

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Asociación entre la Temperatura de Planta y el NDVI con los Componentes de Rendimiento en Trigos Duros (*Triticum durum* L.)

Por:

CRHISTOPEER RAMÍREZ MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Asociación entre la Temperatura de Planta y el NDVI con los Componentes de Rendimiento en Trigos Duros (*Triticum durum* L.)

Por:

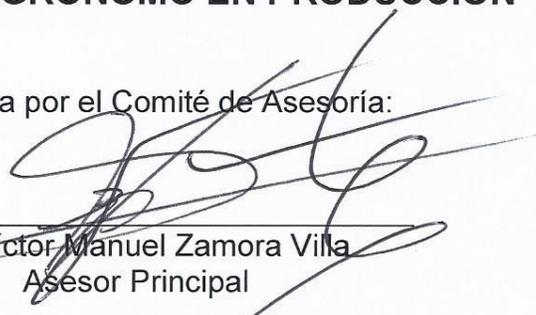
CRHISTOPEER RAMÍREZ MARTÍNEZ

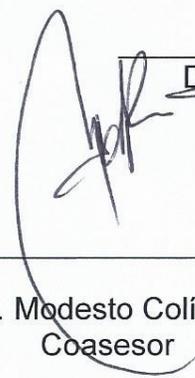
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

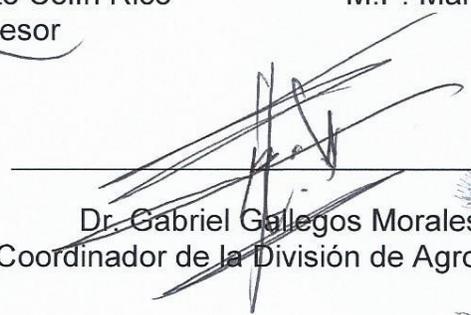
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Victor Manuel Zamora Villa
Asesor Principal


M. C. Modesto Colín Rico
Coasesor


M.P. María Alejandra Torres Tapia
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Octubre, 2017

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a **DIOS**, por darme la vida, salud y la oportunidad de llegar aquí y poder disfrutar de estos bellos momentos que solo pasan una vez. Gracias por todo lo que me has dado Señor, por mi gran y bella familia, en ti encomiendo mi camino para que me guíes en mis sueños.

A mis padres: J. Manuel y Araceli

Por todo el apoyo y amor que me han dado durante toda mi vida, por el esfuerzo y sacrificio que han dedicado para ponerme en esta etapa de mi vida, por sus consejos que me han sido de mucha ayuda, por los momentos que hemos pasado, por todos los valores que me han inculcado, por haber hecho la persona que soy; con cariño y amor mil gracias por todo Papás.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Por darme la oportunidad de realizar este trabajo con usted, y por la paciencia que tuvo durante la elaboración del mismo, por la enseñanza y los conocimientos que me brindo, por la confianza que me tuvo para llevar a cabo este trabajo y sobre todo gracias por su amistad durante este tiempo.

Al M.C Modesto Colín Rico

Gracias por el apoyo que me brindo para realizar el presente trabajo, por regalar un poco de su tiempo para la revisión del mismo y gracias por su amistad.

A la Maestra María Alejandra Torres Tapia

Por haber aceptado ser parte de este trabajo, por brindarme su apoyo para la revisión del mismo, por el tiempo que dedico.

A todos mis maestros en especial para el **Dr. Humberto de León Castillo**, la **Dra. Susana Gómez Martínez** y el **M.C Víctor Manuel Villanueva Coronado** que me ayudaron en mi formación tanto profesional como personal, por transmitirme un poco de sus conocimientos, por brindarme su atención durante todo este tiempo.

A mi “Alma Mater” UAAAN, por haberme brindado la oportunidad de ser un Buitre y de pertenecer a la mejor institución que puede haber, por todos esos momentos que viví en ella y por darme esta formación profesional. Buitre de Corazón.

DEDICATORIA

A mis padres:

J. Manuel Ramírez Alvarado

Araceli Martínez Pérez

Para ustedes con mucho amor y cariño, que me han apoyado siempre. Son las personas que más admiro, mi motor para seguir dando un paso más en mi crecimiento. Muchas gracias, a los dos por compartir el haber llegado hasta este momento con ustedes, hoy puedo decir que lo hemos logrado. Gracias por ser los mejores Padres de este mundo.

A mis abuelos:

Frumencio Martínez Gómez Audelia Pérez Camarena

Rafael Ramírez Rodríguez Cleotilde Alvarado Ramírez

A ustedes cuatro que han sido una de mis alegrías para seguir adelante, las personas más buenas, por todos los consejos que me han dado para ser mejor persona, por todo su cariño y amor, por el apoyo incondicional. Dios me dé la dicha de seguir escuchando sus consejos por muchos años más.

A mis hermanos:

**Mayra María de Jesús Yoni Omar Érica Cynthia José Manuel
Juan Pablo**

Por todos los momentos que hemos pasado durante nuestras vidas, las alegrías que hemos vivido, los momentos en familia, por todo el apoyo que me han brindado, doy gracias a Dios por darme estos grandes hermanos, los amo mucho.

A mi tío:

Aristeo Martínez Gómez

Con mucho cariño para usted que se ha convertido en una de las personas que más admiro y respeto en esta vida, por los momentos que pasamos y hacerme una mejor persona, a usted le doy las gracias y mi total respeto.

A mis tíos:

**Cipriano Rubelio Miguel Alejandra Laura Jesús Nora Mireya
María Beatriz**

Por el apoyo incondicional que obtuve durante todo este tiempo, por la confianza que han depositado en mí, por cada uno de los momentos que he convivido con ellos, muchas gracias, los quiero mucho a cada uno de ustedes.

A mis sobrinos:

Justin Gabriel Miguel Ángel Carlos Santino Mateo Samantha

A ustedes que se han convertido en una más de las alegrías de mi vida, y una esperanza más de dar más por parte de mí, a ustedes que me han hecho pasar buenos ratos divirtiéndome, los quiero mucho.

A mis amigos:

A ustedes, a las personas que pude llamar amigos, por compartir experiencias inolvidables a lo largo de los años, a cada uno de ustedes que marcaron de algún modo mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Generalidades del Trigo.....	4
Estadísticas	6
Taxonomía y Morfología	9
Origen Geográfico y Citogenético.....	12
Requerimientos Climáticos y Edáficos.....	15
Efectos de la Temperatura en la Producción	17
Requerimientos Nutricionales del Trigo Duro	19
Asociación entre el Rendimiento y Características Medidas Mediante Luz Infrarroja	23
Relación entre el Rendimiento y el NDVI.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
Ubicación de la zona de estudio, superficie y localización geográfica	28
Clima y temperatura.....	28
Suelo y vientos	28
Diseño Experimental, tamaño de la parcela experimental, fecha, método y densidad de siembra.....	29
Fertilización y riego	29
Control de malezas, plagas y enfermedades.....	29
Cosecha.....	29
Material Genético.....	30

Variables estudiadas.....	31
Análisis estadístico	32
Comparación de medias	33
Correlaciones.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Longitud de Espiga (LE)	35
Prueba de medias para Longitud de Espiga (LE)	36
Número de Espiguillas por Espiga (NEE)	39
Prueba de medias para Número de Espiguillas por Espiga (NEE)	40
Número de Granos por Espiga (NGE)	42
Prueba de medias para Número de Granos por Espiga (NGE)	43
Número de Tallos por metro lineal (NT).....	46
Prueba de medias para Número de Tallos por metro lineal (NT).....	47
Altura de Planta (AP)	49
Prueba de medias para Altura de Planta (AP)	50
Rendimiento de Grano en Toneladas (REND).....	52
Prueba de medias para Rendimiento de Grano en Ton. (REND)	53
Etapas Fenológicas de la Planta (EF)	55
Prueba de medias para Etapas Fenológicas de la Planta (EF)	56
Temperatura de Planta (TP)	57
Prueba de medias para Temperatura de Planta (TP)	58
Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	60
Prueba de medias para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)	60
Peso de Mil Semillas (PMS)	62
Prueba de medias para Peso de Mil Semillas (PMS)	63
Resultados de correlaciones de las variables estudiadas.....	65
V. CONCLUSIONES	68
VI. LITERATURA CITADA.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
2.1	Clasificación del trigo en México según su calidad y usos potenciales.....	5
3.1	Clave o nombre de los genotipos utilizados en el presente estudio. Zaragoza, Coah. (2015-2016).....	30
3.2	Análisis de Varianza utilizado con sus Fuentes de Variación, Suma de Cuadrados, Cuadrados Medios y F Calculada.....	33
4.1	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Longitud de Espiga. Zaragoza 2015-16.....	36
4.2	Resultados de la comparación de medias para Longitud de Espiga. Zaragoza 2015-16.....	37
4.3	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Espiguillas por Espiga. Zaragoza 2015-16.....	39
4.4	Resultados de la comparación de medias para Número de Espiguillas por Espiga. Zaragoza 2015-16.....	41
4.5	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Granos por Espiga. Zaragoza 2015-16.....	43
4.6	Resultados de la comparación de medias para Número de Granos por Espiga. Zaragoza 2015-16.....	45
4.7	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Tallos por metro lineal. Zaragoza 2015-16.....	46
4.8	Cuadro.- Resultados de la comparación de medias para Número de Tallos por metro lineal. Zaragoza 2015-16.....	48
4.9	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Altura de Planta. Zaragoza 2015-16.....	50
4.10	Resultados de la comparación de medias para Altura de Planta. Zaragoza 2015-16.....	51
4.11	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Rendimiento de Grano en Toneladas. Zaragoza 2015-16.....	52

4.12	Resultados de la comparación de medias para Rendimiento de Grano en Toneladas. Zaragoza 2015-16.....	54
4.13	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Etapa Fenológica de Planta. Zaragoza 2015-16.....	55
4.14	Resultados de la comparación de medias para Etapa Fenológica de la Planta. Zaragoza 2015-16.....	56
4.15	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Temperatura de Planta. Zaragoza 2015-16.....	58
4.16	Resultados de la comparación de medias para Temperatura de Planta. Zaragoza 2015-16.....	59
4.17	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado. Zaragoza 2015-16.....	60
4.18	Resultados de la comparación de medias para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado. Zaragoza 2015-16.....	61
4.19	Resultados del análisis de varianza y su significancia para Peso de Mil Semillas. Zaragoza 2015-16.....	63
4.20	Resultados de la comparación de medias para Peso de Mil Semillas. Zaragoza 2015-16.....	64
4.21	Correlaciones y su significancia entre las variables estudiadas. Zaragoza, Coahuila. Ciclo otoño invierno (2015-2016).....	66

RESUMEN

El trigo duro (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) es uno de los cereales más importantes y ampliamente cultivados en el mundo, se emplea principalmente para la producción de pastas. El cultivo, procesamiento y consumo generan una importante derrama económica y empleo en la cadena del Sistema Producto Trigo. El afirmar el desarrollo tecnológico en las diferentes zonas en los estados ha sido insuficiente y heterogéneo, además de tener la necesidad de contar con variedades para condiciones propias del estado de Coahuila.

Por ello, en el presente trabajo experimental se llevó a cabo en el municipio de Zaragoza, Coahuila, Campo Experimental Norte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el ciclo otoño - invierno 2015 – 2016, con el objetivo de evaluar 26 líneas de trigo duro generadas por Programa de Cereales de Granos Pequeño y comparar su producción y componentes de rendimiento contra 4 testigos comerciales (Altar, Jupare, Cirno y Huerfanita), suponiendo que alguna de estas líneas superan en producción a los testigos comerciales; así mismo, que las variables determinadas mediante la tecnología de infrarrojos puedan tener una relación con el rendimiento.

El diseño que se utilizó fue bloques completos al azar con tres repeticiones, realizando un análisis de varianza para cada variable de estudio, con sus respectivas pruebas de medias mediante la prueba de Scheffé al 0.05 de probabilidad. Adicionalmente se midió el coeficiente de correlación entre las variables estudiadas.

Las variables que se midieron en el estudio fueron: Longitud de Espiga (LE), Número de Espiguillas por Espiga (NEE), Número de Granos por Espiga (NGE), Número de Tallos por metro lineal (NT), Altura de Planta (AP), Rendimiento de Grano en Toneladas (REND), Etapa Fenológica de Planta (EF), Temperatura de Planta (TP), Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y Peso de Mil Semillas (PMS).

Los resultados mostraron que hubo una gran variabilidad entre de los genotipos estudiados para casi todas las variables, la cual sugiere que puede permitir seleccionar a los mejores genotipos o mejorar la característica deseada dentro del cultivo. Las correlaciones mostraron una relación positiva y significativa entre el NDVI y el rendimiento aunque con un valor bajo ($r= 0.38$), por lo que se sugiere realizar otros estudios para corroborar la magnitud. Por otro lado, otra relación importante involucra al rendimiento con el número de tallos por metro lineal, lo cual se sugiere realizar estudios de densidades para determinar el óptimo. En base en los resultados globales, el genotipo 20 (AN-465-13) obtuvo el mayor rendimiento (5.8 ton/ha), mayor NDVI, además de haber sido uno de los genotipos más precoces, así mismo el AN-474-13 (Genotipo 4), también sobresalió entre los genotipos con comportamientos deseables en algunas de las características evaluadas.

Palabras claves: *NDVI, trigo duro, temperatura de planta, rendimiento, componentes de rendimiento.*

I. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum*), tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. Las antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía, Israel e Irak. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicoccoides*) y huellas de granos en barro cocido en Jarmo (Irak Septentrional) que datan del año 6700 a. C. (Salas, 2016).

El trigo se cultiva básicamente en todo el mundo bajo diversas condiciones. Ha sido el alimento básico de las principales civilizaciones mencionadas de Europa, Asia y Norte de África durante más de 8000 años. Como alimento básico ha sido utilizado en una gran variedad de productos, las operaciones de posproducción cumplen una función importante para crear un abastecimiento estable del producto. El trigo también se utiliza en la producción de alimentos animales, almidón y etanol (FAO, 1999. Accesado agosto 2017).

El trigo crece en localidades diferentes de clima, suelos, calidad de agua, problemas fitosanitarios etc. Por lo que para mantener el nivel de productividad en estas áreas es necesario crear y/o seleccionar variedades con características específicas sobresalientes tales como: resistencia a plagas y enfermedades, rendimiento, sequía, precocidad, altura y porte de la planta, salinidad, color de grano, contenido de proteína, color de semolina, etc. Es decir, todas aquellas características deseables para un propósito determinado y que lo hacen ser un material distinto, uniforme y estable (INIFAP, 2011).

Los cereales se han considerado históricamente como el eje de la agricultura y la fuente más productiva de alimentos. La mayor parte de la energía que consume el hombre proviene de los cereales, tales como trigo, arroz y maíz; de estos, se considera que el trigo es el más abundante y productivo (Serna-Saldívar, 2009, citado por Juárez *et al.*, 2014).

El trigo es considerado el “rey de los cereales”, debido a que es consumido y sembrado en todas las zonas agrícolas del mundo (Peñaherrera, 2011). Son varios tipos de trigo que se cultivan alrededor del mundo; de acuerdo a su hábito de crecimiento, estos se clasifican en trigos invernales, primaverales, e intermedios o facultativos. El trigo harinero también se clasifica con base en el color de su grano en rojo, blanco y, en el caso del trigo duro, en ámbar (Kohli y Martino, 1998).

El trigo duro (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) es uno de los cereales más importantes y ampliamente cultivados en el mundo (17 millones de hectáreas). Su producción se sitúa en el Medio Este, África del Norte, Asia y la región del Mediterráneo en Europa. Otras áreas de producción incluyen Argentina, Chile, México, Estados Unidos y Canadá (Espinosa, 2014).

En lo que respecta a México, existen cinco variedades de trigo, pero las principales son dos: 1) el trigo cristalino (*Triticum durum* L.) –se utiliza principalmente en la fabricación de pastas, galletas, bebidas y hasta en la producción de combustibles– y 2) el trigo harinero (*Triticum aestivum*) –el cual se usa principalmente para la producción de pan (FIRA, 2015).

El trigo cristalino o duro, se emplea principalmente para la producción de pastas tales como: espagueti, macarrones, sopas secas. México produce anualmente casi 2 millones de toneladas de trigo cristalino. El trigo duro o cristalino, se caracteriza por un alto contenido de pigmento amarillo (carotenoides), un gluten fuerte y tenaz (no extensible). Los principales municipios productores de trigo duro son Mexicali (BC) y Cajeme (Sonora) con 24.5 y 17 por ciento, respectivamente (SAGARPA, 2017).

En México el trigo es la tercera fuente de nutrientes de bajo costo en la dieta del mexicano (después del maíz y el frijol), sobre todo para las poblaciones rurales y urbanas de escasos recursos. Además, su cultivo, procesamiento y consumo

generan una importante derrama económica y un gran número de empleos en varios sectores y actividades de la cadena del Sistema Producto Trigo (Peña *et al.*, 2008).

En el estado de Coahuila, representa una de las actividades que brindan mayores ingresos económicos a las familias de campesinos de las diferentes zonas trigueras de la entidad y sin embargo, se puede afirmar que el desarrollo tecnológico alcanzado en las diferentes zonas del estado es heterogéneo, ya que en lo que respecta a la Comarca Lagunera, la región de Zaragoza y Norte del estado se observa una alta tecnología mientras en la región Central y Sur esto no se ha logrado (Camarena, 2002).

Las variedades actuales se han generado para condiciones como el valle del yaqui en Sonora y el bajío mexicano, por lo cual, se requiere contar con variedades generadas para las condiciones propias del estado de Coahuila.

En los últimos años, el Programa de Cereales de Grano Pequeño del Departamento de Fitomejoramiento, ha generado líneas de trigo duro con potencial para propósitos de producción que puede contribuir en la insuficiencia de la cadena de producto trigo en el estado, por lo que se planteó el siguiente objetivo e hipótesis:

Objetivo general

- Evaluar 26 líneas de trigo duro y comparar su producción y componentes de rendimiento contra 4 testigos comerciales.

Hipótesis

- Al menos una de las 26 líneas superen en producción a los testigos comerciales y las variables determinadas mediante la tecnología de infrarrojos se relacionan con las de producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Trigo

El origen del trigo se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y que están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo se difundió en todas las direcciones (Flores, 2015).

El trigo es uno de los cereales que más aparece en la literatura occidental, incluso en la biblia es citado hasta 40 veces y en la parábola del sembrador hace alusión a la bondad. Su origen se remonta a la antigua Mesopotamia; las evidencias más antiguas provienen de Siria, Iraq, Turquía y Jordania. Existen hallazgos de restos de grano de trigo que datan del año 6700 a. C. Fue introducido en México por los españoles en el año 1520 y luego llevado a sus demás colonias (Gómez-Pallerés *et al.* 2007 citados por Juárez, 2014).

Por lo expuesto, observamos que el Trigo sigue avanzando en el camino que lo consolida como un alimento esencial para el mundo, cada vez con más impacto en los humanos en su consumo, a través de productos especializados y en la formulación de alimentos de consumo animal.

El trigo duro es la especie más cultivada de trigo tetraploide, se estima que el área mundial cultivada de trigo duro comprende aproximadamente 13 millones de ha, es decir, alrededor del 24% de la superficie total de trigo a nivel global, con una producción de 26 millones de ton/año. Una proporción importante del mercado mundial de trigo común o harinero es consumida por los animales, mientras que en el caso del trigo duro la alimentación humana constituye su única utilización, siendo la producción de pasta su principal uso (Gutiérrez *et al.*, 2015).

En México las variedades de trigo se clasifican por su calidad en cinco grupos, con base en la especie botánica. A la que pertenecen y a las características de dureza o textura de su grano y calidad de proteína o tipo de gluten. Estas características son las que determinan principalmente su uso potencial en la industria alimentaria (Cuadro 2.1). El trigo que más se cultiva en México es harinero-suave o blando (*T. aestivum* L.) del grupo 3; le sigue el trigo cristalino o duro (*T. durum* L.) del grupo 5; y en menor proporción se siembra harinero-duro (*T. aestivum* L.) de los grupos 1 y 2.

Cuadro 2.1. Clasificación del trigo en México según su calidad y usos potenciales.

Trigo	Textura de grano/endospermo	Tipo de gluten	Usos
Grupo 1	Duro a semi-duro	Fuerte (muy elástico) y extensible.	Panificación mecanizada, como harina para pan de caja. Como corrector de trigos de fuerza inferior.
Grupo 2	Duro a semi-duro	Medio fuerte (elástico) y extensible.	Panificación manual y semi-mecanizada. Como corrector de trigos con gluten muy fuerte.
Grupo 3	Suave (blando)	Débil (ligeramente elástico) y extensible.	Elaboración de galletas, tortillas, buñuelos y otros, y en panificación artesanal. Como corrector de trigos con gluten muy fuerte.
Grupo 4	Duro a semi-duro	Medio y tenaz (no extensible)	No es panificable por su alta tenacidad. En repostería se mezcla con trigo de gluten fuerte para hacer pasteles y algunas galletas.
Grupo 5	Muy duro y cristalino Endospermo con alto contenido de pigmento amarillo (carotenos)	Fuerte y tenaz (no extensible)	No panificable. En la industria de pastas alimenticias (espagueti, macarrones, sopas secas, etc.).

En México, el trigo harinero (*T. aestivum* L.) se utiliza en la elaboración de panes, tortillas, galletas y repostería, y el trigo cristalino (*T. durum* L.) en pastas alimenticias como espagueti, sopas secas y otros productos. La primera transformación del trigo ocurre en el molino, donde se convierte en harina --a partir de *T. aestivum*-- o sémola --harina gruesa de *T. durum*-- (Peña *et al.*, 2008).

Estadísticas

La producción mundial de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el año 2010 fue de 651.9 millones de toneladas y los principales productores fueron China, India, Estados Unidos, la Federación Rusa y Francia. México produjo 3.6 millones de toneladas, de las cuales exportó 1.1 millones de toneladas de trigo cristalino, pero importó 3.5 millones de toneladas de trigo harinero (Fuentes-Dávila *et al.*, 2014).

De acuerdo a cifras del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la producción mundial de trigo para el año agrícola 2015/2016 fue de 735 millones de toneladas, 7 millones más que el año previo, lo que representó un crecimiento del 1%. Para el año agrícola 2016/2017 se estima que la producción mundial de trigo alcance las 743 millones de toneladas, 1.2% más que el año previo, como resultado del incremento en la producción de Rusia (11 MT), Estados Unidos (7 MT), La India, Argentina y Australia (3 MT respectivamente).

En México el trigo ocupa el segundo lugar en importancia después del maíz, con una producción anual de 3.4 millones de toneladas, mientras que las necesidades de consumo es de 6.3 millones. La industria molinera mexicana produce 3.5 millones de toneladas de harina incluyendo sémola, de donde el 43 % proviene de la producción nacional y el 57 % del extranjero. El trigo que procesa la industria nacional el 65.3% corresponde al tipo panificable, un 26.3% en la elaboración de galletas y solo un 8.4% es el utilizado para pastas (INIFAP, 2011).

Se cultiva trigo en más de 20 estados de la República Mexicana. Sin embargo, el 80% de la producción se concentra en la zona norte (principalmente en el noroeste) y en Guanajuato, en el ciclo otoño-invierno (O-I) bajo condiciones de riego. El resto se produce, en su mayoría, en regiones del centro y el altiplano central, en el ciclo primavera-verano (P-V) en condiciones de temporal. Los incrementos en la producción en las zonas de El Bajío, el altiplano y el norte del país contribuyeron significativamente al incremento de aproximadamente 1 millón de toneladas entre 2004 y 2006 (Peña *et al.*, 2008).

Para el año agrícola 2014/2015, la producción nacional de trigo alcanzó los 3 millones 710 mil toneladas, lo que representó un ligero incremento del 0.6%. A pesar de que en ese mismo periodo se cosecharon 119 mil hectáreas más que en el año anterior (+17%), se tuvo una caída en el rendimiento del cultivo, pues pasó de 5.2 a 4.5 toneladas por hectárea, lo que limitó la posibilidad de presentarse una mayor producción.

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), del volumen total de producción, un millón 792 mil toneladas correspondieron a trigos panificables (fuertes y suaves) y un millón 958 mil toneladas a trigo cristalino o duro, este último se utiliza para la elaboración de pastas para sopa.

Debido a que la producción de trigos panificables continua siendo insuficiente para abastecer la demanda de la industria molinera nacional, para este mismo periodo se importaron 4 millones 356 mil toneladas, 3% menos que el año agrícola previo. Durante el ciclo 2015/2016 la importación aumentó 4 millones 461 mil toneladas, equivalente al 2.4%. En cuanto al trigo cristalino o duro, el mercado nacional requiere alrededor de 720 mil toneladas para consumo humano, por lo que el excedente de producción se destina, a la exportación como un mercado de oportunidad y al sector pecuario como un mercado consumidor de excedentes.

En ese mismo contexto, en el ciclo 2014/2015 se exportaron 1 millón 119 mil toneladas y para el ciclo 2015/2016 fueron 1 millón 214 mil toneladas.

El trigo duro o cristalino como se le conoce en México, se utiliza fundamentalmente para la elaboración de pastas para sopa. El cual se cotiza generalmente por encima de los trigos fuertes y suaves, especialmente por su alto nivel de proteína y porque su producción global no es tan amplia como en los trigos fuertes y suaves, dado que las condiciones geográficas y climáticas idóneas solamente se presentan en ciertas regiones del mundo.

De este tipo de trigo, en México se producen anualmente alrededor de 2 millones de toneladas, sin embargo solamente se requieren cerca de 720 mil toneladas para el consumo humano nacional, por lo que los excedentes deben ser destinados a un mercado de oportunidad de exportación y en su defecto o como complemento al sector pecuario nacional. La ausencia de un mercado constante para la exportación y la competencia en precios con otro sector de consumo como es el pecuario genera una condición que le permite ser altamente competitivo en el mercado internacional.

A pesar de que en México existe una gran producción de trigo duro de alrededor de las 2 millones de toneladas anuales, se utilizan solamente alrededor de 720 mil toneladas de trigo para la producción de 540 mil toneladas de pasta. Considerando lo anterior y sumando las importaciones podemos estimar que el consumo de pasta en nuestro país, considerando pasta para sopa y pasta corta, es de 4 kilogramos per cápita al año, el cual resulta bajo respecto de países que superan los 10 kilogramos anuales, como es el caso de Italia, Venezuela, Túnez, Grecia y Marruecos.

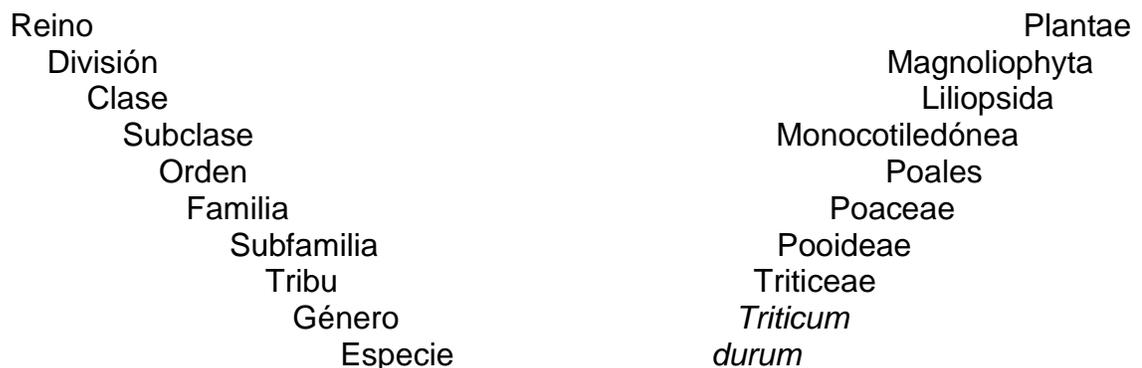
Para el año agrícola 2015 (ciclos OI 14/15 y PV 15) se tuvo una producción de 3 millones 711 mil toneladas, de las cuales el 92% se concentró en tan sólo 7 entidades federativas: Sonora (43%), Baja California (14%), Guanajuato (10%), Sinaloa (9%), Chihuahua (6%), Jalisco (5%) y Michoacán (5%).

El desequilibrio en la balanza entre producción nacional y consumo de trigo cristalino y panificable evidencian la necesaria participación gubernamental, al menos como árbitro, para garantizar la comercialización nacional de trigo.

Todas las cifras anteriores están dadas por CANIMOLT Reporte Estadístico 2015 con datos del 2016.

Taxonomía y Morfología

De acuerdo a lo citado por Remache (2012) y Flores (2015) el trigo duro se clasifica de la siguiente manera:



Las características morfológicas del trigo son las que a continuación se describen;

Raíz

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

raíces comienza en el periodo de ahijado, estando todas ellas poco ramificadas, el desarrollo de las raíces se considera completo al final del encañado (Huallpa, 2016).

Cuando una semilla de trigo germina, produce las raíces temporales. Las raíces permanentes nacen después de que emerja la planta en el suelo, éstas nacen con los nudos que sostienen a la planta en la absorción del agua y nutrientes del suelo hasta que madura. El desarrollo de las raíces se considera completo al final del "encañado" (Ramírez, 2004).

Tallo

Es de tipo colmo o culmo, es hueco (caña), con 6 nudos. Su altura y solidez determinan la resistencia al encamado. El tallo del trigo es una caña hueca con 6 nudos que se alargan a la parte superior y es poco ramificado. Al comienzo de la fase vegetativa, el tallo se halla dentro de una masa celular que constituye el nudo de ahijamiento. El tallo es el que presenta brotes axilares, de los que se originan los tallos hijos llamados "macollos" (Huallpa, 2016).

Existen trigos enanos que tienen altura de 25 a 30 cm y trigos altos de 120 a 150 cm. Hay también trigos semi-enanos de 50 a 70 cm son los más convenientes para su rendimiento (Urdiano, 2002).

Hojas

Las hojas del trigo tienen una forma linear, lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y aurículas bien definidas (Huallpa, 2016). Las hojas son cintiformes, paralelinervias y terminadas en punta (Ramírez, 2004).

Son alternas, rectinervas y envainadoras por su porción inferior o vaina que recubre la parte del tallo que se encuentra a su altura. En cada nudo nace una hoja, esta se compone de vaina y limbo o lámina, entre estas dos partes existe una parte que recibe el nombre de cuello de cuyas partes laterales salen unas

prolongaciones que se le llaman aurículas y entre la separación del limbo y el tallo existe una parte membranosa que recibe el nombre de lígula. La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm de largo y de 0.5 a 1cm de ancho (Urdiano, 2002).

Inflorescencia

Consta de una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales abortan, rodeadas por glumas, glumillas o glumelas, lodículos o glomelulas (Huallpa, 2016; Ramírez, 2004).

Flor

Son poco vistosas, no presentan pétalos ni sépalos, cada flor femenina consta de un ovario del que salen dos estilos terminados en dos estigmas plumosos. Las flores masculinas presentan tres estambres. La fecundación y maduración del ovulo produce el grano de trigo, un fruto de tipo cariósipide (Huallpa, 2016). Está protegida por dos brácteas verdes o glumillas, de la cual la exterior se prolonga en una arista en los trigos barbados (Ramírez, 2004).

Fruto

Es una cariósipide, que presenta forma ovalada con sus extremos redondeados. El germen sobresale en uno de ellos y el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado endospermo, es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82 % del peso de grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas de albumina. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la proteína que se llama gluten. El gluten con presencia de CO₂ facilita la elaboración de levaduras de alta calidad, que son necesarias en la panificación (Huallpa, 2016).

El grano alcanza un tamaño normal de 30 a 45 días después de la polinización, en la parte ventral; en un extremo lleva el germen y en el otro tiene una pubescencia que generalmente le llaman brocha (Urdiano, 2002).

Origen Geográfico y Citogenético

Como se mencionó en la introducción, el trigo (*Triticum aestivum*), tiene sus orígenes en la antigua Mesopotamia. En México el trigo fue introducido por los españoles durante la época de conquista (Salas, 2016).

El origen citogenético del trigo constituye un claro exponente de cómo ha evolucionado desde sus primeras formas del tipo *T. monococcum* y *T. dicoccum* que eran recogidas por el hombre hace más de 10,000 años. Estos trigos tenían espigas muy frágiles que al madurar no se sostenían, sino que caían al suelo y sus granos, que estaban vestidos, se dispersaban. Siglos más tarde se descubrió un tipo de espiga en la que al madurar se desprendía el grano de sus cubiertas, probablemente fue el origen de los trigos desnudos que el hombre empezó a cultivar y que se difundió desde Oriente en todas direcciones (Vadillo, 1989).

Las especies del género *Triticum* y sus parientes más cercanos se dividen según sus juegos cromosómicos en Diploides ($2n = 14$), Tetraploides ($4n = 28$) y Hexaploides ($6n = 42$), respectivamente (Vadillo, 1989).

La característica genética que unifica a todos los miembros del género *Triticum* es que estos tienen 14 cromosomas (siete pares) o un múltiplo de 14 cromosomas: Por ejemplo, el trigo Einkorn, *T. monococcum* tiene 14 cromosomas y se le conoce como Diploide (porque tiene dos series de siete cromosomas); el trigo duro tiene 28 cromosomas y, por tanto, es Tetraploide (cuatro series de siete cromosomas); y el trigo harinero tiene 42 cromosomas y es Hexaploide (seis series de siete cromosomas) (CIMMYT, 1975).

Los trigos duros evolucionaron más recientemente que el trigo Einkorn y los trigos harineros son todavía más recientes que los duros. Ambos son el resultado de accidentes evolucionarios ocurridos hace millares de años. Los trigos Tetraploides, entre los que figura el trigo duro, tuvieron su origen cuando el trigo Einkorn, un diploide, se cruza con una gramínea diploide, *Aegilops speltoides*. El viento acarreo el polen de uno al estigma del otro, donde --pese a las formidables barreras al cruzamiento entre géneros-- hubo fertilización y se formó una semilla que produjo una planta que a la vez tuvo semillas fértiles (CIMMYT, 1975).

Las especies pertenecientes al grupo de los Tetraploides se originaron aparentemente por “aloploidía”, es decir, por combinaciones entre dos especies Diploides con posterior duplicación cromosómica.

Las especies Hexaploides se originaron a partir de la adición de un tercer genomio a una especie Tetraploide al cruzarse con la especie Diploide, *Aegilops squarrosa*, y posterior duplicación cromosómica.

Diploides ($2n = 14$)

T. monococcum (AA): Espelta Menor o Escaña, primera forma de trigo originaria al parecer de Turquía. Es una especie cultivada.

T. speltoides (BB): Especie silvestre.

T. squarrosa (DD): Especie silvestre.

Tetraploides ($4n = 28$)

T. dicoccum (AABB): Escaña doble, especie cultivada cuyo origen se establece en Asia y su principal área es Oriente Medio y Rusia.

T. turgidum (AABB): Trigo de tallo sólido redondillo cuyo origen parece ser de Oriente Próximo y su área de desarrollo es la cuenca del Mediterráneo y Abisinia.

T. durum (AABB): Trigo duro cristalino de color ámbar y rojo utilizado para la fabricación de pastas alimenticias. Su origen se establece en Abisinia y Oriente Próximo y su área de desarrollo en los países mediterráneos del medio-este, sudeste de Europa, Sudáfrica, Norteamérica y Argentina.

T. polonicum (AABB): Trigo de Polonia; su área de desarrollo está en el norte de África.

T. timopheevi (AAGG): Trigo silvestre que en sus cruces con trigos normales produce androesterilidad citoplásmica.

Hexaploides ($6n = 42$)

T. spelta (AABBDD): Espelta Mayor o escanda. Su origen se establece en Oriente Medio e incluso en Europa, y su área de desarrollo se encuentra en Alemania y Turquía.

T. compactum (AABBDD): Trigos compactos, buenos y harinosos; tiene su origen en el Suroeste de Asia y su área de desarrollo está en USA.

T. aestivum (AABBDD): Trigo Harino-panadero destinado prácticamente en su totalidad al consumo humano. Ha sido y sigue siendo objeto de innumerables especulaciones por infinidad de científicos del mundo entero para mejorar tanto sus rendimientos, en zonas áridas o fértiles, como su calidad panadera. Su origen se cree que es Oriente Medio y sus áreas de máximo desarrollo son Europa, Asia, África y América (Vadillo, 1989).

Requerimientos Climáticos y Edáficos

El trigo al igual que otros cultivos requiere de ciertas características para su óptimo desarrollo las cuales se describen a continuación.

Clima

Robles (1990), indica que el trigo se produce en regiones templadas y frías, pero esto no quiere decir que no se pueda cultivar en otras regiones, esto debido a la obtención de nuevas variedades que se adaptan a otras regiones o países. La Biblioteca Agropecuaria (1979) citada por (Huallpa, 2016), menciona que el trigo necesita días largos (más de 12 horas luz), es resistente a heladas y sequías, por ser planta de floración simultánea, tiene un periodo crítico, que es el que procede y sigue al espigamiento, donde debe disponer de suficiente cantidad de agua para obtener buen rendimiento.

En la actualidad todas las instituciones dedicadas a la selección y formación de nuevas variedades tienden a obtener trigos con alta capacidad de rendimiento y un amplio rango de adaptación a condiciones ecológicas cubriendo una gran extensión geográfica.

Temperatura

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo esta entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días. La integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1.850 °C y 2.375 °C. La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera ni durante la maduración (Salas, 2016; Valenzuela, 2011).

Por otra parte en algunos lugares el trigo germina a 0°C, la temperatura más adecuada para el cultivo de trigo va de los 10 a los 20 °C pudiendo notarse que las

temperaturas de 16 a 19°C son las mejores. En cuanto a las unidades de calor, el trigo necesita 2200 unidades distribuidas de la siguiente manera: siembra a la floración: 1000 unidades. Floración a la madurez: 1200 unidades (Remache, 2012).

La temperatura base para el cultivo del trigo es de 0 a 5 °C y el promedio óptimo está entre 20 a 25 °C, es una planta de día largo con respuesta cuantitativa al fotoperiodo y la mayor parte de las variedades de invierno requieren un periodo de vernalización (Huallpa, 2016).

Precipitación

Por lo regular las plantas de trigo requieren de 600 a 700 mm. Desde la siembra hasta la cosecha (López, 1999, citado por Remache, 2012). Se puede cultivar en zonas donde caen precipitaciones entre 25 y 2800 mm anuales de agua, aunque un 75% del trigo crece entre los 375 y 800 mm (Salas, 2016).

Huallpa (2016), menciona que en años secos el trigo puede desarrollarse bien con 300 a 400 mm de agua, siempre que la distribución de esa lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera. El trigo es moderadamente tolerante a la sequía, logrando buenos rendimientos con precipitaciones bien distribuidas, especialmente durante su desarrollo vegetativo

Suelo

De acuerdo a investigaciones se ha comprobado que los suelos francos arcillosos y francos arenosos son los más indicados para este cultivo. El trigo se puede cultivar en suelos de la más diversa naturaleza con un buen porcentaje de arcilla, además de cierta cantidad de cal, es decir que son buenos para el cultivo de trigo suelos francos de tipo suelto y bien drenado (Remache, 2012).

El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo de sistema radicular. Al ser poco permeables los suelos arcillosos conservan demasiada humedad durante

los inviernos lluviosos. El suelo arenoso requiere, en cambio, abundante lluvia durante la primavera, dada su escasa capacidad de retención. En general se recomienda que las tierras de secano dispongan de un buen drenaje (Salas, 2016).

Carrasco y Báez (2005), mencionó que el trigo es medianamente tolerante a suelos salinos, su rendimiento es afectado cuando la conductividad eléctrica es mayor a 6 mmhos/cm, considera el pH del suelo óptimo de 5,5 a 7 aunque puede tolerar más. Los mejores rendimientos son obtenidos en suelos arcillo – limosos o arcillosos bien provistos de calcio, con buen poder absorbente y no muy aireados.

pH

El trigo prospera mal en tierras ácidas; las prefiere neutras o algo alcalinas. También los microorganismos beneficiosos del suelo prefieren los suelos neutros o alcalinos (Salas, 2016).

Efectos de la Temperatura en la Producción

La producción de trigo en altas latitudes se beneficiará inicialmente del incremento de temperaturas, mientras que en bajas latitudes el rendimiento de trigo disminuirá por el incremento de las temperaturas. Las altas temperaturas durante el llenado de grano normalmente reducen el rendimiento y aumentan el contenido proteico del grano (Reynolds *et al.*, 2013).

Reynolds *et al.* (2013) cita que la rápida cobertura del suelo es una característica útil para evitar la evaporación inútil del agua del suelo, un desperdicio en condiciones de sequía antes de la antesis mientras que bajo condiciones cálidas y bajo riego, el rápido crecimiento inicial aumenta la intercepción de luz evitando así las pérdidas en la asimilación de los cultivos asociadas con una reducción de macollaje en altas temperaturas.

Por otra parte, una asociación positiva entre la fotosíntesis / productividad en ambientes cálidos bajo riego adecuado, podría estar relacionada al hecho de que la fotosíntesis es afectada en gran medida por las altas temperaturas (Law y Crafts-Brandner, 1999) y, por lo tanto, implica un límite teórico importante para la productividad en las condiciones ambientales antes mencionadas.

La temperatura afecta el desarrollo del trigo en dos aspectos notablemente distintos. En primer lugar, la tasa de desarrollo se acelera (y el tiempo transcurrido para una fase del desarrollo se acorta) debido al incremento de la temperatura, al menos en un amplio rango de condiciones térmicas (entre las temperaturas base y óptima de desarrollo). En segundo lugar, el trigo (así como muchos otros cultivos de clima templado) puede acelerar su desarrollo mediante la exposición a un periodo de temperaturas relativamente bajas. El proceso es conocido como vernalización, estas “bajas” temperaturas se conocen como temperaturas vernalizantes y se definen más por su efecto que por sus valores (Reynolds *et al.*, 2013).

La etapa reproductiva temprana, de iniciación floral a iniciación de la espiguilla terminal, es sensible a la temperatura y al fotoperiodo (Masle *et al.*, 1989). Fischer y Maurer (1976) postularon que las temperaturas altas incidentes poco antes de la anthesis reducen la duración del periodo de crecimiento de la espiga. En ambientes controlados se ha observado mayor tasa de desarrollo de la espiga de trigo y un menor número final de espiguillas por espiga a temperaturas altas (30 °C) que a bajas (10 °C) (Solís *et al.*, 2004).

Peña *et al.* (2008) señalo que debe tenerse en cuenta que la morfología del grano puede ser alterada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua, y en el llenado de grano por temperaturas altas (exceso de calor en riego) o bajas (heladas tempranas en temporal).

Solís y Díaz (2001), señalaron que la temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que temperaturas altas (hasta un cierto límite) lo aceleran y acortan el ciclo de las plantas. Van Keulen y Seligman (1987) citados por Solís y Díaz (2001) señalaron que, durante el periodo de llenado de grano, altas temperaturas aceleran la senescencia de la hoja, lo cual reduce la duración del período de llenado de grano.

Ramírez (2004), cita que entre los efectos ambientales adversos en el crecimiento y desarrollo de trigo existe un factor importante, la temperatura, ya que al incrementar la temperatura la planta tiende a fotosintetizar en mayor cantidad, lo mismo sucede con la respiración. Si la temperatura sube, la velocidad de desarrollo se incrementa más que la velocidad de crecimiento, dando como resultado, órganos más pequeños y con menos componentes (menos hojas, espiguillas, macollos, grano por espiga y granos chicos).

Requerimientos Nutricionales del Trigo Duro

La dosis para fertilizar el trigo es diferente en función del número de riegos aplicados y de la rotación de cultivos (Colín, 1998, citado por Cruz, 2008). En las diferentes regiones del estado de Coahuila, las dosis recomendadas son las siguientes:

En el norte y centro del estado en los DDR 001, 002 y 003 con tres riegos de auxilio se recomiendan 120 kg por hectárea de fósforo, debiendo aplicarse todo el fósforo y la mitad de nitrógeno al momento de la siembra, y la otra mitad del nitrógeno antes del primer riego de auxilio. Cuando se apliquen uno o dos riegos de auxilio, se sugiere emplear 65 kg de nitrógeno por hectárea de fósforo, debiendo aplicarse todo el nitrógeno y fósforo al momento de la siembra.

En el sur del estado de Coahuila en el DDR 004 cuando el trigo entra en rotación con la papa y este último cultivo se fertilizó con alta dosis de nitrógeno y fósforo, entonces se recomienda aplicar 120 kg por hectárea de fósforo. Es preferible incorporar la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno antes del primer riego de auxilio (Cruz, 2008).

Nitrógeno

La respuesta del trigo al nitrógeno es substancialmente menor a la que manifiesta el maíz. Esto puede atribuirse seguramente a la calidad superior del grano de trigo, ligado a una menor eficiencia fisiológica. Sin embargo, los ensayos realizados en la última década muestran una respuesta promedio de 6 a 7 kg de trigo por cada kg de nitrógeno aplicado, con máximos de 12 a 14.

Esto significa que si el trigo requiere de 30 a 35 kg de N para producir una tonelada de grano, la eficiencia de utilización del nitrógeno de la urea es en promedio de 18 al 25 %, llegando en el mejor de los casos al 50%, valores significativamente inferiores a los que presenta el maíz (Guerrero, 2017).

Las principales fuentes de nitrógeno para las plantas son la materia orgánica del suelo y el nitrógeno añadido con los fertilizantes. Las plantas toman preferentemente el nitrógeno en forma nítrica, pero, aunque en bastante menos proporción, pueden tomarlo en forma amoniacal (Flores, 2015).

El nitrógeno es el motor de crecimiento. Cuando la planta lo absorbe, lo acumula como nitrato en las hojas, este nitrato es el responsable de motorizar la síntesis del complejo hormonal del crecimiento. Así mismo, el nitrógeno es el componente principal de la mayoría de los aminoácidos que integran las proteínas (Salas, 2016).

El mayor rendimiento se logra cuando se aporta una mayor cantidad de nitrógeno al comienzo del macollaje y una mayor cantidad de nitrógeno durante el

crecimiento del tallo. El aporte de nitrógeno demasiado temprano produce un exceso de espigas de reducido tamaño y estériles. El abonado tardío por su parte reduce la fertilidad de las espigas. Se estima que para una cosecha de 1000 kg de grano la extracción de nitrógeno es de 24-31 kg (Cruz, 2008).

Fósforo

Si el contenido, de (P_2O_5), se encuentra entre 5 y 15, se puede rebajar de un 30 a un 40% del fósforo que se ha indicado como necesario. Si el contenido es normal se puede eliminar todo el fósforo (Guerrero, 2017).

El fósforo comienza a hacerse disponible a las plantas a partir de pH 6. La máxima disponibilidad se encuentra entre 6.5 y 7.5. A partir de un pH 8, la disponibilidad disminuye rápidamente. En otro aspecto, con pH superior a 8, se produce el fenómeno de "retrogradación", por el cual una parte del fósforo disponible, de ser soluble al agua y a los ácidos débiles, pasa a insoluble, y, por consiguiente, no disponible para la cosecha. En los suelos con pH inferior a 6 se hace necesario un encalado previo a la realización de fertilizante fosfatado (CIMMYT, 2007).

El fósforo es la fuente de energía que requiere la planta de trigo para que se produzcan todos los procesos metabólicos. Su deficiencia le imposibilita a la planta completar normalmente dichos procesos metabólicos. Los dos momentos críticos en los que su presencia es fundamental son: la germinación, para favorecer un rápido crecimiento radicular y en prefloración (Salas, 2016).

Es absorbido por la fracción coloidal del suelo y por ello debe ser aportado en cantidad suficiente al mismo. El fósforo favorece y anticipa la granazón y madurez de la semilla: una abundancia de fósforo puede anticipar, hasta una semana, la cosecha de trigo. Las cenizas del grano de trigo contienen el 50% de P_2O_5 (Cruz, 2008).

Potasio

El potasio tiene especial importancia en las funciones que aseguran el crecimiento de la planta. La resistencia de los cereales a las heladas, al encamado y a las enfermedades es mayor si disponen de una alimentación mineral rica en potasio (Salas, 2016).

El potasio interviene en la formación de almidón y en el desarrollo de la raíz. Reduce la transpiración, por lo que aumenta la resistencia a la sequía. Como contribuye a la formación de un buen sistema radicular, proporciona mayor resistencia al frío. La extracción de potasio es máxima durante el periodo del encañado (Cruz, 2008).

Calcio

El calcio está asociado a la síntesis de componentes de estructura de la planta en forma de pectato de calcio. La demanda de este nutriente es lineal a lo largo de todo el ciclo, puesto que la planta la utiliza durante la etapa de crecimiento radicular, durante la etapa de crecimiento vegetativo, durante la floración y finalmente durante la etapa de crecimiento del fruto (Salas, 2016).

Es indispensable para el desarrollo del trigo, pues influye en la formación y madurez de granos; aunque no influye tanto en la producción como el nitrógeno, fósforo y potasio. Se halla en mayor cantidad en las hojas y cañas que en el grano (Cruz, 2008).

Magnesio

El magnesio es integrante de la clorofila, potenciando de esta manera la síntesis de azúcares. También interviene en el proceso de traslado de azúcares a los granos en forma similar al potasio y además optimiza el aprovechamiento del fósforo dentro de la planta facilitando el desdoblamiento de ATP (Salas, 2016).

Azufre

Fundamentalmente para el aprovechamiento de nitrógeno. Una vez que el nitrógeno se acumuló como nitrato en las hojas, debe ser transformado en proteína. En ese proceso interviene una enzima llamada nitrato reductasa, en el que el azufre es uno de sus principales componentes (Salas, 2016).

Asociación entre el Rendimiento y Características Medidas Mediante Luz

Infrarrojo

La correlación existente entre la actividad foliar de las plantas y la refracción espectral de la vegetación en el rojo e infrarrojo cercano (obtenidos por imágenes multiespectrales y sensores activos como el Crop Circle o el GreenSeeker), se expresa en índices vegetacionales.

El más utilizado es el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, siglas en inglés) el cual se asocia al vigor vegetal y permite obtener un índice que diferencia las expresiones de vigor, área foliar y sanidad vegetal, entre otros factores que evidencian la variabilidad de vigor, donde se puede incluir cualquier factor que esté afectando y diferenciando el crecimiento vegetativo. Este modelo permite diferenciar las conductas espectrales entre la vegetación vigorosa, de bajo vigor, la vegetación muerta y el suelo desnudo (Fundación para la Innovación Agraria, 2010).

Como aporte para facilitar la implementación de estrategias de fertilización, se desarrolló un método basado en mediciones de sensores remotos para predecir el rendimiento del cultivo de trigo y así dar requerimientos de N en aplicaciones a mitad de ciclo. El mismo ha sido denominado “sensor based N rate calculator” o “calculadora de la dosis de N basada en sensores” (SBNRC) (Raun *et al.*, 2005).

Santillano-Cázares *et al.* (2013) citó que el algoritmo que permite generar recomendaciones de dosis de fertilizante desde el inicio de encañe contiene varios

componentes claramente identificados, tal como una ecuación específica por región para estimación del rendimiento, entre otros elementos (Raun *et al.*, 2005). De esta manera, la recomendación de fertilizante se estima por la diferencia entre la predicción del rendimiento en la franja rica y el área del sensor. Una vez aplicada la recomendación derivada del sensor y algoritmo al área del sensor, se espera que el área del sensor que produzca rendimientos similares a la franja rica (Ortiz-Monasterio y Raun, 2007).

Los índices vegetacionales se obtienen por medio de la división entre bandas espectrales; luego se procesan mediante un software de análisis espacial, se clasifican en distintos niveles de vigor y se elaboran mapas que representan el estado de desarrollo y de estrés de tipo nutricional, hídrico o por presencia de plagas o enfermedades; todas o una de estas variables pueden incidir en las diferentes zonas generadas. La eficiencia en el uso de los fertilizantes y plaguicidas podría mejorarse, y así, la sustentabilidad de la producción agrícola, a través del uso de sensores ópticos. El principio del funcionamiento de estos sensores consiste en la emisión de haces de luz en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético al follaje del trigo (Fundación para la Innovación Agraria, 2010).

El nitrógeno (N) que no es recuperado por el cultivo se pierde en el ambiente por lixiviación, volatilización, desnitrificación o escurrimiento, acentuando los problemas de contaminación. Una estrategia innovadora, es el uso de sensores ópticos (GreenSeeker®) en combinación con un algoritmo matemático y una franja rica en nitrógeno, lo cual está actualmente demostrando eficacia en el manejo sustentable de los fertilizantes a nivel mundial (Santillano-Cázares *et al.*, 2013).

Muriado *et al.* (2016) cita que la calculadora utiliza el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) que es obtenido a través del sensor remoto denominado GreenSeeker. Este sensor, emite haces de luz en las bandas roja (R) e infrarroja cercano (IRC) del espectro electromagnético¹ sobre el follaje del trigo y

luego captura los valores de reflectancia del cultivo. En diferentes estudios se ha demostrado que el nivel de reflectancia, en dichas bandas del espectro, varía según las propiedades de los tejidos foliares, es decir, por su estructura celular y las interfaces entre la pared celular exterior, el protoplasto y el cloroplasto donde se encuentra la clorofila (Kumar y Silva, 1973). Y a través del contenido y la actividad de la clorofila se determina la actividad fotosintética de la planta; y dicha actividad, está altamente relacionada con el rendimiento del cultivo. Un indicador creado a través de los valores de reflectancia de estas bandas es el NDVI ($NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$), el cual ha sido ampliamente estudiado y relacionado con las propiedades del cultivo las cuales están altamente relacionadas con el rendimiento (Kumar y Silva, 1973).

Relación entre el Rendimiento y el NDVI

El Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) mostró una importante variabilidad, producto de la variación del estado de crecimiento del cultivo en los distintos sectores de cada potrero. Con ello se desarrolló la base metodológica para los muestreos de suelo, planta, rendimiento y calidad (Fundación para la Innovación Agraria, 2010).

Reynolds *et al.* (2013), cita que una aplicación más práctica de estos índices es la predicción del rendimiento mediante medidas sucesivas tomadas durante la temporada de crecimiento. El NDVI ha sido usado para predecir rendimiento de grano de soya, trigo durum y trigo de invierno y en experimentos a través de múltiples lugares, el NDVI fue capaz de explicar el 50-65% de las variaciones del rendimiento del trigo.

El NDVI fue mayor en la etapa vegetativa y disminuyó en el llenado de grano; esto podría relacionarse con la reducción en la actividad fotosintética de las hojas y follaje y mayor actividad de translocación a las estructuras reproductivas. El NDVI

no se relacionó con factores limitantes del suelo porque los genotipos se sembraron en condiciones óptimas para el cultivo (Espinosa, 2014).

Tanto en macollaje como en espigazón, con un R^2 0,64 y 0,70 respectivamente, se obtuvo que el NDVI mínimo, presenta una alta correlación y un efecto significativo sobre los valores de rendimiento. Se pudo visualizar que la curva de estimación de rendimiento según el NDVI mínimo, difieren según el momento de obtención de los datos; para un mismo valor de NDVI las estimaciones de rendimiento no son las mismas (Muriado, 2016).

Las estimaciones realizadas por SBNRC (calculadora de la dosis de N basada en sensores) utilizando el NDVI mínimo son buenas, debido a que el intervalo de confianza para la pendiente incluye al 1. El SBNRC realiza una correcta estimación de los valores de rendimiento cuando se utiliza como insumo el NDVI mínimo. El SBNRC, con los valores mínimos de NDVI, es capaz de estimar las diferencias de rendimiento de la franja rica y las demás parcelas, que se obtuvieron en los rendimientos reales. A diferencia del NDVI promedio, con valores mínimos se evita la saturación que produce trabajar sobre superficies cubiertas densamente (altos valores de NDVI). (Muriado, 2016).

Martin *et al.* (2007), en maíz determinaron que en las etapas del crecimiento (V3 a V5), el rendimiento en grano y la biomasa no se correlacionaron con el NDVI (R^2 26%), en los estadios V6 y V7 el ajuste fue de un 29% y en las etapas comprendidas entre V8 y V12 el mismo subió hasta el 66%. Recientemente encontraron un ajuste entre el NDVI (lectura realizada en V8) y el rendimiento del maíz.

Los resultados obtenidos en maíz por Gómez (2015) mostraron que la relación entre rendimiento y NDVI en las diferentes etapas de desarrollo para el tratamiento de riego normal resultó ser positiva, en tanto para los tratamientos afectados por estrés se observó existencia de mayor correlación en el tratamiento de riego

intermedio mientras que el estrés extremo imposibilita que la correlación sea manifestada.

La relación del NDVI con los rendimientos y calidades ya ha sido probada en frutales, siendo una herramienta utilizada en los Estados Unidos, al igual que en Chile. En particular, una investigación desarrollada en Australia (Johnson *et. al.*, 1998; Lamb, 1999 y 2000, citados por Guzmán, 2013), han demostrado la utilidad de emplear imágenes aéreas multiespectrales relacionadas con índices de vegetación para proponer áreas de manejo (“bloques”) de cosecha.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio, superficie y localización geográfica

El presente trabajo experimental se llevó a cabo en el municipio de Zaragoza, situado en el kilómetro 23 de la Carretera Morelos-Acuña a 13 Km al norte de Zaragoza, Coahuila, en el Campo Experimental Norte propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el ciclo otoño -- invierno (2015 – 2016). Esta unidad experimental cuenta con aproximadamente 57 hectáreas de tierras agrícolas de riego y una fracción cubierta con vegetación forestal de huizache y mezquite. Se encuentra entre las coordenadas 28° 33" de latitud norte y de 100° 55" de longitud oeste; con una altitud de 350 msnm.

Clima y temperatura

El tipo de clima es Bsohx" (e), clasificación que se interpreta como clima seco, semicálido, extremo, con invierno fresco. La precipitación media anual total es de 374.0 mm. Lluvia todo el año pero no abundantemente. El mes más lluvioso es Septiembre y el menos lluvioso Marzo. Las granizadas son más probables en Abril y Mayo aunque la probabilidad es mínima. El rocío se acentúa en Verano, Otoño e Invierno aunque puede haber durante todo el año. Lluvias escasas todo el año, con precipitación invernal superior al 10%. La temperatura media anual es de 21.4 °C. Los meses más calientes son Junio, Julio y Agosto, aunque se presentan temperaturas de 40 °C desde Marzo hasta Septiembre. Las heladas son más severas y numerosas en Enero, aunque ocurren desde Noviembre hasta Marzo. Muy ocasionalmente pueden presentarse heladas tardías en Abril.

Suelo y vientos

El suelo es arcilloso con contenidos de 35 a 45% de arcilla, mediano en materia orgánica, pobre en nitrógeno, mediano en fósforo, medianamente pobre en potasio y contenido moderado de carbonatos con alcalinidad moderada (pH de 8.2) y no contiene sales. Los vientos predominantes provienen del Sureste con dirección

hacia el Noroeste, con una velocidad promedio registrada de entre 14.5 a 15.5 km/hora.

Diseño Experimental, tamaño de la parcela experimental, fecha, método y densidad de siembra

El diseño utilizado para evaluar los genotipos fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consto de 6 surcos de tres metros de largo con una separación de 30 cm entre surcos, la parcela útil se constituyó de los 4 surcos centrales para dar una superficie de 5.4 m² para la parcela experimental y 3.6 m² para la parcela útil. El método de siembra fue en seco sembrándose a chorrillo, utilizando una densidad de 120 kg/ha. La fecha de siembra fue la primera quincena del mes de diciembre de 2015.

Fertilización y riegos

Durante el ciclo se aportó una fertilización de 120-80-00 aplicándose la mitad de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio, se utilizaron como fuentes de nitrógeno la Urea (46-00-00) y de fósforo el fosfato mono-amónico (11 – 52--00). Durante el ciclo del cultivo se aplicaron 4 riegos incluyendo el de siembra, cada uno de ellos con una lámina aproximada de 10 cm.

Control de malezas, plagas y enfermedades

Se aplicó el herbicida 2-4-D amina a una dosis de 1.5 lts/ha para el control de malezas de hoja ancha y se complementó con deshierbes manuales. No se aplicó ningún producto para el control de plagas, ni enfermedades.

Cosecha

La cosecha se realizó a los 120 días después del riego de siembra, cortándose con rozadera y trillándose con una máquina estacionaria Pullman.

Material Genético

El material genético utilizado en el presente trabajo experimental de investigación, fueron 26 genotipos de trigo duro incluyendo cuatro variedades comerciales como testigo (Altar, Cirno, Jupare y el triticale Huerfanita). Todos los materiales fueron proporcionados por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Clave o nombre de los genotipos utilizados en el presente estudio. Zaragoza, Coah. (2015-2016)

Numero de variedad	Clave	Numero de variedad	Clave
1	AN-487-13	16	AN-466-13
2	AN-477-13	17	AN-471-13
3	AN-476-13	18	AN-470-13
4	AN-474-13	19	AN-475-13
5	AN-480-13	20	AN-465-13
6	AN-464-13	21	AN-478-13
7	AN-484-13	22	AN-482-13
8	AN-488-13	23	AN-467-13
9	AN-481-13	24	AN-473-13
10	AN-472-13	25	AN-463-13
11	AN-468-13	26	ALTAR
12	AN-469-13	27	CIRNO
13	AN-479-13	28	JUPARE
14	AN-486-13	29	AN-485-13
15	AN-483-13	30	HUERFANITA

Variables estudiadas

Longitud de Espiga (LE)

Se determinó tomando diez espigas al azar de cada parcela experimental, estas fueron medidas desde la base donde comienza la primera espiguilla hasta el ápice de la espiguilla terminal, sin considerar las aristas. Se tomó una media general de las diez espigas. La Longitud de Espiga fue expresada en cm.

Número de Espiguillas por Espiga (NEE)

Se recolectaron diez espigas al azar; se contabilizó el Número de Espiguillas por Espiga y se consideró la media general.

Número de Granos por Espiga (NGE)

Se tomaron diez espigas al azar, las cuales posteriormente fueron trilladas manualmente; se contaron los granos de cada una y se sacó su media general.

Número de Tallos por metro lineal (NT)

Se tomó al azar un surco representativo, al cual se le midió 1 m, y se contabilizó el Número de Tallos en esa medida de longitud.

Altura de Planta (AP)

Se utilizó una regla la cual se colocó desde el suelo hasta la parte terminal del ápice de la espiga. Esta característica fue expresada en cm.

Rendimiento de Grano en Toneladas (REND)

Una vez trillada la parcela útil, se registró su producción en gramos, y posteriormente se hizo la conversión a toneladas para estimar el rendimiento por hectárea.

Etapa Fenológica de Planta (EF)

Al momento de medir la Altura de Planta se determinó también la Etapa Fenológica en que se encontraba el cultivo de acuerdo con la escala propuesta por Zadoks *et al.* (1974).

Temperatura de Planta (TP)

A los 90 días después de la siembra se tomaron lecturas de temperatura con un termómetro infrarrojo de la marca FLUKE con precisión de \pm de 0.01 °C.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

Al momento de registrar la Temperatura de Planta se determinó también el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) utilizando para ello un medidor de la marca GreenSeeker el cual cuenta con su propia fuente de luz infrarroja.

Peso de Mil Semillas (PMS)

Se pesaron en balanza analítica tres muestras de 100 granos tomados al azar, se determinó la media de las muestras y se multiplicó por diez para extrapolar a mil granos, expresándose en gramos.

Análisis estadístico

La información recolectada de las variables antes mencionadas se realizó mediante un modelo de bloques completos al azar con tres repeticiones bajo el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observación del i - ésimo tratamiento en la j - ésima repetición.

μ = Media general.

t_i = Efecto de los tratamientos.

β_j = Efecto de los bloques (repeticiones)

E_{ij} = Efecto del error experimental.

$i = 1, 2, \dots, t$ (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

El análisis de varianza utilizado con sus fuentes de variación y suma de cuadrados se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Análisis de Varianza utilizado con sus Fuentes de Variación, Suma de Cuadrados, Cuadrados Medios y F Calculada.

FUENTES DE VARIACIÓN	G.L	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALCULADA
Bloques	(r-1)	$\sum_{j=1}^r \frac{y_{.j}^2}{t} - \frac{y_{..}^2}{rt}$	CM3	$\frac{CM3}{CM1}$
Tratamientos	(t-1)	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{y_{..}^2}{rt}$	CM2	$\frac{CM2}{CM1}$
Error exp.	(t-1)(r-1)	SCT-(SCB+ SCTrat)	CM1	
Total	Tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{rt}$		

Comparación de medias

Para comparar las medias se utilizó la metodología de Scheffé la cual consiste en utilizar la siguiente formula:

$$Scheffé = \sqrt{(t - 1)F\alpha, t - 1, n \frac{CMe}{r}}$$

Dónde:

$F_{\alpha, t-1, n}$ = valor tabulado de f con t-1 y n grados de libertad del error con un nivel de significación α

t-1= No de tratamientos – 1

CMe= cuadrado medio del error.

r= No de observaciones en cada tratamiento.

Correlaciones

Posteriormente se hicieron las correlaciones entre las diferentes variables estudiadas para conocer su grado de asociación, con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

Donde;

r = Coeficiente de Correlación

$\sum XY$ = Suma de productos de las desviaciones de las variables X e Y.

$\sum X^2$ = Suma de los cuadrados de las desviaciones de la variable X.

$\sum Y^2$ = Suma de los cuadrados de las desviaciones de la variable Y.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados e interpretación de cada una de las variables estudiadas, tanto su análisis de varianza como para su prueba de medias obtenidas.

Longitud de Espiga (LE)

En el análisis de varianza que se realizó para Longitud de Espiga se determinó diferencias altamente significativas para esta característica, tanto entre genotipos como entre repeticiones, tal como se aprecia en el Cuadro 4.1., las diferencias entre repeticiones sugieren que el arreglo fue apropiado para detectar y bloquear dichas diferencias, mientras que en los genotipos sugiere que se cuenta con bastante variabilidad que puede ser seleccionada o usada para mejorar dicha característica, como varios autores lo han señalado. La media general para esta característica fue de 6.82 cm.

Chávez (1986) evaluó 30 genotipos de Trigos duros, reportando una alta significancia entre los genotipos en la característica de Longitud de Espiga. Entre repeticiones no encontró diferencias significativas.

Por su parte Urdiano (2002) en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) también encontró diferencias altamente significativas en la característica de Longitud de Espiga.

Camarena (2002) evaluó trigos criollos y harineros, en su estudio reportó diferencias altamente significativas para la variable de Longitud de Espiga, en el cual sugiere suficiente variabilidad que permite seleccionar el o los genotipos superiores para su explotación. Por otro lado mencionó que no existen diferencias significativas entre repeticiones.

Ramírez (2004), en trigo harinero para la característica de Longitud de Espiga mencionó alta significancia para repeticiones, al igual que para los tratamientos (genotipos), lo cual indica que los genotipos y las repeticiones difieren con un 99 por ciento de probabilidad.

Huallpa (2016) presentó diferencias altamente significativas para genotipos de trigo harinero para Longitud de Espiga, en cambio para repeticiones reportó que no hay diferencias significativas.

Cuadro 4.1.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Longitud de Espiga. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
Repetición	2	1.081	0.540	7.04 **
Genotipo	29	68.664	2.368	30.85 **
Error	58	4.452	0.077	
Total	89	74.196		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Longitud de Espiga (LE)

Se realizó la prueba de comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) la cual arrojó dos grupos de significancia. En el grupo A solo quedó como integrante el genotipo testigo (Huerfanita) con una media de 11.1533, mientras que en el grupo B se ubicó el resto de genotipos, dentro de los cuales numéricamente los genotipos 23 (AN-467-13), 11 (AN-468-13), 26 (ALTAR), 13 (AN-479-13) y 21(AN-478-13) mostraron una longitud de espiga igual o mayor a 7.0 cm superando a la media general antes mencionada. (Cuadro 4.2).

Chávez (1986), reportó que solo dos genotipos fueron significativamente diferentes del testigo, además estos dos genotipos corresponden a una variedad de triticales y a una de trigo harinero que normalmente presentan una espiga de mayor longitud que los trigos duros. Señaló que la media para todos los genotipos fue de 5.67 cm con un rango de 3.66 cm.

Cuadro 4.2.- Resultados de la comparación de medias para Longitud de Espiga. Zaragoza 2015-16.

GENOTIPO	MEDIA	GRUPO
30	11.1533	A
23	7.3967	B
11	7.3333	B
26	7.0700	B
13	7.0500	B
21	7.0000	B
28	6.9700	B
22	6.9267	B
29	6.8500	B
19	6.8367	B
27	6.7867	B
10	6.7833	B
12	6.7533	B
1	6.7433	B
7	6.7367	B
6	6.7200	B
9	6.6767	B
18	6.6200	B
15	6.5833	B
3	6.5667	B
8	6.5600	B
24	6.5533	B
5	6.4833	B
17	6.3467	B
16	6.3133	B
20	6.3033	B
25	6.2067	B
2	6.1500	B
4	6.0233	B
14	6.0067	B

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Urdiano (2002) evaluó trigos harineros, en el cual reportó longitudes de espigas superiores a la de los trigos evaluados en este trabajo, obtuvo 14 grupos de significancia estadística, los genotipos que presentaron longitudes mayores fueron AN-161-98, AN-36-92 y AN-367-93 con 10.53, 10.51, y 10.41 cm respectivamente,

que superaron la media general de 9.35 cm. Pero sin embargo no logró superar el testigo de triticale de este trabajo (Huerfanita).

Camarena (2002) encontró 10 grupos de significancia en su evaluación aplicando la DMS al 0.01 de probabilidad para la variable de Longitud de Espiga, en la cual destacó en el primer grupo de significancia genotipos con longitud de espiga de 12.97 (AN-288-99), 12.08 (AN-289-99) y 11.92 cm (AN-352-92), superando los resultados de esta investigación.

Ramírez (2004) en trigos harineros en la comparación de medias, al 1 por ciento de significancia reportó que AN-1524-95, AN-152-98, AN-42-99, AN-1217-95, AN-161-98, AN-240-93y AN-196-98, con medias de 8.81, 8.26, 7.86, 7.83, 7.69, 7.67 y 7.58 cm tuvieron los mayores resultados en cuanto a Longitud de Espiga superando a todos los genotipos de este experimento pero no al testigo de triticale (Huerfanita).

Remache (2012) en trigos duros obtuvo resultados similares a esta investigación, el cual reportó el promedio más alto en su tratamiento 1 con una longitud de espiga de 6.67 utilizando la prueba de Tukey al 5% y todos los otros promedios más bajos estadísticamente.

Flores (2015) registró en trigos duros un promedio general de 6.55 cm para la variable de Longitud de Espiga, al igual mencionó que utilizando la prueba de Tukey al 5%, en la cual el promedio más alto se evaluó en el T1 con 8.7 cm y el más bajo en el T5 con 5.7 cm, con lo cual entran algunos genotipos dentro del rango de los resultados del presente experimento.

Guerrero (2017), en una evaluación agronómica realizada de cuatro líneas promisorias de trigo duro (*Triticum turgidum* L.) a la fertilización nitrogenada reportó para la variable Longitud de Espiga un promedio de 6.47 cm de longitud en la línea A2 y 5.61 cm en la línea A1; con una diferencia de 0.86 cm.

Número de Espiguillas por Espiga (NEE)

El análisis de varianza para Número de Espiguillas por Espiga detectó que en las repeticiones no existieron diferencias significativas, en cambio entre los genotipos hubo diferencias altamente significativas para esta característica (Cuadro 4.3.), esta alta significancia entre los genotipos sugiere la existencia de variabilidad que pudiese utilizarse para seleccionar o mejorar dicha característica.

Urdiano (2002), reportó diferencias altamente significativas tanto para tratamientos como para repeticiones para Número de Espiguillas por Espiga en trigos harineros.

Camarena (2002) indicó diferencias altamente significativas entre los genotipos, lo cual mostró la existencia de bastante variabilidad para seleccionar dentro de genotipos de trigos harineros como en este caso para trigos duros del presente trabajo experimental. Mientras que para repeticiones señaló que no existen diferencias significativas en esta variable.

Ramírez (2004) evaluó trigos harineros y encontró para repeticiones alta significancia, así mismo mencionó que para los genotipos estudiados se obtuvo significancia estadística.

Huallpa (2016) en su investigación al igual que en el presente experimento encontró que no hubo diferencias significativas para repeticiones para Número de Espiguillas por Espiga, en cambio para genotipos difiere a nuestros resultados, ya que el reporta que no existió significancia dentro de ellos.

Cuadro 4.3.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Espiguillas por Espiga. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	4.375	2.187	1.11 NS
GENO	29	323.729	11.163	5.67 **
ERROR	58	114.098	1.967	
TOTAL	89	442.202		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Número de Espiguillas por Espiga (NEE)

En la comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) se encontraron dos grupos de significancia, en el cual, el grupo A quedó integrado por 22 genotipos en el que se ubicó el testigo (Huerfanita, genotipo 30) con una media de 26.467, mientras que el grupo B quedó con 29 genotipos con una media que osciló desde los 15.633 hasta los 21.633, obteniéndose un rango de 6 espiguillas por espiga en este grupo, sugiriendo la existencia de distintos tipos de espiga que permiten acomodar de manera eficiente las espiguillas (Cuadro 4.4.). La media general que presentó esta característica fue de 19.44 espiguillas/espiga.

Urdiano (2002) encontró 12 grupos de significancia estadística; los genotipos con mayor valor en esta variable fueron AN-115-98 y GALVEZ con 20.46 y 20.30 espiguillas respectivamente, superaron la media general de 18.79, mayor a la del presente trabajo que fue de 19.44. Los genotipos con menor número fueron AN-171-98, AN-67-98 y AN-277-93 con medias de 17.40, 16.73 y 16.23 espiguillas, respectivamente. Como se puede apreciar tuvo resultados similares a los genotipos con menor número de espiguillas por espiga de este experimento.

Remache (2012) reportó resultados más bajos respecto a los que presentamos en el cuadro 4.4, identificó numéricamente el mejor promedio en el T18 con 13 espiguillas por espiga.

Camarena (2002) aplicó la prueba de medias DMS al 0.01 de probabilidad en la cual reportó 8 grupos de significancia estadística, donde en el primer grupo destacaron dos genotipos los cuales fueron un triticales (ERONGA 83) y una variedad (AN-289-99); los cuales presentaron valores de medias de 26.43 y 23.15 espiguillas por espiga, lo cual nos indica que el presente trabajo tuvo valores cercanos a los obtenidos por este autor.

Cuadro 4.4.- Resultados de la comparación de medias para Número de Espiguillas por Espiga. Zaragoza 2015-16.

GENOTIPO	MEDIA	GRUPO	
30	26.467	A	
6	21.633	A	B
23	21.533	A	B
10	20.967	A	B
11	20.633	A	B
9	20.533	A	B
1	20.433	A	B
26	20.333	A	B
24	20.300	A	B
28	20.233	A	B
2	20.233	A	B
7	19.567	A	B
16	19.467	A	B
8	19.367	A	B
5	19.367	A	B
19	19.367	A	B
13	19.133	A	B
27	18.933	A	B
25	18.867	A	B
21	18.867	A	B
3	18.833	A	B
12	18.800	A	B
22	18.467		B
18	18.133		B
15	18.100		B
20	18.033		B
29	17.600		B
4	16.833		B
14	16.667		B
17	15.633		B

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Ramírez (2004) efectuó la prueba de medias (DMS) al 0.05 de significancia y obtuvo resultados inferiores a los genotipos estudiados en el presente trabajo experimental, encontró que cinco genotipos fueron superiores a los testigos comerciales, los cuales son: AN-125-98, AN-1217-95, AN-255-98, AN-152-98 y AN-183-97, con medias de 16.55, 16.55, 16.30, 16.25 y 16.25 espiguillas por

espiga, respectivamente. Estos genotipos solo lograron superar al genotipo 17 (AN-471-13) que presento una media de 15.633 Espiguillas/Espiga.

Flores (2015) en su investigación con la prueba de Tukey al 5% encontró resultados más bajos para Número de Espiguillas por Espiga, en el cual el promedio general fue de 14 espiguillas/espiga, identificó como promedio más alto al T6 con 16 espiguillas/espiga, por lo que se puede observar que solo superó al último genotipo (AN-471-13) de esta investigación.

Guerrero (2017), reportó un promedio máximo de 17.22 (17 espiguillas) en la línea A2 y el menor en A4 con 13.89 (14 espiguillas). Obteniendo en este experimento resultados más favorables respecto a los de éste.

Número de Granos por Espiga (NGE)

El análisis de varianza mostró que tanto en repeticiones, como en genotipos hubo diferencias altamente significativas para esta característica (Cuadro 4.5.), tales diferencias entre repeticiones indican que el diseño fue apropiado para detectar y bloquear el gradiente en el terreno, mientras que entre los genotipos sugiere que se tiene gran variabilidad que puede ser seleccionada o usada para mejorar dicha característica. La media general para esta característica fue de 63.06 granos por espiga.

Chávez (1986), en su estudio señaló que, al igual que en esta investigación hubo diferencias altamente significativas tanto para repeticiones como para genotipos, existiendo gran variabilidad dentro de los trigos duros para hacer selección o mejoramiento para esta característica en particular.

Urdiano (2002), reportó también la presencia de diferencias altamente significativas tanto para tratamientos como para repeticiones en la característica de Número de Granos por Espiga.

Camarena (2002) mostró resultados para la variable Número de Granos por Espiga con diferencias altamente significativas entre los genotipos evaluados,

mientras que para repeticiones no encontró diferencias significativas para esta característica.

Ramírez (2004) para Número de Granos por Espiga en su evaluación de trigos harineros indicó diferencias altamente significativas tanto para tratamientos como para bloques con un 99 por ciento de confiabilidad.

Huallpa (2016) presentó que solo existen diferencias altamente significativas en la variable Número de Granos por Espiga, además mostró que no existen diferencias significativas entre bloques, respaldando que el diseño ha sido bien aplicado.

Cuadro 4.5.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Granos por Espiga. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	230.867	115.433	7.78 **
GENO	29	4229.081	145.830	9.83 **
ERROR	58	860.706	14.839	
TOTAL	89	5320.654		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Número de Granos por Espiga (NGE)

La comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) para Número de Granos por Espiga arrojó cuatro grupos de significancia, la cual establece que existen grupos de genotipos con medias similares. En el primer grupo (A) se encontró el testigo (Huerfanita) junto con otros 20 genotipos, resaltando el genotipo 29 (AN-485-13), la variedad ALTAR (genotipo 26), y el genotipo 11 (AN-468-13) con solo 5 a 10 granos por espiga, sugiriendo una espiga compacta y de buen tamaño para acomodar los granos, mientras que en el último o cuarto grupo (D) en el cual quedaron ubicados 27 genotipos mostrando un rango desde 50.100 hasta 71.167 granos por espiga, que posiblemente pudiese permitir la clasificación en varios grupos más pero que por lo estricto de la prueba no se pudieron evidenciar (Cuadro 4.6).

Chávez (1986) mencionó seis genotipos que lograron superar significativamente al testigo desde un 16.7 hasta un 49.9 por ciento. Tomando en cuenta los 30 genotipos, el rango de esta característica fue de 38.6 granos por espiga con una media general de 36, lo cual indico que es una media general baja en comparación a 63.06 que fue la media general del presente trabajo. Esto lo confirma la existencia de gran variabilidad para este carácter encontrado en los genotipos probados.

Urdiano (2002) encontró 9 grupos de significancia estadística, los genotipos con mayor número de granos fueron AN-274-97 y AN-474-94 con medias de 52.30 y 52.23 granos. Los genotipos que mostraron menor número de granos fueron AN-158-98 y AN-1174-95 con 35.26 y 34.73 granos, en tanto que el promedio general fue de 42.0. Como se muestra son resultados inferiores al igual que la media general a los presentes en el trabajo experimental.

Camarena (2002) utilizando la prueba de medias DMS al 0.01 de probabilidad reportó 8 grupos de significancia para Número de Granos por Espiga, en el cual mencionó que en el primer grupo de significancia incluyó el testigo ERONGA 83, en primer lugar, seguido de una variedad mejorada AN-291-99, con medias de 51.25 y 51.08, respectivamente. Esto indica que se obtuvieron resultados mucho mayores y favorables en este trabajo experimental respecto a los del autor.

Ramírez (2004) en trigos harineros reportó que el genotipo: AN-1524-95 superó algunos de los testigos utilizados, seguido de cerca por BACANORA, AN-64-98, AN-162-97, AN-125-98, AN-71-99, AN-249-98, AN-56-99 y AN- 250-97 con medias de: 42.10, 41.10, 40.10, 39.90, 39.70, 39.65, 39.55, 39.50 y 38.90, granos por espiga respectivamente. Como se puede observar estos resultados son mucho menores a los encontrados en esta investigación por lo que es favorable para el mejoramiento genético respecto a la especie.

Remache (2012) con la prueba de Tukey al 5% obtuvo resultados muy diferentes a los del presente trabajo experimental, en el cual mencionó que los promedios más altos en cuanto a la variable Número de Granos por Espiga, se determinaron en

los tratamientos: T8, T6, T21 y T17 con 35 granos y el más bajo en el T22 con 22 granos por espiga.

Cuadro 4.6.- Resultados de la comparación de medias para Número de Granos por Espiga. Zaragoza 2015-16.

GENOTIPO	MEDIA	GRUPO
30	81.100	A
29	75.567	A B
26	73.967	A B C
11	71.167	A B C D
15	68.567	A B C D
10	68.400	A B C D
6	67.200	A B C D
1	66.533	A B C D
12	66.467	A B C D
5	66.167	A B C D
23	66.033	A B C D
20	65.233	A B C D
28	64.167	A B C D
2	64.067	A B C D
19	63.567	A B C D
8	62.133	A B C D
16	61.833	A B C D
27	60.567	A B C D
13	60.167	A B C D
7	59.800	A B C D
17	59.733	A B C D
22	59.200	B C D
9	58.467	B C D
4	56.567	B C D
14	56.333	B C D
3	56.200	B C D
24	55.433	B C D
18	54.467	B C D
21	52.633	C D
25	50.100	D

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Para la variable Número de Granos por Espiga, en promedio general se registró 40 granos/espiga. Con la prueba de Tukey al 5% en cuanto a la variable NGE el

promedio más alto se determinó en el T12 con 50 granos/espiga, y el más bajo en el T15 con 31 granos/espiga (Flores, 2015). Los resultados fueron muy diferentes a los obtenidos en este experimento, pues solo igualó al genotipo 15 (AN-463-13) que fue el que obtuvo la menor media en el grupo estadístico.

Guerrero (2017), determinó un promedio de 54.22 (54 granos) correspondiente a la línea A2 y de 41.89 (42 granos) en la línea A4, difiriendo bastante en cuanto a los resultados obtenidos en esta investigación.

Número de Tallos por metro lineal (NT)

En el cuadro de análisis de varianza para Número de Tallos por metro lineal se muestra que tanto en la fuente de variación repeticiones como genotipos no hubo diferencias significativas para esta característica (Cuadro 4.7). Por lo que se puede decir que los genotipos muestran un número de tallos similar lo cual dificulta el hacer selección para esta característica.

Ramírez (2004) es uno de los pocos autores que ha trabajado en esta característica, en la cual reportó que al igual que en esta investigación no encontró significancia estadística entre tratamientos, ni para bloques, lo que indica que los genotipos se comportaron estadísticamente similares en esta variable de respuesta, coincidiendo con nuestro trabajo experimental.

Cuadro 4.7.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Número de Tallos por metro lineal. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	880.289	440.144	2.16 NS
GENO	29	9209.956	317.585	1.56 NS
ERROR	58	11835.711	204.064	
TOTAL	89	21925.956		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Número de Tallos por metro lineal (NT)

La comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) arrojó solo un grupo de significancia, el cual confirma los resultados de análisis de varianza (que estadísticamente no existen diferencias entre los genotipos). Se puede observar en el Cuadro 4.8, que numéricamente el genotipo AN-470-13 (18) con una media de 101.67 tuvo un valor superior a los 100 tallos por metro lineal, mientras que el testigo Huerfanita (30) con una media de 48 reportó el menor valor. La diferencia dentro del grupo entre la media mayor y la menor es de 53.67 unidades, pero debido a la aplicación de una prueba estricta para comparar las medias no permitió la conformación de más grupos de significancia como en ocasiones que se utiliza la DMS (Cuadro 4.8.).

Ramírez (2004) trabajando con trigos harineros reportó resultados superiores a los que se muestran en la presente evaluación, reportó que el testigo comercial (Pavón) mostró el mayor valor, aunque estadísticamente igual a genotipos como: AN-233-97, AN-67-98, AN-27-99, AN-511-93 y AN-249-98 con medias de 158.00, 156.00, 154.50, 154.00, 153.50 tallos por metro respectivamente.

Cuadro 4.8.- Resultados de la comparación de medias para Número de Tallos por metro lineal. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
18	101.67	A
9	98.00	A
4	95.67	A
5	94.33	A
24	89.67	A
17	89.33	A
22	87.67	A
8	87.67	A
16	87.33	A
13	86.33	A
1	86.33	A
2	86.33	A
20	86.33	A
7	86.00	A
3	85.33	A
6	84.33	A
23	83.67	A
21	83.33	A
15	82.67	A
26	82.33	A
19	82.33	A
11	79.33	A
10	78.33	A
28	78.33	A
27	75.67	A
14	74.33	A
25	73.67	A
12	70.67	A
29	64.33	A
30	48.00	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Altura de Planta (AP)

En el Cuadro 4.9., se puede observar que existieron diferencias altamente significativas, tanto, para la fuente de variación repeticiones, como la de genotipos para esta característica. Las diferencias entre repeticiones muestran que el diseño fue apropiado para detectar y bloquear dichas diferencias, mientras que, en los genotipos sugiere que existe gran variabilidad que puede ser seleccionada o usada para mejorar dicha característica, si se desea. La media general para Altura de Planta fue de 85.56 cm.

Chávez (1986) y Urdiano (2002), también reportaron diferencias altamente significativas para Altura de Planta señalando que pudiera ser atribuible a la heterogeneidad en el suelo.

Camarena (2002) al realizar el análisis de varianza encontró diferencias altamente significativas entre genotipos evaluados, mientras que para repeticiones indicó diferencias significativas. El autor coincide en que existe bastante variabilidad entre los genotipos de trigos para hacer selección para la característica de Altura de Planta.

Ramírez (2004) trabajando con trigos harineros menciona alta significancia entre repeticiones y significancia entre los genotipos de estudio para Altura de Planta, indicando la efectividad del bloqueo y la variabilidad entre genotipos a pesar de la influencia del déficit de humedad.

Huallpa (2016) muestra para Altura de Planta que existen diferencias altamente significativas entre bloques y líneas, lo que permite indicar que el área de investigación del cultivo fue heterogénea en forma altamente significativa, esta diferencia, probablemente se debe a las condiciones del suelo y la pendiente del terreno.

Cuadro 4.9.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Altura de Planta. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	603.889	301.944	16.22 **
GENO	29	2288.889	78.927	4.24 **
ERROR	58	1079.444	18.611	
TOTAL	89	3972.222		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Altura de Planta (AP)

La prueba de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) para Altura de Planta, encontró solo un grupo de significancia, la diferencia entre el valor mayor respecto al valor menor es de 23.333 cm. Numéricamente el genotipo 24 (AN-473-13) mostró una mayor altura, en cambio el genotipo 17 (AN-471-13) fue el que presento la menor altura con una media de 75 cm, pero estos en el mismo grupo de significancia, confirmando lo estricto de la prueba de Scheffé (Cuadro 4.10).

Chávez (1986) reportó un rango de alturas en el experimento de 28.3 cm con una media general de 56.167 cm., en tanto que en el presente estudio se encontraron valores superiores.

Urdiano (2002) encontró 10 grupos de significancia estadística, el genotipo más alto AN-239-94 con 111.66 cm superó a los testigos, GALVEZ se encontró en el segundo lugar, con una media de 106.66 cm. Los genotipos más bajos fueron AN-3-88, AN-64-98, BACANORA, AN-61-98, AN-201-98 y MOCHIS con 85 cm.

Camarena (2002) reportó 11 grupos de significancia para Altura de Planta utilizando la prueba de medias DMS al 0.01 de probabilidad, en donde el primer grupo solamente contuvo al genotipo ERONGA 83 (testigo-triticale) con una altura de 130.83 cm superior a la de los genotipos evaluados en este trabajo experimental.

Ramírez (2004) reportó hasta 6 grupos de significancia, AN-92-97 y GALVEZ registraron la misma altura máxima de 70 cm, la media general para este carácter

50.37 cm, esto nos revela que nuevamente el agua actúo como factor limitante de su expresión, dado que normalmente estos trigos poseen alturas promedio de 90 cm como se muestra en los resultados obtenidos.

Cuadro 4.10.- Resultados de la comparación de medias para Altura de Planta. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
24	98.333	A
30	95.000	A
1	93.333	A
6	91.667	A
23	90.000	A
12	90.000	A
11	88.333	A
22	88.333	A
28	88.333	A
8	88.333	A
13	86.667	A
10	86.667	A
20	86.667	A
21	85.000	A
19	85.000	A
16	85.000	A
4	85.000	A
25	83.333	A
15	83.333	A
5	83.333	A
3	83.333	A
7	83.333	A
2	83.333	A
9	81.667	A
18	81.667	A
29	80.000	A
26	80.000	A
27	78.333	A
14	78.333	A
17	75.000	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Remache (2012) con la prueba de Tukey al 5%, en la variable, el promedio más alto se evaluó en el T1 con 94.8 cm, y el menor en el T6, T 3 y T5 con 62.9 cm, 62.0 cm y 61.2 cm, respectivamente. Esto indicando valores promedios similares a los del presente experimento.

Respecto a los resultados de Flores (2015) se obtuvieron genotipos con valores arriba de su media general y la presente fue superior, pues el registró un promedio general de 75 cm. en cuanto a su promedio más alto obtuvo 119 cm para el T1 y el más bajo de 64 cm para el T10.

Rendimiento de Grano en Toneladas (REND)

En el análisis de varianza que se realizó para Rendimiento de Grano en Toneladas, hubo diferencias altamente significativas en ambas fuentes de variación. Las diferencias entre repeticiones sugieren que el diseño fue eficiente para detectar y bloquear un gradiente en campo, mientras que en los genotipos representa una variabilidad que puede ser seleccionada o usada para mejorar dicha característica (Cuadro 4.11). La media general fue de 4.86 ton/ha, para esta característica.

Chávez (1986), al igual que Urdiano (2002), también reportó diferencias altamente significativas entre genotipos para la variable de Rendimiento en toneladas.

Ramírez (2004) encontró alta significancia estadística para bloques, lo cual nos indica un buen bloqueo y para tratamientos no se encontró significancia.

Cuadro 4.11.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Rendimiento de Grano en Toneladas. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	18.470	9.235	17.93 **
GENO	29	32.312	1.114	2.16 **
ERROR	58	29.869	0.515	
TOTAL	89	80.652		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Huallpa (2016) muestra que la relación entre bloques no es significativa y la diferencia entre tratamientos resulta ser altamente significativa lo que indica que existen diferencias entre líneas de trigo.

Prueba de medias para Rendimiento de Grano en Ton. (REND)

La comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) para Rendimiento de Grano en Toneladas formó solo un grupo de significancia, el cual muestra que estadísticamente no hubo diferencias entre los genotipos. El rango del grupo fue de 2.4611 ton/ha. Numéricamente el genotipo 20 (AN-465-13) tuvo un mayor rendimiento con una media de 5.7571, en tanto que el genotipo 29 (AN-485-13) con una media de 3.2960 ton/ha fue el que mostró la media menor dentro del grupo de significancia (Cuadro 4.12).

Chávez (1986) reportó rendimientos de 4.398 ton/ha, para el genotipo más alto, siendo estadísticamente igual a 14 genotipos que presentaron una media decreciente hasta 2.88 ton/ha. Señaló un rango de rendimiento grano de 3.407 ton/ha, con una media general de 2.731 ton/ha.

Urdiano (2002) encontró 9 grupos de significancia estadística, los mejores genotipos para esta variable fueron el AN-163-98 y AN-177-98 con rendimiento medio de 4.73 y 4.67 ton/ha, respectivamente, solo hubo 11 genotipos que superaron la media general de 4.40 ton/ha, entre ellos el AN-3-88 con rendimiento medio de 4.51 ton/ha.

Figuroa-López *et al.* (2010) reportaron la variedad CIRNO C2008 con rendimiento experimental promedio de 5.6 ton/ha, con dos riegos de auxilio y de 6.3 ton/ha, con tres riegos de auxilio, con un rendimiento de 8% superior a la variedad comercial Júpare C2001, muy superiores a los encontrados en el presente estudio.

En un experimento realizado en Sonora por Fuentes-Dávila *et al.* (2014) reportaron un rendimiento en grano en varias fechas de siembra de 5.87 ton/ha, para la nueva variedad “Quetchehueca Oro C2013” superando al testigo “CIRNO

C2008”. Así mismo durante el ciclo agrícola 2011-2012 indicó que “Quetchehueca Oro C2013” rindió hasta 10.5 ton/ha.

Cuadro 4.12.- Resultados de la comparación de medias para Rendimiento de Grano en Toneladas. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
20	5.7571	A
4	5.5762	A
3	5.5476	A
18	5.5476	A
2	5.4706	A
9	5.4579	A
14	5.4143	A
22	5.2810	A
10	5.2754	A
13	5.2738	A
15	5.2040	A
19	5.1373	A
16	5.0889	A
23	5.0198	A
7	4.9730	A
1	4.9437	A
12	4.8635	A
27	4.8579	A
21	4.8357	A
8	4.7643	A
11	4.6667	A
6	4.6159	A
30	4.4738	A
24	4.4325	A
28	4.1825	A
5	4.1127	A
17	4.0222	A
25	3.9714	A
26	3.7365	A
29	3.2960	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Gutiérrez, *et al.* (2015) en una evaluación de quince cultivares de trigo duro en condiciones semiáridas identificaron a la Línea 720 con 2256 kg/ha como la línea

más rendidora dentro del experimento realizado, en los rendimientos más altos también se encontraron las líneas 741, 736, 714 y 737 con rendimientos de 2204, 2189, 2180 y 2155 kg/ha respectivamente; mientras que el testigo variedad México registró el rendimiento más bajo 1709 kg/ha.

Por su parte, Flores (2015) encontró un promedio general inferior a los resultados de esta investigación, en la cual mencionó que es de 2.893 ton/ha al 14% de humedad. Pero se puede resaltar algunos genotipos con similares resultados al de los genotipos estudiados en el presente trabajo, registró al T4 con el valor más alto con 4.538 ton/ha.

Estos resultados sugieren los potenciales productivos de los ambientes de prueba y su posible manejo sobre la producción de este cereal.

Etapa Fenológica de la Planta (EF)

Para la Etapa Fenológica de Planta (Cuadro 4.13.) se detectó que para la fuente de repeticiones no hubo diferencias significativas, en cambio para la fuente de variación genotipos existieron diferencias altamente significativas. Esta significancia entre los genotipos sugiere existencia de genotipos precoces y tardíos que pudieran utilizarse para hacer selección o para mejorar esta característica vía cruzamientos. Los genotipos precoces son deseables para los productores ya que obtienen cosechas a menos días de siembra.

Cuadro 4.13.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Etapa Fenológica de Planta. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	38.600	19.300	1.70 NS
GENO	29	967.733	33.370	2.94 **
ERROR	58	658.067	11.346	
TOTAL	89	1664.400		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Etapa Fenológica de la Planta (EF)

Cuadro 4.14.- Resultados de la comparación de medias para Etapa Fenológica de la Planta. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
30	57.667	A
9	55.000	A
20	53.000	A
4	52.000	A
22	51.667	A
19	50.667	A
10	50.333	A
12	50.000	A
5	49.000	A
11	49.000	A
21	49.000	A
18	49.000	A
24	48.667	A
13	48.333	A
3	47.000	A
6	47.000	A
8	47.000	A
14	47.000	A
7	46.667	A
17	46.667	A
25	45.667	A
1	45.333	A
29	45.333	A
28	45.333	A
15	45.000	A
26	45.000	A
23	45.000	A
16	45.000	A
2	44.000	A
27	43.667	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

La prueba de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) reportó solo un grupo de significancia, sugiriendo que no existen diferencias estadísticas entre los genotipos. El rango dentro del grupo fue de 14 y dado que se trata de un código

decimal sugiere que entre los genotipos hay diferencias de hasta una etapa fenológica entre los genotipos evaluados. Numéricamente se observa que el genotipo 30 (Huerfanita) presentó la mayor precocidad con una media de 57.667. Por otra parte el genotipo 27 (CIRNO) se comportó como el más tardío al presentar el valor menor dentro del grupo de significancia con una media de 43.667 (Cuadro 4.14.).

Ramírez (2004) para etapas fenológicas comenta que si la temperatura sube, la velocidad de desarrollo se incrementa más que la velocidad de crecimiento, dando como resultado, órganos más pequeños y con menos componentes (menos hojas, espiguillas, macollos, grano por espiga y granos chicos).

Temperatura de Planta (TP)

En el análisis de varianza que se realizó para Temperatura de Planta (Cuadro 4.15), se detectó que tanto en la fuente de variación de repeticiones, como en genotipos no hubo diferencia significativa para esta característica. Esto sugiere que todos los genotipos mostraron una temperatura similar independientemente de la etapa fenológica en la que se encontraban o de la repetición en que se ubicaron. La media general que se presentó para esta característica fue de 23.30.

Mientras las variaciones genotípicas en la temperatura del follaje de trigo, medidas con un termómetro infrarrojo, pueden ser de 1 °C debido a la arquitectura del follaje, la variación de la temperatura debido al estrés por sequía a mediodía puede alcanzar 5 °C o más.

El uso de imágenes por infrarrojos para cuantificar las diferencias en Temperatura de Planta de genotipos de trigo en condiciones de sequía fue reportada por primera vez por Blum y colaboradores en 1982, y también ha demostrado ser un excelente predictor de rendimiento en ambientes calurosos y de regadío (Reynolds *et al.*, 2013).

Cuadro 4.15.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Temperatura de Planta. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	0.092	0.046	0.73 NS
GENO	29	2.245	0.077	1.24 NS
ERROR	58	3.622	0.062	
TOTAL	89	5.958		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Temperatura de Planta (TP)

En la comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) para Temperatura en Planta se obtuvo solo un grupo de significancia, lo que estadísticamente sugiere que todos los genotipos mostraron una media igual, pero numéricamente el genotipo 30 (Huerfanita) mostró una mayor temperatura que los otros genotipos probablemente influenciada por la etapa en la que se encontraba (fue la más precoz), en este grupo la media más alta fue de 23.6333 y la más baja de 22.9667 (AN-473-13) obteniéndose una diferencia de solo 0.6666 grados centígrados (Cuadro 4.16.).

Una temperatura de planta fresca podría ser relacionada directamente con el potencial genético de la capacidad de raíces para explorar la humedad del suelo en un ambiente, en otra situación en la que, por ejemplo, la deficiencia de microelementos o enfermedades de suelo afectan el crecimiento radicular, los genotipos con doseles más fríos se encontrarían sólo en aquellas líneas que contienen los genes relevantes.

La temperatura de planta y la conductancia estomática pueden emplearse como alternativas en la estimación de la tasa de fotosíntesis, y tienen aplicaciones en mejoramiento para ambientes bajo riego, especialmente donde el rendimiento se encuentra limitado por las reservas como por ejemplo en casos de estrés térmico por calor (Reynolds *et al.*, 2013).

Cuadro 4.16.- Resultados de la comparación de medias para Temperatura de Planta. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
30	23.6333	A
7	23.5667	A
17	23.5667	A
5	23.5000	A
28	23.4667	A
13	23.4333	A
14	23.4333	A
21	23.4333	A
12	23.4000	A
25	23.4000	A
15	23.3667	A
6	23.3333	A
16	23.3333	A
10	23.3000	A
1	23.3000	A
19	23.2667	A
27	23.2667	A
3	23.2667	A
23	23.2667	A
11	23.2667	A
29	23.2333	A
22	23.2333	A
20	23.2000	A
8	23.1667	A
2	23.1667	A
26	23.1333	A
4	23.1000	A
18	23.0667	A
9	23.0667	A
24	22.9667	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad).

La temperatura de planta es una medida versátil que puede complementar el mejoramiento, ya que es altamente integrativa de muchas funciones fisiológicas necesarias para asegurar la adaptación a un ambiente determinado.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

El análisis de varianza que se realizó para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Cuadro 4.17.), se detectó que en la fuente de repeticiones hubo diferencias altamente significativas, con respecto a los genotipos existieron diferencias significativas para esta característica. Dicha significancia entre los genotipos sugiere los distintos estatus que los genotipos mostraron y que pueden representar una oportunidad para mejorar o seleccionar para esta característica.

Los valores de NDVI del dosel de un cultivo fluctúan en un rango de 0 a 1 (donde 0 representa ninguna área verde, y 1 representa el verdor máximo). Para duración de la senescencia, permanencia en verde y llenado de grano: se realizan mediciones semanalmente desde la floración hasta la madurez fisiológica. Los genotipos que mantienen el área del dosel con verdor de larga duración, se asocian con un mayor rendimiento (Pask *et al.*, 2013).

Cuadro 4.17.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	0.044	0.022	13.54 **
GENO	29	0.086	0.002	1.84 *
ERROR	58	0.094	0.002	
TOTAL	89	0.223		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

La prueba de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) reportó solo un grupo de significancia, sugiriendo que no existen diferencias estadísticas entre los genotipos, mientras que numéricamente podemos observar que el genotipo 20 (AN-465-13) tuvo un NDVI mayor respecto a los otros genotipos con una media de 0.79000 y quien tuvo un menor NDVI respecto a los otros genotipos fue el genotipo 30 (Huerfanita) con una media de 0.61667 esto posiblemente influenciado por la etapa fenológica en la que se encontraba al momento de medir la característica o bien, debido a diferencias

propias de la especie a la que pertenece (Triticale), el rango encontrado para esta variable fue de 0.17333., tal como se aprecia en el Cuadro 4.18.

Cuadro 4.18.- Resultados de la comparación de medias para Índice de Vegetación Diferencial Normalizado. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
20	0.79000	A
18	0.78667	A
2	0.78333	A
5	0.76667	A
4	0.76667	A
8	0.76333	A
24	0.76333	A
22	0.76000	A
17	0.75667	A
1	0.75667	A
3	0.75333	A
12	0.75333	A
9	0.75000	A
26	0.75000	A
11	0.74667	A
14	0.74667	A
15	0.74333	A
10	0.74000	A
16	0.74000	A
23	0.73667	A
13	0.73333	A
7	0.73000	A
21	0.73000	A
27	0.73000	A
28	0.72333	A
19	0.72000	A
6	0.72000	A
29	0.71667	A
25	0.70667	A
30	0.61667	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

De acuerdo a un estudio realizado por Espinosa (2014) en trigos duros, mencionó que el NDVI fue mayor en la etapa vegetativa y disminuyó en el llenado de grano;

esto podría relacionarse con la reducción en la actividad fotosintética de las hojas y follaje y mayor actividad de translocación a las estructuras reproductivas, esto como indicador de biomasa total.

El NDVI se ve afectado significativamente de acuerdo al estado fenológico en que se realiza la lectura, los niveles hídricos y diferentes dosis de N que recibe el cultivo (Muriado, 2016).

Marini (2008) en Argentina, analizando la variación anual del NDVI para lotes (potreros) representativos de cultivos de invierno (trigo), observó que a fines de abril los lotes se encontraban laboreados, lo que se tradujo en bajos índices. Durante las etapas de floración y espigazón (noviembre) se alcanzaron valores cercanos a 0,80. A fines de diciembre el NDVI desciende como consecuencia de la etapa de madurez fisiológica y la cosecha del cultivo.

El NDVI del trigo en la etapa de inicio de encañe, etapa fenológica 31-33 de la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974), se ha utilizado para predecir el rendimiento de grano (Raun *et al.*, 2002; Moges *et al.*, 2004).

Peso de Mil Semillas (PMS)

Al realizar el análisis de varianza para la variable Peso de Mil Semillas (Cuadro 4.19) se encontró que no hubo diferencias entre las repeticiones mientras que entre genotipos se encontraron diferencias altamente significativas. Para esta característica la media general que se generó fue de 45.64 gr.

Urdiano (2002) en su análisis de varianza para Peso de Mil Semillas también obtuvo diferencias altamente significativas entre los genotipos evaluados, lo cual permitirá seleccionar a los mejores genotipos.

Ramírez (2004) en el análisis de varianza para esta variable reportó que entre bloques no hubo significancia estadística, y para tratamientos encontró una alta significancia al 0.01 de probabilidad.

Cuadro 4.19.- Resultados del análisis de varianza y su significancia para Peso de Mil Semillas. Zaragoza 2015-16.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
REP	2	62.193	31.096	2.84NS
GENO	29	827.289	28.527	2.60**
ERROR	58	635.811	10.962	
TOTAL	89	1525.293		

NS=no significativo, * =significativo al 0.05 de probabilidad, ** =significativo al 0.01 de probabilidad.

Prueba de medias para Peso de Mil Semillas (PMS)

La comparación de medias (Scheffé al 0.05 de probabilidad) arrojó solo un grupo de significancia, esto indica que todos los genotipos fueron estadísticamente iguales; esto por lo estricto de la prueba de medias. Numéricamente se puede observar que sobresalieron algunos genotipos de trigo duro evaluados, tales como el genotipo 4 (AN-474-13), 21(AN-478-13) y 14 (AN-486-13) respecto al testigo de triticales (Huerfanita). Estos tres genotipos sobresalieron con 52.246, 50.447 y 49.786, respectivamente, mientras que el genotipo de triticales obtuvo una media de 49.509. En el último sitio de la prueba de medias se encontró un genotipo testigo (Genotipo 26-Altar).

Urdiano (2002) formó 9 grupos de significancia estadística, donde AN-1174-95 presentó el mayor peso con una media de 41.72 gramos, seguido por AN-277-93, AN-202-98, AN-161-98, AN-276-93, AN-19-91, AN-250-97 y AN-511-93 con 39.41, 38.65, 38.60, 36.54, 36.47, 36.36, 36.34 gramos, respectivamente. Con respecto a los resultados que se obtuvieron en el presente experimento fueron inferiores los de este autor.

Camarena (2002) en trigos harineros al realizar la comparación de medias (DMS al 0.01 de probabilidad) mostró 6 grupos de significancia, donde en el primer grupo destacan los genotipos ERONGA 83 y TONGO 91 con medias de 44.87 y 38.54 gramos. En esta característica podemos indicar que con respecto a este autor se obtuvo resultados muy superiores en este estudio.

Cuadro 4.20.- Resultados de la comparación de medias para Peso de Mil Semillas. Zaragoza 2015-16.

TRAT	MEDIA	GRUPO
4	52.246	A
21	50.447	A
14	49.786	A
30	49.509	A
27	49.104	A
25	49.053	A
22	47.564	A
11	47.421	A
10	47.358	A
16	47.024	A
18	46.714	A
6	46.373	A
7	46.332	A
2	46.246	A
5	45.706	A
15	45.611	A
23	45.451	A
20	45.451	A
3	45.010	A
29	44.461	A
24	44.410	A
9	44.144	A
8	43.342	A
28	43.162	A
1	42.941	A
12	41.871	A
19	41.178	A
17	40.598	A
13	40.424	A
26	40.364	A

Genotipos con la misma literal son estadísticamente iguales (Scheffé al 0.05 de probabilidad)

Remache (2012) obtuvo resultados parecidos a las medias más bajas obtenidas en este experimento con sus trigos duros, pues reportó para PMS que el más alto valor lo obtuvo el T15 con 43.3 gramos, esto demostrando que se puede mejorar o se ha ido mejorando este componente de rendimiento respecto al transcurso de los años.

Flores (2015) encontró resultados parecidos a las medias más bajas de este experimento, registró como promedio más alto el T11 con 42.66 gramos con la prueba de Tukey al 5%. El reportó una media general de 35.22 gramos para esta característica, una media general inferior a la del presente trabajo que fue de 45.64 gr.

Resultados de correlaciones de las variables estudiadas

En el cuadro 4.21. se presentan las correlaciones para cada una de las variables de estudio, así como su significancia al nivel de probabilidad de 0.05, se observa en dicho cuadro que las variables que presentaron una correlación significativa y positiva fueron las siguientes: Número de Espiguillas por Espiga con el Número de Granos por Espiga, Altura de Planta y Longitud de Espiga; la Temperatura de Planta con la Longitud de Espiga; el NDVI con Número de Tallos por metro lineal y el Rendimiento; el Número de Tallos por metro lineal con el Rendimiento; Altura de Planta con Longitud de Espiga; y Longitud de Espiga con Etapa Fenológica; la correlación positiva indica que si alguna variable de las dos tiende a decrecer o incrementarse, como consecuencia la otra responderá de la misma manera.

Mientras que las variables que presentaron correlaciones significativas y negativas fueron las siguientes: Número de Espiguillas por Espiga con NDVI y Número de Tallos por metro lineal; el Número de Granos por Espiga se relacionó con NDVI y Número de Tallos por metro lineal; el NDVI con Longitud de Espiga y el Número de Tallos por metro lineal; la correlación negativa sugiere que si alguna de las dos variables se incrementa la otra tenderá a hacer lo contrario.

El NDVI se correlacionó positivamente con una variable que importa mucho en el mejoramiento pues si este valor aumenta el Rendimiento tiende a hacerlo también, al igual que el Número de Tallos por metro lineal, resaltando que Número de Tallos por metro lineal es uno de los componentes de rendimiento que en este estudio mostró una correlación de 0.41, mientras que la Longitud de Espiga tiende a disminuir si este valor aumenta, al igual que NEE, NGE y la Temperatura de Planta (TP). Esta asociación del NDVI con Rendimiento de Grano ha sido

reportada por Rudorff y Batista (1990), Wiegand y Richardson (1990) han encontrado correlaciones (R^2) entre los índices de vegetación y el rendimiento del grano de trigo de 0.5 y 0.66. Mientras que Martin et al. (2007) en maíz en etapas comprendidas entre V8 y V12 encontró un 66% que explica la relación del NDVI con el rendimiento. Además, Guzmán (2013) cita que se encontró una correlación positiva entre el NDVI y el rendimiento de grano en todas las etapas de trigo en condiciones de secano. Otros autores como Galantini *et al.* (2013) cita que en el partido de San Antonio de Areco, provincia de Buenos Aires, encontraron correlaciones significativas (r^2 de 0,85) entre el NDVI medidos en espigazón y el rendimiento en trigo.

Cuadro 4.21.- Correlaciones y su significancia entre las variables estudiadas. Zaragoza, Coahuila. Ciclo otoño invierno (2015-2016)

Variable	NEE	NGE	TP	NDVI	NT	AP	RTON	LE	PMS	EFP
NEE	1.00	0.54*	0.13	-0.62*	-0.43*	0.64*	-0.10	0.79*	0.06	0.31
NGE		1.00	0.19	-0.41*	-0.56*	0.23	-0.36	0.59*	-0.23	0.11
TP			1.00	-0.56*	-0.48*	-0.09	-0.26	0.37*	0.04	-0.01
NDVI				1.00	0.79*	-0.23	0.38*	-0.79*	-0.18	-0.23
NT					1.00	-0.17	0.41*	-0.65*	-0.14	-0.08
AP						1.00	0.06	0.42*	0.00	0.31
RTON							1.00	-0.20	0.26	0.29
LE								1.00	0.09	0.48*
PMS									1.00	0.19
EFP										1.00

La Temperatura de Planta tiende a incrementarse si la Longitud de Espiga aumenta, así mismo si ésta aumenta disminuirán el NDVI y el Número de Tallos por metro lineal como consecuencia de su asociación negativa.

La variable Número de Espiguillas por Espiga se relacionó con un mayor Número de Granos por Espiga, mayor Altura y un promedio de Longitud de Espiga superior, sugiriendo que plantas altas tienden a mostrar espigas más largas, con mayor número de espiguillas y como consecuencia mayor número de granos.

Camarena (2002) obtuvo al igual que los resultados presentes, que para la variable Número de Espiguillas por Espiga presentó una correlación positiva y altamente significativa con Número de Granos por Espiga; lo cual sugiere que existió un buen porcentaje de fertilidad o amarre de grano en los materiales.

El Número de Tallos por metro lineal mostró una correlación positiva con el Rendimiento, pues cuando esta variable tiende a aumentar el rendimiento también lo hace, sin embargo cuando esto sucede la Longitud de Espiga, NEE, NGE y Altura de Planta se ven afectadas de manera negativa, por efecto de la competencia entre plantas.

La Longitud de Espiga fue la única de las variables que presento una correlación con la Etapa Fenológica de Planta, en tanto que Peso de Mil Semillas no se asoció con ninguna de las variables estudiadas, en este grupo de genotipos.

Camarena (2002) encontró que entre Longitud de Espiga y el Número de Espiguillas por Espiga hubo una correlación positiva y altamente significativa lo cual indica que al aumentar la Longitud de Espiga se incrementa el Número de Espiguillas por Espiga al igual que los resultados que se presentaron en este estudio.

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo experimental se puede concluir lo siguiente:

Se encontró variabilidad dentro de los genotipos estudiados lo cual permitirá hacer selección dentro de cada variable. Aunque en algunas variables tales como Número de Tallos por metro lineal y Temperatura de Planta se dificultará la selección.

Existe correlación entre el NDVI y el Rendimiento aunque con un valor bajo (0.38), por lo que se sugiere realizar otros estudios para corroborar la magnitud.

Otra relación importante involucra al Rendimiento con el Número de Tallos por metro lineal, lo cual sugiere realizar estudios de densidades para determinar el óptimo.

El genotipo que mejores características mostró en el estudio fue el AN-465-13, pues se obtuvo el mayor rendimiento, el mayor NDVI, además de que también fue uno de los más precoces. Otro de los genotipos que se comportó de una manera deseable para varias características fue AN-474-13.

VI. LITERATURA CITADA

- Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo (CANIMOLT). 2016. Reporte Estadístico 2015 con datos del 2016. México. 116 p.
- Camarena, B. H. S. 2002. Evaluación de genotipos criollos y mejorados de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.) en Zaragoza, Coahuila. Tesis de licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 73 pág.
- Carrascon, N.; Báez, A. 2005. Trigo: Manual de campo. INTA EEA Integrada Barrow. Tres Arroyos – Buenos Aires – Argentina. 125 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2007. Manual de metodología sobre las enfermedades de los cereales. México, DF. 46 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1975. Trigo duro: Nueva era para un cultivo antiguo. Breth, SA. : México, DF (México). CIMMYT. Serie: CIMMYT Hoy. 15 p .
- Chávez, J. A. 1986. Evaluación del rendimiento y sus componentes en 30 genotipos de trigo duro (*Triticum turgidum* Var. *durum*) en la region de Navidad, N. L. ciclo (1984-1985). Tesis de licenciatura. Saltillo, Coahuila. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 77 pág.
- Cruz, M. R. 2008. El Cultivo del Trigo (*Triticum aestivum*). Monografía. Torreón, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 53 pág.
- Espinosa G.BM. 2014. Integración y caracterización de una colección nucleo de Trigo Duro (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) provenientes del centro de recursos fitogenéticos de CIMMYT. Tesis Doctoral. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Colegio de Postgraduados. 149 pag.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama agroalimentario: trigo 2015. México. 41p.

- Figueroa-López, P, Félix-Fuentes, J. L, Fuentes-Dávila, G, Valenzuela-Herrera, V, Chávez-Villalba, G, & Mendoza-Lugo, J. A. 2010. CIRNO C2008, nueva variedad de trigo cristalino con alto rendimiento potencial para el estado de Sonora. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(5), 739-744. Recuperado en 03 de octubre de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000500016&lng=es&tln g=es.
- Fischer R A, R Maurer. 1976. Crop temperature modification and yield potential in a dwarf spring wheat. *Crop Sci.* 16:855-859.
- Flores T, J. J. 2015. Caracterización morfoagronómica de 14 accesiones de trigo duro (*Triticum turgidum* L.(thell) *durum*) en la localidad de Laguacoto III, cantón Guaranda, provincia Bolívar. Tesis de Licenciatura. Guaranda, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agronómica. 150 pag.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1999. <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/>. Accesado Agosto 2017.
- Fuentes-Dávila, G, Figueroa-López, P, Camacho-Casas, M. A, Chávez-Villalba, G, & Félix-Fuentes, J. L. 2014. 'Quetchehueca Oro C2013', nueva variedad de trigo cristalino para el noroeste de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(4), 399-401. Recuperado en 03 de octubre de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000400013&lng=es&tln g=es.
- Fundación para la Innovación Agraria. 2010. Resultados y lecciones en agricultura de precisión aplicada a la fertilización nitrogenada en cultivo de trigo: proyecto de innovación en Regiones del BíoBío, de La Araucanía y de Los Lagos. Chile. 44 pág.
- Galantini, J. A., Landriscini, M. R., & Iglesias, J. 2013. Efectos de largo plazo de la siembra directa en el SO Bonaerense: respuesta a la aplicación de N y su eficiencia de uso. *Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense*, 17.
- Gómez, C, J. M. 2015. Evaluación de rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en diferentes niveles de sequía en relación con rasgos secundarios. Tesis de licenciatura. Torreón, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 95 pág.

- Guerrero R, E. R. 2017. Evaluación agronómica de cuatro líneas promisorias de Trigo Duro (*Triticum turgidum* L.) a la fertilización nitrogenada en la localidad de Laguacoto III, cantón, Guaranda, provincia Bolívar. Tesis de Licenciatura. Guaranda, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Escuela Ingeniería Agronómica. 121pág
- Gutiérrez I. M., Marza F, Butrón R, Quispe F, Gutiérrez G. 2015 Evaluación de quince cultivares de trigo duro en condiciones semiáridas. Info INIAF [revista en la Internet]. [citado 2017 Oct 03] ; 1(6): 37-42. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-250X2015000200007&lng=es.
- Guzmán H. C. 2013. Interacción de características fisiológicas y rendimiento en mestizos de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en condiciones de riego-sequía. Tesis de licenciatura. Torreón, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 52 pág.
- Huallpa C, R. 2016. Comportamiento agronómico de 11 líneas de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) con la complementación de biol y riego por goteo en la Estación Experimental Choquenaira, Viacha-La Paz. Tesis Doctoral. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor De San Andrés, Facultad De Agronomía. 156 pág.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Descripción de las variedades de Trigo para el Valle de Mexicali, B.C. y Norte de Sonora. Mexicali BC, México. 22 p.
- Juárez, Z. N.; Barcenás-Pozos, M. E.; Hernández, L. R. 2014. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 8 (1), 79 - 93
- Kohli, M. M. y D. Martino (eds). 1998. "Explorando altos rendimientos de Trigo". La Estanzuela, Uruguay, octubre 20 al 23, 1997. Uruguay; CIMMYT.INIA.
- Kumar, R., y Silva, L. 1973. Light ray tracing through a leaf cross-section. Appl. Optics, 12(12), 2950-2954.
- Law, RD. y Crafts-Brandner, SJ. 1999. Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress is closely correlated with activation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. Plant Physiology. Pag 120, 173–182.

- Marini, F. M. 2008. El avance de la frontera agrícola en el área adyacente al sistema Sierras de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). *Investigaciones Geográficas* N° 47:111-121.
- Martin, K. L Raun, W. R. Freeman, K.W. Teal, R. K. Desta, K. Arnall, D. B. Tubaña, B. Solie, J.B. Stone, M. L. 2007. Expression of spatial Variability in corn (*Zea mays* L.) as influenced by growth stage using optical sensor measurements. Oklahoma State University. Stillwater, Oklahoma. *Agron J.* 99:384-389.
- Masle J, G Doussinault, B Sun. 1989. Response of wheat genotypes to temperature and photoperiod in natural conditions. *Crop Sci.* 29:712-721.
- Moges M., Raun W., Mullen, R. Freeman K., Johnson G., Solie J. 2004. Evaluation of Green, Red, and Near Infrared Bands for Predicting Winter Wheat Biomass, Nitrogen Uptake, and Final Grain Yield. *J. of Plant Nutr.* 27 (8): 1431-1441.
- Muriado, J., Velez, J. P., Salvatierra, P., Scaramuzza, F., & Villarroel, D. 2016. Evaluación de la predicción de rendimiento realizada con “calculadora de la dosis de nitrógeno basada en sensores” en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.). Córdoba, Argentina. UNVM.
- Ortiz-Monasterio, I. and W. Raun. 2007. Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *J. Agric. Sci.* 145: 215-222.
- Pask, AJD., Pietragalla, J., Mullan, DM., Chávez-Dulanto PN. y Reynolds, MP. (Eds.). 2013. *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo*. México, D.F.: CIMMYT.
- Peña B, RJ., Hernández E, N., Pérez H, P., Villaseñor M, E., Gómez V, M. M., Mendoza L, M. A. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Cielo otoño-invierno 2006-2007. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO, Tajín No. 567 Col. Vertiz Narvarte, Delegación Benito Juárez C.P. 03600 México, D.F. 28p.
- Peñaherrera, D. 2011. Manejo Integrado de los Cultivos Trigo y Cebada. Módulos de Capacitación para Capacitadores. Módulo III. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Quito-Ecuador. 48 pag.

- Ramírez, M. J. A. 2004. Evaluación de líneas elite de Trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo régimen restringido de humedad en la región de Navidad, N. L. 2003. Tesis de Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 55 pág.
- Raun, W. R., J. B. Solie, G. V. Johnson, M. L. Stone, R. W. Mullen, K. W. Freeman, W. E. Thomason, and E. V. Lukina. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agron. J.* 94:815-820.
- Raun, W. R., J. B. Solie, M. L. Stone, K. L. Martin, K. W. Freeman, R. W. Mullen, H. Zhang, J. S. Schepers, and G. V. Johnson. 2005. Optical sensor based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis.* 36: 2759-2781.
- Remache, P. C. J. 2012. Caracterización morfoagronómica de 24 accesiones de trigo duro (*Triticum turgidum* L.(Thell) *durum*) en la localidad de Laguacoto III, canton Guaranda, provincia Bolívar. Tesis de Licenciatura. Guaranda, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agronómica. 108 pag.
- Reynolds M.P., Pask A.J.D., Mullan D.M. y Chávez-Dulanto P.N. (Eds.). 2013 Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. México, D.F.: CIMMYT.
- Robles, R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5ta ed. Limusa. México D.F. – México. pp. 207 – 238.
- Rudorff, B.F.T y Batista, G. T. 1990. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. *Remote Sensing Environ.* 31:53-63.
- Salas N. D. 2016. Características generales del Trigo Blando y Trigo Duro y para que se utiliza. Monografía. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 47 pag.
- Santillano-Cázares, J; López-López, Á; Ortiz-Monasterio, I; Raun, W. R. 2013. Uso de sensores ópticos para la fertilización de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Terra Latinoamericana*, . 95-103.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Se incrementa producción de trigo "Hecho en México" 14.6 en 2016. México. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/zacatecas/boletines/Paginas/2017B102M.aspx>
- Solís M. E.; Díaz L T, J. G; . 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *Terra Latinoamericana*, octubre-diciembre, 375-383.
- Solís M. E; Hernández M, M; Borodanenko, A; Aguilar A, J. L; Grajeda C, Ó. A;. 2004.. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, octubre-diciembre, 323-332.
- Urdiano, B. P. 2002. Evaluación de rendimiento y sus componentes de Trigo Harinero (*Triticum aestivum* L.) de líneas elite, Zaragoza Coahuila. Tesis de licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 61 pag.
- Vadillo V, J. 1989. "La Calidad de los Trigos". Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Secretaría General de Estructura Agraria. Madrid, España. 24p.
- Valenzuela, S. A. 2011. Efecto de la dosis de nitrógeno, época de siembra y riegos sobre las características agronómicas y fisicoquímicas de Trigo (*Triticum aestivum*) variedad Kronstad, en el Sur de Sonora. Tesis de Maestría en Ciencias. Hermosillo, Sonora. Universidad de Sonora. 71 pág.
- Wiegand, C.L. y Richardson, A. J. 1990. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield. II. Results. *Agron. J.* 82:630-636.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.