

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación del forraje seco y sus fracciones en líneas de trigo en el municipio de Zaragoza, Coahuila.

Por:

**MIGUEL ANGEL MENDOZA CARRILLO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación del forraje seco y sus fracciones en líneas de trigo en el municipio de Zaragoza, Coahuila.

Por:


**MIGUEL ANGEL MENDOZA CARRILLO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dra. María Alejandra Torres Tapia  
Asesor Principal

  
M.C. Modesto Colín Rico  
Coasesor

  
Dr. Víctor Manuel Parga Torres  
Coasesor

  
Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2023

## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Miguel Ángel Mendoza Carrillo

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

*Quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.*

### **A mi pequeña Italia Marilé**

*Tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aún a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida. Te agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce de la vida. Fuiste mi motivación más grande para concluir este proyecto de tesis.*

*Dedicada especialmente a la memoria del **Dr. Víctor Manuel Zamora Villa†** quien fue mi asesor principal durante este trabajo. Por compartir sus conocimientos y guiarme en el proceso de la presente investigación sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.*

### **A mis abuelos: Juana Miranda Martínez y Gabriel Sotelo Olivares**

*Más que mis abuelos son como mis padres. Soy la persona más afortunada del mundo por tenerlos, gracias por su apoyo y ayuda. Siempre les agradeceré lo que han hecho, les agradezco desde el fondo de mi corazón lo que me han dado y le doy cada día gracias a Dios por tenerlos en mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

*Por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo.*

### **A mi asesor: Dra. María Alejandra Torres Tapia**

*Por el tiempo, dedicación y apoyo en la conclusión de este documento.*

### **A mis coasesores: M.C. Modesto Colín Rico y Dr. Víctor Manuel Parga Torres**

*Por el tiempo, dedicación y paciencia en la elaboración de este documento.*

### **Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa †**

*Estaré eternamente agradecido por todo el apoyo brindado a la largo de mi carrera, por sus conocimientos compartidos, por sus consejos, fue un excelente profesor pero también un excelente amigo, siempre lo recordaré, confío que donde quiera que se encuentre está en paz.*

## Índice General de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivo general.....	3
1.2	Objetivo específico.....	3
1.3	Hipótesis.....	3
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Producción de trigo forrajero en México.....	6
2.2	Estados productores de trigo forrajero en México.....	6
2.3	Condición de la producción de granos y forrajes en México.....	7
2.4	Valores nutricionales del trigo en alimentación animal.....	7
2.5	Uso del trigo en producción animal de rumiantes.....	9
2.6	Uso de trigo en alimentación animal.....	10
2.7	Tecnologías con el infrarrojo.....	11
2.8	Temperatura de planta.....	12
	¿Cuál es la temperatura ideal según las plantas?.....	12
	La importancia de la temperatura.....	13
	Temperatura ambiental vs Temperatura de la planta.....	14
2.9	Medición de la temperatura del dosel con tecnología infrarroja.....	15
2.10	El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	16
	¿Qué muestra NDVI?.....	16
	¿Cómo calcular NDVI?.....	17
	¿Cómo funciona NDVI?.....	17
	¿Cómo interpretar los valores del NDVI?.....	17
	¿Cómo medir la densidad de la vegetación con NDVI?.....	18
	¿Cómo interpretar imágenes NDVI?.....	18
	¿Qué mide un NDVI en los cultivos?.....	18
	¿Cuál es un valor normal de NDVI en los cultivos?.....	19
2.11	Contenido de clorofila.....	19
	Índice de clorofila en agricultura.....	19
	Índice de clorofila como algoritmo agrícola.....	20

2.12	Correlación entre variables .....	20
	¿Qué es la correlación?.....	20
	¿Cómo se mide la correlación? .....	21
2.13	Correlaciones reportadas en trigo forrajero.....	21
2.14	Correlación con la producción de forraje seco .....	23
2.15	Investigación sobre producción de forraje con trigos harineros .....	24
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1	Área de Estudio.....	25
3.2	Material Genético .....	25
3.3	Manejo del trabajo experimental .....	26
3.4	Desarrollo del Experimento .....	26
3.5	Variables Registradas .....	26
3.6	Análisis Estadístico .....	27
3.7	Prueba de medias (DMS).....	28
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1	Altura de la planta .....	29
4.2	Temperatura de la planta .....	30
4.3	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	32
4.4	Cobertura de la planta.....	33
4.5	Hoja de la planta .....	35
4.6	Tallo de la planta.....	37
4.7	Espiga de la planta.....	38
4.8	Forraje seco total de la planta.....	41
4.9	Correlaciones entre variables.....	43
5	CONCLUSIONES .....	46
6	Bibliografía.....	47

## Índice de Cuadros

Cuadro 2.1 Valores nutricionales del salvado de trigo. ....	8
Cuadro 2.2 Características nutricionales de diferentes granos de cereales (base 100% materia seca). ....	10
Cuadro 3.1 Material genético evaluado.....	25
Cuadro 3.2 Fuentes de variación y grados de libertad del análisis de varianza de bloques completos al azar.....	27
Cuadro 4.1 Análisis de varianza de la altura de planta .....	29
Cuadro 4.2 Resultados de la prueba de medias para la altura de la planta .....	30
Cuadro 4.3 Análisis de varianza de la temperatura de la planta .....	31
Cuadro 4.4 Prueba de medias de la temperatura de la planta .....	31
Cuadro 4.5 Análisis de varianza del índice de vegetación diferencial normalizado... ..	32
Cuadro 4.6 Prueba de medias del índice de vegetación diferencial normalizado .....	33
Cuadro 4.7 Análisis de varianza de la cobertura de la planta .....	33
Cuadro 4.8 Prueba de medias de la cobertura de la planta .....	34
Cuadro 4.9 Análisis de varianza de la hoja de la planta.....	35
Cuadro 4.10 Prueba de medias de la hoja de la planta.....	36
Cuadro 4.11 Análisis de varianza del tallo de la planta .....	37
Cuadro 4.12 Prueba de medias del tallo de la planta.....	38
Cuadro 4.13 Análisis de varianza de la espiga de la planta .....	39
Cuadro 4.14 Prueba de medias de la espiga de la planta.....	40
Cuadro 4.15 Análisis de varianza de peso total de la planta.....	41
Cuadro 4.16 Prueba de medias de peso total de la planta.....	42

## RESUMEN



La producción de forraje para la alimentación del ganado se ha ido incrementando en los últimos años, esto ha dado lugar a que algunos programas de mejoramiento se enfoquen 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. En base a lo anterior, el uso de nuevas tecnologías de evaluación como son los sensores infrarrojos, pudiera ser una buena herramienta de apoyo al mejorador en la selección de materiales genéticos.

En la generación de nuevos genotipos forrajeros de trigo se busca mantener una eficiente producción frente al desafío que implica el cambio climático y estudiar los cambios en los componentes del rendimiento. En el presente trabajo de investigación se evaluó la producción de forraje seco de 27 genotipos de trigo harinero sin aristas más tres testigos comerciales (incluyendo avena) a los 105 días después de la siembra.

Las variables evaluadas fueron: altura de planta, temperatura de la planta, índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), cobertura, etapa fenológica, forraje seco total. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, analizándose la información bajo este modelo. Con los promedios se realizó un análisis de correlaciones entre variables.

Se determinó que los tallos contribuyeron mayormente al rendimiento total, seguidos por las hojas y espigas. Se concluye que existen trigos con una producción similar a la avena pero con mayor precocidad y representan una alternativa para usarse en los esquemas de producción que busquen reducir el tiempo de ocupación del terreno, entre los trigos evaluados destacaron: AN-246-13, AN-310-13 y AN-263-13, entre otros. La altura de planta es una variable muy asociada a la producción de forraje seco total, peso seco de tallos y espigas.

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

## 1 INTRODUCCIÓN

Se prevé que la agricultura sufrirá los efectos del cambio climático poniendo en riesgo la alimentación humana y animal, razón por la cual se deben buscar estrategias y tecnologías para enfrentarlo. Una estrategia para enfrentar el cambio climático consiste en la generación y utilización de nuevas variedades con características como mayores rendimientos, ciclos de crecimiento más cortos, tolerancia o escape a factores adversos y por lo tanto, adaptadas a regímenes de lluvia de menor precipitación o temporales erráticos, y que apoyen en el manejo y conservación de agua y suelo.

Los cereales de grano pequeño como la avena, el trigo, centeno, triticale y cebada poseen características que los hacen aptos para usarse en la alimentación del ganado y por su ciclo corto pueden representar una tecnología deseable para implementarse en el pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado (Colín *et al.*, 2007) ya que es un recurso forrajero de buena calidad (Hart, 1971), incluso cuando se consideran sus fracciones por separado como se ha documentado en trigos (Zamora *et al.*, 2016), dichos autores han reportado la existencia de trigos con producción de forraje seco similar al de la avena.

Los cereales y granos son el alimento humano más importante y muchos de ellos son además cultivados como forrajes o, por lo menos, usados como tales cuando las condiciones del mercado los favorecen.

Los cereales constituyen una de las principales fuentes de energía y nutrientes para alimentación animal y humana y su uso es histórico desde hace siglos.

Entre los cereales, el trigo es uno de los más importantes en todo el mundo, del cual se obtiene un producto principal llamado harina y subproductos llamados salvado y germen. La harina de trigo tiene un uso principalmente en alimentación humana en procesos de panadería. Por otro lado, el salvado de trigo es el producto que se destina

para alimentación animal gracias a su alto contenido de aminoácidos y un alto porcentaje de proteína superior a los demás cereales existentes. Este salvado de trigo (denominado técnicamente como pericarpio) se compone principalmente de las partes externas del grano del trigo luego de su procesamiento.

El trigo es un cultivo importante para la alimentación humana y una alternativa forrajera extraordinaria para el ganado. En México no se le cultiva específicamente con ese objetivo, pero se trabaja en la generación de genotipos con fines forrajeros auxiliándose de tecnología emergente.

El valor nutritivo de los forrajes está determinado por la presencia de altos porcentajes de sustancias, como proteínas, vitaminas, minerales y carbohidratos que son necesarios para la salud, crecimiento y productividad de los animales, así como también por las adaptaciones biológicas que permiten su fácil y rápida reproducción vegetativa (Dávila & Sánchez, 1996)

La falta de variedades diseñadas para la producción de biomasa es una de las limitantes en el uso extensivo de cereales de grano pequeño para la producción de forraje. Durante la formación de nuevas variedades, el fitomejorador ha utilizado tecnologías de infrarrojo para tratar de eficientar las evaluaciones, analizar sus relaciones con variables agronómicas y aplicarlas durante el proceso de selección, una de las tecnologías actualmente utilizadas consiste en medir el “verdor” de la planta mediante el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), el cual se utiliza para conocer el estatus nutrimental de la planta.

Por ello, para la presente investigación se establecieron los objetivos general y específico, así como la hipótesis siguiente:

## **1.1 Objetivo general**

Evaluar la producción de forraje seco de 27 genotipos de trigos y tres testigos comerciales incluyendo variables agronómicas y con sensores infrarrojos.

## **1.2 Objetivo específico**

Determinar la contribución de las hojas, tallo y espigas a la producción final de forraje seco en trigos.

Determinar la asociación de variables agronómicas con equipos de sensores infrarrojos en trigos forrajeros.

## **1.3 Hipótesis**

Existen trigos forrajeros que igualan o superan la producción de forraje seco en comparación con otros cereales de granos pequeño.

Existe asociación entre variables agronómicas con equipos de sensores infrarrojos en la producción de forraje seco en trigos forrajeros.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

El trigo es uno de los cereales que sustenta la alimentación humana, ocupa alrededor de un tercio de la superficie total de cereales en el mundo proporcionando carbohidratos y proteína en la dieta. De forma indirecta pudiera proporcionar mayor cantidad de proteína a través de la leche o carne que puede producirse cuando se suministra como forraje al ganado. La forma de utilización de los forrajes es variable, existiendo desde el pastoreo directo, que resulta la opción más barata, hasta opciones como el verdeo, henificación y ensilaje.

De igual manera, el tiempo en que se utiliza es tan variable como lo son las necesidades del ganado y el tipo de explotación, existiendo ocasiones que se requiere utilizar los forrajes invernales a los cincuenta días después de la siembra (dds) y en ocasiones se posterga su cosecha hasta por más de los 110 dds. (Sánchez *et al.*, 2022)

En México, al trigo no se le cultiva específicamente con ese objetivo, pero en algunos países como Argentina y Canadá tiene una presencia significativa como fuente de forraje (Gill *et al.*, 2013). En México la avena es el principal cultivo anual bajo riego para producción de forraje durante el invierno. En el año agrícola 2018, la avena forrajera nacional tuvo una superficie sembrada de 31056.98 ha, con una producción de 822825.9 ton (SAGARPA, 2017; SIACON, 2018). Existe un potencial extraordinario para el uso de cereales de invierno en la zona semiárida de México, ya que en la época que se producen ocurren las menores pérdidas de agua por evaporación y la mayoría de los cereales poseen características deseables para la producción de forraje, tolerancia a bajas temperaturas y generalmente tienen también adecuado valor nutritivo.

Sin embargo, existen pocas variedades en muchas de las especies de cereales como el triticale, cebada y trigo, que han sido desarrolladas para ser utilizadas como fuente

de forraje seco (biomasa aérea). Las instituciones que desarrollan investigación, realizan esfuerzos para generar nuevas opciones forrajeras en las especies mencionadas; generalmente durante la evaluación de estos genotipos forrajeros se tiene el inconveniente de utilizar metodologías destructivas (corte del forraje) con la finalidad de pronosticar productividad, y si se desea obtener información de la producción en varias etapas de desarrollo del cultivo, es necesario realizar más muestreos o cortes, con el esfuerzo y costo que representan; recientemente se ha implementado el uso de diversas herramientas para la evaluación no destructiva de la producción de biomasa mediante el uso de sensores infrarrojos, tal es el caso del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), el cual se ha utilizado para monitorear los rendimientos de la producción de biomasa, estimando la cantidad y calidad de alimento y crecimiento de la vegetación, así como la presencia de enfermedades que reducen los índices de vegetación (Cabrera - Bosquet, 2011; Pask *et al.*, 2012).

Así mismo, existen otros sensores capaces de medir otras variables tales como temperatura, a través de un termómetro infrarrojo que permite registrar el dato de una manera remota sin interferir con el cultivo, información que es útil para el diagnóstico del estrés. Otros sensores pueden estimar el índice de contenido de clorofila en la planta, el cual tiene una relación con el estado nutricional del cultivo (Reynolds *et al.*, 2013).

Recientemente, se ha reportado que existen líneas de trigo que presentan adecuada producción y calidad de forraje similares a la avena (Zamora *et al.*, 2016)), inclusive en trigo para grano se han realizado agrupamientos basados en genes de interés agronómico (Suaste *et al.*, 2015); mientras que en cebada se han realizado estudios donde se iguala o supera el rendimiento de la avena e inclusive han realizado agrupamientos de genotipos forrajeros con la intención de caracterizarlos y seleccionarlos (Colin, 2007; Torres *et al.*, 2019).

## **2.1 Producción de trigo forrajero en México**

Según un análisis realizado sobre el trigo forrajero en México (Axayacatl, 2022), la producción en el año 2020 fue de 26,902 toneladas, un 65.6% más que en el 2019, de 1,368 ha sembradas, solo 2 fueron no productivas, destacando un 49.5% más que el año anterior, teniendo un rendimiento promedio de  $19.7 \text{ t ha}^{-1}$ , el 10.8% más.

En ese año el precio medio por tonelada cotizó \$ 788.00 MN, menos del 51.6%, teniendo un valor de producción de 21 millones de pesos, dado en menos del 19.9%.

Así mismo, la variación anual promedio de producción en la última década (2011-2020) fue de más del 29.4%, con un valor de superficie sembrada de 78.7% y de cosechada con aproximadamente el 62.8%, calculando un rendimiento alrededor del 7.8%, con más del 1.8% en su precio medio y más del 36.6% en el valor de producción.

## **2.2 Estados productores de trigo forrajero en México**

Según el SIAP en el 2020, los estados de Chihuahua, Guanajuato, Baja California Norte, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Sinaloa y Sonora son principales productores de trigo de grano sembrando las mayores superficies desde 10,958 hasta 230,087 ha en sistemas de riego y temporal, destacando Sonora con la mayor superficie y producción de 1, 532,662 toneladas y con rendimientos de  $6.61 \text{ t ha}^{-1}$ .

Sin embargo, en ese mismo año, mencionó Axayacatl (2022), que los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango fueron los mayores productores de trigo forrajero con 12,405, 4,634 y 4,398 toneladas, respectivamente, representando el 79.7% de la producción nacional de esta especie.

Señalando que los estados de Chihuahua, Sonora y Coahuila tuvieron las mayores extensiones de superficie sembrada (679, 261 y 174 ha, respectivamente) del territorio nacional. Pero, Durango, Aguascalientes y Coahuila generaron rendimientos hasta de  $35.2$ ,  $32.6$  y  $26.7 \text{ t ha}^{-1}$ .

Generando hasta 12 millones de pesos (en Chihuahua) y 3 millones de pesos tanto en Coahuila como en Sonora en el valor de producción nacional de trigo forrajero (Axayacatl, 2022).

### **2.3 Condición de la producción de granos y forrajes en México**

Según un análisis por parte de BrioAgropecuario en el 2022, pronostican que en el ciclo comercial (2022/2023) de producción de maíz, trigo y sorgo en México existirá marginalmente una baja aún mayor que el año anterior, dado al aumento del costo de insumos, a una reducción del apoyo de gobierno, así como a las condiciones climáticas adversas esperadas por el fenómeno de La Niña. Percibiendo una demanda general en aumento constante de cereales forrajeros de aproximadamente un 1.5 % en este año comercial 2022/23 (Brio Agropecuario, 2022)

De tal manera, que México seguirá siendo un importante importador de granos básicos, y posiblemente aumentará en los siguientes años para satisfacer la creciente demanda de alimento para ganado.

### **2.4 Valores nutricionales del trigo en alimentación animal**

Se sabe que los cereales son la fuente de mayor aportación de energía y nutrientes en la alimentación tanto en humanos como animales. El trigo sobresale por su alta producción de harina debido al contenido de almidón, polisacárido digerible, que constituye el carbohidrato más abundante, y aún por aportar un mayor contenido de proteínas, salvado y germen, siendo la principal razón en su utilización en la alimentación animal (Serna-Saldivar, 2010), ya que el salvado, término correcto pericarpio se caracteriza por incrementar la palatabilidad de los piensos en los cuales se agrega como materia prima.



La composición del salvado se puede describir en el Cuadro 2.1, destacando la fibra y las proteínas. Inclusive, por el alto contenido de proteínas, que oscila entre 9.9 y 18.6 %, dependiendo del manejo del cultivo y la condición ambiental.

*Cuadro 2.1 Valores nutricionales del salvado de trigo.*

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Proteína	9.9 – 18.6	
Humedad	11.6 – 12	
Lípidos	5 – 6.3	% (p/p)
Ceniza	5.7 – 6.5	
Fibra dietaria total	36 – 63	
Almidón	21.1 – 38.9	
Fibra total	35.7 – 53.4	
Celulosa	6.5 – 9.9	g/100g
Hemicelulosa	20.8 – 33	
Lignina	2.2 – 9	

***Fuente: Adaptado de Chaquilla-Quilca et al., 2018.***

El trigo posee un alto valor de energía entre 3.0 a 3.5 Mcal EM (Megacalorías de Energía Metabolizable), fuente energética importante en alimentación animal, debido a que es de alta velocidad de degradación ruminal y una extensión de la misma cercana al 90%, lo cual exige una adaptación más controlada del consumo que otros cereales (Kloster & Santini, 1995), que en muchas ocasiones es un buen acompañante con una fuente proteica adecuada en los corrales de engorda (Pordomingo, 2013; Marinissen y Oriente, 2015).

Así mismo, contiene altos valores de fibra con 11%, superiores comparados con el maíz. Esta fibra principalmente está compuesta de 4-5% de pentosanos y 0,5-1% de  $\beta$ -glucanos, los cuales se aprovechan como suplemento en la dieta animal.

Aunque todos los granos aportan básicamente energía en la forma de almidón, existen diferencias en la composición y la tasa de liberación del mismo en el tracto digestivo del animal.

El almidón de los cereales de invierno (trigo, avena, cebada, triticale) es de alta solubilidad y rápida degradabilidad en el rumen. En cambio, los cultivos de verano como maíz y sorgo aportan un almidón de fermentación más lenta y una parte del mismo escapa a la degradación ruminal y es digerido a nivel de intestino delgado (Kloster & Santini, 1995).

Una vez cubierta la demanda de energía del rumen, la llegada de almidones al intestino incrementa la oferta de energía en forma de glucosa a nivel del tracto posterior, dando lugar al inicio de un proceso más eficiente que la fermentación ruminal del almidón. De tal forma, que con el incremento de la ingesta del grano en la dieta mejora la eficiencia de conversión global del alimento, pero aumenta el riesgo de trastornos digestivos y metabólicos.

Por otro lado, para conservación y manejo del trigo, es recomendable que su contenido de humedad sea por debajo del 14%, para evitar problemas relacionados con digestibilidad y contaminación por hongos productores de micotoxinas. Así mismo, la cantidad de lípidos del trigo se caracteriza por tener valor bajo comparado con el maíz, lo cual se reporta como una ventaja ya que reduce su enranciamiento.

## **2.5 Uso del trigo en producción animal de rumiantes**

Se menciona que el trigo es una excelente fuente de alimento para animales poligástricos como los rumiantes (Cuéllar Sáenz, 2021). Por poseer valores altos de proteína en condiciones óptimas de crecimiento logrando llegar hasta un 18%. Esta elevada cantidad de proteína junto con la alta aportación de energía, son una buena alternativa para alimentar a los rumiantes.

Además, al poseer una gran cantidad de fibra, facilita los procesos digestivos en rumiantes. Sin embargo, contiene baja cantidad de lignina y altos contenidos de

azúcares, lo que hace que su consumo sea limitado. El consumo máximo de trigo para los rumiantes es de 4 Kg/día repartido en varias raciones para prevenir acidosis ruminal.

El contener alta cantidad de carbohidratos en trigo, como el almidón, representa una alta fermentación en rumiantes incluso superior a la del maíz. Por lo que se recomienda administrar en raciones secas y trituradas para mejorar la absorción de nutrientes en rumiantes.

## 2.6 Uso de trigo en alimentación animal

El trigo podría ser destinado a la generación de concentrado para bovinos, como materia prima. Al contener parámetros energéticos y proteína mucho mayores que la avena (Cuadro 2.2), la cual es utilizada con mayor frecuencia en alimentación de vacas, terneros y novillos (Cuéllar Sáenz, 2021).

*Cuadro 2.2 Características nutricionales de diferentes granos de cereales (base 100% materia seca).*

<b>Grano</b>	<b>Proteína cruda (%)</b>	<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>Energía metabolizable (Mcal/kg)</b>	<b>Fibra cruda (%)</b>
<b>Avena</b>	11	75	2.6	12
<b>Maíz</b>	9	89	3.2	2.2
<b>Trigo</b>	13	91	3.3	3.1

(Tomado de Blas *et al.*, 2019).

Según el Cuadro 2.2, el maíz y el trigo presentan valores similares de energía metabolizable. Sin embargo, existen diferencias en la degradación del almidón en el rumen, el trigo lo hace a una velocidad mucho mayor (Blas *et al.*, 2019).

La velocidad de fermentación del almidón en el rumen, depende del tipo de grano y de la forma en que es suministrado. El trigo molido fino aumenta la velocidad de fermentación, a tal magnitud que incrementa problemas digestivos del animal. De manera que si provee un grano aplastado o machacado permitiría reducir en alguna medida la velocidad de fermentación del grano (Cuéllar Sáenz, 2021).

Esto hace que la dieta sea balanceada, se maximice el proceso de producción de proteína bacteriana y en definitiva aumente la producción. Se recomienda administrar no más de 4 o 5 kilos de grano en la ración diaria de vacas lecheras, repartidas en un mínimo de dos veces al día, según el especialista en nutrición animal de INIA Remehue.

## **2.7 Tecnologías con el infrarrojo**

La tecnología infrarroja se basa en el espectro infrarrojo usando ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a los 250 GHz, en los años treinta (Larenas, 1999).

Los avances en la instrumentación analítica y la innovación en el proceso de datos, han dado lugar a se implementen nuevos métodos basados en la espectroscopía infrarroja por su naturaleza no destructiva, su rapidez y su no especificidad, representa una buena alternativa en valorar la calidad del cultivo, y permite detectar rápidamente cualquier alteración en la composición del mismo.

El fundamento de la espectroscopía infrarroja se basa en el espectro electromagnético, dado por un conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda que van desde los rayos gamma hasta las ondas de radio.

La región infrarroja se encuentra entre  $12500-10\text{ cm}^{-1}$  enmarcada por el espectro visible y la región de microondas. Se divide en tres regiones, IR cercano (NIR):  $12500$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  (800-2500 nm); IR medio (MIR):  $4000$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ ; IR lejano (FIR):  $400-10\text{ cm}^{-1}$  (García *et al.*, 2013). Donde las regiones de NIR y MIR, son aplicadas en los

sensores activos, los cuales poseen una fuente de luz propia, donde la reflectancia que se recibe depende de estas fuentes de iluminación artificial.

La reflectancia es calculada en función de la luz que se recibe desde los cultivos, obteniendo una serie de valores promedio en cada segundo de marcha y sensoramiento. A partir de esta información es posible determinar distintos índices de vegetación, que alimentan los algoritmos de cálculo de tiempo real (Best *et al.*, 2014).

## **2.8 Temperatura de planta**

### **¿Cuál es la temperatura ideal según las plantas?**

Una planta requiere de diversos factores para un crecimiento y desarrollo óptimo, tales como luz, dióxido de carbono en el ambiente, humedad en el aire, además del agua y una cierta cantidad de nutrientes en el suelo, entre los más importantes (Fischer *et al.*, 1997).

Estos factores deben estar en un equilibrio particular en cada especie con la finalidad de sobrevivir o adaptarse en su lugar de origen o en una condición cambiante, como se vive en nuestros días, de tal modo que su productividad y éxito en la supervivencia de las plantas depende directamente de esto.

Sin embargo, la temperatura juega un papel importante. El crecimiento y desarrollo de la planta depende en gran medida del aumento o disminución de la temperatura del suelo (Fischer *et al.*, 1997).

En frío o calor, por la estación del año, verano, invierno o primavera, estos cambios ambientales son percibidos por las plantas, quienes son sensibles a las condiciones en donde se desarrolla, afectando su aspecto, rendimiento, frutos o generación de follaje.

## La importancia de la temperatura

Tanto los animales como los humanos tenemos el instinto y la opción de protegernos a la temperatura del ambiente, pero las plantas no pueden hacerlo, son seres estáticos y un poco más vulnerables a cambios bruscos de temperatura a los que habitualmente no está adaptada.

Las plantas tienen una amplia plasticidad estructural y fisiológica que les permite adaptarse a diferentes temperaturas siguiendo su reloj circadiano; un control interno biológico que le permite regular sus procesos fisiológicos de vida para que ocurran en momentos particulares del día y según las estaciones (Chaves & Gutierrez, 2017). Cada especie cuenta con su propio ritmo, su propio reloj, adecuado para adaptar la planta a las características climáticas de su entorno.

La mayoría de las especies son sensibles al estrés de la temperatura y sufren alteraciones al estar en temperaturas bajas o muy altas con respecto a los umbrales de cada una. Por ejemplo, las plantas tropicales sufren al ser expuestas a temperaturas menores de 10 °C; mientras que otras, como los cereales de invierno, empiezan a tener problemas entre los 30 y 40 °C; en trigo aún en pequeños incrementos de temperatura de 30 a 35°C, pueden dañar los órganos reproductivos (Samach & Wigge, 2005).

Cuando la planta está expuesta por periodos prolongados a temperaturas altas puede causarle daños irreversibles en el metabolismo y en su desarrollo, de tal manera que puede medirse la supervivencia por la duración del estrés, la tasa de incremento y las temperaturas máximas alcanzadas (Porch & Hall, 2013).

Existen diferentes respuestas al estrés térmico en las plantas: el provocado por temperaturas altas; los episodios frecuentes de temperaturas altas; el daño por enfriamiento (de 0 a 10 °C) y los daños por congelamiento a temperaturas inferiores a los 10 °C.

## **Temperatura ambiental vs Temperatura de la planta**

La temperatura ambiental es un factor determinante en el desarrollo de ciertos procesos biológicos de la planta, el cual determina la estación y el momento ideal su crecimiento de la planta. La gran mayoría de los procesos se aceleran con las temperaturas altas, indicándole a la planta que está en verano y/o primavera, siendo el momento de crecer o producir frutos.

La temperatura de la planta y la temperatura ambiental, no son iguales necesariamente. Las plantas cuando están expuestas a altas temperaturas desencadenan una cascada de señales que activan la expresión de genes y la síntesis de proteínas específicas por calor, que estabilizan la estructura de proteínas y enzimas (Iba, 2022), las cuales están involucradas en la protección del aparato fotosintético, la estabilidad de membranas y pueden llegar hasta producir enzimas antioxidantes, siendo una causa de estudio de las respuestas moleculares, bioquímicas y fisiológicas de las plantas en temperaturas altas (Chaves & Gutierrez, 2017).

Las plantas en temperaturas ambientales demasiado altas, puede enfriarse por evaporación y si es muy baja, puede calentarse por irradiación, teniendo para su desarrollo una temperatura óptima dependiendo de la especie.

En condiciones cálidas, las hojas liberan agua, que se enfría al evaporarse de la superficie. Algunas especies también pueden mover sus hojas en ángulos que le permiten exponerse menos a los rayos solares. Otras, en climas más fríos tienden a cerrar sus hojas, evitando perder calor; permitiendo alcanzar la temperatura perfecta o ideal para realizar su fotosíntesis y otras funciones necesarias para su supervivencia (Rodríguez, 2020).

Sin embargo, cada estructura de la planta tiene diferente temperatura, debido a que se relaciona de forma distinta con el ambiente. Por ejemplo, los frutos tienen una temperatura muy similar a la de la temperatura ambiente; las flores tienen una temperatura más elevada, porque los pétalos no transpiran con tanta velocidad y eficiencia como las hojas; estas a su vez pueden tener distintas temperaturas, depende

de su posición, en la parte más baja estarán un poco más frescas que las de la parte superior, que reciben más rayos solares.

Debe existir una relación adecuada entre temperatura ambiental, luz y humedad para que una planta alcance una temperatura interna perfecta. El metabolismo de la planta se acelera, exigiendo más agua y más nutrientes minerales. Manteniendo una temperatura alta, las plantas con frutos acelerarán su producción y afectará su rendimiento (Rodríguez, 2020).

## **2.9 Medición de la temperatura del dosel con tecnología infrarroja**

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)

Recientemente se ha implementado el uso de diversas herramientas para la evaluación no destructiva de la producción de biomasa mediante el uso de sensores infrarrojos, tal es el caso del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), el cual se ha utilizado para monitorear los rendimientos de la producción de biomasa, estimando la cantidad y calidad de alimento y crecimiento de la vegetación, así como la presencia de enfermedades que reducen los índices de vegetación

Los sensores también se han utilizado para medir otras variables tales como temperatura, con el uso del termómetro infrarrojo que permite registrarla de una manera remota sin interferir con el cultivo, empleando la información obtenida para el diagnóstico del estrés; así mismo, es posible estimar con sensores un índice de contenido de clorofila para relacionarlo con el estado nutricional del cultivo (Zamora *et al.*, 2022).



## **2.10 El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

Según Cherlinka (2019), el NDVI ha sido uno de los índices de vegetación más utilizados en la teledetección desde la década de 70's, a través de imágenes emitidas por sensores remotos de satélites y vehículos aéreos no tripulados (drones), y cada vez son utilizados con más frecuencia como indicadores cuantitativos en el funcionamiento de los ecosistemas (Rodríguez y Bullock, 2013).

De tal forma, que en los sistemas de producción de cultivos han aprovechado la emisión de estos datos satelitales como es la cobertura de grandes extensiones de siembra, generando una alta precisión en los resultados, lo que significa que un territorio tan pequeño como un solo campo o tan grande como un país entero se puede observar desde el espacio en cualquier momento, una cierta frecuencia.

Sin embargo, todavía hay una falta de conocimiento, sobre todo en el comprender mejor cómo trabajar con este índice de vegetación dentro de un lote de producción de manera más efectiva y obtener la mayor cantidad de beneficios, decidimos presentar estas preguntas frecuentes.

### **¿Qué es el NDVI?**

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es un indicador simple de biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación (Cherlinka, 2019).

### **¿Qué muestra NDVI?**

El NDVI ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo (artificial) y determinar su estado general. También permite definir y visualizar áreas

con vegetación en el mapa, así como detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento.

### **¿Cómo calcular NDVI?**

Se calcula mediante la ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde, NIR es luz infrarroja cercana y Red es luz roja visible.

Para calcular el NDVI, se debe considerar el valor de reflectancia en dos regiones: la roja visible y la infrarroja cercana. No se puede calcular el NDVI, al capturar imágenes en color natural u otro tipo de regiones opuestas del espectro.

### **¿Cómo funciona NDVI?**

Compara de forma matemática la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada. La clorofila contenida en una planta sana absorbe la mayor parte de la luz roja visible, mientras que la estructura celular de la planta refleja la mayor parte de la luz infrarroja cercana; indicando una alta actividad fotosintética. Cuando la vegetación es densa, se tendrá menos reflectancia en la banda roja y mayor reflectancia en el infrarrojo cercano, habiendo una asociación de estos valores, logrando detectar y analizar de manera confiable la cubierta vegetal por separado de otros tipos de cobertura natural del suelo.

### **¿Cómo interpretar los valores del NDVI?**

Los resultados del cálculo del NDVI varían de -1 a 1. Los valores negativos corresponden a las áreas con superficies de agua, estructuras artificiales, rocas, nubes, nieve; mientras que el suelo despoblado generalmente registra valores dentro del 0.1 a 0.2; y las plantas siempre registran valores positivos entre 0.2 y 1.

Cuando el dosel de vegetación se encuentra sano y denso se obtendrán valores por encima de 0.5, y la población de vegetación dispersa probablemente estarán dentro

de 0.2 a 0.5. Estos rangos son solo una estimación general, siempre y cuando la planta este en una condición óptima, aunque también depende de la especie, las condiciones del ambiente para determinar exactamente que indican los valores de NDVI (Granados *et al.*, 2004; Granados *et al.*, 2005).

### **¿Cómo medir la densidad de la vegetación con NDVI?**

Algunos autores mencionan que los valores de NDVI entre 0.1 y 0.4 pueden corresponder a coberturas vegetales en un umbral crítico; para una vegetación moderada tiende a variar entre 0.4 y 0.5; mientras que por encima de 0.5 indica una la mayor densidad posible de hojas verdes (Soria y Granados, 2005).

### **¿Cómo interpretar imágenes NDVI?**

Algunos de los resultados de NDVI se llegan a presentar mapas de colores en impresos digitales, donde cada color corresponde a un cierto rango de valores. Existe una paleta de colores estándar, se usa del rojo al verde, colores de rojo-naranja-amarillo indican suelo despoblado o vegetación muerta / escasa, y todos los tonos de verde son un signo de cubierta de vegetación normal a densa (Cherlinka, 2019).

### **¿Qué mide un NDVI en los cultivos?**

En pocas palabras, NDVI mide el estado y la salud de los cultivos o el vigor de los cultivos. Cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés (acame, plagas, sequía etc.), la reflectancia es inferior en el infrarrojo cercano y rojo, lo que significa que cuando existe un contraste entre ambas bandas y es mucho menor es una vegetación sana y de gran vigor (Soria y Granados, 2005). Como el índice de vegetación es un indicador de verdor, también tiene fuerte correlación con la biomasa verde, indicador de crecimiento, lo que puede asociarse con el rendimiento de los cultivos, siendo una herramienta alternativa para medir la productividad de los cultivos y predecir el rendimiento futuro sin destruir el cultivo (Gutierrez *et al.*, 2005).

## **¿Cuál es un valor normal de NDVI en los cultivos?**

No existen normas establecidas en valorar el índice de verdor como el NDVI en las especies vegetales, ya que los valores son únicos en cada campo y las lecturas dependen de la interacción del genotipo y el ambiente o la combinación de los factores como: el clima, tipo de suelo, prácticas de manejo agrícola. Lo que se puede determinar patrones de crecimiento y los valores normales en una especie en un campo específico (Cherlinka, 2019).

### **2.11 Contenido de clorofila**

#### **Índice de clorofila en agricultura**

Es un método de diagnóstico alternativo que sirve para valorar el estado nutricional de las plantas, describe algunos procesos biológicos y el estado nitrogenado en las plantas, en tiempo real y en mismo campo.

Existen diferentes medidores de clorofila no destructivos que su fundamento está basado en la cantidad de luz que penetra y es absorbida por la clorofila de la hoja y un resto de luz que se refleja, esta al estar en contacto con la celda detectora del equipo es convertida en una señal eléctrica.

El índice de clorofila (CI), es utilizado para calcular la cantidad total de clorofila en las plantas; contiene dos bandas separadas, CI verde (GCI) y CI del borde rojo (RCI), estas bandas responden a ligeras variaciones en el contenido de clorofila generalmente en la mayoría de las plantas (Analytics, 2022).

Se puede decir, que el CI es un indicador relativo y preciso en determinar la condición de salud de las plantas, siendo eficaz en la valoración de nutrientes durante su desarrollo del cultivo, lo que ayuda a planificar a un cultivo en un siguiente ciclo.

## **Índice de clorofila como algoritmo agrícola**

El índice de clorofila es considerado muy importante en la agricultura moderna, debido a que la clorofila es el pigmento característico de color verde, de ella depende la sobrevivencia de la planta, siendo el principal agente en el proceso de la fotosíntesis, al absorber la radiación solar y convertirla en carbohidratos, lo que hace que al contener un cierto nivel de clorofila indique un cierto nivel de nutrición de la planta.

Al interpretarse de manera correcta, el índice de clorofila logra proporcionar información al productor sobre el desarrollo del cultivo y utilizarse para aumentar la productividad del campo, obteniendo mejor rendimiento y mayores beneficios (Analytics, 2022).

Además, cuando las plantas están bajo estrés, los valores del IC son afectados por las características morfológicas que adoptan las hojas, tales como: estructura celular, movimiento de los cloroplastos, estado hídrico, tipo de superficies y tamaño foliar (Martínez y Guamet, 2004).

El contenido de clorofila en las plantas es un parámetro multifuncional porque depende de muchas variables, entre ellas de las condiciones lumínicas del campo, del tipo de especie y a la distribución de la población, ya que poblaciones de sombra tendrán mayores valores comparados con las de plena exposición solar, reflejando una aclimatación fisiológica de la planta al factor lumínico (Rangel y Uzcátegui, 2018).

### **2.12 Correlación entre variables**

#### **¿Qué es la correlación?**

La correlación es un tipo de asociación entre dos variables numéricas, específicamente evalúa la tendencia (creciente o decreciente) en los datos.

Dos variables están asociadas cuando una variable nos da información acerca de la otra. Por el contrario, cuando no existe asociación, el aumento o disminución de una variable no nos dice nada sobre el comportamiento de la otra variable.

Dos variables se correlacionan cuando muestran una tendencia creciente o decreciente.

La correlación es una medida estadística que expresa hasta qué punto dos variables están relacionadas linealmente (esto es, cambian conjuntamente a una tasa constante). Es una herramienta común para describir relaciones simples sin hacer afirmaciones sobre causa y efecto.

### **¿Cómo se mide la correlación?**

El coeficiente de correlación de la muestra,  $r$ , cuantifica la intensidad de la relación. Las correlaciones también se someten a pruebas para establecer su significancia estadística.

### **2.13 Correlaciones reportadas en trigo forrajero**

Zamora *et al.* (2016), en su trabajo de evaluación de trigos imberbes para la producción de forraje, encontró líneas de trigo con adecuada producción y calidad de forraje, de manera similar o incluso superando a la avena y cebada. Concluye que existen líneas imberbes de trigo que presentan adecuada producción y calidad de forraje, similares a las de avena y cebada que pueden usarse en la alimentación del ganado. Lo cual ofrece una opción para diversificar y flexibilizar los esquemas de producción intensiva de forrajes como ocurre en cuencas lecheras.

En los cereales evaluados el mayor aporte de materia seca lo tuvieron los tallos, seguidos por las hojas y finalmente las espigas. Las espigas mostraron mayor valor nutritivo que las hojas y tallos.

Morant (2009) utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones, en parcelas de 5,50 m de longitud, con siete surcos distanciados 0,20 m por, comparando siete genotipos de ciclo vegetativo largo. Concluyó que el método de correlación reafirma su utilidad, ya que la correspondencia entre los valores reales de rendimiento obtenidos, y los rendimientos teóricos calculados sobre la base de los componentes (R) fue alta.

Sobresalieron dos genotipos de trigo, las cuales menciona como con excelente aptitud forrajera, esto debido entre otras características a una alta relación hoja/tallo y a un gran número de hojas que se mantuvieron fotosintéticamente activas aun en etapas prolongadas del desarrollo. Estas características resultan altamente deseables cuando se trata de la producción de forraje; la manifestación de estas características se atribuyó principalmente a los altos requerimientos de frío y un periodo vegetativo de mayor duración de estas variedades.

Espinosa (2018) en su estudio sobre evaluación del estado de desarrollo del trigo en función de las condiciones climáticas, realizó una modelación del crecimiento del cultivo de trigo utilizando los valores acumulados de los índices NDVI y ajustando la variación a una función sigmoideal del tipo logístico.

Los resultados obtenidos fue que en los dos primeros ciclos, se encontró una buena relación entre el nivel máximo del NDVI y el rendimiento promedio del trigo con variación del orden del error estimado; sin embargo, en el ciclo 2013-2014, se observó una pequeña disminución en el rendimiento respecto a lo esperado, pero para el ciclo agrícola 2014-2015, la disminución del rendimiento fue altamente significativa, las diferencias estimadas en 6 de los módulos evaluados variaron entre el 20% y el 30% menos que el obtenido en el ciclo 2013-2014.

Cerillo *et al.* (2012), estimó la producción de biomasa y el valor nutricional de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena. Concluye que el FVH ofrece condiciones de buena calidad nutritiva. Su contenido en proteína, componentes estructurales, energía metabolizable y parámetros de fermentación ruminal, así como la alta producción de biomasa, le confieren a este tipo de forraje no convencional, características cualitativas deseables para la alimentación animal. Adicionalmente, el costo de producción del

FVH de trigo (\$2,29 pesos mexicanos/kg MS) constituye un atractivo para favorecer una reducción del costo de la alimentación de rumiantes.

#### **2.14 Correlación con la producción de forraje seco**

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.

En un ensayo realizado por Carrillo *et al.*, (2010) se encontró que la producción de forraje de trigo se ve beneficiada utilizando dosis de nitrógeno de medias a bajas, donde se utilizó dosis de 30 y 60 kg de N ha<sup>-1</sup>, obteniendo un rendimiento de forraje seco de 8.7 y 7.9 t ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Álvarez *et al.*, (2017) en su trabajo de rendimiento y calidad del forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento concluye que: la avena, cebada, trigo y triticale mostraron variación interespecífica e intraespecífica con relación a su ciclo de crecimiento, asignación de materia seca, rendimiento y calidad nutricional de forraje. El trigo Baguette sobresalió en la etapa de embuche por su mejor contenido nutricional, además de mostrar el mayor contenido de proteína en las diferentes etapas fenológicas. En los componentes del rendimiento de materia seca tuvo el mejor peso seco de hoja y relación hoja-tallo a lo largo del ciclo de crecimiento, mientras que en el rendimiento de forraje seco ligeramente menor al de avena.



## **2.15 Investigación sobre producción de forraje con trigos harineros**

Vergara (2021) al evaluar trigos forrajeros en Zaragoza, Coahuila encontró 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.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudio

El experimento 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 360 m.s.n.m. con una temperatura media anual de 22°C y una precipitación de 300 a 400 mm.

#### 3.2 Material Genético

Se evaluaron 27 líneas de trigo harinero sin aristas desarrolladas por el programa de Cereales de Grano Pequeño de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), y tres variedades comerciales usadas como testigo: avena (var. Cuauhtémoc), cebada (var. GABYAN 95), y triticale (Eronga 83), tal como se aprecia en el Cuadro 3.

*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 Cuauhtémoc
14	AN-48-09	29	Cebada, GABYAN 95
15	AN-49-09	30	Triticale, Eronga 83

### **3.3 Manejo del trabajo experimental**

En 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<sup>-1</sup> y se realizó de forma manual a “chorrillo” depositando la semilla en el fondo del surco.

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 auxilio. Se realizaron 4 riegos durante el ciclo del cultivo con una lámina aproximada de 40 cm. El tamaño de la parcela experimental fue de 6.3 m<sup>2</sup> (6 hileras de 3 m de longitud por 0.35 m de separación entre hileras), mientras que la parcela útil fue de 0.175 m<sup>2</sup>, ya que se muestreó 50 cm. de una hilera con competencia completa, a una altura aproximada de 5 cm sobre la superficie del suelo.

### **3.4 Desarrollo del Experimento**

La siembra se realizó el 8 de diciembre del 2021 en seco y el riego de siembra se proporcionó el 14 de diciembre. Posteriormente se aplicaron tres riegos más dependiendo de las necesidades del cultivo. El control de malezas se realizó manualmente, no se aplicó ningún insecticida.

### **3.5 Variables Registradas**

El muestreo de forraje se realizó a los 105 días después de la siembra (dds). Además de recabar la muestra de forraje se midieron las variables siguientes:

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.

Temperatura (TEMP): se utilizó un termómetro infrarrojo IP-54, de la marca Fluke con mira laser, con precisión  $\pm$  de 0.01 °C para realizar las lecturas de temperatura.

Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI): cuando se tomaron las lecturas de temperatura también se tomó el NDVI con la ayuda de un sensor portátil de la marca GreenSeeker™, el cual cuenta con su propia luz infrarroja.

Cobertura (COB): se asignó una nota del 1-100 por ciento, de acuerdo a la ocupación del área de la parcela experimental por el genotipo.

Forraje seco total (FSTOTAL): las muestras de forraje cosechadas se secaron en un asoleadero techado y posteriormente se realizó el pesaje de las mismas con la ayuda de una báscula digital, se separaron las hojas (PSHOJA), tallos (PSTALLO) y espigas (PSESPIGA) registrando el peso en gramos, transformándose posteriormente a t ha<sup>-1</sup>, tanto de las fracciones como el total.

### 3.6 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bajo el diseño de bloques completos al azar, en base al siguiente modelo estadístico:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Efecto de la variable en el i-ésimo Genotipo en el j-ésimo Bloque.

$\mu$  = Efecto de la media general del experimento

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo Bloque o repetición

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo Genotipo.

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

*Cuadro 3.2 Fuentes de variación y grados de libertad del análisis de varianza de bloques completos al azar.*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>CM</b>
Repeticiones	(r - 1)	M3
Genotipo	(t - 1)	M2
Error experimental	(t - 1) (r - 1)	M1
Total	tr - 1	

### **3.7 Prueba de medias (DMS)**

La comparación de medias se realizó con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad. Con los promedios de las variables de cada genotipo se realizó un análisis de componentes principales con el fin de analizar las relaciones entre variables.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

### 4.1 Altura de la planta

El análisis de varianza de la altura de planta mostró que hubo diferencias significativas entre las repeticiones, mientras que entre los genotipos no hubo significancia, tal como se aprecia en el Cuadro 4.1.

*Cuadro 4.1 Análisis de varianza de la altura de planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	980.0000	490.0000	3.38*
Genotipo	29	5879.1667	202.7299	1.4ns
EExp.	58	8403.3333	144.8851	
Total	89	15262.5		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron cinco grupos de significancia, el primer grupo se integró por 13 genotipos con alturas entre los 110 y 127 centímetros siendo los de mayor altura de planta, encabezado por el genotipo 2 (AN-7-09) con una media de 126.67 cm y en segundo lugar el genotipo 5 (AN-246-13) con una media de 120 cm, tal como se observa en el Cuadro 4.2, el último grupo de significancia se conformó por 19 genotipos registrando la altura de 91.7 cm como la más baja registrada en el experimento. Evidenciando que existen materiales de trigo harinero con mayor altura que la avena.

Vergara (2021) reportó una altura media de 100.83 cm y 73.33 cm de los trigos por él evaluados en la misma área.

Cuadro 4.2 Resultados de la prueba de medias para la altura de la planta

Genotipo	Media		Agrupamiento			
2	126.667				A	
5	120.000		B		A	
21	118.333		B		A	C
20	118.333		B		A	C
19	115.000		B	D	A	C
6	115.000		B	D	A	C
29	115.000		B	D	A	C
4	113.333		B	D	A	C
30	113.333		B	D	A	C
22	113.333		B	D	A	C
23	111.667		B	D	A	C
1	110.000	E	B	D	A	C
13	110.000	E	B	D	A	C
28	106.667	E	B	D		C
7	105.000	E	B	D		C
26	105.000	E	B	D		C
11	103.333	E	B	D		C
24	103.333	E	B	D		C
15	103.333	E	B	D		C
18	103.333	E	B	D		C
17	103.333	E	B	D		C
10	103.333	E	B	D		C
14	103.333	E	B	D		C
27	101.667	E	B	D		C
9	101.667	E	B	D		C
16	100.000	E		D		C
12	100.000	E		D		C
25	98.333	E		D		
3	91.667	E				
8	91.667	E				

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

## 4.2 Temperatura de la planta

Los resultados del análisis de varianza para temperatura de planta mostraron que solamente entre las repeticiones se encontraron diferencias significativas y entre los genotipos no hubo significancia (Cuadro 4.3).

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron cuatro grupos de significancia, el primer grupo se integró por 25 genotipos con temperaturas entre los 28 y 30 grados, con las temperaturas más altas, registrando el genotipo 5 (AN-246-13) la mayor temperatura media de 29.63 °C y en segundo lugar el genotipo 2 (AN-7-09) con 29.5 °C, tal como se observa en el Cuadro 4.4, el último grupo de

significancia se conformó por 8 genotipos registrando la temperatura de 26.8°C como la más baja registrada en el experimento.

Vergara (2021) reportó una temperatura media de 22.55°C como la más alta y de 21.77°C como más baja de los trigos por él evaluados en la misma área.

*Cuadro 4.3 Análisis de varianza de la temperatura de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	6.6596	3.3298	3.82*
Genotipo	29	27.3596	0.9434	1.08ns
EExp.	58	50.6138	0.8726	
Total	89	84.6329		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

*Cuadro 4.4 Prueba de medias de la temperatura de la planta*

<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupamiento</b>		
5	29.6333			A
2	29.5000	B		A
2	29.2000	B		A C
19	29.1667	B		A C
23	29.0333	B		A C
16	29.0000	B		A C
15	28.9333	B		A C
4	28.9333	B		A C
6	28.9000	B		A C
22	28.8000	B		A C
3	28.8000	B		A C
7	28.7333	B		A C
12	28.7000	B		A C
17	28.7000	B		A C
21	28.7000	B		A C
13	28.5667	B		A C
10	28.5000	B		A C
30	28.5000	B		A C
28	28.4667	B		A C
26	28.4000	B		A C
9	28.3667	B		A C
14	28.3667	B		A C
20	28.3333	B	D	A C
29	28.3000	B	D	A C
25	28.1667	B	D	A C
27	28.1000	B	D	C
18	27.9333		D	C
24	27.8000		D	C
8	27.7000		D	C
11	26.8333		D	

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



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

Los resultados del análisis de varianza para el índice de vegetación de planta mostraron que solamente entre los genotipos se encontraron diferencias significativas y entre las repeticiones no hubo significancia (Cuadro 4.5).

*Cuadro 4.5 Análisis de varianza del índice de vegetación diferencial normalizado de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	0.00938	0.00469	2.30ns
Genotipo	29	0.32256	0.0111227	5.45*
EExp.	58	0.11842	0.0020417	
Total	89	0.45036		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron 11 grupos de significancia, el primer grupo se integró por 12 genotipos en el que el mayor índice de vegetación de la planta es de 0.77 cm, perteneciente al genotipo 11 (AN-220-09) obteniendo el mismo resultado el testigo 28 (avena Cuauhtémoc), tal como se observa en el Cuadro 4.6, el último grupo de significancia se conformó por 5 genotipos registrando el índice de vegetación de 0.54 cm como el más bajo registrado en el experimento.

Estos resultados coinciden con los reportados por Vergara (2021) donde encontró valores entre 0.65 y 0.77 de los trigos por él evaluados en la misma área.

Cuadro 4.6 Prueba de medias del índice de vegetación diferencial normalizado de la planta

Genotipo	Media	Agrupamiento					
11	0.77000						A
28	0.77000						A
18	0.76667						A
8	0.76667						A
17	0.75000		B				A
12	0.74667		B				A C
24	0.72333		B	D			A C C
29	0.71000	E	B	D			A C C
15	0.70333	E	B	D			A C C F
3	0.70333	E	B	D			A C C F
9	0.69667	E	B	D		G	A C C F
27	0.69667	E	B	D		A	G C C F
13	0.69000	E	B	D			G C C F
25	0.67333	E		D		H	G C C F
10	0.65667	E		I D		H	G C C F
2	0.65333	E		I D		H	G C C F
23	0.65333	E		I D		H	G C C F
5	0.65333	E		I D		H	G C C F
14	0.65000	E		I D		H	G C C F
7	0.65000	E		I D		H	G C C F
22	0.64667	E		I		H	G C C F
20	0.63333			I		H	G C J F
30	0.63333			I		H	G C J F
1	0.63333			I		H	G C J F
26	0.62667			I		H	G C J
16	0.61333			I	K	H	C J
6	0.60667			I	K	H	C J
4	0.59333			I	K		C J
21	0.57000				K		C J
19	0.54000				K		C

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

#### 4.4 Cobertura de la planta

El análisis de varianza de la cobertura de planta mostró que hubo diferencias significativas entre las repeticiones, mientras que entre los genotipos no hubo significancia, tal como se aprecia en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7 Análisis de varianza de la cobertura de la planta

Fuente de variación	gL	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	f Calculada
Repetición	2	462.2222	231.1111	3.68*
Genotipo	29	1278.0556	44.07088	0.7ns
EExp.	58	3637.7778	62.72031	
Total	89	5378.0556		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron 3 grupos de significancia, el primer grupo se integró por 10 genotipos en el que la mayor cobertura de la planta es de 90%, tal como se observa en el Cuadro 4.8, el último grupo de significancia se conformó por 28 genotipos registrando la cobertura de 70 cm como la más baja registrada en el experimento.

Vergara (2021) reportó una cobertura media de 70.83 – 65.00% de los trigos por él evaluados en la misma área, siendo la menor cobertura de 64.17%.

*Cuadro 4.8 Prueba de medias de la cobertura de la planta*

<b>Genotipo</b>	<b>Media</b>		<b>Agrupamiento</b>	
28	90.000		A	
29	83.333	B	A	
19	80.000	B	A	C
2	78.333	B	A	C
5	78.333	B	A	C
18	78.333	B	A	C
15	78.333	B	A	C
8	78.333	B	A	C
12	78.333	B	A	C
24	78.333	B	A	C
17	76.667	B		C
6	76.667	B		C
14	76.667	B		C
4	76.667	B		C
11	75.000	B		C
9	75.000	B		C
23	75.000	B		C
21	75.000	B		C
3	75.000	B		C
26	75.000	B		C
13	75.000	B		C
22	75.000	B		C
20	75.000	B		C
27	73.333	B		C
25	73.333	B		C
30	73.333	B		C
7	71.667	B		C
16	71.667	B		C
1	71.667	B		C
10	70.000			C

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

#### 4.5 Hoja de la planta

Los resultados del análisis de varianza para la hoja de la planta mostraron que no hubo significancia para repeticiones y tampoco para genotipos (Cuadro 4.9).

*Cuadro 4.9 Análisis de varianza de la hoja de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	2.16475	1.08238	0.32ns
Genotipo	29	65.05085	2.24313	0.66ns
EExp.	58	196.9166	3.39511	
Total	89	264.13221		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron dos grupos de significancia, el primer grupo se integró por 29 genotipos en el cual el peso más alto de la hoja es de 8.15 g, perteneciente al genotipo 28 (Avena, Cuauhtémoc), seguida de la cebada GABYAN95 con una media de 8.0, tal como se observa en el Cuadro 4.10.

El último grupo de significancia se conformó por 28 genotipos registrando el peso de la hoja de 4.74 g como el más bajo registrado en el experimento.

Los resultados difieren con los registrados por Ramírez (2020) quien encontró en su primer muestro para FSH que la cebada, GABYAN95, superó a la avena, la cual se encontró en uno de los últimos grupos.

Y coincido con Ramírez (2020) cuando señala que en FSH, GABYAN95 junto con otros trigos y el testigo avena ocuparon el primer grupo, en su tercer muestreo.

Cuadro 4.10 Prueba de medias de la hoja de la planta

Genotipo	Media		Agrupamiento
28	8.152		A
29	8.019		A
8	7.733	B	A
14	7.638	B	A
11	7.619	B	A
18	7.619	B	A
17	7.600	B	A
12	7.410	B	A
1	7.371	B	A
13	7.276	B	A
23	7.124	B	A
10	7.048	B	A
27	6.838	B	A
22	6.743	B	A
16	6.667	B	A
25	6.667	B	A
7	6.648	B	A
15	6.648	B	A
26	6.61	B	A
5	6.495	B	A
9	6.343	B	A
6	6.248	B	A
4	6.076	B	A
19	5.886	B	A
24	5.733	B	A
20	5.714	B	A
2	5.619	B	A
30	5.429	B	A
3	5.352	B	A
21	4.743	B	A

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

#### 4.6 Tallo de la planta

El análisis de varianza del tallo de la planta mostró que hubo diferencias significativas entre los genotipos, mientras que entre las repeticiones no hubo significancia, tal como se aprecia en el Cuadro 4.11.

*Cuadro 4.11 Análisis de varianza del tallo de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	12.4101	6.2051	2.03ns
Genotipo	29	207.0865	7.1409	2.33*
EExp.	58	177.6525	3.0629	
Total	89	397.1491		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron seis grupos de significancia, el primer grupo se integró por 13 genotipos con peso de tallo entre los 8 y 11 gramos, tal como se observa en el Cuadro 4.12, el último grupo de significancia se conformó por 20 genotipos registrando el peso de tallo de 5.15 grs como el más bajo registrado en el experimento.

Los resultados coinciden con los encontrados por Ramírez (2020) donde señala que en el FST, GABYAN 95 aparece dentro del primer grupo y que hay variedades de trigo harinero que superaron estadísticamente a la avena que se ubicó nuevamente en el último grupo.

Cuadro 4.12 Prueba de medias del tallo de la planta

Genotipo	Media	Agrupamiento				
5	10.686					A
6	10.229					A
23	9.238		B			A
4	8.933		B			A
19	8.895		B			A
29	8.819		B	D		A
2	8.667		B	D		A
20	8.533		B	D		A
10	8.495		B	D		A
21	8.076	E	B	D		A
16	7.962	E	B	D		A
22	7.867	E	B	D		A
26	7.829	E	B	D		A
1	7.333	E	B	D		
14	7.048	E	B	D		
24	7.01	E	B	D		
15	6.914	E	B	D		
7	6.838	E	B	D		
13	6.724	E	B	D		
27	6.457	E	B	D		
18	6.362	E		D		
25	6.21	E		D		
9	6.019	E		D		
12	5.619	E				
3	5.543	E				
28	5.467	E				
30	5.352	E				
8	5.314	E				
11	5.200					
17	5.152					

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

#### 4.7 Espiga de la planta

Los resultados del análisis de varianza para espiga de planta mostraron que solamente entre los genotipos se encontraron diferencias significativas mientras que entre las repeticiones no hubo significancia (Cuadro 4.13).

*Cuadro 4.13 Análisis de varianza de la espiga de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	1.432889	0.71644	1.4ns
Genotipo	29	36.2982	1.25166	2.45*
EExp.	58	29.6877	0.51186	
Total	89	67.4187		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron ocho grupos de significancia, el primer grupo se integró por siete genotipos, destacando con el peso más alto de espiga el genotipo 29 (cebada, GABYAN95) con 3.44 g, tal como se observa en el Cuadro 4.14, el último grupo de significancia se conformó por 10 genotipos registrando el peso de espiga de 0.57 g como el más bajo registrado en el experimento.

Estos resultados coinciden con los reportados por Ramírez (2020) donde encontró que en FSE el genotipo GABYAN95 destacó en el primer grupo y que hubo variedades de trigos que superaron a la avena.



Cuadro 4.14 Prueba de medias de la espiga de la planta

Genotipo	Media	Agrupamiento								
29	3.4476							A		
6	2.7810			B				A		
5	2.6857			B				A		
23	2.5905			B				A		C
21	2.5143			B	D			A		C
16	2.4571	E		B	D			A		C
22	2.4190	E		B	D			A		C
20	2.2667	E		B	D					C
4	2.2476	E		B	D					C
15	2.2476	E		B	D					C
26	2.2095	E		B	D		F			C
14	2.1905	E		B	D		F			C
28	2.1905	E		B	D		F			C
30	2.1524	E		B	D		F			C
19	2.0571	E		B	D		F			C
13	1.9810	E		B	D		F			C
24	1.8667	E		B	D		F			C
2	1.8667	E		B	D		F			C
25	1.8286	E		B	D		F			C
17	1.8095	E		B	D		F			C
10	1.6381	E		B	D		F	H		C
27	1.6381	E		B	D		F	H		C
7	1.5048	E			D		F	H		C
9	1.4095	E			D		F	H		
1	1.4095	E			D		F	H		
3	1.3143	E					F	H		
18	1.0667						F	H		
12	0.9714							H		
8	0.5905							H		
11	0.5714							H		

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

#### 4.8 Forraje seco total de la planta

El análisis de varianza del forraje seco total de la planta mostró que no hubo diferencias significativas, tal como se aprecia en el Cuadro 4.15.

*Cuadro 4.15 Análisis de varianza de peso total de la planta*

<b>Fuente de variación</b>	<b>gL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>f Calculada</b>
Repetición	2	30.2076	15.1038	1.28ns
Genotipo	29	342.7303	11.8183	1.00ns
EExp.	58	683.0049	11.7759	
Total	89	1055.9428		

(\*) diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ); ns= no significancia; gL= grados de Libertad; EExp= Error experimental.

Al realizar la prueba de medias (DMS al 0.05) entre los genotipos se encontraron cinco grupos de significancia, el primer grupo se integró por 22 genotipos que se encuentran entre los 14.7 y 20.28 gramos siendo el genotipo 29 (cebada, GABYAN95) el más alto con media 20.28 g tal como se observa en el Cuadro 4.16, el último grupo de significancia se conformó por 26 genotipos entre los cuales se encuentra el genotipo 30 (triticale, Eronga83) registrando el penúltimo peso más bajo de 12.93 g y el genotipo 3 (AN-241-13) con un peso de 12.21 g como el más bajo registrado en el experimento. Confirmando que existen genotipos de trigo harinero que poseen mayor rendimiento de forraje seco que la avena, coincidiendo con reportes donde se asienta este hecho.

Los resultados coinciden con los reportados por Vergara (2021) quien encontró que la cebada, GABYAN95 se encuentra en primer lugar del primer grupo con una media de 10.13 t ha<sup>-1</sup>, mientras que la avena se encuentra en el último grupo con de 3.50 t ha<sup>-1</sup>.

Cuadro 4.16 Prueba de medias de peso total de la planta

Genotipo	Media	Agrupamiento				
29	20.286					A
5	19.867		B			A
6	19.257		B			A C
23	18.952		B	D		A C
4	17.257	E	B	D		A C
10	17.181	E	B	D		A C
16	17.086	E	B	D		A C
22	17.029	E	B	D		A C
14	16.876	E	B	D		A C
19	16.838	E	B	D		A C
26	16.648	E	B	D		A C
20	16.514	E	B	D		A C
2	16.152	E	B	D		A C
1	16.114	E	B	D		A C
13	15.981	E	B	D		A C
15	15.810	E	B	D		A C
28	15.810	E	B	D		A C
21	15.333	E	B	D		A C
18	15.048	E	B	D		A C
7	14.990	E	B	D		A C
27	14.933	E	B	D		A C
25	14.705	E	B	D		A C
24	14.610	E	B	D		A C
17	14.571	E	B	D		A C
12	14.000	E		D		A C
9	13.771	E		D		A C
8	13.638	E		D		A C
11	13.39	E		D		A C
30	12.933	E				A C
3	12.210	E				A C

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

#### 4.9 Correlaciones entre variables

En la prueba de correlaciones entre las variables evaluadas se detectó una asociación positiva entre la temperatura de dosel (TEM) y la altura de la planta (ALT); indicando que a mayor y peso seco de tallo (PSTALLO), de espiga (PSESPIGA) y el forraje seco total (FSTOTAL); señalando que cuanto mayor sea la temperatura de dosel se tendrá una mayor respuesta en la altura de la planta.

*Cuadro 4.17 Resultado de prueba de correlaciones de las variables estudiadas en cereales de grano pequeño*

	ALT	TEM	NDVI	COB	PSHOJA	PSTALLO	PSESPIGA	FSTOTAL
ALT	1.0	0.50*	-0.55*	0.16	-0.35	0.69*	0.61*	0.58*
TEM		1.0	-0.58*	-0.02	-0.32	0.58*	0.49	0.47
NDVI			1.0	0.37	0.62*	-0.67*	-0.53*	-0.42
COB				1.0	0.31	-0.03	0.21	0.18
PSHOJA					1.0	-0.28	-0.19	0.15
PSTALLO						1.0	0.69*	0.88*
PSESPIGA							1.0	0.77*
FSTOTAL								1.0

ALT= Altura de planta; TEM= Temperatura; NDVI= Índice de vegetación diferencial normalizado; COB= Cobertura; PSHOJA= Peso seco de hoja; PSESPIGA= Peso seco de espiga; FS= Forraje seco total.

En otro estudio, se reportaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos de trigo en una localidad como Navidad, N.L. (Zamora *et al.*, 2021), como en las fracciones de tallos y espigas del Cuadro 4.17, pero no encontraron diferencias en el NDVI, es posible que los efectos ambientales modifican la respuesta de esta variable.

Así mismo, los genotipos del estudio mostraron valores similares en altura y cobertura del terreno, respondieron diferencialmente en su verdor (NDVI) y temperatura de planta; posiblemente la altura tenga que ver con la etapa fenológica de las especies ya que por algunas otras investigaciones (Zamora *et al.*, 2021), afirmaron que existe una asociación del NDVI y la etapa fenológica en los cereales de grano pequeño, al reportar que a menor etapa fenológica, se encuentra en una menor altura y se tiene más color verde en las hojas, mientras que a etapas fenológicas más avanzadas se tendrá menor color verde.

En los componentes de forraje hubo similitud entre los genotipos respecto a la cantidad de forraje aportada por las hojas, pero difirieron en las aportaciones realizadas por los tallos y espigas, a pesar de lo anterior el rendimiento de forraje seco total fue similar entre los genotipos, lo cual sugiere diferencias en la arquitectura de planta de los genotipos.

La fracción que más aportó al rendimiento total fueron los tallos (45.76%), seguidas por las hojas (42.06%) y finalmente las espigas (12.11%), confirmando que los tallos son el principal órgano de reservas en estos cereales.

Las variables estudiadas y detectó que la producción de forraje seco total (FSTOTAL) se asoció positivamente con la altura de planta y la temperatura, coincidiendo con las correlaciones detectadas por Zamora *et al.*, (2021) en este grupo de trigos, adicionalmente se reportaron asociaciones positivas del FSTOTAL con el PSESPIGA y el PSTALLO.

Los genotipos con mayor FSTOTAL, ALTURA, PSESPIGA y PSTALLO fueron la cebada más los trigos 5, 6, 22 y 23 que por su producción y precocidad pueden usarse para la producción de forraje con un menor tiempo de ocupación del terreno. La avena presentó mayor PSHOJA, cobertura y NDVI junto con trigos como el 8, 11, 18, 12 y 17. Sin embargo, son de los genotipos más tardíos y cuyo sistema de enfriamiento funciona adecuadamente logrando mantener una temperatura de planta menor que el resto de genotipos.

Por su parte el triticales junto con los trigos 3, 9, 7, 25, 27 y 24 presentaron menores rendimientos de forraje ligados a menores cantidades de espiga y tallos, considerándose como intermedios para las características evaluadas en este estudio.

Los genotipos más rendidores, altos y precoces (como ya se mencionó) fueron la cebada y los trigos 5, 6, 22 y 23; todos ellos superando la producción de la avena, por lo que se califican como genotipos deseables para la producción de forraje en la región de estudio.

Los genotipos de trigo 5, 20 y 25 junto con la cebada fueron reportados en otro estudio como los más rendidores (Zamora *et al.*, 2021), pero en el presente trabajo el genotipo

25 de trigo alcanzó menor rendimiento que en estudios previos, aunque sigue rindiendo más que la avena, por lo que dichos trigos pueden considerarse como candidatos para ser registrados como variedades, ya que poseen buen rendimiento de forraje seco, precocidad, altura y proporciones de tallos y espigas.

## 5 CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos se concluye que:

Existen trigos harineros que superan la producción de avena, de mayor precocidad y representan una alternativa para usarse en los esquemas de producción que buscan reducir el tiempo de ocupación del terreno, entre los cuales destacaron en este estudio: G5 (AN-246-13), G6 (AN-310-13) y G23 (AN-263-13) al mostrar buena producción de forraje seco, altura de planta y precocidad.

El NDVI se asoció positivamente a la cobertura y peso seco de hojas.

El peso seco de tallos y espigas fueron las fracciones más asociadas a la producción de forraje seco total.

Es necesario un estudio de estabilidad de la producción de forraje seco.

## 6 Bibliografía

- Álvarez Romero, R. C., & Martínez Rueda, C. G. (2017). Rendimiento y calidad de forraje de cuatro cereales de grano pequeño en tres etapas de crecimiento y dos niveles de nitrógeno en el valle de Toluca México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/71027/Tesis%20Roberto%20Carlos%20Alvarez%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Analytics, E. D. (2022). *EOS Data Analytics*. Obtenido de <https://eos.com/es/make-an-analysis/chlorophyll-index/>
- Axayacatl, O. (21 de 02 de 2022). *Blog Agricultura*. Obtenido de Estadísticas de producción de trigo forrajero en México: <https://blogagricultura.com/estadisticas-trigo-forrajero-mexico/>
- Blas, García-Rebollar, Gorrachategui, & Mateos. (2019). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Madrid.
- Brio Agropecuario*. (04 de 04 de 2022). Obtenido de A la baja producción de granos y forrajes en México: USDA: <https://brioagropecuario.com/2022/04/05/el-sube-y-baja-en-granos-no-para/>
- Cabrera - Bosquet, L. (2011). *NDVI como una herramienta potencial para predecir la biomasa, contenido de nitrógeno y crecimiento en genotipos de trigo en maceta*. 147-149.
- Carrillo, R. E. (2010). Uso de inoculante y fertilización nitrogenada en la producción de forraje de avena, ballico y trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. , 141-143.
- Cerrillo Soto, M. A., Juárez Reyes, A., Rivera Ahumada, J. A., Guerrero, Cervantes, M., Ramírez Lozano, R. G., & Bernal Barragán, H. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*.
- Chaves, & Gutierrez. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. En *Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos*. (págs. 237-253). Obtenido de Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos.
- Cherlinka, V. (2019). *EOS DATA ANALYTICS*. Obtenido de <https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>
- Colin, R. M., Zamora, V. V. M., Lozano, del 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*, 249-262.
- Cuatico. (SEPTIEMBRE de 2019). *Cuatico*. Obtenido de <https://www.cuatico.com.ar/2019/09/08/que-es-y-como-funciona-la-tecnologia-infrarroja-2/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20infrarroja%20es%20una,el%20dispositivo%20median te%20nuestras%20manos.>



- Cuéllar Sáenz, J. A. (24 de 11 de 2021). *Veterinaria digital*. Obtenido de Importancia del trigo en la alimentación y producción animal: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/importancia-del-trigo-en-la-alimentacion-y-produccion-animal/#:~:text=Uso%20del%20trigo%20en%20producci%C3%B3n%20animal%20de%20ruminantes,%2C%20llegando%20hasta%20el%2018%25>.
- Dávila Aranda, P., y Sánchez Ken, J. (1996). La importancia de las gramíneas como forraje en México. *Ciencias*, 32-34.
- Espinosa, J. L. (2018). Evaluación del estado de desarrollo del trigo en función de las condiciones climáticas. Tesis de doctorado. Colegio de Posgraduados. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4044/1/Espinosa\\_Espinosa\\_JL\\_DC\\_Hidrociencias\\_2018.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4044/1/Espinosa_Espinosa_JL_DC_Hidrociencias_2018.pdf)
- Fischer, G., Torres-Carbajal, F., & Torres-Bazurto, J. (1997). Efecto de la temperatura del suelo sobre la planta. *Comalfo*, 78-92.
- Gill, S. K., Omokaye, T. A., Pettyjohn, P. J. and Elsen, M. 2013. Evaluation of forage type barley varieties for typeforage yield and nutritive value in the peace region of Alberta. *Journal of agricultural science*. 5(2):24-36. doi:10.5539/jas.v5n2p24.
- Granados-Ramírez, R., Reyna-Trujillo, T., Gómez-Rodríguez, G., & Soria-Ruiz, J. (2004). Analysis of NOAA-AVHRR-NDVI Images for Crops Monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 25-9, 1615-1627.
- Gutierrez, R. M., Reynolds, M. P., Escalante, E. J., & Larqué, S. A. (2005). Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum*, 12(2), 149-154. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412206>
- Hart, H. R. (1971). Cumulative effects of cutting management on forage yields and tiller densities of tall fescue and orchard grass. *Agron*, 63.
- Houspanossian, J., Schirmbeck, J., Rivas, R., & Vazquez, P. (2007). Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en el suelo. *TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*, 978-987.
- Hughes, H. M. (1974). *Forrajes*, CECSA. México.
- Iba, K. (2022). Acclimative response to temperature stress in higher plants. *Plant Biol*, 225-245.
- Kloster, A. M., & Santini, F. J. (1995). *Degradabilidad ruminal del almidón de los granos. Implicancias digestivas y productivas*.
- Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S., Rivera, A. J. A., Guerrero, C. M., Ramírez, L. R. G. y Bernal, B. H. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del Forraje verde hidróponico de trigo y avena. *Interciencia* Vol.12 No.12, 906-913. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/906-c-BERNAL-8.pdf>
- Morant AE, M. H. (2009). *Correlaciones entre Variables de Producción en Trigos Doble Propósito*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/bag/v20n2/v20n2a03.pdf>

- P. E., J. H. (2000). Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.*
- Pask, A. J., Pietragalla, J., Mullan, D. M., & Reynolds, M. P. (2012). *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). México.
- Porch, T., & Hall, A. (2013). Heat tolerance In. En *Genomics and breeding for climate - resilient crops* (Vol. 2, págs. 167-202). Berlín.
- Ramírez Pérez, L. O. (2020). ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE EN FORRAJE. Obtenido de <https://www.google.com.mx/search?q=Ram%C3%ADrez+%282020%29+reporta+que%2C+para+establecer+relaciones+entre+pares+de+variables+realiz%C3%B3+correlaciones+a+trav%C3%A9s+de+ambientes&source=hp&ei=qVeNY6-oGKPVkPIPqd6DiAg&iflsig=AJiK0e8AAAAAY41luSc9CgbtHZvdT95>
- Reynolds, M. P., Pask, A. J., Mullan, D. M., & Chávez D, P. N. (2013). *Fitomejoramiento fisiológico I: enfoques interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo*. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). México.
- Rodríguez, A. (2020). *BE.GREEN*. Obtenido de <https://be.green/es/blog/cual-es-la-temperatura-ideal-segun-las-plantas>
- Samach, A., & Wigge, P. (2005). Ambient temperature perception in plants. *Plant Biol*, 483-486.
- Sánchez-Cruz, M. G., Zamora Villa, V. M., Torres - Tapia, M. A., Colín - Rico, M., & Lozano del Río, A. J. (2022). Agrupamiento de trigos mediante sensores infrarrojos y fracciones de forraje en tres muestreos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Serna-Saldivar, S. O. (2010). Cereal Grains Properties. En *Processing and nutritional attributes* (pág. 111). Francia.
- Soria, R. J., & Granados, R. R. (2005). Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. *Ciencia Ergo Sum*, 12(2), 167-174.
- Suaste, F. , M. P., Zamora, V. , V. M., Reyes, V. , M. H., Villaseñor, M. , H. E., Santacruz, V. , S. A., & Moya, S. E. (2015). Agrupamiento de genotipos de la colección nacional de trigo en base a genes de interés agronómico. *México. Rev. Mex. Cienc.*, 6(4):695-706.
- Torres, T. , M. A., Zamora, V. , V. M., Colin, R. , M., Foroughbakhch, P. R., & Ngangyo, H. M. (2019). Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *México. Rev. Mex. Cienc. Agríc.*
- Vergara, López , J. O. (2021). *Evaluación del rendimiento de forraje de trigos harineros a través de dos muestreos en Zaragoza Coahuila*.
- Zamora V, V. M., Colín R., M., Torres T., M. A., Rodriguez, A. G., & Jaramillo S., M. A. (2016). Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigo imberbes. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol.7 Núm. 5. 291-300*.

Zamora, V., V. M., Torres T, M. A., Colín R, M., Vergara L, J. O., & De León C., H. (2021). Rendimiento de forraje de trigos harineros a través de dos muestreos en Zaragoza, Coahuila y sus correlaciones. *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Morelia*, 1859-1864.

Zamora-Villa, V. M., Sánchez-Cruz, M. G., Torres-Tapia, M. A., Colín-Rico, M., & Lozano del Río, A. J. (2022). Agrupamiento de trigos mediante sensores infrarrojos y fracciones de forraje en tres muestreos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1).  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13n1/2007-0934-remexca-13-01-65.pdf>