

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación Del Rendimiento De Forraje De Trigos Harineros A Través De Dos Muestras En Zaragoza, Coahuila

Por:

**JAIME OLIVERIO VERGARA LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación Del Rendimiento De Forraje De Trigos Harineros A Través De Dos  
Muestras En Zaragoza, Coahuila

Por:

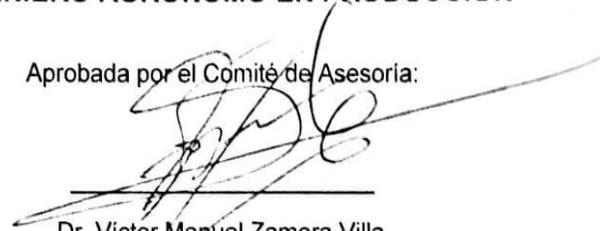
**JAIME OLIVERIO VERGARA LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

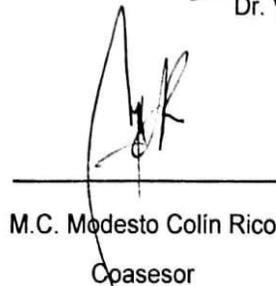
**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

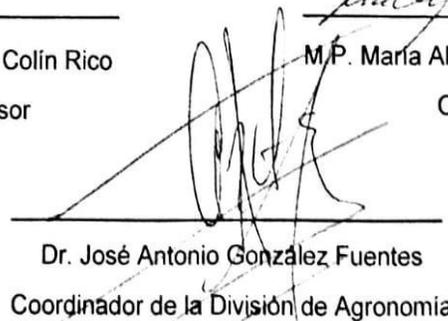
Asesor Principal



M.C. Modesto Colín Rico  
Coasesor



M.P. María Alejandra Torres Tapia  
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2021

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, por brindarme su protección durante la estancia dentro de la Universidad desde principio a fin, por darme fuerza y fortaleza para salir de los obstáculos que se presentan, por permitirme lograr una etapa más de mi formación académica y cumplir uno de mis sueños y de mi familia.

### **A mis padres.**

**María Elena López Pimentel y Rutilo Vergara Nopala** por su apoyo incondicional aun no estando a mi lado, por no dejarme caer en los momentos difíciles y ayudarme a encontrar siempre una salida en situación adversa, por guiarme y aconsejarme siempre para tomar un buen camino.

### **A mi abuela.**

**Marta Nopala Méndez** por acompañarme en todo el transcurso de mi vida brindándome sus cuidados, cariño, amor y no abandonarme en mis errores y siempre brindarme su ayuda, por darme ánimos en momentos difíciles por siempre estar a mi lado cuando lo he necesitado.

### **A mis hermanas.**

**Johana Vergara López y Angelica Vergara López** por escuchar mis problemas y aconsejarme en cada momento y apoyarme en todas las maneras posibles.

**A la UAAAN**, mi querida **ALMA TERRA MATER** quien desde el momento en que llegué me brindó un hogar, alimentos y una nueva familia.

**Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa** por brindarme la oportunidad de poder trabajar en uno de sus proyectos y guiarme de la mejor manera transmitiéndome los conocimientos necesarios para poder lograr el objetivo, por su tiempo requerido para realizar este trabajo y por ser un muy buen maestro de experimentación agrícola.

**A mis maestros** quienes me guiaron dentro de sus cursos académicos y me apoyaron en todas las dificultades, en particular al **Dr. José Espinoza Velázquez, Ing. Raúl**

**Gándara Huitrón, Ing. Alfonso Burciaga Vera (padrino de generación)**, por brindar su apoyo y amistad fuera de las aulas.

**A mis compañeros de dormitorio:** Elver Pérez, Alfonso Zavala (**Ponchin**), Carlos bravo (**Chamy**), Hipólito Vázquez, Carlos Castañeda (**Charly**), José Pedraza (**Chamaco**), Joshe Leyte, Miguel Ángel García, Armando Victoria, Marcos, Pablo, quienes desde que llegamos al dormitorio paraíso en especial el cuarto tres nos brindamos apoyo mutuo y juntos con el paso del tiempo formamos una familia con la que compartimos sueños, metas cumplidas y por cumplir, buenos y malos momentos.

**Compañeros amigos** Ángel Miguel (**Nopala**), Antonio Domínguez (**Toni**), Erik Manuel Díaz, Jesús Aguilar, Felipe de Jesús (**Jantes**), Emilio Aguirre, Francisco Riquelme (**Paisa oso**), Juan Carlos García, Rafael San Luis, Filadelfo Curiel, Armando García, Marlon Vergara, Gerardo, Jesús Galindo, por el haber compartido momentos inolvidables donde se convivió, se provocaron risas, cantos, bailes, pero sobre todo por estar en momentos difíciles del estudio donde brindaron ayuda y motivación.

## **Dedicatoria**

### **A Dios, a mi abuela y padres**

Quienes fueron las personas que depositaron su confianza en mí y que a pesar de mis caídas no dudaron de mí y continuaron con su apoyo incondicional, quienes me han dado cariño, protección, amor y motivación. Dándome de esta manera las herramientas para poder realizar una meta más, mi carrera profesional con la que podré enfrentar esta nueva etapa que se presenta en mi vida. Les estoy muy agradecidos por compartir conmigo triunfos, fracasos, tristezas y alegrías.

## RESUMEN

La producción de forraje para el sustento del ganado ha ido en aumento en los últimos años, donde algunos de los programas de mejoramiento se han enfocado en la búsqueda de nuevos genotipos que tengan mayor rendimiento y buena calidad, principalmente en cereales de grano pequeño como trigo, avena, cebada y triticale. Anudado a ello, el uso de nuevas tecnologías de evaluación como son los sensores infrarrojos, pudieran ser una buena herramienta de apoyo al mejorador en la selección de materiales genéticos. Por ello, el presente trabajo de investigación se estableció en el municipio de Zaragoza, Coahuila, México, con el objetivo de evaluar la producción de forraje verde y seco de 27 genotipos de trigo harinero sin aristas y tres materiales comerciales utilizados como testigos a través de dos muestreos después de la siembra. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, temperatura de dosél, índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), cobertura, etapa fenológica, forraje verde y forraje seco. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, realizando dos muestreos de forraje, el primero a los 90 días después de la siembra y el segundo a los 105 días después de la siembra. Los datos se analizaron como parcelas divididas, considerando como parcela grande los muestreos y parcela chica los genotipos. Los resultados mostraron que ambos muestreos para la mayoría de variables hubo diferencias altamente significativas, excepto en la variable de temperatura de dosel. Entre los genotipos no existió diferencia significativa en la temperatura de dosel y el NDVI, pero si existió una alta diferencia significativa en altura de planta, cobertura, etapa fenológica, forraje verde y forraje seco. La cebada var. Gabyan95 presentó los mayores valores de rendimientos en forraje verde y seco, seguidos de manera inmediata por sus rendimientos, los genotipos experimentales de trigos 23 (AN-263-13), 26 (AN-197-13), 20 (AN-282-13), 5 (AN-246-13), que a su vez resultaron superiores al testigo avena var. Cuauhtémoc, por tal motivo, pudieran representar una opción en la producción de forraje. Cabe señalar, que los genotipos de trigo 19 (AN-407-13) y 4 (AN-409-13) exhibieron mayor precocidad, superando a los testigos comerciales, lo cual se considera una variable de interés para escapar de altas temperaturas terminales en la producción de forraje que pudiese imponer el cambio climático en esta región del estado de Coahuila. Asimismo, los genotipos de

trigo harinero sin arista 25 (AN-220-13) y 26 (AN-197-13) mostraron un NDVI estadísticamente igual a los testigos utilizados a través de los días de muestreo del estudio, por lo que se recomienda que, en estudios futuros se realicen un número mayor de muestreos con la finalidad de identificar los posibles beneficios en mantener altos valores del índice de verdor en el forraje en etapas fenológicas avanzadas. Finalmente, en los genotipos de trigo y las otras especies evaluadas tuvieron una relación positiva y significativa entre la producción de forraje seco y los atributos de la planta como lo fue altura, cobertura y precocidad (ETAPA), así como en la cantidad de forraje verde cosechado al momento del muestreo.

Palabras claves: correlaciones, forraje verde, forraje seco, NDVI, trigos harineros.

# INDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
Objetivo.....	3
Hipótesis .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
Origen del trigo .....	4
Tabla 2.1 Clasificación taxonómica.....	5
Morfología de la planta de trigo .....	6
Raíces .....	6
Tallo.....	7
Hojas .....	7
Inflorescencia .....	8
Fruto .....	8
Composición química del trigo y otros cereales.....	8
Producción nacional de trigo.....	9
Producción mundial de trigo .....	10
Hábito .....	10
Importancia del trigo .....	11
Uso del trigo en la producción de forraje .....	12
Requerimientos edáficos y climáticos .....	12
Labranza.....	13
Labranza de Conservación .....	13
La fecha de siembra .....	13
Fertilización en el cultivo de trigo .....	14
Riegos.....	14
Etapas fenológicas.....	15
Enfermedades en el cultivo de trigo.....	17
Plagas en el cultivo de trigo .....	18
NDVI .....	20
Temperatura de dosel de la planta .....	21
Correlaciones entre variables de trigo forrajero .....	22

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
Material genético .....	24
Localización y descripción del sitio experimental.....	24
Preparación del terreno y siembra .....	25
Fertilización .....	25
Riegos .....	25
Tiempos de muestreo .....	25
Variables evaluadas.....	26
Altura de planta (ALT).....	26
Cobertura de follaje (COB) .....	26
Etapa fenológica de la planta (ETAPA) .....	26
Forraje verde de trigo (FVT) .....	26
Forraje seco de trigo (FST).....	26
Temperatura de dosel (TEMP) .....	27
Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) .....	27
Diseño experimental .....	27
Análisis estadístico .....	27
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
Altura de planta.....	29
Temperatura de dosel.....	31
Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	33
Cobertura de follaje.....	35
Etapa fenológica .....	37
Forraje Verde de Trigo (FVT).....	39
Forraje Seco de Trigo (FST) .....	41
Correlaciones entre variables .....	43
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1.</b> Composición química del trigo (%). .....	9
<b>Cuadro 2.2.</b> Top 10 en volumen de producción, principales entidades. ....	9
<b>Cuadro 2.3</b> Los estados de crecimiento del trigo según la escala de Zadok. ....	15
<b>Cuadro 3.1.</b> Material genético evaluado. ....	24
<b>Cuadro 4.1</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable altura de planta. .....	29
<b>Cuadro 4.2</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable altura de planta. ....	30
<b>Cuadro 4.3</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de temperatura de dosel. ....	31
<b>Cuadro 4.4</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable temperatura de dosel. ....	32
<b>Cuadro 4.5</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). ....	33
<b>Cuadro 4.6</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). ....	34
<b>Cuadro 4.7</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de cobertura de follaje. ....	35
<b>Cuadro 4.8</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable cobertura de follaje. ....	36
<b>Cuadro 4.9</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de etapa fenológica. ....	37

<b>Cuadro 4.10</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable etapa fenológica. ....	38
<b>Cuadro 4.11</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de Forraje Verde de Trigo (FVT). ....	39
<b>Cuadro 4.12</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable Forraje Verde de Trigo (FVT). ....	40
<b>Cuadro 4.13</b> Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable Forraje Seco de Trigo (FST). ....	41
<b>Cuadro 4.14</b> Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable Forraje Seco de Trigo (FST). ....	42
<b>Cuadro 4.15</b> Correlaciones entre variables a través de muestreos. ....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Clasificación taxonómica. ....	.5
---	----

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) son de gran importancia a nivel mundial, porque son una opción para reducir la pobreza rural (Mc Dermott *et al.*, 2010) por la producción y venta de leche, además de ser una alternativa importante para el desarrollo de las comunidades rurales (Espinoza *et al.*, 2007).

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala, la adopción de estrategias y prácticas de adaptación en la alimentación de sus hatos, que permitan prepararse y hacer frente a los efectos del cambio climático están encaminadas a la búsqueda de desarrollos tecnológicos como cultivos y nuevas variedades de forrajes de ciclos de crecimiento más cortos y por lo tanto, adaptadas a regímenes de lluvia de menor precipitación o temporales erráticos, así como en el manejo y conservación de agua y suelo; generando con ello una gama de opciones de adaptación que ayuden a hacer frente a los efectos del cambio climático y aseguren la sostenibilidad de los SPLPE.

Los cereales de grano pequeño (avena, cebada, centeno, trigo y el híbrido intergenérico triticale) se caracterizan por su ciclo corto de crecimiento, por lo que cumplen con estas premisas (INECC, 2007).

En los últimos años el uso de cereales se ha ampliado, usándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado (Hughes *et al.*, 1974; Colín *et al.*, 2007) y se les ha clasificado como un recurso forrajero de buena calidad (Hart *et al.*, 1971; Juskiw *et al.*, 2000), incluso cuando se consideran sus fracciones por separado (Zamora *et al.*, 2016), existiendo trigos con producción similar a la avena.

Los cereales invernales son una alternativa sostenible para la producción ganadera, de acuerdo al eficiente uso del agua a pesar de la frecuencia de heladas por el cambio climático, siendo el trigo el que posee una mayor tolerancia al frío hasta -23°C. esta especie, presentan características que la hacen útil para forraje, al producir altos rendimientos y ser ricos en proteínas, vitaminas e hidratos de carbono (Cherney y

Marten, 1982; Cash *et al.*, 2004). En la actualidad se requieren genotipos aptos y con altos rendimientos de materia seca, y el trigo es considerado una buena opción.

La utilización del trigo para producir forraje y grano en explotaciones agrícola-ganadera se incrementa al ocupar un lugar importante en la cadena forrajera por producir buena calidad y cantidad de forraje a lo largo del ciclo del cultivo, y al ser de fácil implementación con buen comportamiento ante el frío y buena reacción al pastoreo (Bainotti *et al.*, 2004).

La evaluación de la producción de biomasa generalmente es destructiva, ya que se debe cortar una porción de la parcela para su evaluación y la muestra puede ser dividida en porciones más pequeñas. Actualmente, existen técnicas en la evaluación de los cultivos bajo el principio de no destrucción de la planta, se basan en el uso del espectro infrarrojo entre los que se encuentra el sistema cercano al infrarrojo (NIRS por sus siglas en inglés), se usa en determinaciones de calidad de forraje, y su principal ventaja es el bajo costo por muestra, ya que no se requieren reactivos químicos ni material de vidrio para la evaluación. Y debido a que es una técnica no destructiva la hace ideal para trabajar en lotes de producción de todo tipo y volumen, además de contribuir en la conservación del medio ambiente al no generar residuos contaminantes en la evaluación del cultivo (Garrido *et al.*, 1996).

Bajo este principio no destructivo y de espectro infrarrojo se tienen disponibles tecnologías como la del GreenSeeker, diseñado para medir el “verdor” de los vegetales y que está relacionado directamente con el status nutricional de la planta (Zhang *et al.*, 1998; Serrano *et al.*, 2000; Rydberg y Söderström, 2000; Kemerer, 2003; Lopes y Reynolds, 2012); los termómetros infrarrojos, los cuales miden de manera directa la temperatura del dosel del cultivo; y el SPAD entre otros modelos de sensor infrarrojo, que pueden llegar a determinar el contenido de clorofila de la planta en campo, sin alterar o perturbar la morfología de las hojas del cultivo (Torres *et al.*, 2019).

Dentro de un esquema de producción de un cultivo puede existir una asociación entre las variables medidas con los sensores infrarrojos y las variables agronómicas, evidencia que puede ser alcanzada mediante un análisis de correlación lineal al detectar el grado y sentido de la asociación tipo lineal existente entre un conjunto de

variables. El interés principal es medir la asociación entre dos variables aleatorias cualesquiera, sin necesidad de distinguir variables dependientes e independientes (Di Rienzo *et al.*, 2005), pero que pueden permitir la realización de la selección indirecta hacia la característica de valor económico o de mayor interés.

### **Objetivo**

Evaluar la producción de forraje verde y seco de 27 genotipos de trigo harinero sin aristas más tres testigos comerciales, en dos muestreos, considerando variables medidas con infrarrojo.

### **Hipótesis**

Existen genotipos de trigo que igualan o superan la producción de forraje de la avena. Existe relación de variables medidas con el infrarrojo y la producción de forraje.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del trigo

El trigo es cultivado desde el comienzo de la agricultura. No se conoce con precisión dónde y cuándo se originó, tal y como lo conocemos hoy. Algunos estudios indican que el trigo es originario de Mesopotamia, mientras que otros afirman que las especies del género *Triticum* han tenido su centro de diferenciación en Turquía, Afganistán y La India. Otras investigaciones más recientes sostienen que el trigo tuvo su origen en la zona comprendida entre Asia Menor y Afganistán. En definitiva, en alguno de estos lugares de clima similar, el hombre primitivo se encontró por primera vez con el trigo silvestre, recolectándose quizás antes de 15.000-10.000 años AC. Los trigos recolectados fueron probablemente *Triticum monococcum* o *Triticum dicoccum* (López, 1991).

Se dice que el trigo llegó a México en la época de la conquista, a través de embarcaciones españolas, pero la historia lo documenta de otra manera. Como los viajes del viejo mundo a América eran largos, las provisiones se consumían y se terminaban antes de llegar a su destino. Nadie se preocupaba por guardar semillas para que fueran sembradas en México. Por eso fue un poco tardía la llegada del trigo a nuestro país. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gomorra, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés fue el primero en sembrar y cosechar el primer trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Solo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España (CANIMLOT, 2005).

Ya para 1534, a escasos 13 años de consolidar la conquista, se levantaban importantes cosechas de trigo en las inmediaciones de Texcoco y Puebla. Los jesuitas hicieron que el trigo llegara a la parte norte del país en donde enseñaron a los nativos a cultivarlo. Con la expulsión de estos religiosos, los franciscanos siguieron la labor del cultivo en toda la región. El cultivo del trigo, así como su transformación en harina y pan en la Nueva España, fue una necesidad imperiosa de los conquistadores, para

satisfacer aquí viejas costumbres en su alimentación. También tuvieron la tarea de enseñar a los autóctonos la molienda y la elaboración del pan (CANIMLOT, 2005).

El origen genético del trigo es de gran interés, pues constituye un ejemplo clásico de cómo puede combinarse en la naturaleza en una serie poliploide de especies íntimamente relacionadas entre sí. Las especies de *Triticum* y sus parientes más cercanos se dividen en grupos diploides, tetraploides y hexaploides, con número cromosómico de  $2n=14$ , 28 y 42 respectivamente (Bewley y Black, 1978).

Las especies pertenecientes a los grupos de los tetraploides se han originado aparentemente de las combinaciones entre dos especies diploides, *Triticum* y *monococum* (AA) y *Aegilops speltoides* (BB) o parientes próximos de estas especies. esta cruce dio origen a los Emmer tetraploides con la fórmula genómica AABB (Bewley y Black, 1978).

Los trigos hexaploides se originaron como anfiploides, entre los Emmer tetraploides (AABB) y *Aegilops squarrosa* (DD), se ha sintetizado un trigo hexaploide semejante, (AABBDD) que forman híbridos fértiles (Bewley y Black, 1978).

**Tabla 2.1 Clasificación taxonómica**

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Monocotiledónea
Grupo	Glumiflora
Orden	Graminales
Familia	Poaceas
Tribu	Triticeae
Subtribu	Triticineae
Genero	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Aestivum</i>

(Villareal, 2000)

## **Morfología de la planta de trigo**

### **Raíces**

La planta del trigo posee dos conjuntos de raíces: las seminales que pertenecen al embrión o son producidas por raíces adventicias (corona), que se originan posteriormente a partir de los nudos basales de las plantas y se transforman en el sistema radicular permanente (Lersten,1987).

Las seminales son típicamente cinco raíces, la radícula y dos pares laterales, ocasionalmente se presentan seis. Las raíces seminales son delgadas, uniformes en el diámetro y con finas ramificaciones laterales. Ellas componen una pequeña parte del sistema radicular total, permanecen en funcionamiento a través de la vida de la planta de trigo, a menos que sean destruidas por enfermedades u otras causas. Se ha encontrado en varias oportunidades, que condiciones adversas de crecimiento impiden o retardan el desarrollo de las raíces adventicias, dejando las raíces seminales como único o predominante sistema radicular. De cada nudo de la corona generalmente se forman dos o más raíces adventicias; cada eje secundario o macollo produce un sistema adventicio de raíces como tallo principal, excepto que normalmente sea una raíz en lugar de un nudo. Normalmente, las raíces en condiciones favorables penetran en suelo a una profundidad de 60 a 90 cm. Los trigos de invierno se enraízan más profundamente y el grado de ramificación depende del tipo de humedad, aeración y fertilidad del suelo (López, 1991).

Cuando el trigo es sembrado cerca de la superficie, la corona se forma a corta distancia por encima de la semilla. Si la siembra es profunda, la corona se forma también cerca de la superficie de la elongación del segundo entrenudo; puede ser menor de 2.5 cm de largo o exceder los 10 cm. Un segundo entrenudo no es más que el coleóptilo y la primera hoja.

En estados muy tempranos de crecimiento, la planta deriva nutrientes del endospermo. Cuando las raíces seminales se vuelvan funcionales, agua y nutrientes provienen del suelo circulante. Las raíces adventicias comienzan su desarrollo alrededor de dos semanas después de la emergencia de la planta. La emergencia y elongación de las

raíces adventicias es bastante lenta, las ramificaciones de variedades de maduración tardía llegan a la espigazón con un 90 % del sistema radicular, mientras que las precoces alcanzan solo alrededor del 40 % (Evans, 1983; INTA, 1995).

## **Tallo**

Como en toda planta de la familia de las gramíneas, el tallo es una caña formada de nudos y entrenudos. El nudo es una porción maciza y pequeña donde se encuentran las yemas que dan origen a las hojas, así como también a los macollos. El entrenudo es mucho más largo que el nudo y es hueco en la mayoría de los trigos. La altura total del tallo oscila según las variedades entre un mínimo de 0.30 m a un máximo de 1.70 m. La altura final de una planta de trigo depende de la constitución genética y también de las condiciones ambientales, pero por lo general, la altura del tallo oscila entre los 0.80 y 1.30 m (INTA, 1995).

Los macollos nacen de las yemas que se encuentran en los nudos basales del tallo principal. Si se trata de ramificaciones laterales, rápidamente se curvan tornando hacia la posición vertical. A su vez, cada macollo que nace del tallo principal puede dar lugar a la formación de nuevos macollos y estos también pueden originar macollos, de manera que en la misma planta existen macollos nacidos del tallo principal o de tallos secundarios, terciarios, etc. La cantidad depende de la variedad, pues las hay muy macolladoras y poco macolladoras (Evans, 1983).

## **Hojas**

En cada nudo nace una hoja que se compone de vaina y limbo o lamina, entre estas dos partes existe una parte que recibe el nombre de cuello de cuyas partes laterales salen unas prolongaciones que se llaman aurículas entre la separación del limbo y el tallo o caña, existe una parte membranosa que recibe el nombre de lígula. La hoja tiene una longitud que varía entre 15 y 25 cm y de 0.5 a 1 cm de ancho, el número de hojas varia de 4 a 6 cm, excepto los nudos que están debajo de suelo que en lugar de hoja produce brotes o macollos (Robles, 1990).

## **Inflorescencia**

Es una espiga compuesta de un tallo central de entrenudos cortos, llamado raquis, en cada uno de cuyos nudos se asienta una espiguilla, protegida por dos brácteas más o menos coriáceas o glumas, a ambos lados. Cada espiguilla presenta nueve flores, de las cuales aborta la mayor parte, quedando dos, tres, cuatro y a veces hasta seis flores (Ruiz, 1981).

## **Fruto**

El fruto empieza a desarrollarse después de la polinización, alcanzando su tamaño normal entre 30 y 45 días. El fruto es un grano o cariósipide de forma ovoide con una ranura o pliegue en la parte central, en un extremo lleva el germen y el otro tiene una pubescencia que generalmente se llama brocha. El grano está protegido por el pericarpio en color rojo o blanco según la variedad, el resto que es la mayor parte del grano está formado por el endospermo, los granos de tipo almidonoso se usan, para la extracción de harina para pan y los tipos cristalinos se utilizan, para la fabricación de pasta y macarrones (Robles, 1990).

## **Composición química del trigo y otros cereales**

Los cereales presentan características que los hacen especialmente útiles para forraje, ya que producen altos rendimientos y son ricos en proteínas, vitaminas e hidratos de carbono, (Cherney y Marten, 1982; Cash *et al.*, 2004).

La evaluación de calidad forrajera reporta que, en cebada, avena, trigo y triticale, no hubo diferencia en contenido de proteína entre especies, encontrándose un promedio de 35 por ciento en las primeras etapas de desarrollo y 7% a la mitad del espigamiento (Castro, 1976).

La etapa de madurez a la cosecha tiene el mayor efecto sobre el rendimiento de biomasa y la calidad de los cereales, el rendimiento se incrementa y la calidad declina conforme el cultivo madura, aunque en cereales la calidad puede mantenerse o

mejorar cuando ocurre el desarrollo del grano (Cherney y Marten, 1982; Bergen *et al.*, 1991; Khorasani *et al.*, 1997 y González, 2007).

Moreno (2001), reporta algunos parámetros de la composición química del trigo (Cuadro 2.1) resaltando su contenido de carbohidratos y proteína.

**Cuadro 2.1. Composición química del trigo (%)**

Proteína	12.5
Grasa	2.2
materiales minerales	1.9
fibra bruta	2.8
carbohidratos solubles	78.6

(Moreno *et al.* 2001)

### Producción nacional de trigo

A pesar de que los siniestros se incrementaron 4.5 veces respecto al 2018, en 2019 este cereal tuvo un comportamiento positivo, aumentando su producción en 10.2% tal como se aprecia en el Cuadro 2.2, resultado obtenido por el incremento de 10.1 y 8.3% en su superficie sembrada y cosechada (Panorama Agroalimentario, 2020).

**Cuadro 2.2. Top 10 en volumen de producción, principales entidades.**

Posición	Entidad federativa	Volumen (toneladas)	Variación en (%) 2018/19
	Total, nacional	3,244,062	10.2
1	Sonora	1,787,175	23.3
2	Guanajuato	362,280	-2.2
3	Baja California	269,396	-4.9
4	Sinaloa	203,647	-15.7
5	Michoacán	186,420	-18.6
6	Jalisco	138,243	-0.6
7	Chihuahua	80,935	95.8
8	Tlaxcala	62,586	16.3
9	Nuevo León	50,370	23.3
10	Coahuila	23,418	24.4
	Resto	79,591	4.9

Panorama Agroalimentario, 2020

## **Producción mundial de trigo**

El aporte mexicano al total mundial de trigo refiere cuatro de cada mil toneladas cosechadas. Las naciones productoras del cereal conjuntan cerca de 750 millones de toneladas por año, China tiene el mayor aporte con 134 millones, México ocupa el lugar 31 con 3,244,062 toneladas de trigo (Panorama Agroalimentario, 2020).

## **Hábito**

El trigo (*Triticum aestivum* L.) tiene un amplio rango de adaptación, crece y se desarrolla en ambientes muy diversos y puede sembrarse tanto en invierno como en primavera, lo que ha permitido que se extienda a muchas partes del mundo, actualmente ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción mundial: trigo, arroz, maíz y cebada (Martin, 1990)

Los trigos evolucionaron en dos grandes complejos germoplásmicos: los trigos de hábito invernal y los de hábito primaveral; un tercer complejo más pequeño son los trigos facultativos. Los términos trigo de invierno y trigo primaveral tienen un significado más amplio que el que se refiere sólo al ciclo de crecimiento, durante el cual se desarrolla el cultivo (INTA, 1995).

Los de hábito invernal se siembran en otoño; usualmente, las plántulas emergen y amacollan antes del invierno, entonces pasan por un tiempo de inactividad durante el período de frío. Las plantas reanudan su crecimiento rápido en primavera y maduran en verano después de un período total de nueve a 11 meses. Los trigos de hábito invernal requieren de un período de vernalización por lo menos durante una semana a temperaturas de 1 a 5°C antes que pueda cambiar de fase vegetativa a la fase reproductiva, la cual incluye el embuche, espigamiento, floración y formación de semillas (Hanson, 1982)

El crecimiento activo de las variedades de trigo de invierno coincide con la disponibilidad favorable de la humedad en esas áreas el otoño y la primavera. Aún más, los trigos de invierno tienden a crecer antes de la llegada de los vientos calientes

y secos del verano, que son características del clima de las regiones continentales (Evans, 1983).

Los trigos de primavera tienen un ciclo de crecimiento continuo generalmente de tres a seis meses; sin un período de inactividad, pueden sobrevivir a temperaturas bajas sostenidas. En las regiones donde se presenta el invierno severo, estos trigos se siembran en primavera después de la última helada. En otras áreas especialmente aquellas con clima mediterráneo se siembra en otoño y crece durante el invierno con temperaturas moderadas (INTA, 1995).

Los trigos facultativos son intermedios en lo que se refiere a la tolerancia al frío de invierno y primavera. Sin embargo, son diferentes a los trigos de invierno, ya que no requieren de la vernalización para producir semillas (INTA, 1995).

### **Importancia del trigo**

En México existen diferentes instituciones de investigación donde se llevan a cabo programas de mejoramiento genético para obtener nuevos genotipos con alto rendimiento; lo cual implica consumo de tiempo y un alto costo. Por esto, los fitomejoradores buscan nuevas metodologías para evaluar múltiples genotipos en corto tiempo con técnicas fisiológicas modernas (Jackson, 2001).

Los parámetros fisiológicos dentro de los programas de mejoramiento genético pueden ayudar a entender los mecanismos involucrados en el rendimiento final (Slafer *et al.*, 1994).

A nivel mundial es el cereal más utilizado en la alimentación humana, por su alto valor energético, además contiene más proteínas que el maíz y el arroz. Tienen características de procesamiento únicas en los cereales, siendo los más utilizados como materia prima para elaborar una diversidad de alimentos procesados (FAO, 2005).

También se usa en la dieta animal en forma de forraje, aporta vitaminas y tiene la característica de producir alimento concentrado en poco tiempo (Peña *et al.*, 2008)

## **Uso del trigo en la producción de forraje**

La utilización del trigo para producir forraje y grano en explotaciones agrícola-ganadera incrementa al ocupar un lugar importante en la cadena forrajera por producir buena calidad y cantidad de forraje a lo largo del ciclo del cultivo, y al ser de fácil implementación con buen comportamiento ante el frío y buena reacción al pastoreo (Bainotti *et al.*, 2004).

En Argentina el trigo era de doble propósito al ser utilizada para producción de grano y forraje. Durante los años ´70 disminuyó el uso de trigo para forraje incrementando los destinados a grano. A partir del año 2000 se introdujeron genotipos de trigo de alto rendimiento que podrían adaptarse para doble propósito. Soportando uno o más cortes para uso forrajero y luego regenerar parcialmente su área verde para obtener cosecha de grano (Peralta *et al.*, 2011).

## **Requerimientos edáficos y climáticos**

Requiere suelos profundos de por lo menos 20 cm de profundidad, con pH entre 7 y 8.5 y de textura arcillosa. Se cultiva en zonas templadas, la temperatura adecuada para su crecimiento y desarrollo varía entre 15 y 31 °C y la óptima depende de la etapa de desarrollo y de la variedad. Puede prosperar con 600 a 800 mm de lluvia. En cuanto a la altitud, posee un amplio rango de adaptación (SIAP, 2019).

La temperatura máxima para la germinación de la semilla del cultivo de trigo debe estar entre 0°C - 32°C. Cuando la temperatura de la superficie del suelo aumenta hasta los 45°C la semilla no tiene una buena germinación (Tandon, 1984).

Las temperaturas altas reducen la humedad relativa y el microclima del cultivo, al incrementar la temperatura provoca una alta cantidad de producción de fotosintatos en la etapa de desarrollo del cultivo de trigo y se obtiene un mejor rendimiento (Rawson y Klatt, 1988).

## **Labranza**

La labranza es una acción o cualquier manipulación mecánica al suelo con el fin de mantenerlo en condiciones óptimas para la germinación y el desarrollo de los cultivos (Hernández, 1991; Gavande, 1982 y Sampat, 1972).

Las prácticas de labranza permiten modificar en forma favorable las condiciones físicas del suelo para una buena cama de siembra, provocando una mayor infiltración y almacenamiento del agua en el suelo, además facilita el desarrollo de los cultivos (Laredo, 1987).

### **Labranza de Conservación**

La labranza de conservación, es una práctica muy importante para la agricultura que consiste en la conservación de suelo y agua, para el mejoramiento de las propiedades del suelo, reduce la erosión valores cercanos a cero por ciento, comparándolo con el sistema convencional usando más del 30 % de residuos vegetales en la superficie como una cobertura o mantillo. con la menor remoción posible del suelo además de la adecuada preparación del terreno para la siembra, incluye la destrucción de malas hierbas, incrementa el contenido de humedad, mejora la estructura, contenido de materia orgánica, permite buena germinación, establecimiento del cultivo, sostiene rendimientos, retornos económicos aceptables por periodos largos, propicia la infiltración del agua y reduce la evaporación (SARH, 1991).

### **La fecha de siembra**

La fecha de siembra es el factor que mayor incidencia tiene en el rendimiento de forraje y de grano del cultivo. Para obtener un mayor rendimiento de forraje de las variedades de trigos debemos adelantar su siembra respecto a la indicada para producir grano. Ese adelanto reduce el rendimiento de grano mientras aumenta el de forraje, con el consiguiente más prolongado período de pastoreo (Arzadun *et al.* 2006).

El cambio de grano por forraje que acompaña el adelantamiento de la fecha de siembra ocurre en todas las variedades, pero la tendencia puede mostrar aptitudes diferentes para el uso como doble propósito. Así, la caída en rendimiento de grano es, en algunas de ellas proporcionalmente mayor al incremento en forraje, en otras es similar y en otras es menor, estas últimas serían las más convenientes para su uso como doble propósito. El riesgo de un encañado otoñal asociado a algunas variedades es un factor a ser tomado en cuenta y puede desaconsejar su siembra temprana. En algunos casos, este encañado puede conducir a la pérdida de muchos macollos y plantas decayendo el rendimiento de forraje y haciendo imposible la posterior cosecha. En el cultivo de trigo son comunes también encañados parciales que alcanzan a ser controlados por el pastoreo y generan efectos menos perjudiciales. Una adecuada caracterización del comportamiento de las distintas variedades en cada región y fecha nos permite evitar este riesgo (Arzadun *et al.* 2001).

### **Fertilización en el cultivo de trigo**

Los nutrientes representan factores de producción fundamentales para todos los cultivos. Es frecuente que, como ocurre con otros factores de producción como el agua, etc. estos se encuentren en cantidades insuficientes en el suelo para alcanzar determinado nivel de producción (Pedrol y Malaspina, 1994).

Para que el trigo pueda crecer y desarrollarse necesita la presencia de 15 elementos químicos esenciales: nueve de ellos son asimilables en grandes cantidades (C, H, O, N, Mg, P, K, Ca, S), los otros seis son utilizados en pequeñas cantidades (Fe, B, Zn, Co, Mn, Mo) (Iglesias y Pérez, 1995).

### **Riegos**

La cantidad de agua depende directamente de la evaporación y de la etapa de desarrollo del cultivo. Para el cultivo de trigo se usa el sistema de riego por inundación, aunque en algunos casos se usa riego por aspersión (Parsons, 1983).

La nutrición adecuada es el factor principal para un uso eficiente y conservación del recurso agua claro está que si tenemos mayor humedad en la zona de raíces afectará la absorción de nutrientes y como consecuencia se tendrá un bajo rendimiento. No siempre es así, pero si está comprobado que existe falta de oxígeno en las fases radiculares del cultivo (Rex *et al.*1987).

### Etapas fenológicas

La etapa fenológica es un factor importante al momento de corte, ya que define la cantidad y calidad de la materia seca. Estudios han demostrado que en cereales el momento adecuado de corte es entre grano lechoso y grano pastoso (Gallardo, 2010). En este último estado el contenido de materia seca es suficientemente alto entre un 35 y 40% (Kuttel *et al.*, 2017).

La Escala de Zadoks es la más utilizada para describir los estados morfológicos externos en trigo. Divide el ciclo del cultivo en 10 estados principales y, dentro de ellos, en 10 estados secundarios como se muestra en el Cuadro 2.3 (Zadoks *et al.*, 1974).

**Cuadro 2.3 Los estados de crecimiento del trigo según la escala de Zadoks *et al.*, 1974**

Escala	Descripción general	Observaciones
Germinación		
0	Semilla seca	
1	Comienzo de imbibición	
3	Fin de imbibición	
5	Radícula emergida del grano	
7	Coleóptilo emergido del grano	
9	Hoja en ápice del coleóptilo	
Crecimiento de la plántula		
10	1 hoja fuera coleóptilo	2ª hoja visible 1 <cm
11	1 hoja desarrollada	
12	2 hojas desarrolladas	
13	3 hojas desarrolladas	
14	4 hojas desarrolladas	
15	5 hojas desarrolladas	50% de la lámina
16	6 hojas desarrolladas	
17	7 hojas desarrolladas	
18	8 hojas desarrolladas	
19	9 o más hojas desarrolladas	
Macollaje		
20	Tallo principal solo	Doble cresta
21	Tallo principal y 1 macollo	Inicio floración
22	Tallo principal y 2 macollos	
23	Tallo principal y 3 macollos	

24	Tallo principal y 4 macollos	
25	Tallo principal y 5 macollos	
26	Tallo principal y 6 macollos	
27	Tallo principal y 7 macollos	
28	Tallo principal y 8 macollos	
29	Tallo principal y 9 o más macollos	
Alargamiento del tallo (encañazón)		
30	Inicio de nudos (tallo erecto)	
31	1er nudo palpable	Espiga terminal
32	2do nudo palpable	
33	3er nudo palpable	
34	4to nudo palpable	
35	5to nudo palpable	
36	6to nudo palpable	
37	Comienzo de la hoja bandera	
39	Lígula de hoja bandera visible	Meiosis
Espiga em buchada		
41	Alargamiento vaina hoja bandera	
43	Comienzo de hinchazón de la vaina	
45	Espiga embuchada (bota)	
47	Apertura vaina hoja bandera	
49	Aurículas (barbas) visibles	
Emergencia de inflorescencia		
51	Primera espiguilla visible	
53	1/4 espiga emergida	Espigazón
55	1/2 espiga emergida	
57	3/4 espiga emergida	
59	Espiga emergida de vaina	
Antesis (floración)		
61	Comienzo de antesis	
65	50 % de antesis	
69	Completa floración	
Grano lechoso		
71	Endosperma acuoso	
73	Endosperma acuo -lechoso	
75	Endosperma lechoso	
77	Endosperma lechoso -pastoso	
Grano pastoso (masoso)		
83	Endosperma pastoso-lechoso	
85	Endosperma pastoso	
87	Endosperma pastoso- harinoso	
Madurez		
91	Cariopse casi duro	
92	Cariopse duro	Cosecha
93	Cariopse se separa en las horas del día	Cosecha
94	Pérdida de granos	Algunas variedades
95	Dormancia	Algunas variedades
96	Prueba de 50 % germinación	Algunas variedades
97	Semilla sin dormancia	Algunas variedades
98	Dormancia secundaria	Algunas variedades
99	Semillas viables	

Nota: El número de hojas, macollos, nudos y sub estados de grano lechoso, pastoso, madurez y dormancia varían con el genotipo, latitud, altitud, clima y manejo.

## Enfermedades en el cultivo de trigo

### Roya de la hoja *Puccinia recondita*

Las infecciones tempranas graves pueden provocar una disminución significativa del rendimiento, principalmente al reducir el número de granos por espiga, los pesos hectolitricos y la calidad de los granos.

### Roya del tallo (roya negra) *Puccinia graminis*

Cuando se produce la infección durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo, los efectos pueden ser graves: disminución del macollamiento y pérdida del peso y calidad de los granos. Si las condiciones favorecen el desarrollo de la enfermedad, se puede llegar a la pérdida total del cultivo.

### Roya lineal (roya amarilla) *Puccinia striiformis*

Las infecciones graves pueden causar una disminución del rendimiento, principalmente al reducir el número de granos por espiga, los pesos hectolítricos y la calidad de los granos.

### Carbón volador (carbón desnudo) *Ustilago tritici*

La disminución del rendimiento depende del número de espigas afectadas por la enfermedad; la incidencia es generalmente inferior al 1% y rara vez supera el 30% de las espigas en un sitio determinado.

### Carbones comunes y causantes de enanismo (carbón apestoso) *Tilletia caries*

Se pueden producir pérdidas considerables del rendimiento cuando se cultivan variedades sensibles o no se emplean tratamientos químicos para las semillas.

### Mildiú polvoriento *Erysiphe graminis*

Esta enfermedad puede provocar una considerable disminución del rendimiento cuando se produce la infección en las primeras etapas del ciclo de cultivo y las condiciones son favorables para su desarrollo, de tal modo que se llega a un alto grado de infección antes de la formación de las espigas.

Tizón foliar *Septoria spp*

Cuando la infección se produce en un período temprano del ciclo del cultivo y las condiciones continúan siendo propicias para el desarrollo de la enfermedad, es posible que se llegue a la defoliación completa; en ese caso habrá una reducción considerable del rendimiento y los granos estarán muy arrugados.

Mancha bronceada (mancha amarilla de la hoja) *Pyrenophora trichostoma*

Cuando es grave la infección, puede causar la muerte prematura de las hojas y, por consiguiente, reducir el rendimiento al disminuir el peso hectolitrico y arrugarse los granos. La mancha bronceada ha adquirido mayor importancia con la creciente tendencia a emplear métodos de labranza mínima o no labrar la tierra, dejando restos de cultivos en el suelo.

Alternaria *Alternaria tritícina*

Las manchas foliares causadas por Alternaria pueden tener consecuencias graves si las condiciones ambientales son propicias para el desarrollo de la enfermedad; cuando se cultivan variedades susceptibles, se pueden producir pérdidas considerables.

Mildiú veloso *Sclerophthora macrospora*

Se producen epifitias pequeñas y localizadas cuando las condiciones son favorables. No se han comunicado epifitias muy difundidas y destructoras (CIMMYT, 1977).

### **Plagas en el cultivo de trigo**

Áfidos (*Rhopalosiphum padi*, *Schizaphis graminum*, *R. maidis*, *Metopoliphium dirhodum*, *Sitobion avenae*, *Diuraphis noxia*).

Los áfidos son una plaga importante y muy difundida que azota a los cereales. Un número suficiente de insectos puede causar daños considerables cuando se alimenta. Además, las especies mencionadas arriba pueden actuar como vectores del virus del enanismo amarillo de la cebada.

Escarabajo de la hoja de los cereales (*Oulema melanopa*)

Pueden producirse pérdidas considerables del rendimiento en el trigo de invierno y en el trigo de primavera sembrado en el otoño. Ha habido disminuciones del rendimiento que fluctuaron entre el 14% y más del 25%, como consecuencia de infestaciones naturales.

#### Trips (*Haplothrips tritici*)

Los trips rara vez causan un daño grave y es poco frecuente encontrar infestaciones de un grado tal que justifique medidas para combatirlos.

#### Gusano del tallo del trigo (*Meromyza americana*)

En los campos infestados puede resultar dañado del 10 al 15% de las plantas. Las consecuencias pueden ser graves algunos años, pero el insecto rara vez causa daño muy difundido. Sin embargo, una infestación intensa de plantíos individuales de trigo puede provocar la muerte de una parte considerable de los macollos.

#### Gallinas ciegas (*Phyllophaga spp*)

Cuando no se destruyen por completo las raíces, las plantas pueden sobrevivir, pero sufren enanismo y no producen espigas. Sin embargo, el ataque comúnmente no es uniforme.

#### Gusanos de alambre (*Agriotes spp*)

Los gusanos de alambre se cuentan entre los insectos más nocivos que infestan el suelo. El daño es generalmente más grave cuando se siembra el trigo después de que el campo ha estado en barbecho, o después de haberlo dedicado a la pastura durante unos años.

#### Saltamontes *Sphenarium purpurascens*

Estos insectos comúnmente se distribuyen en forma localizada, pero pueden causar mucho daño en plantíos aislados de trigo (CIMMYT, 1977).

## Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

Los índices espectrales como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI, en inglés: Normalized Difference Vegetation Index) se relacionan con variables agronómicas como biomasa, índice de área foliar, cobertura y rendimiento de los cultivos, por lo tanto, resultan útiles para evaluar indirectamente la condición del cultivo (Wanjura y Harfield, 1987; Thenkabail *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 1998; Serrano *et al.*, 2000; Rydberg y Söderström, 2000; Kemmerer, 2003).

El índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) es el más utilizado porque cuantifica la salud de la vegetación midiendo la diferencia entre el infrarrojo cercano (fuertemente reflejado) y la luz roja (absorbido). Este índice se calcula a partir de mediciones de detección remota en las bandas visibles e infrarrojas como:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Donde NIR es la reflectancia superficial en la región infrarroja cercana y Red es la reflectancia superficial en la región roja visible del espectro electromagnético. La NDVI de una zona vegetada tiende hacia valores positivos, mientras que el agua y las áreas urbanas están representadas por valores casi nulos o negativos (Braun y Herold, 2004).

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se ha utilizado ampliamente para cuantificar la vegetación midiendo la diferencia entre el infrarrojo cercano (NIR) y la luz roja. La medición del NDVI a lo largo de una temporada de crecimiento ayuda a evaluar el efecto de los cambios fenológicos y morfológicos continuos en el rendimiento de grano (Sushil *et al.* 2019).

El GreenSeeker (green = verde y seeker = buscador) es un instrumento que provee un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de condiciones nutricionales (especialmente de nitrógeno), el estado fisiológico, la incidencia de estrés, y el rendimiento potencial de los cultivos. Este índice se denomina “normalizado” porque produce valores en el rango del 1 y -1. El NDVI permite integrar y analizar mediciones de luz del rojo y rojo lejano realizadas con sensores remotos o próximos a las plantas, e identificar la

presencia de vegetación verde y viva con base en su reflexión en los ámbitos de frecuencia de la luz correspondientes en ambos colores (Gutiérrez *et al.* 2011).

### **Temperatura de dosel de la planta**

La temperatura del dosel de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie de factores físicos, fisiológicos y climáticos, que la alteran y modifican de diferente manera y proporción. Entre ellos se encuentran, la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación, la evapotranspiración, el tipo de superficie (propiedades térmicas, rugosidad), las propiedades conductoras de la atmósfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo (Houspanossian *et al.*, 2007).

Las alteraciones inducidas por las altas temperaturas en las plantas pueden ser directas, sobre algún proceso fisiológico como la respiración, la estabilidad de las membranas y la aceleración del desarrollo; o indirectas, a través de sus efectos sobre la demanda evaporativa del aire y el balance de energía de las hojas, y sus consecuencias sobre los estomas, el intercambio gaseoso y las relaciones planta-ambiente. Estos procesos están enlazados por la continuidad del agua a lo largo del sistema suelo-planta-atmósfera (Wahid *et al.*, 2007).

La temperatura de las plantas está física y funcionalmente conectada con el ambiente a través del balance de energía de las hojas y los doseles. Según la morfología de las especies de plantas (altura, tamaño, orientación y color de las hojas) y su disposición en el campo (setos, hileras, doseles continuos), la temperatura de estas puede desacoplarse considerablemente de la temperatura del aire circundante (hasta 10 °C), debido principalmente al dinamismo de la capa límite (“boundary-layer”). Este acoplamiento está regulado en gran medida por el control relativo de la transpiración ejercido a través de respuestas fisiológicas, como el cierre estomático, y efectos ambientales, como la capa límite, cuyo grosor es modificado constantemente por el viento y el movimiento de las hojas y los doseles (Wahid *et al.*, 2007).

El efecto refrescante de la transpiración es crucial durante el estrés por calor, pero este se encuentra a menudo comprometido por los efectos antagónicos que la temperatura tiene sobre la demanda evaporativa de la atmósfera (aumentándola) y sobre la conductancia estomática (disminuyéndola). Frecuentemente, bajo estrés térmico los estomas responden directamente a los aumentos en la transpiración y tienden a cerrarse, lo que reduce la disipación de la radiación en forma de calor latente (evaporación), pero aumenta el flujo de calor sensible (temperatura), en un círculo vicioso. En términos prácticos, el estatus hídrico de las plantas es una de las variables más afectadas cuando se dan altas temperaturas (Wahid *et al.*, 2007).

### **Correlaciones entre variables de trigo forrajero**

Ramírez (2020) reporta que, para establecer relaciones entre pares de variables realizó correlaciones a través de ambientes, las cuales mostraron que el forraje seco total fue la variable que más se asoció con otras, ya que mantuvo asociación positiva y significativa con forraje seco de tallo, forraje seco de hoja y altura, explicando que dichas fracciones tuvieron un mayor aporte a la producción de materia seca, junto con la altura de planta. El forraje seco de hojas además exhibió una relación positiva y significativa con la cobertura. El NDVI se correlacionó significativa y positivamente con cobertura, pero negativamente con etapa fenológica, lo cual indica que la mayor etapa fenológica del cultivo se relaciona con menor índice de verdor. El contenido de clorofila y temperatura del dosel no se asociaron significativamente con ninguna otra variable.

La correlación entre el NDVI y el rendimiento de grano se determinó mediante el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ( $r$ ). El método de agrupamiento de k-medias se utilizó para clasificar el NDVI medio y el rendimiento medio de grano en tres clases. Se informó la precisión general entre NDVI y clases de rendimiento. Los hallazgos de este estudio muestran que, en condiciones de tierras secas, existe una correlación confiable entre el rendimiento de grano y el NDVI en la temporada de crecimiento temprano, en la etapa de crecimiento de anthesis y la etapa de crecimiento de llenado de grano medio, así como una asociación pobre bajo condiciones de regadío. Nuestros resultados sugieren que cuando el sensor no está

saturado, es decir,  $NDVI < 0,9$ , NDVI podría evaluar el rendimiento de grano con bastante precisión. Este estudio demostró el potencial de utilizar las lecturas del NDVI como herramienta para diferenciar e identificar genotipos de trigo superiores (Mohammed *et al.* 2020).

En la evaluación de materiales de cebada imberbes, no se detectó una asociación positiva entre el NDVI y la producción de forraje seco a través de los muestreos realizados en las localidades utilizadas (Torres *et al.* 2019).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Material genético

Se estudiaron 27 líneas de trigo harinero sin aristas desarrolladas por el programa de Cereales de Grano Pequeño de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), así como tres variedades de otras especies de grano pequeño: avena var Cuauhtémoc, cebada var Gabyan95 y triticale var Eronga 83, los cuales fueron considerados como los testigos e identificados en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Material genético evaluado**

Identificación	Material genético	Identificación	Material genético
1	AN-229-09	16	AN-231-13
2	AN-7-09	17	AN-193-13
3	AN-241-13	18	AN-69-15
4	AN-409-13	19	AN-407-13
5	AN-246-13	20	AN-282-13
6	AN-310-13	21	AN-347-13
7	AN-268-99	22	AN-240-13
8	AN-217-09	23	AN-263-13
9	AN-263-99	24	AN-271-13
10	AN-228-09	25	AN-220-13
11	AN-220-09	26	AN-197-13
12	AN-244-09	27	AN-228-13
13	AN-236-99	28	Avena var Cuauhtémoc
14	AN-48-09	29	Cebada var Gabyan95
15	AN-49-09	30	Triticale var Eronga 83

#### Localización y descripción del sitio experimental

El estudio se estableció en el campo experimental “Zaragoza” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en el municipio de Zaragoza, Coahuila situado geográficamente entre las coordenadas 28° 28' 31" Latitud Norte y 100° 55' 10" Longitud Oeste, a una altitud de 360m.s.n.m. con una temperatura media anual de 22°C y una precipitación de 300 a 400 mm.

## **Preparación del terreno y siembra**

Para la preparación del terreno se realizaron labores tradicionales para el establecimiento de cereales de grano pequeño bajo condiciones de riego, esto agrupa las labores de: barbecho, rastreo cruzado, nivelación y surcado. Se utilizó una densidad de siembra de 120 kg/ha y se realizó de forma manual a “chorrillo” depositando la semilla en el fondo del surco o hilera.

Por cada genotipo, se establecieron tres parcelas experimentales (repeticiones), con una dimensión de 6.3 m<sup>2</sup> (6 hileras de 3 m de longitud por 0.35 m de separación entre hileras), considerando el tamaño de parcela útil de 0.175 m<sup>2</sup>, para las evaluaciones.

### **Fertilización**

Se aplicó la fórmula de fertilización de 120-80-00, aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno al momento de la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio.

### **Riegos**

Se aplicaron cuatro riegos durante el ciclo incluyendo el de siembra con lamina de 40cm.

## **Tiempos de muestreo**

En el estudio se realizaron dos muestreos, uno a los 90 días después de la siembra (dds) cuando la media de la etapa fenológica se encontraba en emisión de la espiga, y un segundo muestreo a los 105 dds, cuando la media de la etapa fenológica se encontraba en grano masoso. En cada muestreo se realizaron dos actividades por parcela, una la evaluación directa de las plantas y una segunda haciendo un corte de plantas de 50 cm lineal a una altura de 5 cm sobre la superficie del suelo de una de las hileras con competencia completa dentro de la parcela.

## **Variables evaluadas**

En la evaluación de los genotipos se consideraron las variables agronómicas: altura de planta, cobertura de follaje, forraje verde y forraje seco; así como las variables emitidas por la tecnología infrarroja: temperatura de dosel y el índice de vegetación diferencial normalizado. A continuación, se describen cada una de ellas.

### **Altura de planta (ALT)**

Se realizó la medición dentro de la parcela útil, utilizando la unidad de medida de centímetros (cm), se midió desde la superficie del suelo hasta la altura más generalizada de extremo superior de la planta, para el primer muestreo sin considerar el largo de las hojas y para el segundo muestreo la altura más generalizada de la espiga sin tomar en cuenta las aristas cuando fue el caso.

### **Cobertura de follaje (COB)**

Para la evaluación de esta variable, se asignó una calificación del 1-100 porciento a través de una apreciación visual de acuerdo con la ocupación del follaje del genotipo con respecto a el área de suelo de cada parcela experimental.

### **Etapa fenológica de la planta (ETAPA)**

Se registró en base a la escala de Zadoks *et al.*, (1974) en la cual se encontraba el 50% o más de las plantas de cada parcela al momento de los muestreos, esto con la finalidad de poder comparar la precocidad de los genotipos con los testigos.

### **Forraje verde de trigo (FVT)**

Una vez realizado el corte de cada muestreo, se realizó el pesaje de cada una de las muestras con ayuda de una báscula digital, registrando el peso en gramos, y posteriormente se transformaron los datos a  $t\ ha^{-1}$ .

### **Forraje seco de trigo (FST)**

Las muestras se secaron en un asoleadero techado y posteriormente se realizó el pesaje de las mismas con la ayuda de una báscula digital, el peso se registró en gramos, transformándose a  $t\ ha^{-1}$ .

### **Temperatura de dosel (TEMP)**

Se utilizó un termómetro infrarrojo IP-54, de la marca Fluke con mira laser, con precisión  $\pm$  de 0.01 °C, se tomó la lectura a mitad de la parcela experimental dirigiendo el disparo al centro.

### **Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)**

Poco después de tomar la lectura de temperatura en la parcela de cada genotipo, se realizó la lectura con un sensor portátil de marca GreenSeeker™, emitiendo un rayo de luz infrarroja en la parte superior y media de la parcela experimental, una vez realizado el disparo se registraron las lecturas expresadas de 0.00 a 0.99 en las configuraciones electrónicas.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones

### **Análisis estadístico**

Los datos de ambos muestreos se analizaron como parcelas divididas, considerando como parcela grande los muestreos y como parcela chica los genotipos, de acuerdo con el siguiente modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + RM_{ji} + G_k + MG_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ = variable observada

$M$ = efecto de la media general del experimento

$M_i$ = efecto del  $i$ -ésimo muestreo

$RM_{ji}$ = error de parcela grande

$G_k$ = efecto del k-ésimo genotipo

$MG_{ik}$ = interacción del i-ésimo muestreo con el k-ésimo genotipo

$E_{ijk}$ = error experimental

La comparación de medias se realizó con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad.

Adicionalmente se calcularon las correlaciones entre variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson al 0.05 de probabilidad.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables evaluadas, se describen los resultados a continuación:

### Altura de planta

El análisis de varianza (ANVA) indicó una alta significancia entre los muestreos, repeticiones dentro de muestreos, genotipos y en la interacción muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipo) tal como aparece en el Cuadro 4.1, sugiriendo que en los dos muestreos realizados se tuvieron diferentes alturas de planta, así también dentro de los genotipos, al menos uno se comportó con diferente altura con respecto al resto al considerar la media de los dos muestreos, y en el caso de la interacción, sugiere que los genotipos mostraron comportamientos diferentes en su altura de planta de un muestreo a otro. Esta diferencia de comportamiento entre materiales genéticos coincide con Ramírez (2020), que reportó diferencias altamente significativas entre trigos forrajeros sin arista evaluados en tres ambientes.

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable altura de planta.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Muestreo	1	41405.00**
Rep. (Muestreo)	4	162.92**
Genotipo	29	395.52**
Muestreo*Genotipo	29	102.99**
Error Experimental	116	33.03

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad).

En la comparación de medias para los muestreos de esta variable resultaron dos grupos de significancia (Cuadro 4.2), el grupo A conformado por el segundo muestreo y el grupo B donde se encontró el primer muestreo, este resultado confirmó las diferencias detectadas por el ANVA y probablemente se debió a que el segundo muestreo se realizó 15 días después del primero, tiempo en el que la planta continuó con su desarrollo incrementando su altura de forma significativa.

**Cuadro 4.2 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable altura de planta.**

Muestreo	Media
1	73.00 B
2	103.33 A
Genotipo	Media
29	103.33 A
5	100.83 A B
20	100.00 A B C
21	99.17 A B C
23	96.67 B C D
1	96.67 B C D
22	94.17 C D E
26	92.50 D E F
25	92.50 D E F
16	90.00 E F G
2	90.00 E F G
3	89.17 E F G
19	89.17 E F G
10	88.33 E F G
24	87.50 F G
6	87.50 F G
17	87.50 F G
7	87.67 F G
12	85.83 G H
11	85.83 G H
27	85.00 G H
9	85.00 G H
13	85.00 G H
4	84.17 G H
30	84.17 G H
8	80.00 H
18	80.00 H
15	80.00 H
14	73.33 I
28	65.00 J

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En cuanto a la prueba de comparación de medias entre los genotipos se formaron 10 grupos estadísticos, indicados en el mismo Cuadro 4.2, donde el grupo A estuvo conformado por 4 genotipos (29, 5, 20, y 21), siendo los de mayor altura de planta, encabezado por el genotipo 29 (cebada var Gabyan95) con una media de 103.33 cm y en segundo lugar el genotipo 5 (AN-246-13) con una media de 100.83 cm. El penúltimo lugar fue el grupo I formado por el genotipo 14 (AN-49-09) con media de 73.33 cm, y con la menor altura fue el grupo J, formado por el genotipo 28 (avena var Cuauhtémoc) con media de 65.00 cm; evidenciando que existen materiales de trigo harinero con mayor altura que la avena.

## Temperatura de dosel

El ANVA no detectó diferencias significativas entre muestreos, genotipos y la interacción muestreo por genotipo; pero si detectó significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre las repeticiones dentro de muestreos tal como lo muestra el Cuadro 4.3, esta significancia pudo deberse a las variaciones de la temperatura de dosel registrada por la diferente ubicación de cada parcela evaluada dentro del lote de la producción en la localidad, dado que el diseño utilizado contempla las repeticiones en orden numérico, de forma que probablemente la lectura de la primera repetición fue inferior a la de la segunda y tercera, mostrando un efecto debido al tiempo en que se realizó la lectura. Estos resultados coinciden con otro estudio similar donde Ramírez (2017), evaluó 26 genotipos de trigo duro con tres repeticiones, donde reportó que no existió diferencia significativa entre los genotipos.

**Cuadro 4.3 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de temperatura de dosel.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrados medios
Muestreo	1	0.13 <sup>NS</sup>
Rep. (Muestreo)	4	21.08 <sup>**</sup>
Genotipo	29	0.35 <sup>NS</sup>
Muestreo*Genotipo	29	0.23 <sup>NS</sup>
Error Experimental	116	0.25

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad), NS= no significativa.

La prueba de comparación de medias realizada para muestreos en esta variable formó un solo grupo A, en el cual se encontraron los dos muestreos (Cuadro 4.4), esto se presentó por que la temperatura dentro de la planta se mantuvo y no mostró diferencia significativa de un muestreo a otro, esto probablemente debido a que la capacidad de refrigeración de la planta se mantuvo intacta o que se mantuvo un buen estatus hídrico en la planta, ya que estos factores influyen en aumentar o disminuir la temperatura.

**Cuadro 4.4 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable temperatura de dosel.**

Muestreo	Media
1	22.04 A
2	22.10 A
Genotipo	Media
8	22.55 A
10	22.45 A B
11	22.42 A B
4	22.42 A B
28	22.38 A B C
29	22.37 A B C
30	22.28 A B C D
2	22.28 A B C D
7	22.25 A B C D E
1	22.15 A B C D E
18	22.15 A B C D E
24	22.15 A B C D E
19	22.13 A B C D E
13	22.07 A B C D E
9	22.03 A B C D E
14	22.02 A B C D E
27	22.00 A B C D E
3	21.98 A B C D E
20	21.95 B C D E
15	21.93 B C D E
6	21.90 B C D E
23	21.90 B C D E
12	21.88 B C D E
26	21.83 C D E
22	21.83 C D E
25	21.82 C D E
16	21.77 D E
21	21.77 D E
5	21.73 D E
17	21.70 E

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En la prueba de medias de los genotipos se formaron 5 grupos, indicados en el mismo Cuadro 4.4; teniendo en el grupo A a 18 genotipos (8, 10, 11, 4, 28, 29, 30, 2, 7, 1, 18, 24, 19, 24, 19, 13, 9, 14, 27 y 3) con las temperaturas más altas, registrando el genotipo 8 (AN-263-99) la mayor temperatura media de 22.55 °C y en segundo lugar el genotipo 10 (AN-228-09) con 22.45 °C: Así mismo, el penúltimo grupo D fue conformado por 23 genotipos (30, 2, 7, 1, 18, 24, 19, 24, 19, 13, 9, 14, 27, 3, 20, 15, 6, 23, 12, 26, 22, 25, 16, 21, 5 y 17), donde los primeros integrantes fueron el genotipo 30 (triticale Eronga

83) y el genotipo 2 (AN-7-09) con la misma media temperatura (22.28 °C), seguidos por el genotipo 7 (AN-268-99) con media de 22.25 °C. Sin embargo, el último grupo E, resultó con las temperaturas más bajas, conformado por 22 genotipos (7, 1, 18, 24, 19, 24, 19, 13, 9, 14, 27, 3, 20, 15, 6, 23, 12, 26, 22, 25, 16, 21, 5 y 17), siendo los genotipos 16, 21, 5 y 17 con los valores de temperatura más baja registradas en el estudio de 21.7 a 21.77°C.

### Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

Los resultados mostraron que, entre los muestreos, genotipos y en la interacción muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipo), hubo una alta significancia como lo muestra el Cuadro 4.5, lo que indica el efecto del tiempo de muestreo en la coloración del cultivo (normalmente tiende a decrecer conforme se avanza en la madurez del cultivo), así como las diferencias existentes dentro de los genotipos para este parámetro y que sin duda incidieron en la significancia encontrada en la interacción, misma que se puede interpretar, que los genotipos tuvieron diferentes comportamientos conforme avanzó su desarrollo de la planta, efecto que también se logró evidenciar en otro estudio donde se evaluaron diferentes etapas fenológicas en líneas progenies de cebada forrajera imberbe y se reportaron diferencias altamente significativas entre genotipos (Torres *et al.*, 2019).

**Cuadro 4.5 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Muestreo	1	1.334**
Rep. (Muestreo)	4	0.020**
Genotipo	29	0.005 <sup>NS</sup>
Muestreo*Genotipo	29	0.003 <sup>NS</sup>
Error Experimental	116	0.003

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad), NDVI= índice de vegetación de diferencia normalizada, NS= no significativa.

En la prueba de comparación entre los muestreos evaluados, se obtuvieron dos grupos, siendo el primer muestreo el grupo A y el segundo el grupo B (Cuadro 4.6); era de esperar que existiera esta respuesta debido a las diferencias detectadas por el ANVA, indicando que a una etapa temprana como fue en la emisión de espiga (primer muestreo) se tiene una mayor actividad fotosintética y acumulación de clorofila en la planta y emita mayor intensidad de verdor, mientras que a una etapa más madura en grano masoso (segundo muestreo) se esté degradando la cantidad de clorofila y llegue a disminuir esta intensidad (Lopes y Reynolds, 2012).

**Cuadro 4.6 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).**

Muestreo	Media
1	0.80 A
2	0.63 B
Genotipo	Media
25	0.77 A
26	0.76 A B
29	0.76 A B
28	0.76 A B
23	0.75 A B
20	0.75 A B
6	0.74 A B C
17	0.74 A B C
1	0.74 A B C
5	0.73 A B C D
24	0.73 A B C D
27	0.73 A B C D
18	0.72 A B C D
11	0.72 A B C D
9	0.72 A B C D
3	0.71 A B C D E
30	0.71 A B C D E
7	0.71 A B C D E
16	0.71 A B C D E
15	0.70 B C D E F
22	0.70 B C D E F
21	0.70 B C D E F
12	0.70 B C D E F
14	0.70 B C D E F
4	0.69 B C D E F
10	0.68 C D E F
13	0.68 C D E F
2	0.68 C D E F
8	0.66 E F
19	0.65 F

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En la prueba de medias de los genotipos que aparece en el mismo Cuadro 4.6, se formaron 6 grupos, donde el grupo A se conformo de 19 genotipos (25, 26, 29, 28, 23, 20, 6, 17, 1, 5, 24, 27, 18, 11, 9, 3, 30, 7 y 16), sobresaliendo el genotipo 25 (AN-220-13) con una media de 0.77, seguido por el genotipo 26 (AN-197-13) con 0.76. En el grupo E se encontraron 14 genotipos (3, 30, 7, 16, 15, 22, 21, 12, 14, 4, 10, 13, 2 y 8), donde el genotipo 3 (AN-241-13) registró una media de 0.71, mientras que en el grupo F se formo por 11 genotipos (15, 22, 21, 12, 14, 4, 10, 13, 2, 8 y 19) con valores de 0.65 a 0.70, donde el genotipo 19 que obtuvo el menor valor. Estos resultados coinciden con los reportados por Ramírez (2020), donde evaluó trigos forrajeros sin arista en tres localidades con valores entre 0.73 y 0.65 a una etapa fenológica similar a este estudio.

### Cobertura de follaje

En el análisis de varianza (ANVA) nos indicó que, entre muestreos, genotipos y la interacción de muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipo), hubo significancia ( $p \leq 0.01$ ) como lo muestra el Cuadro 4.7, con lo que se deduce que dentro de los genotipos por lo menos uno es diferente a los demás y que los muestreos son diferentes, lo mismo se reflejó en la interacción sugiriendo un comportamiento diferencial de los genotipos al pasar de un muestreo a otro. Estos resultados difieren en su significancia de los reportados por Zamora *et al.* (2016), quienes evaluaron 27 líneas avanzadas de trigo forrajero imberbe en el rancho Las Vegas municipio de Francisco I. Madero, Coahuila y reportaron solo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en esta fuente de variación.

**Cuadro 4.7 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de cobertura de follaje.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Muestreo	1	483.47**
Rep. (Muestreo)	4	83.19*
Genotipo	29	225.68**
Muestreo*Genotipo	29	123.41**
Error Experimental	116	31.33

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad), \*= significancia (5.0%).

En la prueba de medias para muestreos se formó el grupo A donde se incluye el primer muestreo con mayor cobertura y el grupo B con el segundo muestreo con la menor cobertura (Cuadro 4.8), este resultado confirmó la diferencia existente en el comportamiento entre los genotipos en los muestreos.

**Cuadro 4.8 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable cobertura de follaje.**

Muestreo	Media
1	74.22 A
2	70.94 B
Genotipo	Media
29	95.00 A
26	80.00 B
25	80.00 B
24	79.17 BC
16	78.33 BCD
20	77.50 BCDE
21	75.00 BCDEF
23	74.17 BCDEFG
5	74.17 BCDEFG
6	74.17 BCDEFG
17	73.33 CDEFGH
18	73.33 CDEFGH
19	72.50 DEFGHI
12	72.50 DEFGHI
27	72.50 DEFGHI
4	72.50 DEFGHI
3	71.68 EFGHIJ
22	71.68 EFGHIJ
15	70.83 FGHJK
30	70.00 FGHJKL
1	70.00 FGHJKL
28	69.17 FGHJKL
9	68.33 GHIJKL
11	67.50 HIJKL
2	66.67 IJKL
7	66.67 IJKL
14	65.83 JKL
13	65.83 JKL
8	65.00 KL
10	64.17 L

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En la prueba de medias de los genotipos que aparece en el mismo Cuadro 4.8, se formaron 12 grupos, donde el grupo A estuvo formado únicamente por el genotipo 29 (cebada var Gabyan95) con media de 95.00%, siendo la especie con mayor cobertura.

Mientras que en el grupo K, formado por 11 genotipos (15, 30, 1, 28, 9, 11, 2, 7, 14, 13 y 8) se encontraron la mayoría de los trigos harineros incluyendo al testigo 30 (triticale Eronga 83) con una rango de cobertura de 70.83 a 65.00%: Cabe señalar que el genotipo 1 (AN-229-09) y el testigo 30 tuvieron el mismo valor de 70.0%, donde junto con 11 genotipos (30, 1, 28, 9, 11, 2, 7, 14,13, 8 y 10) resultaron formar el último grupo L, donde el genotipo 10 (AN-228-09) presentó la menor cobertura de 64.17%.

### Etapa fenológica

El análisis de varianza (ANVA) indicó una alta diferencia significativa entre muestreos, genotipos y en la interacción muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipos) tal como se muestra el Cuadro 4.9, esto nos demostró que, dentro de los genotipos, por lo menos un genotipo está en diferente etapa fenológica a los demás, lo mismo pasa en los muestreos donde nos indicó que no estuvieron en la misma etapa fenológica de un muestreo al otro, lo cual se pudo notar de igual manera en la interacción.

#### **Cuadro 4.9 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de etapa fenológica.**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Muestreo	1	39190.76**
Rep. (Muestreo)	4	27.91*
Genotipo	29	169.33**
Muestreo*Genotipo	29	60.94**
Error Experimental	116	10.3

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad), \*= significancia (5.0 %).

En la comparación de medias para muestreo se obtuvieron dos grupos A y B (Cuadro 4.10), conformados por el segundo y primer muestreo sucesivamente, este resultado confirmó las diferencias detectadas por el ANVA y probablemente se debió a que en el primer muestreo la planta se encontraba en la etapa fenológica de emisión de la espiga (50.02) continuando con su desarrollo pasó a la etapa de grano masoso (79.53) al momento del segundo muestreo.

**Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable etapa fenológica.**

Muestreo	Media
2	79.53 A
1	50.02 B
Genotipo	Media
19	74.33 A
4	71.33 A B
6	70.17 B C
21	69.83 B C D
22	69.67 B C D
29	69.17 B C D E
23	68.33 B C D E F
18	67.67 B C D E F G
2	67.00 C D E F G H
10	66.67 C D E F G H
5	66.17 D E F G H I
24	65.83 E F G H I
20	65.83 E F G H I
26	65.83 E F G H I
3	65.17 F G H I J
15	64.83 F G H I J K
13	64.50 G H I J K
16	64.50 G H I J K
27	63.83 H I J K L
25	63.67 H I J K L
7	63.50 H I J K L
9	62.83 I J K L M
1	62.67 I J K L M
12	62.00 J K L M
17	61.67 J K L M
11	61.50 J K L M
14	61.33 K L M
8	60.67 L M
30	59.33 M
28	43.50 N

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En la prueba de medias de los genotipos que aparece en el mismo Cuadro 4.10, se formaron 14 grupos, donde el grupo A está formado por los genotipos 19 (AN-407-13) y 4 con medias de 74.33 y 71.33, respectivamente, y que se ubicaron como los genotipos más precoces; el penúltimo grupo que se formó, fue el grupo M con 8 genotipos (9, 1, 12, 17, 11, 14, 8, 30) donde el genotipo 9 (AN-263-99) con media de 62.83 inicia este grupo, el último grupo en esta variable fue el grupo N que estuvo formado por el testigo 28 (avena var. Cuauhtémoc) con media de 43.50, siendo el genotipo más tardío en este estudio. La precocidad de los materiales genéticos forrajeros es importante debido a que variedades de ciclo corto son opciones que nos

ayudan a ser frente a los efectos del cambio climático (INECC, 2007); y en este estudio se logro evidenciar que algunos materiales de la especie de trigo, en este caso forrajero y en otro estudio de tipo cristalino (Ramírez, 2017) pueden llegar a ser mas precoces que la avena.

### **Forraje Verde de Trigo (FVT)**

En el análisis de varianza (ANVA) demostró que muestreos y genotipos tuvieron una alta diferencia significativa tal como lo muestra el Cuadro 4.11, lo que indicó que hubo pesos diferentes dentro de los genotipos y entre los muestreos. En la interacción de muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipo) no hubo diferencia significativa.

**Cuadro 4.11 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable de Forraje Verde de Trigo (FVT).**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Muestreo	1	2689.87**
Rep. (Muestreo)	4	87.68*
Genotipo	29	159.18**
Muestreo*Genotipo	29	21.28 <sup>NS</sup>
Error Experimental	116	31.66

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01 de probabilidad), \*= diferencia significativa (0.05 de probabilidad), NS= no significativo.

En la comparación de medias para muestreos formó dos grupos, donde el grupo A contuvo el segundo muestreo y el grupo B donde se localiza el primer muestreo (Cuadro 4.12), este resultado confirmó las diferencias detectadas por el ANVA y probablemente se debió a que el trigo al ir madurando gana peso debido a que inicia el llenado de grano. Se puede notar que la etapa fenológica influyó en la producción de forraje verde ya que el primer muestreo se encontraba en emisión de espiga y el segundo en grano masoso, lapso en el que la planta continuó su desarrollo ganando peso.

**Cuadro 4.12 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable Forraje Verde de Trigo (FVT).**

Muestreo	Media
1	25.27 B
2	33.00 A
Genotipo	Media
29	52.59 A
5	32.76 B
20	32.47 B C
23	32.45 B C
26	32.34 B C D
11	31.88 B C D E
25	31.45 B C D E
12	30.50 B C D E F
9	30.30 B C D E F
1	29.77 B C D E F G
24	29.57 B C D E F G
21	29.23 B C D E F G
30	29.11 B C D E F G
17	29.08 B C D E F G
27	28.51 B C D E F G
7	27.80 B C D E F G
19	27.60 B C D E F G
3	27.42 B C D E F G
16	26.91 B C D E F G
22	26.79 B C D E F G
13	26.73 B C D E F G
15	26.69 B C D E F G
2	26.15 C D E F G
6	26.12 C D E F G
18	26.08 C D E F G
14	25.94 D E F G
28	25.77 E F G
8	24.49 F G
10	24.25 F G
4	23.40 G

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

En la prueba de medias de los genotipos que aparece en el mismo Cuadro 4.12, se formaron 7 grupos, donde el grupo A estuvo conformado por el genotipo 29 (cebada var Gabyan95) con media 52.59 t ha<sup>-1</sup>, el penúltimo grupo fue el F que se formó por 22 genotipos (12, 9, 1, 24, 21, 30, 17, 27, 7, 19, 3, 16, 22, 13, 15, 2, 6, 18, 14, 28, 8, 10) iniciando con el genotipo 12 (AN-244-09) con media de 30.50 t ha<sup>-1</sup> seguido con el genotipo 9 (AN-263-99) de media 30.30 t ha<sup>-1</sup>, el último grupo fue el G formado por 21 genotipos (26, 11, 25, 12, 9, 1, 24, 21, 30, 17, 27, 7, 19, 3, 16, 22, 13, 15, 2, 6, 18, 14, 28, 8, 10, 4) cuyo último integrante (el genotipo 4: AN-409-13) alcanzó una media de

23.40 t ha<sup>-1</sup>. Dentro de los genotipos se encuentran varios genotipos de trigo harinero que superan a la avena en producción de forraje verde, con lo que se confirma que hay genotipos que producen mayor forraje verde que la avena.

### Forraje Seco de Trigo (FST)

El ANVA demostró que muestreos y genotipos tuvieron una alta diferencia significativa como se puede observar en el Cuadro 4.13, lo que indicó que dentro de los genotipos por lo menos uno de ellos tuvo mayor peso y que los muestreos tuvieron pesos diferentes entre sí, en la interacción de muestreo por genotipo (Muestreo\*Genotipo) no hubo diferencia significativa lo que significa que los genotipos mostraron el mismo comportamiento dentro muestreos.

**Cuadro 4.13 Cuadrados medios y nivel de significancia en la variable Forraje Seco de Trigo (FST).**

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Cuadrado medio
Muestreo	1	853.94**
Rep. (Muestreo)	4	1.12 <sup>NS</sup>
Genotipo	29	6.29**
Muestreo*Genotipo	29	0.81 <sup>NS</sup>
Error Experimental	116	0.91

Rep.= repetición, \*\*= alta significancia (0.01de probabilidad), NS= no significativo.

La prueba de medias para muestreos formo dos grupos, el muestreo dos localizado en el grupo A y el muestreo uno en el grupo B (Cuadro 4.14), este resultado confirmó las diferencias detectadas en el ANVA y probablemente se debió a la acumulación de un muestreo a otro, al presentar casi un incremento al doble de peso seco de una etapa fenológica a otra en los genotipos, estando el segundo muestreo más próximo al llenado del grano, y esto trae como consecuencia que exista mayor acumulación de biomasa y por ende mayor peso, ya que una etapa dirigida hacia la cosecha se tendrá un mayor efecto de rendimiento de biomasa y calidad del grano como aseguran algunos autores (Cherney y Marten, 1982; Bergen *et al.*, 1991).

**Cuadro 4.14 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos y entre genotipos de la variable Forraje Seco de Trigo (FST).**

Muestreo	Media	
1	4.55	B
2	8.91	A
Genotipo	Media	
29	10.13	A
23	7.86	B
20	7.61	B C
26	7.50	B C D
5	7.35	B C D E
19	7.25	B C D E
22	7.22	B C D E F
21	7.21	B C D E F
24	7.20	B C D E F
1	7.06	B C D E F G
11	6.91	B C D E F G
9	6.90	B C D E F G
13	6.78	B C D E F G H
25	6.74	C D E F G H
17	6.70	C D E F G H
3	6.66	C D E F G H
12	6.65	C D E F G H
6	6.64	C D E F G H
2	6.63	C D E F G H
7	6.62	C D E F G H
27	6.45	D E F G H
10	6.37	E F G H
15	6.34	E F G H
14	6.13	F G H
4	6.10	G H
16	6.01	G H
18	5.97	G H
30	5.73	H
8	5.71	H
28	3.50	I

Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05 de probabilidad).

La prueba de medias de los genotipos que aparece en el mismo Cuadro 4.14, formó hasta nueve grupos de significancia, donde el grupo A que está conformado por el genotipo 29 (cebada, Gabyan95) con media 10.13 t ha<sup>-1</sup>, el penúltimo grupo fue el H formado por 17 genotipos (13, 25, 17, 3, 12, 6, 2, 7, 27, 10, 15, 14, 4, 16, 18, 30, 8) iniciando con el genotipo 13 (AN-236-99) con media de 6.78 t ha<sup>-1</sup>, el último grupo fue el I que se formó únicamente por el genotipo 28 (avena var Cuauhtémoc) con media

de 3.50 t ha<sup>-1</sup>, confirmando que todos los genotipos de trigo harinero poseen mayor rendimiento de forraje seco que la avena, coincidiendo con reportes donde se asienta este hecho.

La avena var Cuauhtémoc, probablemente se mostró en el último lugar debido a lo tardío de esta variedad en comparación con los trigos y cebada evaluados, ya que al realizar el corte del muestreo esta planta se encontraba en una etapa fenológica atrasada en comparación a los demás materiales, al encontrarse esta especie en una etapa más juvenil que el resto de los genotipos en el momento de los muestreos, es posible que también sea afectada la calidad nutritiva de la especie como lo han reportado en otros estudios (Zamora *et al.* 2016).

### **Correlaciones entre variables**

Los resultados de las relaciones entre pares de variables a través de muestreos se ilustran en el Cuadro 4.15, donde se observa que el forraje verde de trigo (FVT) tuvo relación significativa ( $p \leq 0.05$ ) y positiva con la altura de planta (ALT), con el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y la cobertura de follaje (COB). Esto indica que plantas altas, con buena cobertura del terreno y valores altos de NDVI proporcionarán mayores rendimientos de forraje verde.

Por su parte la variable de forraje seco (FST) está relacionada positiva y significativamente ( $p \leq 0.05$ ) con la altura de planta (ALT), la cobertura de follaje (COB), la etapa fenológica (ETAPA) y el forraje verde (FVT). Los atributos de la planta como altura, cobertura y precocidad (ETAPA) destacan como los asociados en la producción de forraje seco, que sin duda depende de la cantidad de forraje verde cosechado. Morant *et al.* (2010) coinciden al señalar que el rendimiento de forraje representa un atributo que depende de otras variables, tal como se ha establecido aquí.

La variable de altura (ALT) se relacionó significativa y negativamente con la temperatura de dosel (TEMP), resultado semejante a lo reportado por Ramírez (2020) y se asoció positivamente con las variables de cobertura de follaje (COB), etapa fenológica (ETAPA), forraje verde de trigo (FVT) y forraje seco de trigo (FST),

constituyéndose en la variable con mayor número de correlaciones significativas en este estudio.

La etapa fenológica (Etapa) se encontró asociada significativa ( $p \leq 0.05$ ) y positivamente con las variables de altura de planta (ALT) y forraje seco de trigo (FST).

El índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) se asoció con las variables de cobertura (COB) y forraje verde de trigo (FVT), por lo que deben tomarse con reserva aquellos reportes donde el NDVI se asocia con la producción de biomasa total, ya que en este estudio no se asoció significativamente con el forraje seco producido, solo con el FVT, el cual considera también el agua retenida en los tejidos de la planta. Coincidiendo con lo reportado por Ramírez (2020) donde el NDVI se relaciona significativa ( $p < 0.05$ ) y positivamente con cobertura, pero sin relación significativa con peso seco total.

**Cuadro 4.15 Correlaciones entre variables a través de muestreos.**

	ALT	TEMP	NDVI	COB	ETAPA	FVT	FST
ALT	1.00	-0.37*	0.23	0.56*	0.62*	0.58*	0.83*
TEMP		1.00	-0.33	-0.29	-0.22	-0.05	-0.22
NDVI			1.00	0.58*	-0.27	0.50*	0.20
COB				1.00	0.30	0.78*	0.63*
ETAPA					1.00	0.14	0.66*
FVT						1.00	0.78*
FST							1.00

ALT= altura de planta, TEMP= temperatura de dosel, NDVI= índice de vegetación diferencial normalizado, COB= cobertura de follaje, ETAPA= etapa fenológica, FVT= forraje verde de trigo, FST= forraje seco de trigo, \*= significativo al 0.05 de probabilidad.

## V. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos se concluye que:

La cebada Gabyan95 fue el genotipo más productivo ya que presentó los mayores rendimientos de forraje verde y seco, seguidos de manera inmediata por sus rendimientos, los genotipos experimentales de trigos 23 (AN-263-13), 26 (AN-197-13), 20 (AN-282-13), 5 (AN-246-13) obtuvieron rendimientos muy cercanos a ella y superiores a la avena, debido a lo cual representan una opción a considerar en la producción de forraje con esta especie.

Los genotipos 19 (AN-407-13) y 4 (AN-409-13) exhibieron mayor precocidad, superando a los testigos comerciales, lo cual se considera una variable de interés para escapar de altas temperaturas terminales en la producción de forraje que pudiese imponer el cambio climático en esta región de estado.

Los genotipos 25 (AN-220-13) y 26(AN-197-13) mostraron un NDVI estadísticamente igual a los testigos utilizados, por lo que se recomienda realizar mayores estudios del posible beneficio del mantenimiento de esta variable en etapas avanzadas.

La producción de forraje seco con los genotipos evaluados se relacionó con atributos de la planta como: altura, cobertura y precocidad (ETAPA), así como de la cantidad de forraje verde cosechado al momento del muestreo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Arzadun, M.J., Arroquy, J., Melin, A.Y., Laborde, H. 2001. Fecha de siembra y variedad en trigo doble propósito. I. Producción de forraje y grano. Vº Congreso Nacional de Trigo. IIIº Simposio Nac. de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Córdoba, noviembre de 2001:89-94.
- Arzadun, M.J., Arroquy, J.I., Laborde, H.E., Brevedan, R.E., 2006. Effect of planting date, clipping height, and cultivar on forage and grain yield of winter wheat in Argentinean Pampas, *Agronomy Journal* v 98: 1274-1279.
- Bainotti C., Gómez D., Masiero B., Salines J., Fraschina J., Bertram N., y Navarro C. 2004. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2004- 2005. Actualización 2005. Informe para Extensión N° 92. INTA EEA Marcos Juárez.
- Bergen, W. G., Byrem, T. M., Grant, A. L. 1991. Ensiling characteristic of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *J. Anim. Sci.* 69:1766-1774.
- Bewley J.D. y Black. M. 1978. *Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination.* Springer Verlag. N.Y. 297-304.
- Braun, M.; Herold, M. 2004. Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of aster date in the Cologne-Bonn region (Germany). In proceedings of the Proc. SPIE 5239, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III, Barcelona, España; pp. 274–284.
- CANIMOLT. Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. 2005. El trigo en México. <http://www.canimolt.org/trigo/el-trigo-en-mexico>, 20 de abril 2021.
- Cash, S. D.; Staber, L. M. M.; Wichman, D. M. and Hensleigh, P. F. 2004. Forage yield, quality and nitrate concentration of barley grown under irrigation. Montana State University. 4 p.

Castro, A. L. 1976. Rendimiento y calidad forrajera de cinco cereales evaluados en diferentes estados de desarrollo vegetativo. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 49-53.

Cherney, J. H., and Marten. G. C. 1982. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality and yield. *Crop. Sci.* 22:227-231.

CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo 1997. Plagas y enfermedades del trigo.

<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1110/13397.pdf>.

Consultado el 10 de marzo del 2021.

Colín R., M., Zamora V. V. M., Lozano D. R. A. J., Martínez Z. G, y Torres T. M. A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Técnica Pecuaria en México.* 45 (3): 249-262.

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Díaz, M., Robledo, C., W., Balzarini, Mónica G. 2005. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. Sexta edición, pp.197-198.

Espinoza O. A., Espinosa A., E., Bastida L. J., Castañeda M. T., Arriaga J. C.M. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on Tropical and Subtropical Agroecosystems, 20: 439 – 446.

Evans, L. 1983. *Fisiología de los cultivos*. Edit, Hemisferio Sur 113-150 p. Bs As Argentina.

FAO. 2005. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en línea: [www.fao.org/giews/](http://www.fao.org/giews/). Consulta realizada el 20 de abril 2021.

Gallardo M. 2010. Cereales de invierno: valor de los ensilajes de avena y cebada. Sitio Argentino de Producción Animal. Consulta realizada 15 de abril 2021.

Gambaudo, S. y Fontanetto, H. 1994. Fertilización nitrogenada, Boletín de información técnica. Serie trigo No 7. Intensificación del trigo en campaña 1994-1995 Centro Regional INTA-Santa Fe.

Garrido, A; Gomez, A., 1996. NIRS: Una tecnología de apoyo para un servicio integral en alimentación animal. En: XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid.

Gavande, A. 1982. Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Editorial Limusa, cuarta reimpresión S.A. México D.F. pág. 351.

González, C. I. 2007. Producción y calidad forrajera de líneas de cebada imberbe (*Hordeum vulgare L.*) en la Comarca Lagunera. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 82 p.

Gutiérrez, M., Cadet, E., Rodríguez, W. 2011. El Greenseeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. Agronomía Mesoamericana. Recuperado el 28 de septiembre de 2019 de [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v22n2\\_397.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v22n2_397.pdf).

Hanson, H. 1982. Trigo en el III mundo. CIMMYT-Westview Press, inc.

Hart, H. R., Carlson, G. E., and McCloud, D. E. 1971. Cumulative effects of cutting management of forage yields and tiller densities of tall fescue and orchard grass. Agron. J. 63 (4):895-898.

Hernández P.O.J. 1991. Efecto de arreglo topológico entre labranza en el comportamiento del cultivo de trigo de triticale (*X. triticosecale wittmaack*). Tesis de Licenciatura, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pag 100.

Houspanossian, J., Schirmbeck, J., Rivas, R., Vazquez, P. 2007. Relación entre la temperatura radiactiva de la vegetación y el contenido de agua en suelo hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Buenos aires, Argentina: Martín. P. 137.

Hughes, H. D., Health, M. E. y Metcalfe, D. S. 1974. Forrajes, Ed. CECSA, México. 343- 373.

Iglesias, L. A. y Pérez, N. 1995. El cultivo del trigo en condiciones tropicales y posibilidades para su siembra en Cuba. Cultivos Tropicales, vol. 16, no. 1, p. 52-61.

INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. El abc del cambio climático. Impactos y Acciones en México.

[http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia\\_social\\_ambito\\_regional\\_multilateral/agenda\\_internacional/agenda\\_y\\_temas\\_internacionales/cambio\\_climatico/presentaciones/cc\\_jul\\_ia\\_1.pdf](http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_jul_ia_1.pdf). México D.F. consultado 15 de abril 2021.

INTA. 1995. Curso de cultivo de trigo. E.E.A. Pergamino (INTA) Argentina. 3-4pp.

Jackson, P. A. 2001. Directions for physiological research for breeding: Issues from a breeding perspective. Reynolds, M. P; J. I. Ortiz-Monasterio y A. McNab (eds.) Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT. México, D.F. 11-16 p.

Juskiw, P. E., J. H. Helm., Salmon F.D. 2000. Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. Crop Sci. 40:138-147.

Kemerer, A.C. 2003. Utilización de imágenes satelitales en agricultura de precisión para delimitar zonas de manejo uniforme. Tesis de grado. Facultad de agronomía, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde.

Khorasani, G. R.; Bedel, P. E.; Helm, J. H. and Kennelly, J. J. 1997. Influence of stage of maturation on yield components and chemical composition of cereal grain silages. Can. J. Anim. Sci. 77:259-267.

Kuttel, W. D., Coll, L., Díaz, M. G. 2017. Producción invernal de reservas forrajeras: cebada, trigo, avena y colza. Serie Extensión INTA Paraná N° 81: 57-64.

Laredo, C. I. 1987. Comparación de 5 niveles de labranza y tres espaciamientos entre los surcos con respecto a la inversión, producción en maíz (*Zea mays L*) de temporal, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pag 53.

Lersten, N.R. 1987. Morphology of anatomy of the wheat plant. In: wheat and wheat improvement. Agronomy No 13. América Society of Agronomy Wisconsin 33-76.

López, L. B. 1991. Cultivo de herbáceos. vol. 1. Ediciones Mundi-Prensa, pag 93

Lopes, M and Reynolds M P. 2012. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. Journal of Experimental Botany. Vol. 63, No. 10, pp 3789-3798.

- Martín, A. 1990. En producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. D. F., México. 207-240 p.
- Mc Dermott, M. J., Stall, J, Freeman, A., Van de Steeg, A. 2010. Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. *Livestock Science*. 130: 95-109.
- Mohammed A.N., Raj., Louis L., Subash D. 2020. Using NDVI to Differentiate Wheat Genotypes Productivity Under Dryland and Irrigated Conditions. *Remote Sens*. 12(5): 824.
- Moreno, I., Ramírez, A., Plana, R., Iglesias, L. 2001. El cultivo del trigo. algunos resultados de su producción en cuba. *Cultivos Tropicales*. 22(4): 55-67.
- Panorama Agropecuario (2020). Trigo. Recuperado de <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>. Consultado el 05 de marzo del 2021.
- Parsons, D. 1983. Manual para educación Agropecuaria. 1ª Edición. Editorial Trillas, México, 54 pág.
- Pedrol, H. y Malaspina, A. 1995. Intensificación del trigo en campaña 1994. Fertilización. Boletín de información técnica. Centro Regional INTA Santa Fe. Serie trigo no. 8.
- Peña B. R. J., P. Pérez H., E. Villaseñor M., M. M. Gómez V. y M. A. Mendoza L. 2008. Calidad de la cosecha de trigo en México. Ciclo primavera-verano 2006. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. México, D.F. 28p.
- Peralta N., Abbate P. E. y Marino A. 2011. Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de grano en trigo doble propósito. *Agriscientia*. 28: 1-11.
- Ramírez, M, C., 2017. Asociación entre la temperatura de planta y el NDVI con los componentes de rendimientos de trigos duros, Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. P 58.

- Ramírez, P. L. O. 2020. Análisis de la interacción genotipo ambiente en forraje seco de trigos harineros sin aristas, Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 3-59pp.
- Rawson H. M, Klatt A. R 1988. Effect of temperature on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects. In: Wheat Production Contraints in Tropical Environments. México D.F. CIMMYT. 44-62pp.
- Rex K. T, Jackson E. B, Gebert J. R. 1987. Irrigated wheat production response to water and nitrogen fertilizer. College of agriculture. Agricultural Experiment Station the University of Arizona. pag 16.
- Robles, S.R. 1990. Producción de granos y forrajes. Quinta edición. Limusa. México. Pág. 267-284.
- Ruiz C. R., 1981. Cultivo del Trigo y la Cebada. Temas de Orientación Agropecuaria, Bogotá.
- Rydberg A. y M. Söderström. 2000. Potential crop growth assessment from remotely sensed images compared to ordinary yield maps, The 5th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, Minn. USA.
- Sampat A. G. 1972. Física de suelos. Principios y Aplicaciones. Limusa, pag 347.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de postgraduados. Chapingo, México, pag 600.
- Serrano L., Filella, I., Penuelas, J. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies Crop Science 40:723-731.
- SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera 2019. Trigo forrajero verde. Disponible en línea [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/501178/Trigo\\_forrajero\\_verde\\_compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/501178/Trigo_forrajero_verde_compressed.pdf). Consulta realizada el 05 de marzo del 2021.

Slafer, G. A.; E. H. Satorre y F. H. Andrade. 1994. Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: Genetic improvement of field crops. (Ed) Slafer, G. A. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 1-67.

Sushil T., Jackie C.R., Qingwu X., Mahendra., Srirama K.R., Kirk E.J., Shuyu L., Ravindra N.D., Jason Ba., Shannon B. 2019. Use of NDVI for characterizing winter wheat response to water stress in a semi-arid environment. Journal of Crop Improvement. 33(5):633-648.

Tandon J. P. 1984. Wheat improvement programs for the hotter areas of India. In: Wheat's for more tropical environments. A proceedings of the International Symposium. 63-65pp.

Thenkabail, P., Ward, A.D., Lyon, J. 1994. Landsat-5 thematic mapper models of soybean and corn crop characteristics. International Journal of Remote Sensing, 15(1): 49-61.

Torres, T.M.A., Zamora V.V.M., Colín R.M., Foroughbakhch P.R., Ngangyo H.M. 2019. Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. Rev. Mex. Cien. Agríc. 10(5):1125-1137.

Villareal R.M. 2000. Efecto de la producción de trigo (*Triticum aestivum* L) en el mundo, Mexico y la region de los 5 manantiales. Monografía de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, pag. 6.

Wahid, A. 2007. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. J. Plant Res.120:219-228.

Wahid, A., and T.J. Close. 2007. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. Biol. Plant. 51:104-109.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ahsraf, and M.R. Fooland. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Environ. Exp. Bot. 61:199-223.

Wanjura, D.F., Harfield, L.J. 1987. Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass. Transactions of the ASAE, 30 (3): 810-816.

Zadoks J. C., Chang, T. T., and Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14 (12):415-421. Doi: 10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.

Zamora V. V. M., Colín R. M., Torres T. M. A., Rodríguez G. A. y Jaramillo S. M. A. 2016. Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7:291-300.

Zhang, M., Hendley P., Drost D., O'Neill., Ustion, S., 1998. Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index. In: *Proc. 4th International Conference on Precision Agriculture.* St. Paul. MN.