....	23
Figura 2 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa aérea en 29 líneas de trigo élite.....	23

INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo está entre los tres principales cereales que tienen importante relevancia en la dieta humana a nivel global (además de, maíz y la cebada); su alta adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas ha permitido que pueda ser cultivada en todas partes del mundo. La productividad de este cereal puede ser afectada drásticamente por diversos factores ambientales (ej. altas temperaturas y estrés hídrico), provocadas por los cambios climáticos (Ramírez *et al.*, 2016), y en suma a lo anterior, las proyecciones del aumento en la población mundial ponen en riesgo la seguridad alimentaria en todo el mundo (Syahrudin *et al.*, 2019).

El crecimiento de una planta se genera mediante la división y extensión de células en los distintos órganos especializados. El estudio del crecimiento de las plantas se fundamenta en la evaluación de la cantidad de biomasa generada a lo largo del ciclo de crecimiento, considerando su habilidad para absorber radiación solar y llevar a cabo la fotosíntesis (García del Moral *et al.*, 1987). La intercepción de radiación puede ser afectada por la arquitectura de la planta (Sadras *et al.*, 1996) y la morfología de las espigas (Motzo *et al.*, 2002), mientras que, la eficiencia en el uso de la radiación varía con la especie vegetal (Sinclair *et al.*, 1999), la ontogenia del cultivo (Calderini *et al.*, 1997), la disponibilidad hídrica (Tesfaye *et al.*, 2006) la presión de vapor (Kemanian *et al.*, 2004), el nitrógeno (Hall *et al.*, 1995), entre otros elementos.

La cantidad de biomasa generada desde la emergencia hasta la etapa de madurez fisiológica de un cultivo guarda una estrecha correlación con la energía total capturada a lo largo de su ciclo de crecimiento. (Andrade *et al.*, 1996). Se ha observado que, cuando no hay factores que limiten al cultivo, hay una estrecha relación entre la producción total de biomasa y el rendimiento de grano. (White *et al.*, 2006) por lo cual, un incremento del rendimiento de grano de trigo está relacionado con la una alta producción de biomasa (Donmez *et al.*, 2001). Por lo anterior, el mejoramiento genético ha tomado gran importancia en la producción de cualquier especie de interés agrícola, con la finalidad de generar nueva tecnología

que permita obtener variedades con mejores características adaptativas a diferentes regiones.

Con relación a lo anterior, el CIMMYT en el año 2009 estableció un consorcio dedicado al rendimiento del trigo, convocando a expertos a nivel mundial en diversos campos relacionados con el trigo (como fisiología, genética y agronomía). El propósito principal fue iniciar la investigación sobre nuevo germoplasma de trigo élite (Reynolds *et al.*, 2011), para conocer la variabilidad en rendimiento de los mejores germoplasmas y de esa manera impulsar a que los mejoradores cuenten con progenitores élite para incluir en nuevos programas de mejoramiento de plantas que ayuden a un incremento en los rendimientos potenciales del trigo en las distintas regiones del mundo.

Objetivo

Evaluar la respuesta de la producción de biomasa en 29 líneas de trigo elite con alto índice de flores fértiles en Torreón, Coahuila.

Hipótesis

- a) Existe variabilidad genética en la producción de biomasa aérea para las líneas de trigo elite.
- b) Hay una relación directa entre el rendimiento de grano y la producción de biomasa aérea.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción trigo y escenarios futuros a nivel mundial.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cultivos más antiguos que ha sido cultivado por el hombre, y en la actualidad es uno de los más importantes seguidos por el maíz y la cebada. El trigo es una especie que tiene una excelente adaptación para crecer y desarrollarse en diversos tipos de ambientes, y puede sembrarse tanto en época de invierno como en primavera; por lo que, estas cualidades han permitido que se extienda a diferentes partes del mundo (Henández *et al.*, 2015). En el año 2022, se registraron más de 808 millones de toneladas de grano con un área cosechada de más de 219 millones de hectáreas a nivel mundial. (FAOSTAT, 2024) .

Sin embargo, se prevé que para este año 2024 la producción de trigo a nivel mundial pueda ser de 791 millones de toneladas, en Australia hubo un crecimiento más prolongado, las cosechas se redujeron debido a cambios climáticos, la cosecha del 2023 se vio afectada por el clima seco. Ucrania y Rusia son países con una alta producción de trigo a nivel global, sin embargo, debido a la guerra que tienen entre ambos países, ha provocado que los costos de los insumos se eleven considerablemente en varios países, en consecuencia, de eso la rentabilidad y la liquidez han disminuido lo cual podría llevar a una disminución de siembra de trigo en este 2024. En la Federación de Rusia a pesar de los conflictos que tienen con Ucrania se ha mantenido en condiciones favorables en la producción de trigo sin embargo al igual que Australia ha presentado escases de lluvias lo cual provoca sequedades en los suelos y como resultado hubo una disminución en la producción de trigo, sin embargo los análisis indican que para este 2024 aumentara un 1.9% en la producción mundial con respecto al año anterior impulsada principalmente por el crecimiento del uso del trigo en China y en la Unión Europea. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2024).

2.2 Producción actual de trigo a nivel nacional

El trigo representa uno de los cultivos más significativos a nivel nacional, desempeñando un papel crucial en el abastecimiento alimentario humano, en la industria de transformación y en la economía del país (Peña *et al.*, 2008). En México, durante el 2022, se obtuvieron 3 millones 611 mil toneladas, 10.0% más de lo que fue recolectado el año anterior (Panorama Agrolimentario, 2023). En nuestro país, los principales estados productores de este cereal son: Sonora, Guanajuato, Michoacán, Sinaloa y Jalisco, siendo Sonora el estado que más contribuyen en la producción de trigo al aportar dos quintas partes de la superficie cosechada (Dena *et al.*, 2018).

Por otra parte, en el estado de Coahuila de Zaragoza el 2020 la superficie de trigo fue de 6324 hectáreas con un valor de producción de 79.2 millones de pesos; y los productores que se dedican a esta labor tienen como objetivo principal el autoconsumo de las propias familias de la región norte, centro y sureste del estado de Coahuila (CESAVECO, 2022).

2.3 Factores que limitan la producción de los cultivos.

El rendimiento del trigo en condiciones productivas surge de la interacción entre el genotipo, clima, suelo y manejo del cultivo, influyendo en el desarrollo y crecimiento. En respuesta a ello, se distinguen tres niveles de producción (Van *et al.*, 1997), En el primer escenario productivo, se hace referencia a la situación potencial de producción en la que no existen limitaciones de agua y nutrientes, y no hay presencia de adversidades bióticas (como malezas, plagas o enfermedades) o abióticas adicionales (como heladas). Bajo estas condiciones, el rendimiento del cultivo se ve restringido únicamente por factores ambientales no controlables, como la radiación solar y la temperatura, así como por las características intrínsecas del genotipo (Evans *et al.*, 1999). En la segunda

situación productiva, el crecimiento del cultivo se ve restringido, al menos durante ciertas etapas de su ciclo, por la disponibilidad de agua y/o nutrientes (como el nitrógeno), sin otras limitaciones adicionales. Esta condición es frecuente en los sistemas agrícolas, incluso en aquellos que reciben fertilización. Este nivel de producción establece el rendimiento alcanzable. En la tercera situación productiva, el crecimiento del cultivo se ve disminuido debido a la presencia de factores bióticos adversos (plagas, malezas, enfermedades) y/o restricciones abióticas adicionales (como el granizo). La influencia de estos factores reductores determina el nivel de rendimiento efectivamente logrado. Por lo tanto, se puede distinguir, según la situación, entre el rendimiento potencial, el rendimiento obtenible y el rendimiento real (Van *et al.*, 1997).

El rendimiento potencial se determina mediante factores de crecimiento como la radiación y la temperatura, así como por las características del cultivar. El rendimiento obtenible corresponde al logrado en condiciones subóptimas de crecimiento debido a limitaciones hídricas o nutricionales, siendo esta la situación más común en los sistemas agrícolas. Por último, el rendimiento real se refiere a la producción efectivamente obtenida por los agricultores, la cual puede verse reducida debido a adversidades bióticas como malezas, plagas y enfermedades (Van *et al.*, 1997). La diferencia entre el rendimiento potencial, el rendimiento alcanzable y el rendimiento logrado está determinada por factores climáticos y la aplicación de prácticas de manejo. Aun así, se estima que, en condiciones productivas los cultivos podrían alcanzar hasta un 80% de su rendimiento potencial. Esto se debe tanto a limitaciones bióticas y abióticas inherentes a los sistemas de producción, como al subóptimo de prácticas de manejo (Van *et al.*, 1997).

2.4 Determinantes fisiológicos de la producción de biomasa

La producción de biomasa surge de la interacción entre la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (R_{lac}) y la eficiencia de conversión de esa radiación en biomasa (EUR), como se describe en la Ecuación 1. Estos aspectos del cultivo están detalladamente explicados en Satorre *et al.* (2003).

$$(1) \text{ Biomasa} = R_{lac} \times EUR$$

La captura de radiación depende del índice de área foliar verde, así como de la duración y eficacia con la que absorbe la radiación solar. Por otro lado, la eficiencia en el uso de la radiación se define como la relación entre la biomasa generada durante el ciclo de crecimiento del cultivo y la radiación absorbida acumulada. La estructura de la cubierta vegetal puede influir en la captura de radiación (Sadras *et al.*, 1996) y la morfología de las espigas (Motzo *et al.*, 2002). La eficiencia de uso de la radiación varía con la especie vegetal (Sinclair *et al.*, 1999), la ontogenia del cultivo (Calderini *et al.*, 1997), la disponibilidad hídrica (Earl *et al.*, 2003), (Tesfaye *et al.*, 2006), la presión de vapor (Kemanian *et al.*, 2004), el nitrógeno (Hall *et al.*, 1995) entre otros elementos.

Las variaciones en la eficiencia de la captura de radiación entre cultivos pueden estar vinculadas a aspectos fisiológicos específicos de cada especie. El vigor temprano refleja la rápida expansión de la superficie foliar, lo que conduce a una mayor producción de biomasa (Richards *et al.*, 2002). Varios estudios han demostrado, que los genotipos de trigo con mayor vigor muestran un alto índice de área foliar y la biomasa de tallos son mayores en comparación con los genotipos con menor vigor (Richards *et al.*, 2002). La interceptación de radiación (IR) puede ser relevante en otras etapas del crecimiento de los cultivos en respuesta a la

escasez de agua, y esta condición, puede modificar la estructura del dosel, como el ángulo de inclinación de las hojas durante la formación de los granos. Por lo tanto, las disparidades en la respuesta de cada tipo de cultivo al déficit hídrico moderado podrían influir en la cantidad de radiación interceptada (Sinclair *et al.*, 1999). De acuerdo al otro determinante fisiológico para la producción de biomasa aérea, la eficiencia de uso de radiación se reconoce que entre los cultivos C₃, los cereales expresan una mayor eficiencia en la captación de radiación en comparación con los cultivos (leguminosas). (Sinclair *et al.*, 1999). Si se les aplica el agua requerida y los nutrientes esenciales a los cultivos de trigo y cebada, estas muestran una eficiencia del uso de radiación muy parecidas, con un aproximado a los 1,7 g MJ⁻¹. La falta de agua puede inducir a un estrés hídrico esto conlleva a una reducción fotosintética y una disminución de la eficiencia del uso de radiación. Se han hecho varios estudios donde se han reportado una eficiencia de uso de radiación de 0.91 g MJ⁻¹ en situaciones de déficit hídrico en Australia (O`Connell *et al.*, 2004).

2.5 Mejoramiento genético del trigo a nivel nacional

El mejoramiento genético de los cultivos se ha basado fuertemente en los crecientes avances de la genética y de las estadísticas y, frecuentemente se hace poco reconocimiento a la relevancia de la fisiología de los cultivos para el impulso de criterios de selección (Satorre *et al.*, 2004).

Muchas veces los fitomejoradores seleccionan por rendimiento final y sugieren que no tienen en cuenta elementos fisiológicos, ya que carecen de un modelo fisiológico y/o morfológico de planta al que tiendan deliberadamente, es decir, no realizan mejoramiento por idiotipos. El no hacerlo, no implica que los

avances en el conocimiento de las bases funcionales del rendimiento no hayan sido incorporados en los criterios de selección, sino que no se ha considerado deliberadamente su utilización. Mucho del “arte” que algunos fitomejoradores declaran aplicar al realizar sus elecciones está fuertemente teñido de los avances en la comprensión de la fisiología de los cultivos han sido notables. El examen de cómo han ido cambiando los criterios de selección de los mejoradores a lo largo del tiempo, revela cómo de un modo más o menos consciente, fue necesario el entendimiento de la fisiología del rendimiento para aumentar la eficiencia del mejoramiento de especies. Esto es particularmente importante en los cultivos que han sido sometidos en el pasado a elevados niveles de presión de selección, ya que seguir incrementando su rendimiento se vuelve progresivamente más difícil (Satorre *et al.*, 2004).

El entendimiento y uso de bases fisiológicas resultaría útil para lograr avances más certeros en el proceso de mejoramiento convencional para realizar mejoramiento por idiotipos, y para el uso de técnicas moleculares con la finalidad de identificar, mapear y transferir factores genéticos ligados al rendimiento (Satorre *et al.*, 2004).

En la actualidad, el 70% de la producción mundial de trigo se origina en investigaciones realizadas en México a través del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Este centro ha desarrollado avances importantes en el mejoramiento genético de plantas utilizando herramientas fisiológicas que permitan identificar los alcances y limitaciones de los cultivos en diferentes tipos de ambientes en todo el mundo. La contribución a la seguridad alimentaria mundial es un legado del Dr. Norman Borlaug, famoso científico galardonado con el Premio Nobel de la Paz en 1970 por sus innovaciones en el mejoramiento del trigo. Estas innovaciones no solo

aumentaron la producción mundial de este cereal, sino que también salvaron la vida de más de mil millones de personas al prevenir la hambruna

Recientemente, el Laboratorio de Calidad del Trigo del CIMMYT y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) colaboran estrechamente en la investigación para seleccionar y desarrollar nuevas variedades de trigo, adaptadas a diversas regiones del país. Su trabajo se enfoca en mejorar tanto la calidad panadera como la nutricional del grano, con el objetivo de impulsar la producción agrícola y satisfacer las necesidades alimentarias de la población.

Con relación a lo anterior, el CIMMYT en el año 2009 estableció un consorcio dedicado al rendimiento del trigo, convocando a una destacada comunidad de expertos a nivel mundial en diversos campos relacionados con el trigo, como fisiología, genética y agronomía. El propósito principal fue iniciar la investigación sobre nuevo germoplasma de trigo élite (Reynolds *et al.*, 2011). Así surgen las líneas de trigo CIMCOG (CIMMYT México Core Germoplasm), la cual se conforma por 60 genotipos de trigo reconocidas por su excelente adaptabilidad agronómica en varias partes del mundo. Por tal motivo, es de suma importancia estudiar la variabilidad en rendimiento de los mejores germoplasmas, de manera que los fitomejoradores cuenten con progenitores élite que puedan incluir en nuevos programas de mejoramiento de plantas que permitan un incremento en los rendimientos potenciales de trigo en las muchas partes del mundo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna en Torreón, Coahuila localizada a 25° 32' 40" de latitud norte, y 103° 26' 33" longitud oeste y a 1120 m.s.n.m. (SECTUR, 2014). El clima que predomina en esta zona es árido y semiárido con fuertes variaciones estacionales y lluvias muy escasas, inviernos con temperaturas cercanas a los 0°C, con precipitaciones anuales de 220 mm (Santamaría *et al.*, 2006). La temperatura media anual va en un rango de 18° a 22°C, cuentan con suelos aluvión profundo y arcillosos. (García *et al.*, 2009).

3.2 Material genético

El material genético utilizado en este experimento estuvo conformado por un set de 29 líneas de trigo élite con un alto índice de flores fértiles las cuales fueron proporcionado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El origen de las líneas de trigo élite se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Líneas de trigo élite evaluadas en este estudio.

LINEA	ORIGEN
1	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
2	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR2
3	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
4	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
5	SOKOLL/WBLL1/4/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
6	FRTL//ATTILA/3*BCN/5/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
7	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
8	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
9	BORLAUG100 F2014
10	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
11	SOKOLL
12	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
13	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
14	WBLL4//OAX93.24.35/WBLL1/5/CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/6/D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB
15	CROC_1/AE.SQUARROSA(205)//BORL95/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/FRET2/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
16	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/SOKOLL/WBLL1/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
17	SOKOLL/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/4/PARUS/PASTOR/5/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
18	SOKOLL/WBLL1/4/PIHA//WORRAKATTA/2*PASTOR/3/PRL/2*PASTOR
19	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
20	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
21	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
22	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
23	MEX94.27.1.20/3/SOKOLL//ATTILA/3*BCN/4/PUB94.15.1.12/WBLL1/5/MUCUY
24	CHEN/AE.SQ//2*OPATA/5/SERI.1B//KAUZ/HEVO/3/AMAD*2/4/KIRITATI/6/FRET2*2/SHAMA//KACHU
25	68.111/RGB-U//WARD/3/FGO/4/RABI/5/AE.SQUARROSA (784)/6/BECARD
26	68.111/RGBU//WARD/3/FGO/4/RABI/5/AE.SQUARROSA(778)/7/2*CHWL86/6/FILIN/IRENA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER
27	SOKOLL/WBLL1/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1
28	CHEN/AE.SQ//2*OPATA/3/FINSI/5/W15.92/4/PASTOR//HXL7573/2*BAU/3/WBLL1
29	CETA/AE.SQUARROSA (435)/5/2*UP2338*2/SHAMA/3/MILAN/KAUZ//CHIL/CHUM18/4/UP2338*2/SHAMA

3.3 Diseño experimental

Para la evaluación de las 29 líneas de trigo élite se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. El trazado del experimento estuvo constituido por 116 parcelas. Cada parcela estuvo constituida por siete surcos de 1.20 m de largo y una distancia de 15 cm entre surcos.

3.4 Manejo del trabajo experimental

La preparación de terreno consistió en un barbecho profundo con tres pasos de rastra. De igual manera se realizó los surcados, por medio de cinceles mediante el uso de tractor. La siembra se realizó el día 13 de diciembre del 2019 utilizando una densidad de 350 semillas por metro cuadrado. Para la siembra se empleó un método especial con el fin de asegurar una uniformidad óptima. Las semillas fueron dispuestas a una distancia precisa de 1.9 cm entre sí sobre una cinta adhesiva y cubiertas con papel biodegradable para garantizar la estabilidad de la semilla. Posteriormente, estas cintas fueron colocadas dentro de los surcos a una profundidad cercana a los 2 cm y luego tapadas con suelo manualmente. La fecha de cosecha para todo el experimento fue el 19 de abril de 2020.

3.5 Fertilización

Para la fertilización se utilizaron 200 unidades de nitrógeno 180 unidades de fósforo y 0 unidades de potasio, donde las fuentes de fertilización fueron fosfato diamónico (DAP) y urea, respectivamente. El potasio no se le aplica debido a que los suelos en la zona de Lagunera cuentan con un alto porcentaje de este elemento

(Carrillo *et al.*, 2022). El fósforo, se aplicó en su totalidad durante la siembra, bajo las cintas que tenían las semillas. Por otro lado, el nitrógeno se dividió, con el 50% aplicado durante la siembra y el resto de nitrógeno en bandas al inicio del macollaje. Las malezas fueron controladas de manera periódica mediante de forma manual.

3.6 Riego

Para el manejo del riego se realizó mediante cintillas, la aplicación de los riegos se realizó dos veces por semana cuando el cultivo demandaba agua.

3.7 Control de plagas

Durante el experimento se presentó el pulgón verde (*Schizaphis graminum*) a inicios de la etapa de macollaje el cual fue controlado con un insecticida comercial llamado: ENGEO® (Ingrediente activo: thiametoxam: (E_Z)-3-(2-cloro-1,3-tiazol-5-ilmetil)-5-metil-1,3,5-oxadiazinan-4-iliden(nitro)amina (Equivalente a 141 g de i.a./L a 20°C); y lambda cialotrina: (R)-Alfa-Ciano-3-fenoxibencil (1S)-cis-3-[(Z)-2-cloro-3,3,3-trifluoropropenil]-2,2-dimetilciclopropano carboxilato y (S)- Alfa-ciano-3-fenoxibencil (1R)-cis-3-[(Z)-2-cloro-3,3,3 trifluoropropenil]-2,2-dimetil ciclopropano carboxilato (Equivalente a 106 g de i.a./L a 20°C), de la empresa Syngenta siguiendo la dosis recomendada por el fabricante para el cultivo de trigo. Las aplicaciones se realizaron a primeras horas de la mañana por medio de una bomba de aspersión manual.

3.8 Variables de estudio

3.8.1 Etapas fenológicas

Se registró fecha de emergencia de los cultivos cuando las parcelas tenían más del 50% de las plantas emergidas sobre la superficie del suelo. Además, se registró las etapas fenológicas de antesis, y madurez fisiológica cuando más del 50% de las plantas se mostraban en dicha etapa fenológica. Posteriormente, se estimó los días de transcurridos de desde la emergencia a la etapa de antesis, también los días transcurrido de antesis a madurez fisiológica y de igual manera los días de emergencia hasta la madurez fisiológica, siguiendo la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974).

3.8.2 Producción de biomasa y rendimiento de grano

Una vez concluida el ciclo de vida del trigo se procedió a cosecha un metro lineal del surco central en cada una de las parcelas. Posteriormente se eliminaron las raíces, se realizaron muestreos destructivos para separar a la planta en sus diferentes órganos. Las muestras se secaron a 60°C durante 48 horas en una estufa de secado para determinar el peso seco de los tallos, hojas y espigas. Los granos se separaron de las espigas manualmente y se secaron a 60°C durante 48 horas. Finalmente, se pesaron las muestras utilizando una balanza analítica (modelo: SCIENTECH SG 8000). Al final se pesaron los granos de cada muestra para estimar el rendimiento final de grano en cada parcela.

3.8.3 Porcentaje de interceptación de radiación

La radiación interceptada solo se midió durante la etapa de antesis, las mediciones se realizaron dos veces a la semana las mediciones se realizaron a las 12 del día cuando el cielo estuviera despejado si los días eran nublados no se realizaba ninguna medición hasta el día siguiente, dichas mediciones se hicieron con un ceptómetro (marca: AccuPAR, modelo LP-80). Se determinó la radiación interceptada mediante mediciones de radiación fotosintéticamente activa incidente y transmitida, realizadas durante horas de mediodía solar en días despejados. El ceptómetro se colocó sobre el dosel para medir la radiación incidente, y a nivel del suelo por debajo del dosel, se tomaron tres mediciones en forma paralela (derecha, centro e izquierda entre los surcos) esto se hizo con la finalidad de obtener resultados más exactos, promediando estas tres mediciones, lo que equivale a la radiación transmitida tal como explica Calderini *et al.* (1997). La radiación interceptada por el dosel se calculó como la proporción de la diferencia entre las radiaciones incidente y la transmitida. Posteriormente, se calculó el porcentaje de radiación interceptada durante la etapa de antesis.

3.9 Análisis estadístico

Se emplearon modelos de regresión lineal para examinar la relación entre diversas variables. Utilizando datos sobre producción de biomasa, etapas fenológicas y rendimiento de grano, se llevaron a cabo análisis de varianza siguiendo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, utilizando el software estadístico SAS versión 9.0. Cuando los valores de F de los análisis de varianza resultaron significativos, se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza

Los resultados de los análisis de varianza que se presentan en el Cuadro 2 se aprecia que para bloques hubo diferencias significativas al menos al 0.05 en las variables días de siembra a antesis, días de antesis a madurez fisiológica, días de siembra a madurez fisiológica e intercepción de radiación. Para el resto de las variables como peso seco de tallo, peso seco de hojas, peso seco de espigas, biomasa aérea y rendimiento de grano no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$).

Para el factor líneas no se detectaron diferencias significativas ($p>0.05$) en las variables peso seco de hojas, peso seco de espigas, biomasa aérea, intercepción de radiación y rendimiento de grano; estos resultados en producción de biomasa y rendimiento de grano son contrastantes con los resultados obtenidos por Valdés *et al.* (2017), en donde encontraron diferencias significativas ($p<0.01$) en las líneas de trigo élite (CIMCOG). Por otra parte, para días de siembra a antesis y peso seco de tallos existieron diferencias significativas al 0.05; y para las variables días de antesis a madurez fisiológica y días de siembra a madurez fisiológica se encontraron diferencias significativas al 0.001 en el factor líneas. Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos, tomando valores de 2.01% para días de siembra a antesis, 7.83% para días de antesis a madurez fisiológica, 2.15% para días de siembra a madurez fisiológica, y 4.80 para intercepción de radiación.

Cuadro 2 Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para días de siembra a antesis (S-ANT), días de antesis a madurez fisiológica (ANT-MF), días de siembra a madurez fisiológica (S-MF), peso seco de tallos (PST), peso seco hojas (PSH), peso seco espigas (PSE), biomasa aérea (BIO), intercepción de radiación (IR) y rendimiento de grano (REN). Ciclo otoño-invierno de 2019, Torreón, Coahuila, México.

F. V.	GL	S-ANT	ANT-MF	S-MF	PST	PSH	PSE	BIO	IR	REN
Bloque	3	9.25*	28.37**	28.19**	93.70ns	123.38 ns	539.47 ns	36618.81ns	83.91**	3.82 ns
Línea	28	5.87*	15.68***	25.84***	464.46*	108.74 ns	1242.46 ns	158445.29 ns	28.67 ns	3.27 ns
Error	84	3.11	5.42	6.38	250.92	93.43	1043.54	119413.89	19.30	2.04
Media		87.75	29.74	117.49	69.40	30.01	107.68	1380.69	91.49	4.48
C.V.		2.010	7.83	2.15	22.82	32.20	29.99	25.02	4.80	31.90

ns = no significativo.

*, **, *** = significativo al 0.05, 0.01, 0.001 respectivamente.

4.2 Comparación de medias entre líneas de trigo elite

De acuerdo con los resultados que se consignan en el Cuadro 3, se observa que en promedio la línea de trigo elite más tardías fue L6 con 122 días para llegar a madurez fisiológica, mientras que, las líneas más precoces fueron L23 y L26 ambas con 114 días para llegar a madurez fisiológica. Las líneas de trigo elite se han estudiado por varios años atrás de acuerdo a la etapa de madurez se han encontrado líneas que han alcanzado esa etapa en 100 días y la más tardía de 110 días (Reynolds *et al.*, 2016).

La duración del período de pre-antesis para todas las líneas de trigo elite duró en promedio 88 días, mientras que, la duración promedio en período de post-antesis fue de 30 días (Cuadro 2). Otros estudios realizados con trigo para evaluar la cantidad de flores fértiles en 60 líneas registraron la duración del período de

siembra a la etapa de ané debate en un rango de 78 días a 95 días (Navarro *et al.*, 2015).

Para la variable peso seco de tallo, las líneas de trigo élite con mayores valores fueron las líneas L16 (94.45 mg), L26 (84.40 mg) y L17 (81.88 mg). Por otra parte, las líneas con menores valores en peso seco de tallo fue la línea L2 con 47.65 mg. A pesar de que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre líneas de trigo élite para las variables peso seco de hojas (PSH) y peso seco de espigas (PSE), el mayor valor aritmético para peso seco de hojas lo registro la línea L16 con 45.03 mg y para la variable peso seco de espigas la registró la línea L5 con 142.98 mg.

A pesar de que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) para la variable producción de biomasa aérea, los mayores valores alcanzados fue para las líneas L16 (1831.8 g m⁻²), L26 (1669.5 g m⁻²), L3 (1658.8 g m⁻²) y L17 (1621.5 g m⁻²) y el valor más bajo fue L03 (924.5 g m⁻²) (Cuadro 3). En trabajos realizados por Reynolds *et al.* (2015) con 35 líneas de trigo élite, los resultados obtenidos en producción de biomasa registraron valores de hasta 1280 g m⁻² y 1268 g m⁻², los cuales son valores bajos en comparación a los resultados de este estudio. Ullah *et al.* (2021), ha mencionado que las líneas de trigo tienden a comportarse de manera diferente en distintos ambientes, si la planta sufre algún estrés por altas temperaturas esto evidentemente afectara en la producción de biomasa, las líneas que son tolerantes a temperaturas altas producirán más biomasa mientras que las que no son tolerantes simplemente disminuirían la producción de biomasa y sobre todo el rendimiento de grano.

Para la variable intercepción de radiación, las líneas con mayores valores fueron las líneas L11, L6, L21 y L28, con 94.40, 94.20, 94.20 y 94.02%,

respectivamente. Los resultados aquí encontrados son semejantes a los resultados reportados por López *et al.* (2015), donde la intercepción de radiación de las 60 líneas de trigo evaluadas tuvo un promedio del 94.3% en la captura de la radiación. Si bien en este estudio no se realizaron mediciones de eficiencia de uso de la radiación, estudios realizados por Calderini *et al.* (2011), muestran que la eficiencia de uso de la radiación es otro determinante fisiológico de la producción biomasa, y entre mayor sea el aprovechamiento de la radiación se obtendrán mejores rendimientos.

Cuadro 3 Comportamiento promedio de las 29 líneas de trigo élite siembra antesis (S-ANT) antesis a maduras fisiológica (ANT-MF) siembra a maduras fisiológica (S-MF) peso seco de tallos (PST) peso seco hojas (PSH) peso seco espigas (PSE) intercepción de radiación (IR) biomasa total (BIOT) rendimiento (REN). Ciclo otoño-invierno de 2019, Torreón, Coahuila, México.

LINEA	S-ANT	ANT-MF	S-MF	PST	PSH	PSE	BIOT	IR	REN
	------(d)-----			------(mg)-----			(g m ²)	(%)	(t ha ⁻¹)
1	87 ab [§]	29 ab	116 abcde	67.25 ab	26.20 a	96.90 a	1269.0 a	88.97 a [§]	4.20 a
2	87 ab	28 ab	115 bcde	47.65 b	23.35 a	67.68 a	924.5 a	91.375 a	2.62 a
3	86 ab	28 ab	115 bcde	78.63 ab	27.22 a	142.98 a	1658.8 a	87.85 a	5.70 a
4	86 b	29 ab	115 abcde	63.65 ab	20.75 a	110.03 a	1296.2 a	92.87 a	4.85 a
5	87 ab	30 ab	117 abcde	75.83 ab	30.30 a	102.68 a	1392.0 a	93.67 a	4.50 a
6	89 ab	33 a	122 a	64.28 ab	36.62 a	124.08 a	1499.9 a	94.20 a	5.50 a
7	87 ab	27 ab	114 e	52.45 ab	23.00 a	90.80 a	1108.3 a	87.65 a	3.85 a
8	87 ab	28 ab	115 abcde	63.48 ab	27.55 a	111.75 a	1351.8 a	87.27 a	4.85 a
9	87 ab	32 ab	119 abcde	58.50 ab	23.62 a	100.00 a	1214.2 a	91.22 a	4.37 a
10	87 ab	29 ab	117 abcde	62.05 ab	29.45 a	83.98 a	1169.8 a	87.37 a	3.95 a
11	89 ab	29 ab	118 abcde	77.35 ab	28.97 a	119.13 a	1503.0 a	94.40 a	5.10 a
12	89 ab	28 ab	117 abcde	73.83 ab	30.52 a	120.98 a	1502.2 a	93.45 a	6.00 a
13	87 ab	33 a	121 abcd	63.98 ab	30.07 a	94.50 a	1257.0 a	93.27 a	4.07 a
14	87 ab	27 ab	114 de	62.68 ab	26.00 a	105.40 a	1293.8 a	90.50 a	4.32 a
15	87 ab	27 ab	114 cde	60.55 ab	29.30 a	80.15 a	1133.4 a	84.47 a	3.32 a
16	87 ab	29 ab	117 abcde	94.45 a	45.025 a	135.30 a	1831.8 a	91.87 a	5.02 a
17	87 ab	33 a	121 abcd	81.88 ab	29.30 a	132.05 a	1621.5 a	92.22 a	5.67 a
18	89 ab	29 ab	118 abcde	71.43 ab	33.30 a	98.73 a	1356.3 a	88.70 a	2.62 a
19	87 ab	31 ab	119 abcde	68.30 ab	34.82 a	99.08 a	1348.0 a	93.32 a	3.12 a
20	88 ab	31 ab	119 abcde	78.18 ab	32.27 a	101.90 a	1415.7 a	93.95 a	4.00 a
21	87 ab	31 ab	118 abcde	61.43 ab	30.00 a	95.15 a	1243.9 a	94.20 a	4.22 a
22	89 ab	32 ab	121 abc	51.55 ab	21.07 a	111.70 a	1228.9 a	91.37 a	4.90 a
23	87 ab	26 b	114 e	76.10 ab	36.17 a	115.15 a	1516.2 a	93.55 a	4.77 a
24	89 ab	28 ab	117 abcde	78.18 ab	34.57 a	114.90 a	1517.7 a	92.95 a	4.62 a
25	87 ab	27 ab	115 bcde	79.73 ab	34.57 a	117.58 a	1545.8 a	89.25 a	4.82 a
26	85 b	29 ab	114 e	84.40 ab	34.85 a	131.18 a	1669.5 a	93.57 a	5.75 a
27	88 ab	31 ab	119 abcde	79.58 ab	31.55 a	128.35 a	1596.5 a	93.30 a	5.75 a
28	91 a	30 ab	121 ab	72.50 ab	30.42 a	101.15 a	1360.5 a	94.02 a	3.47 a
29	87 ab	31 ab	119 abcde	62.88 ab	29.52 a	89.70 a	1214.0 a	92.57 a	4.10 a
DMS	4.82	6.3652	6.9063	5.46	26.41	88.265	944.19	12.006	3.9057
Tukey									

§ = medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre si (DMS 0.05).

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el rendimiento de grano para todas las líneas de trigo élite. Los valores más altos de rendimiento de grano fue para la línea L12 con 6 t ha^{-1} , mientras que, la línea con el menor valor aritmético para esta variable fueron las líneas L2 y L18, ambas con el mismo rendimiento de grano (2.62 t ha^{-1}) como se muestra en el Cuadro 3. Resultados reportados por Valdés *et al.* (2017) indican que para las líneas CIMCOG se alcanzaron rendimientos máximos de 5.43 t ha^{-1} donde también reportan variabilidad genética en las líneas evaluadas ($p < 0.01$). Otros estudios realizados por Solís *et al.* (2014) en 60 líneas de trigo CIMCOG demostraron que el rendimiento varía según el ambiente donde se establecerán los materiales de trigo.

4.3 Producción de biomasa y porcentaje de intercepción de radiación

En la Figura 2 se muestra que para el rendimiento de grano hay una correlación positiva alta ($r^2 = 0.6$) con la producción de biomasa, mientras que, para el rendimiento de grano y el porcentaje de intercepción de radiación en el momento de anthesis existe una correlación media ($r^2 = 0.3$) (Figura 1). Datos de correlación positiva entre la productividad de un cultivo y la capacidad para interceptar la radiación ha sido reportada en otros trabajos en trigo (Lindquist *et al.*, 2005; Villafaña *et al.*, 2014).

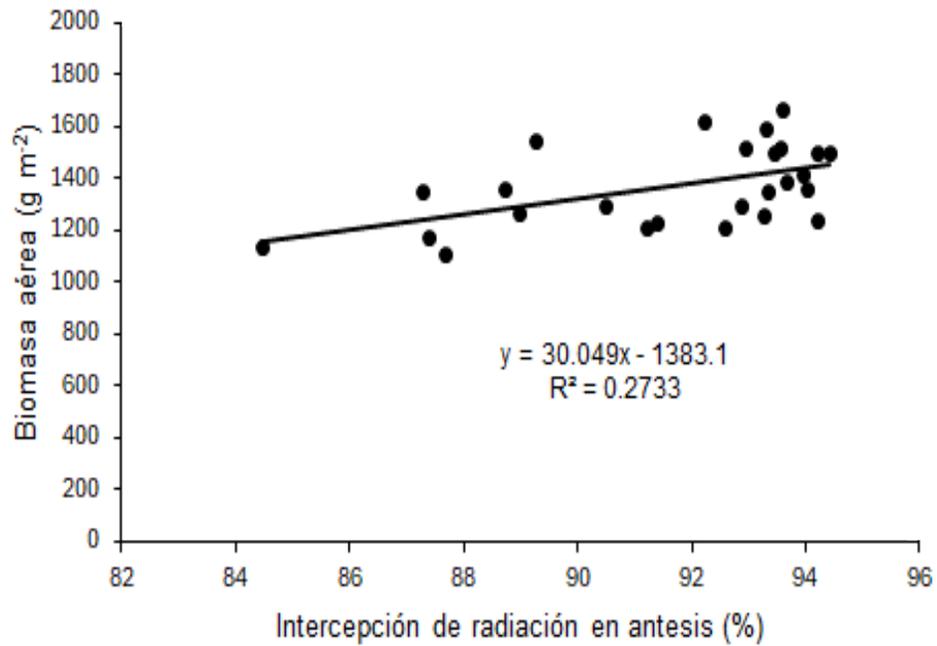


Figura 1 Relación entre la biomasa aérea y la intercepción de radiación en antesis en 29 líneas de trigo élite.

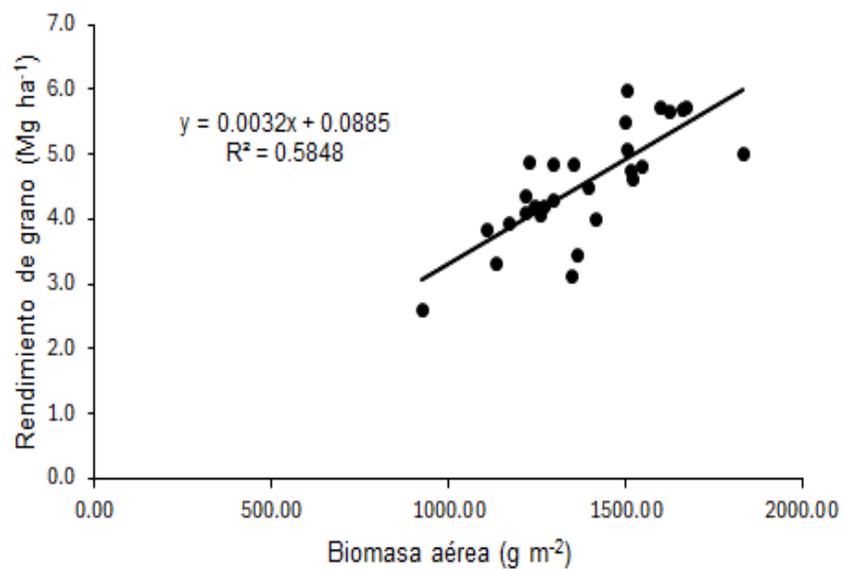


Figura 2 Relación entre el rendimiento de grano y la biomasa aérea en 29 líneas de trigo élite.

V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en este estudio, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1.- Se presentó variación genética en la duración de todo el ciclo del cultivo, como en la duración de pre-antesis y post-antesis, además del peso seco de tallos para las líneas evaluadas en este estudio.

2.- La línea más tardía fue L6 con 122 días, mientras que la línea más precoz fue L23 con 113 días.

3.- El rendimiento de grano fue asociado positivamente con la producción de biomasa aérea en las líneas de trigo élite.

4.- Si bien en este estudio no se pudo realizar el seguimiento de la interceptación de radiación durante todo el ciclo del cultivo, la medición del porcentaje de interceptación de radiación en la etapa de antesis con relación a la producción de biomasa aérea muestra una asociación positiva entre estas dos variables.

5.- A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de grano para todas las líneas de trigo élite. Los valores más altos de rendimiento de grano fue para la línea L12 con 6 t ha⁻¹.

6.- Este trabajo puede ser considerado como base para caracterizar nuevas líneas de trigo élite que puedan usarse en nuevos programas de mejoramiento genético para evaluar los alcances y limitaciones del rendimiento de grano en el cultivo de trigo bajo ambientes característicos de la región de la comarca Lagunera.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S., & Otegui, M. (1996). Ecofisiología del cultivo de maíz. *La Barrosa. Balcarce, Buenos Aires*, 147-192.
- Calderini, D. F., Dreccer, M. F., Slafer, G. A. (1997). Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Field Crops Research*, 271-281.
- Calderini, D., Valle, S., & Lizana, C. (2011). Sistemas de Producción de Trigo y Cebada: Decisiones de manejo en base a conceptos ecofisiológicos para optimizar el rendimiento, la calidad y el uso de los recursos. *Doctoral dissertation, Universidad Austral de Chile*, 66-80.
- Carrillo J, B., Valenzuela, C. O., & Dominguez C, K. L. (2022). Suficiencia nutrimental de suelos agrícolas en producción de la región Lagunera . *Agrofaz*, 52-54.
- CESAVECO. (2022). programa de trabajo integral de subcomponente servicios fitosanitario en apoyo a la producción para el bienestar , prevención, control o erradicación de plagas fitosanitarias en el estado de Coahuila del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria.... 3-4. Torreón, Coahuila. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/761936/Coahuila.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/761936/Coahuila.pdf)
- Dena, M. J., Solano, V. S., & Rodríguez, R. I. (2018). Impactos económicos de las horas frío en la producción de trigo en Sonora, México. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del*, 17-18.
- Donmez, E., Sears, R., Shroyer, J., & Paulsen, G. (2001). Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. *Crop Science*, 41, 1412-1419.

- Earl, H. J., Davis, R, F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 688-696.
- Evans, L. T., Fischer, R, A. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*. *Crop Science*, 1544-1551.
- FAO. (02 de febrero de 2024). Obtenido de El aumento de la producción de cereales secundarios impulsa las perspectivas sobre la oferta y el comercio: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- FAOSTAT. (13 de marzo de 2024). Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QI>
- García del Moral, L., De la Morena, I., & Ramos, J. (1987). Biomasa, duración del área foliar y proporción grano/hoja en relación con la cosecha y sus componentes en cebada. *Agricultura mediterránea*, 117.
- García, H. J., Orona, C. I., González, C. G., Valdez, C. R., Murillo, A. B., Troyo, D. E., & Segura, C. M. (2009). Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 141-147.
- Hall, A., Connor, D., & Sadras, V. (1995). Radiation use efficiency of sunflower crops: effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. *Field Crops Research*, 41, 65-77.
- Hernández, C., Naivy., & Carreño, S. (2015). COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN TRES FECHAS DE SIEMBRA. *Redalyc*, 86-92.
- Kemanian, A, R., Stockle, C, O., Huggins, D, R. (2004). Variability of barley radiation use efficiency. *Crop Science*, 44, 1662–1672.

- Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. G. and Dobermann, A. (2005). Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy*, 72-78
- López, C. C., Molero, G., & Reynolds, M. (2015). Genetic Diversity of Light Interception Profiles in Modern Wheat Canopies. *Proceedings of the International TRIGO (Wheat) Yield Potential WORKSHOP*, 47-48.
- Motzo, R., Giunta, F. (2002). Awnedness affects grain yield and kernel weight in near-isogenic lines of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1285-1293.
- Navarro, G. O., Griffiths, S., & G, M. (2015). Dynamics of floret development determining differences in spike fertility in an elite population of wheat. *ELSEVIER*, 21-31.
- O'Connell, M., O'Leary, G., Whitfield, D., & Connor, D. (2004). Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 85, 111-124.
- Panorama Agrolimentario. (16 de Noviembre de 2023). *Panorama Agrolimentario*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgjw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view
- Peña, B. R., Hernández, E. N., Pérez, H. P., Villaseñor, M. H., Gómez, V. M., & Mendoza, L. A. (2008). Calidad de la cosecha de trigo en México; ciclo otoño-invierno 2006-2007. México. *CONASIST-CONATRIGO*.
- Ramírez, V., Santa, R. R., & Villaseñor, M. H. (2016). Evaluación de variedades y líneas uniformes de trigo harinero de temporal en Valles Altos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2-6.

- Reynolds, M. P., Bonnett, D., Chapman, S. C., Furbank, R. T., Mans, Y., Mather, D. E., & Parry, M. A. (2011). Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of experimental botany*, 439-452.
- Reynolds, M. P., Pask, A., Torres, A., & Quiche, Y. N. (2015). Pre-Breeding for Yield Potential: Summary of International Data from 2nd WYCYT and Performance of Pipeline Material. *Proceedings of the International TRIGO (Wheat) Yield Potential WORKSHOP*, 16-18.
- Reynolds, M., Molero, G., & Quilligan, E. (2016). Proceedings of the 2nd International WHEAT Yield Potential WORKSHOP. 18-20.
- Richards R.A. and Lukacs, Z. (2002). Seedling vigour in wheat - sources of variation for genetic and agronomic improvement. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41–50.
- Sadras V.O., Milroy, S, P. (1996). Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange. *Field Crops Research*, 253-266.
- Santamaría, C. J., Reta S, D. G., Chávez, G. J., Cueto, W. J., & Romero, P. R. (2006). Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. *Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRNOC-CELALA*.
- Satorre, E. H., Benech, A, R, L., Slafer, G, A. (2004). *Producción de granos bases funcionales para su manejo* . Buenos Aires-Argentina: Facultad de Agronomía.
- SECTUR. (Febrero de 2014). *Agenda de competitividad de los destinos turísticos de México Torreon Coahuila*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Torreon.pdf

- Sinclair, T., & Muchow, R. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, 215– 266.
- solís, E., Figueroa L, P., Molero, G., & Reynolds, M. P. (2014). Evaluation of CIMMYT and INIFAP elite lines in different agroclimatic zones representative of wheat production in Mexico. Wheat Yield Consortium, 4-8.
- Syahrudin, K. N. A., Azrai, M., Larekeng, S,H. (2019). Character evaluation and selection of tropical wheat lines in the long period of the dry season and high temperature. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, (Vol. 270, No. 1, p. 012053).
- Tesfaye, K., Walker, S., Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semiarid environment. *European Journal of Agronomy*, 25(1), 60-70.
- Ullah, S., Trethowan, R., Bramley, H. (2021). The Physiological Basis of Improved Heat Tolerance in Selected Emmer-Derived Hexaploid Wheat Genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 3-11.
- Valdés V, C., Campuzano, E. G., & Rueda, M. C. (2017). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.8 Núm.1 01 de enero - 14 de febrero, 2017 p. 77-88 Rendimiento de grano en trigo modificado por cambios en la fuente durante el llenado de grano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 77-83.
- Van Ittersum, M, K., Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field crops research*, 197-208.
- Villafaña, A. T., Morales, R. E., & Martínez, R. C. (2014). Determinantes ecofisiológicos del rendimiento en tres cultivares de trigo en función y fraccionamiento del nitrógeno. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 405-419.

- White, E. M., & Wilson, F. E. (2006). Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 45, 85-101.
- Zadoks, J. C., & Konzak, T. T. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. . *Weed Research* , 415-421.