

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Estudio de Características Estomáticas y con Sensores Infrarrojos en Progenies de Cebadas Forrajeras.

Por:

**OMAR ROLANDO ADÁN ADÁN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Estudio de Características Estomáticas y con Sensores Infrarrojos en Progenies  
de Cebadas Forrajeras.

Por:

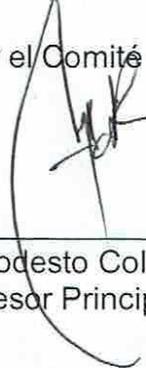
**OMAR ROLANDO ADÁN ADÁN**

TESIS

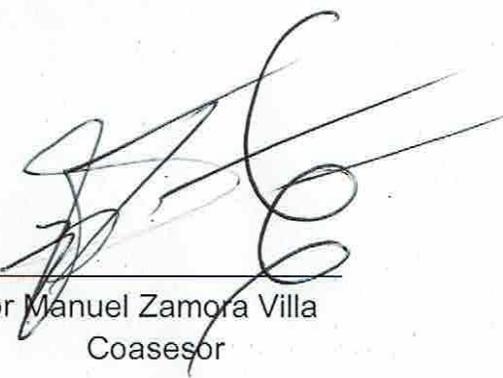
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

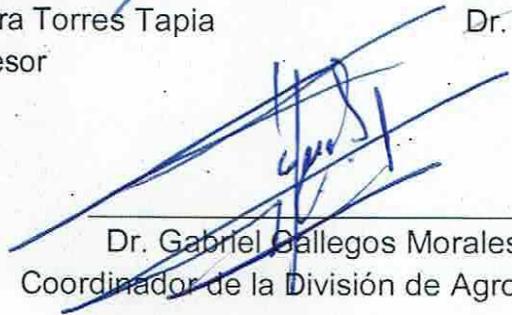
**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Modesto Colín Rico  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
M.P. María Alejandra Torres Tapia  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Víctor Manuel Zamora Villa  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gabriel Callegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Junio, 2019

## AGRADECIMIENTOS

### **A Dios**

Te doy gracias señor por haberme dado esta vida tan maravillosa para poder alcanzar mis metas. Te agradezco por tantas bendiciones que me has dado, por cada día que llenaste de fuerza para seguir adelante por esos días difíciles al igual los momentos de alegría que me has dado, por permitirme llegar a esta gran meta de mi vida y poderlo compartir con los seres que más amo en este mundo.

A la **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de ser parte de ti, por forjarme como persona, por llenarme de alegría, oportunidades y de poder terminar mis estudios.

A la **MC Alejandra Torres Tapia** por su gran apoyo hacia este trabajo, su paciencia y dedicación, por transmitirme sus conocimientos en las aulas, por su amistad y confianza muchas gracias.

Al **MC Modesto Colín Rico**. Por su apoyo que me brindo en este trabajo y permitirme realizar este trabajo en su proyecto de investigación gracias.

Al **Dr. Víctor Zamora Villa** por permitirme ser parte de esta gran investigación, por su apoyo, paciencia y confianza gracias.

A **mis amigos y compañeros** que me apoyaron y motivaron Ing. Luis Martínez, Ing. José Domingo, Ing. Marco Polo, Ing. Timoteo Montejo, Ing. Silvestre Anselmo, Ing. Juan Diego González les doy las gracias por el apoyo y su amistad.

## DEDICATORIA

### **A mi madre Celia Adán Montalvo:**

Por ser tan importante en mi vida gracias por haberme dado las herramientas de la vida mi educación, a pesar de tantas circunstancias, por tantas batallas pasaste junto a mi lado por tener fe en mí y tu confianza gracias.

**A mis abuelos:** Catalina Montalvo González y Gerónimo Adán Sánchez, por ser mis dos pilares que me condujeron por el buen camino sin ustedes no sería la persona que hoy soy, ustedes me dieron la mejor herencia de mi vida.

### **A mis hermanas:** Daniela Adán y Ana Adán:

Por darme el ejemplo y los mejores pasos a seguir, por su apoyo incondicional en todo momento y llenarme de alegría en mi vida, ustedes siempre contribuirán en mi fortaleza como la persona que soy, por ustedes que a pesar de tantos obstáculos en el camino siguieron adelante y no conocen la palabra rendirse.

**Fredy Adán:** Por llenarme la vida de felicidad en el momento en el que me sentí derrotado y por ti me impulse a seguir adelante gracias por ser parte de mi vida hermano.

### **A mis primos**

Marcos Adán, Saúl Adán: Por ser mis dos hermanos que nunca tuve, ustedes le dan el mejor complemento a mi vida, en todo momento trabajamos juntos desde niños y nunca nos rendimos, por el cariño que nos tenemos como la hermandad, la dedicación ,humildad que tenemos que nos impulsa a seguir adelante por siempre los llevo siempre en mi mete y más cuando siento que me hundía, en especial a mis dos primos queridos que a pesar de tantas dificultades pasamos juntos, hoy nos estamos fortaleciendo y sé que lograremos nuestros sueños.

### **A mis tías:**

Bernaldina Adán Montalvo y Julia Adán Montalvo: Le agradezco a cada una de ustedes por sus consejos y su apoyo que me ofrecieron durante mi formación académica.

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
INDICE DE CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS .....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	3
Hipótesis .....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen de la cebada.....	5
Importancia mundial de la cebada .....	5
Importancia del cultivo de la cebada a nivel nacional .....	6
Especies cultivadas con características de stay-green.....	7
Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) .....	8
Sensores infrarrojos.....	9
Fotosíntesis y pigmentos en plantas.....	11
Transpiración de las plantas .....	12
Importancia de las estomas en la planta.....	12
Número de estomas en las diferentes especies .....	13
Ubicación del experimento.....	14
Ubicación del Campo experimental .....	14
Ubicación del laboratorio .....	14
Material genético .....	14
Establecimiento de plantas en campo .....	15
Control de malezas .....	15
Evaluación en la fase de campo .....	16
Evaluación en la fase de laboratorio .....	18
Análisis estadístico .....	20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Prueba de comparación de medias entre muestreos.....	25
Prueba de comparación de medias entre los genotipos .....	28
Interacción genotipo por muestreos.....	34
CONCLUSIONES .....	47
LITERATURA CITADA.....	49
ANEXOS .....	54

## INDICE DE CUADROS

No. Cuadro		Pág.
3.1	Identificación de los materiales genéticos estudiados....	16
4.1	Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables evaluadas en 50 genotipos de cereales de grano pequeño en dos fechas de muestreo; Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	25
4.2	Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables TEMP, ALT, NDVI e ICC; en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	26
4.3	Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables DEH, IEH, LH y AH; en el Ejido San Lorenzo, Municipio de, San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	27
4.4	Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables DEE, IEE, LE y AE en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	28

## INDICE DE FIGURAS

No. Figura		Pág
2.1	Producción Mundial de cebada.....	6
3.2	Toma de lectura de temperatura de dosel.....	18
3.3	Medición del índice de contenido de clorofila en hoja bandera.....	18
3.4	Medición de NDVI mediante un sensor portátil.....	19
3.5	Microfotografía de la evaluación del estudio estomático.....	20
4.1	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable temperatura de dosel, en el Ejido San Lorenzo, Municipio San de Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	35
4.2	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable NDVI, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	36
4.3	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable altura, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de, San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	37
4.4	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice de contenido de clorofila, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	38
4.5	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable densidad estomática del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	39
4.6	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice	

	estomático del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>40</b>
<b>4.7</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable largo del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>41</b>
<b>4.8</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable ancho del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>42</b>
<b>4.9</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable densidad estomática del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>43</b>
<b>4.10</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice estomático del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>44</b>
<b>4.11</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable largo del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>45</b>
<b>4.12</b>	Interacción genotipos por días de muestreos en la variable ancho del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.....	<b>46</b>

## RESUMEN

La demanda de la producción de cereales ha incrementado en el mundo en y México cabe señalar que cada vez es importante su uso industrial por lo que el rendimiento del cultivo de los productores es importante ya que favorece las ganancias por ello conocimiento del comportamiento del cultivo y para generar información es recomendable el uso de tecnologías satelitales y sensores remotos de infrarrojo como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), ayuda a predecir el crecimiento, desarrollo del cultivo, lo que hace que estas herramientas de reflectancia espectral crea facilidad para identificar materiales de buen genotipo para llevar a cabo el mejoramiento genético. En el presente trabajo de investigación se comparó la respuesta de la altura, temperatura, ICC, NDVI y el estudio estomático de la planta de 50 genotipos de cereales de grano pequeño para obtener la eficiencia de los sensores infrarrojos vs estudio estomático; donde 45 de ellos fueron líneas, producto de la cruce entre cv. GABYAN95 y cv. Esperanza, y teniendo como testigos a: avena (cv. Cuauhtémoc), cebada maltera (cv. Cerro Prieto), cebada forrajera GABYAN95, trigo (línea AN-266-99) y triticale de grano (cv Eronga-83), producidos en el Campo experimental Ejido San Lorenzo, Municipio San Pedro de las Colonias, Coah. 2017, considerando dos fechas de muestreos 75 dds y 90 dds. Las variables evaluadas fueron: Temperatura (TEMP), Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Altura (ALT), Índice de Contenido de Clorofila (ICC), Densidad Estomática de Haz (DEH), Índice Estomático de Haz (IEH), Longitud de Haz (LH). Ancho de Haz (AH), Densidad Estomática de Envés (DEE), Índice Estomático de Envés (IEE), Longitud de Envés (LE) y Ancho de Envés (AE). Los resultados se analizaron bajo un diseño parcelas divididas, teniendo como parcela grande los muestreos y parcela chica los genotipos con dos repeticiones, determinando el nivel de significancia y las pruebas de comparación de medias, se encontraron diferencias altamente significativas entre los muestreos en todas las variables. También se llevó a cabo la prueba de comparación de medias entre los genotipos donde se seleccionaron mediante grupos estadísticos los materiales más sobresalientes y los más deficientes en los parámetros evaluados, así mismo se evaluó la interacción

genotipo por muestreos donde mediante las gráficas se identificaron los materiales más sobresalientes y deficientes en el estudio de altura, temperatura, índice de contenido de clorofila, índice de vegetación diferencial normalizado y por último el estudio estomático los resultados fueron diferentes y aleatorios. Donde resulto que el tamaño y cantidad de estomas en el haz y envés influye en el rendimiento de apertura y cierre, lo cual evita la perdida de agua, mejora la calidad de fotosíntesis y transpiración para lo cual se puede obtener características que beneficien al mejoramiento genético del cultivo de cebada.

**Palabras clave:** *Cebada, estudio estomático, ICC, temperatura de dosel, NDVI*

## INTRODUCCIÓN

En México, la cebada es uno de los cultivos más importantes tanto para la industria cervecera como para la elaboración de alimento para ganado, tiene una mayor relevancia en la región de los Valles Altos (SIAP, 2015), que la producción de cebada se destina principalmente para la industria maltera; mientras que los residuos derivados (paja y granos que no cumplen los requerimientos mínimos de calidad) se utilizan como complemento alimenticio en las dietas de ganado bovino, ovino o caprino (Reyes *et al.*, 2013). La agricultura y la ganadería son actividades comunes en el medio rural de manera general en el país. Sin embargo, la escasez de insumos forrajeros es un serio problema que enfrenta la mayoría de los productores ganaderos. La causa más común es la ausencia de especies forrajeras adaptadas a las distintas regiones agrícolas.

Un ejemplo tenemos a la Comarca Lagunera como principal cuenca lechera de México, resulta evidente la necesidad de contar con opciones forrajeras que contribuyan a la satisfacción de esta demanda pero que especialmente sean eficientes el uso del agua y que ofrezcan adecuada producción y calidad de forraje. Si bien en nuestro país la cebada (*Hordeum vulgare* L.) es un cultivo conocido fundamentalmente por su utilidad industrial, es innegable que puede llegar a convertirse en una importante alternativa forrajera anual de invierno dada a su precocidad, rusticidad y tolerancia a salinidad en comparación con especies tradicionales como avena y ballico, sobre todo si se desarrollan variedades con calidad nutritiva, y que además carezcan de aristas en la espiga, lo cual permitirá extender el periodo de cosecha hasta grano lechoso-masoso o más para la producción de heno pero sobre todo de silo de alta calidad. La cebada como se sabe es un cereal invernal de amplia adaptación; sin embargo, debemos destacar el hecho de que las variedades que actualmente se utilizan en nuestra área de influencia fueron formadas y desarrolladas fundamentalmente en el Bajío Mexicano con condiciones de suelo y agua considerados de alto potencial productivo, de modo que al establecerlas en el Norte de México exhiben un comportamiento muy diferente en aquellas áreas Colín (2007). Además dichas

variedades cuyo objetivo ha sido la producción de grano para la industria malteracervecera, son de corta o mediana estatura y fuertemente barbadadas o aristadas. Es por ello, que el Programa de Cereales de Grano Pequeño, del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha desarrollado líneas de cebada que pueden competir con las variedades comerciales actuales, al presentar mejores características de adaptabilidad y rendimiento, además de tener cualidades de stay-green (estado verde por más tiempo) (Jennings, 2002).

Dentro de la agricultura de precisión permite obtener información sobre datos de diferentes zonas de la superficie de un cultivo, tratando de manera diferente cada zona, esto se logra mediante la elaboración de mapas espectrales de reflectancia, que pueden determinar problemas localizados antes de que afecten a la totalidad del cultivo. Uno de las principales herramientas en generar estos mapas son los índices usados de NDVI (índice de vegetación diferencial normalizado), que mide el grado de vigor de la planta o el rendimiento clorofílico y del cual pueden desprenderse multitud de conclusiones acerca de la salud del cultivo. Una vez generado el mapa de reflectancia del NDVI, su análisis puede determinar zonas del cultivo que deben vigilarse con mayor atención permitiendo una toma de decisiones más precisa.

Algunos aspectos que afectan al cultivo y que modifican los mapas, son las condiciones del clima, por ejemplo las gramíneas de clima templado de ciclo otoño-inverno-primaveral (O-I-P), al exponerse a temperaturas bajas pueden provocar efectos positivos y tener respuestas bioquímicas y fisiológicas favorables (Theocharis *et al.*, 2012; Hüner *et al.*, 2013), pero pueden existir cambios morfo-anatómicos, tales como, el acortamiento de vainas y láminas (Hüner *et al.*, 1998), el incremento en la relación raíz: parte aérea (Equiza *et al.*, 1997; 2001), el incremento en el grosor foliar (con la concomitante disminución del área foliar específica; Hüner *et al.*, 1981; Equiza *et al.*, 2001) y el desarrollo de paredes celulares más gruesas en las células epidérmicas y en la vaina estomática (Griffith & Brown, 1982; Equiza *et al.*, 2001).

Además, los cambios en la densidad estomática también tienen influencia sobre la aclimatación de la planta a bajas temperaturas o sobre la tolerancia al congelamiento; así como la proporción de estomas, contribuye en el estado hídrico de las plantas, sobre todo cuando existe mayor demanda transpiratoria (Equiza *et al.*, 2001), o una disminución de estomas, en plantas a baja temperatura podría contribuir a una mayor tolerancia a heladas, siendo que la cantidad, el tamaño de los estomas pudieran jugar un rol importante (Pearce, 2001; Huner *et al.*, 1981; Equiza *et al.*, 2001).

El esfuerzo dedicado al mejoramiento genético y selección de la cebada forrajera a lo largo de los últimos años en la UAAAN, han podido generar y registrar a la variedad GABYAN95 la cual presenta características de precocidad, alta producción de materia seca con calidad nutricional y el carácter stay green. Sin embargo, la falta de información sobre el uso de tecnología infrarroja en comparación con metodologías convencionales en la producción de cebada, no se ha podido considerar en las tomas de decisiones precisas o para la selección de materiales en determinados climas de producción; para ello, el presente trabajo se planteó el objetivo general y específicos, así como las hipótesis siguientes:

#### **Objetivo general**

- Comparar 45 progenies de cebada forrajera imberbe con otras especies de cereales a través de sensores infrarrojos, altura y estudio estomático de las plantas producidas en el Municipio de, San Pedro de las Colonias, Coahuila, para propósitos de selección.

#### **Objetivos específicos**

- Valorar y comparar 45 progenies y dos variedades de cebada con otras especies (avena, trigo y triticale), a través de sensores infrarrojos (NDVI, ICC y temperatura de dosel) a los 75 y 90 días después de la siembra.

- Valorar y comparar 45 progenies y dos variedades de cebada con otras especies (avena, trigo y triticale), a través de estudio estomático del adaxial y abaxial de la hoja bandera a los 75 y 90 días después de la siembra.
- Detectar la respuesta y relación de las variables evaluadas: sensores infrarrojos, altura y estudio estomático de la planta en los 50 genotipos de cereales de grano pequeño.

### **Hipótesis**

- Existe al menos una progenie de cebada con una respuesta diferente al resto de las progenies y a otra especie de cereales en una de las variables evaluadas de sensores infrarrojos (NDVI, ICC y temperatura de dosel), así como en el estudio estomático de la planta.
- Existe una relación positiva entre las variables evaluadas utilizando sensores infrarrojos como NDVI, ICC y temperatura de dosel, con la altura de la planta; además de tener relación con una de las variables del estudio estomático del haz y envés de hojas de los genotipos estudiados y ser utilizados como parámetros de selección.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Origen de la cebada**

La cebada es un cultivo originario de Asia y Etiopía, y se considera como una de las plantas más antiguas del mundo (Vavilov 1914), teniendo referencia de ella en documentos más antiguos, originalmente se cultivó en Egipto, Grecia y China. En la mayor parte de Europa, Estados Unidos. Es resistente a la sequía y puede cultivarse en suelos poco profundos y pedregosos, con la condición que no falte agua al inicio de su desarrollo; existen algunas variedades que son resistentes a la sal, con lo cual se mejoran los rendimientos en zonas de litoral. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta más de 4 mil metros sobre el nivel de éste.

### **Importancia mundial de la cebada**

Durante el período 2015-2016 el comercio mundial de cebada logró un volumen aproximado de 24 millones de toneladas. En la serie histórica, si bien los volúmenes totales de cebada comercializada muestran fluctuaciones interanuales, observando un crecimiento sostenido.

En relación al uso, del total de cebada comercializada, en el entorno de un 80 % corresponde a cebada con destino forrajero. En el período 2015/2016 en el mundo se produjeron algo más de 138 millones de toneladas de cebada (Donato y Loza, 2017). Los mayores productores de este cereal son la Unión Europea, Rusia, Australia, Canadá, Turquía, Ucrania, Estados Unidos de América y Argentina, mostrando los porcentajes de producción en la siguiente Figura 2.1.

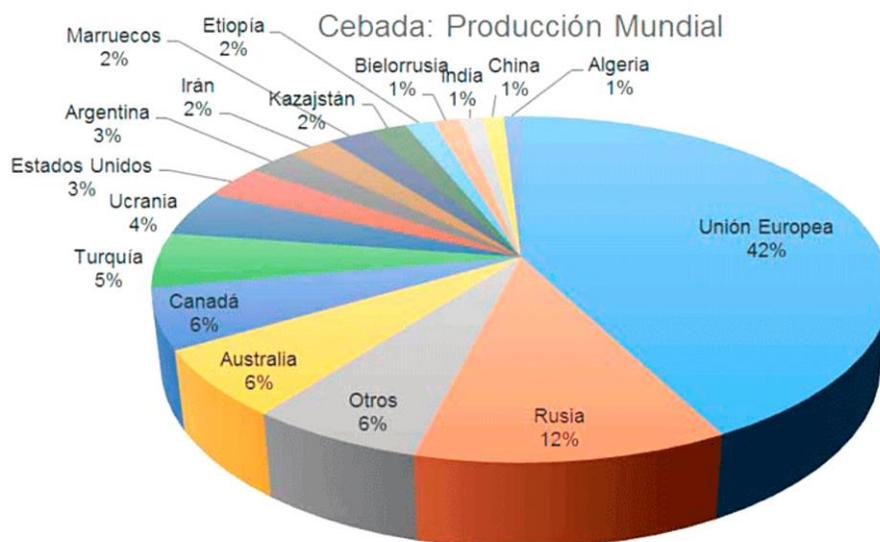


Figura 2.1 Producción Mundial de cebada. Fuente

[http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue\\_38/Cangue38\\_industria.pdf](http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue_38/Cangue38_industria.pdf)

### Importancia del cultivo de la cebada a nivel nacional

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), en México es la principal materia prima de la industria cervecera. Del grano se extrae la malta que se requiere para la fabricación de cerveza, siendo en mayor proporción que para la producción de forraje.

En nuestro país, la producción de cebada para grano ocupa el séptimo lugar en importancia y su cultivo es practicado en alguno de los dos ciclos del año en los 23 Estados de la República (SAGARPA, 2006), en donde se cosechan en promedio 313,000 hectáreas con un rendimiento medio de 2,397kg/ha en riego y temporal y un volumen de producción de 750,261 toneladas de grano al año (Cabañas *et al.*, 2004).

Se produce en 16 entidades del país, donde Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Estado de México son las cinco principales productoras, que en conjunto aportan 859 mil toneladas, es decir el 89 por ciento del volumen nacional; Guanajuato produce 372 mil 167 toneladas; Hidalgo, 268 mil 595 toneladas; Tlaxcala, 83 mil 469; Puebla, 68 mil 508 toneladas, y el Estado de México, 66 mil 393 toneladas.

A nivel entidad, los crecimientos más importantes registrados en el 2016 corresponden a Nuevo León, 334 por ciento; San Luis Potosí, 184.3 por ciento; Durango, 157.2 por ciento; Michoacán, 104.5 por ciento; Querétaro, 80.5 por ciento, y Guanajuato, 77.2 por ciento. Así como en Oaxaca, 35.4 por ciento; Hidalgo, 26.3 por ciento; Estado de México, 20.6 por ciento; Jalisco, 19.1 por ciento, y Puebla, 16.6 por ciento, entre otros.

La producción de cebada ocupa una superficie de 336 mil hectáreas y genera un valor estimado en dos mil 746 millones de pesos. Los periodos de cosecha abarcan los meses de octubre a diciembre, así como abril y mayo.

#### **Especies cultivadas con características de stay-green**

La senectud representa un proceso en el que las hojas pierden su estado verde, lo cual lleva a la muerte de la planta. Esta pérdida de verdor se produce como resultado de la disminución del contenido de clorofila, dando lugar a un evidente síntoma de senectud foliar. Cuando la aparición de estos síntomas se retrasa tal condición se denomina *Stay Green* o capacidad de permanecer verde, y ha sido asociada con la mejora del comportamiento de los nuevos híbridos (Jennings, 2002).

Por ejemplo, la variedad Fedearroz 50, lanzada en 1998, rápidamente ocupó gran parte del área de arroz en Colombia y ha sido sembrada en otros países tropicales del hemisferio. La variedad es una típica índica que tiene japónicas de Taiwán y África occidental como progenitores lejanos. Fedearroz 50 difiere de las otras 300 variedades semi-enanas lanzadas en América Latina durante los últimos 35 años en que tiene hojas de un intenso color verde, una hoja bandera larga y erecta poco común y un follaje de permanencia verde. Su potencial de rendimiento es similar al de IR8 o Bg90-2. El macollamiento, por debajo del promedio, se compensa con sus grandes panículas. Su ciclo es de una a tres semanas más largo que el de otras variedades (Berrío, 2002).

Se ha demostrado que la reducción de la senescencia foliar (permanencia en verde) mejora la tolerancia al estrés hídrico posterior a la floración en el sorgo granífero. Se han identificado varios loci de rasgos cuantitativos (QTL) asociados con el verde vivo en el sorgo, para facilitar la transferencia de este rasgo en fondos genéticos adaptados. Este estudio informa las evaluaciones iniciales, tanto en ambientes de estrés bien regado como después de la floración, después de la introgresión parcial (BC 2 F 3 / BC 1 F 4 generaciones) de cuatro QTLs estables para estadía verde ( StgB , Stg1 , Stg3 y Stg4)) de la progenitora donante B35 a la variedad senescente R 16. La mayoría de las líneas de introgresión tuvieron niveles más altos de clorofila en la floración (un rasgo distintivo del progenitor donante) y un mayor porcentaje de área foliar verde durante la última parte del llenado de grano que R 16, lo que indica que los QTL de permanencia verde se expresaron fenotípicamente en el fondo R 16.

Por su parte (Torrecillas, 2006), mencionan que los sorgos potencialmente aptos para producción de ensilaje son: híbridos sileros (en general poseen alto contenido de azúcares solubles en tallo, con alturas de planta de hasta 2.8 m y que pueden tener o no incorporado el rasgo BMR), híbridos fotosensitivos e híbridos graníferos.

Múltiples cortes (por ejemplo, pastoreo). En óptimas condiciones de cultivo, pueden alcanzar alturas de 4 m, y debido a que responden al fotoperíodo (12 hs, 20') para desencadenar la floración, se los aprovecha sin panoja. Poseen alto contenido de azúcares solubles en tallo y un alto stay-green. A pesar de ello, la ausencia de grano limita seriamente el contenido energético del ensilado.

### **Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**

La superficie de la planta refleja intensamente la energía en el rango de infrarrojo cercano, la reflectancia es determinada por las propiedades de los tejidos foliares, es decir, por su estructura celular y las interfaces entre la pared celular exterior, el protoplasto y el cloroplasto (Kumar y Silva, 1973). Estas características

anatómicas son afectadas por factores medioambientales como la humedad del suelo, la cantidad disponible de nutrientes, la salinidad y la etapa foliar en que se encuentra la planta (Ma *et al.*, 2001). El máximo contraste de reflectancia entre la vegetación y el suelo ocurre en la región del rojo y del infrarrojo cercano.

El NDVI logra predecir la actividad fotosintética de la planta ya que este índice de vegetación incluye tanto el rango del infrarrojo cercano como la luz roja. La actividad fotosintética de las plantas es determinada por el contenido y la actividad de la clorofila. Se ha comprobado que existe una relación entre el contenido de nitrógeno y la clorofila foliar en el cultivo de maíz (Piekielek y Fox, 1992; Chapman y Barreto, 1997) y el trigo (Evans, 1989). El NDVI se calcula a partir de las mediciones de la reflectancia en el rango de luz roja e infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) del espectro:

$$NDVI = \frac{RNIR - RRed}{RNIR + RRed}$$

Dónde:

RNIR= Reflectancia de la radiación.

NIR y RRed= Reflectancia de la radiación del rojo visible.

### **Sensores infrarrojos**

La agricultura moderna cuenta cada vez más con un mayor nivel de tecnificación, a través de la incorporación de nuevas tecnologías usadas en otras disciplinas diferentes al sector agrario. Un ejemplo es el uso de sistemas de detección remota para la monitorización del estado fisiológico de los cultivos. Estos sistemas se basan en la detección y registro de las variaciones espectrales de los cultivos tanto en el rango de la radiación visible, como dentro del espectro electromagnético en el rango del infrarrojo (Jones y Vaughan, 2010).

La detección remota está siendo cada día más usada para el desarrollo de estudios relacionados con la eco-fisiología vegetal, y las aplicaciones prácticas de la misma en la agricultura y ciencias forestales, ya que la información ofrecida

puede ser relacionada con varios parámetros morfo-fisiológicos (biomasa, transpiración y fotosíntesis) (Jones y Vaughan, 2010).

Las ventajas de la detección remota son varias: es un método no invasivo, no destructivo, rápido y permite trabajar a diferentes escalas (desde plántulas hasta grandes áreas de cultivo lo que permite el registro de datos en tiempo real y obtener información cuantitativa sobre la variabilidad de los cultivos).

Una monitorización eficaz del estado hídrico de los cultivos es esencial para optimizar el uso del agua en la agricultura, así como su desarrollo y producción final. Esto es especialmente significativo en el caso de que se estén desarrollando prácticas de riego deficitario, en donde la cantidad de agua aplicada es inferior a la demandada por el cultivo, lo que provoca situaciones de déficit hídrico tanto en el suelo como en la planta (Ferreeres y Soriano, 2006; Chaves *et al.*, 2007).

En términos fisiológicos, una situación de estrés hídrico moderado promueve el cierre de los estomas y por ende, un descenso de la conductividad estomática al vapor de agua, a lo cual va unido una disminución más o menos significativa de la actividad fotosintética, provocando un incremento de la eficiencia del uso del agua (Medrano *et al.*, 2010). Sin embargo, una mala gestión del riego deficitario puede causar importantes pérdidas en la producción y/o la calidad de la misma, en particular, si dicha monitorización no se realiza de una forma precisa en los periodos más críticos para el cultivo, que coinciden con las épocas de mayor demanda evapotranspirativa. Para evitar este tipo de situaciones, son varios los indicadores de estrés hídrico usados en la monitorización del estado fisiológico de los cultivos.

Más allá de la monitorización del estrés hídrico en plantas, la termografía también ha sido usada para la caracterización del comportamiento de nuevos genotipos/variedades en condiciones de laboratorio y campo, en función de su resistencia al estrés hídrico y térmico (Jones *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2013).

Una utilización combinada de diferentes técnicas de análisis de imágenes ayudará a extraer la máxima información sobre los diferentes parámetros fisiológicos y bioquímicos de las plantas (fotosíntesis, clorofila, o eficiencia del uso del agua) (Mc Ausland *et al.*, 2013).

### **Fotosíntesis y pigmentos en plantas**

La fotosíntesis es importante para la vida en el planeta porque convierte la energía de radiación proveniente del Sol en energía química que es usada por todas las formas de vida en el planeta. Para realizar la fotosíntesis, las plantas utilizan las franjas de radiación que se encuentran en el rango entre 400nm a 700nm. La fotosíntesis en las plantas comprende dos reacciones, una que realiza la transducción de energía y otra que reduce la fijación del carbono, de ellas se han establecido dos conceptos para las reacciones fotoquímicas, el primero se refiere a la unidad fotosintética.

La fotosíntesis puede verse afectada cuando la planta sufre estrés provocado por alta radiación, radiación UV, falta de agua, altas concentraciones de sales y metales pesados, temperaturas extremas, estos factores afectan el cloroplasto y causa baja en la eficiencia de los fotosistemas, disminución de la fijación de CO<sub>2</sub> y pérdida en el uso de agua, sin embargo, las plantas que experimentan estrés pueden desarrollar tolerancia debido a que el aparato fotosintético es flexible y puede adaptarse a cambios metabólicos y de luz rápidamente dando como respuesta modificaciones en la biogénesis del aparato fotosintético de la planta. La alteración en los pigmentos puede estar relacionada con la fotoaclimatación porque las células aclimatadas a alta irradiación parecen contener altas concentraciones de carotenoides en relación a Clorofila a. (Melgarejo, 2010). Los pigmentos son esenciales para la conversión de energía, la mayoría de los pigmentos sirven como colectores de luz y transfieren la energía a los centros de recolección donde se desarrolla la fotosíntesis, los carotenoides tienen la capacidad de capturar y transducir energía, además, están relacionados con la protección contra daño fotolumínico del aparato fotosintético, al disipar el exceso de luz absorbida por los pigmentos.

## **Transpiración de las plantas**

En el proceso de la transpiración, las plantas fijan CO<sub>2</sub> proveniente de la atmósfera y a la vez existe pérdida de agua, en dicho intercambio se determina el uso eficiente de agua en las plantas, que dependerá en primer lugar de las características propias de la especie y variedad que tengan relación con la capacidad de optimización de los procesos de asimilación de carbono y evapotranspiración de agua; y en segundo lugar de las condiciones ambientales donde crece y se desarrolla la planta (Medrano *et al.*, 2007).

### **Importancia de las estomas en la planta**

Los estomas son importantes en la fisiología de las plantas, debido a que son responsables del intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja y con ello evitan la excesiva pérdida de agua (Weeb y Baker, 2002; Fan *et al.*, 2004). Estos también desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la homeostasis de la planta, de ahí la importancia de conocer el número, forma y factores que controlan su apertura o cierre (Sánchez y Aguirreola, 1996).

La cantidad de estomas en la superficie adaxial (haz) en comparación con la abaxial (envés) es característica distintiva de diferentes especies. Las plantas con estomas en el haz son llamadas epiestomáticas, las que tienen en el envés son hipoestomáticas y aquellas con estomas en el haz y envés son anfiestomáticas (Gates, 1980; Larkin *et al.*, 1996; Serna *et al.*, 2002; Azcon Bieto y Talón, 2008). Las anfiestomáticas es común encontrarlas en ambientes áridos, y hojas con estomas solo en el envés es más común encontrarlas en plantas de hábitats mesofíticos (Parkhurst, 1978), por otro lado es común encontrar hojas con estomas solo en la superficie adaxial en plantas acuáticas como el lirio de agua (Lawson, 2009).

Son diversos los factores que controlan la apertura y cierre de estomas: la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las hojas, humedad atmosférica, potencial hídrico de la hoja, temperatura y viento (Tibbitts, 1979; Comstock y Mecuccini, 1998; Cochard *et al.*, 2002). En este sentido, Long *et al.* (1994) y Smirnoff (1993),

mencionan que en las regiones de clima mediterráneo las diferentes especies se enfrentan de forma distinta a la falta de agua estival y adoptan estrategias fisiológicas (cierre de estomas), morfo-anatómicas (enrollamiento foliar, cambios en la reflexión, paraheliotropismo) o bioquímicas (Reacción de Mehler, ciclo Asada-Hallivell, fotorespiración).

Las plantas pueden ser evitadoras o tolerantes en condiciones de sequía, las evitadoras previenen el daño por déficit hídrico mediante un rápido cierre de estomas, evitando así cambios en el potencial hídrico de la planta pero limitando la asimilación de carbono. Las plantas tolerantes reducen la pérdida de agua manteniendo cierta asimilación de carbono y su potencial hídrico se reduce durante horas de luz y se recupera por la noche (Kramer, 1983; Jones, 1987).

### **Número de estomas en las diferentes especies**

El número de estomas en las diferentes especies vegetales es variable. Esau (1977) establece un rango de 100 a 300 estomas/mm<sup>2</sup> en angiospermas. Schoch *et al.* (1980), Cañizares *et al.* (2003), Pares *et al.* (2004), han encontrado en varias especies de cítricos y *Annona*, que el número de estomas varía en la superficie de la lámina con respecto al patrón o porta injerto utilizado.

La heterosis y nivel de ploidia en cítricos tienden a disminuir la frecuencia estomática e incrementar el tamaño de estomas (Costa *et al.*, 2004). En razas y cultivares de aguacatero se ha encontrado que la densidad estomática puede variar de 100 a 610 estomas por mm<sup>2</sup>. Barrientos-Priego (2003) encontraron que en la hoja once se detectó mayor densidad estomática en tres razas de aguacatero. Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín (1983) proponen hacer preselección de genotipos en estado de plántulas de este cultivo con base en la densidad estomática. El número y densidad estomática es afectada por la salinidad en especies como *Capsicum annuum*, *Lycopersicon esculentum* Mill, *Carica papaya* L. (Bethke y Drew, 1992; Salas *et al.*, 2001; Pares *et al.*, 2008).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Ubicación del experimento**

El presente trabajo se llevó a cabo en dos fases campo y laboratorio.

### **Ubicación del Campo experimental**

En el Rancho Beta Santa Mónica S.P.R. de R. L. de C.V., Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila de Zaragoza; localizado a 25° 43' 26.0" latitud norte y 103° 09' 12.0" longitud oeste; a una altitud de 1,090 msnm, con una temperatura promedio anual de 21.2°C y una precipitación pluvial anual de 18 mm.

### **Ubicación del laboratorio**

Se realizó en el Laboratorio de cultivo de tejidos vegetales perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, situada geográficamente a 25° 21' Latitud Norte, Longitud Oeste de 101° 1', Latitud es de 1784 msnm.

### **Material genético**

Se evaluaron 45 líneas progenies de cebada forrajera imberbe, producto de la cruce entre la variedad GABYAN95 con la variedad comercial Esperanza liberada por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), desarrollados por el Programa de Cereales de Grano Pequeño de Invierno de la UAAAN; utilizando como testigos a dos variedades comerciales Cerro prieto y GABYAN95, una avena (cv Cuauhtémoc), una línea de trigo (AN-266-99) y un triticale (cv Eronga-83), identificados en el siguiente Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Identificación de los materiales genéticos estudiados**

Identificación	Genotipo	Identificación	Genotipo	Identificación	Genotipo
G1	CANI-1-14	G18	CANI-62-14	G35	CANI-103-14
G2	CANI-9-14	G19	CANI-63-14	G36	CANI-104-14
G3	CANI-10-14	G20	CANI-68-14	G37	CANI-107-14
G4	CANI-11-14	G21	CANI-69-14	G38	CANI-108-14
	CANI-12-14	G22	CANI-70-14	G39	CANI-110-14
G5					
G6	CANI-15-14	G23	CANI-77-14	G40	CANI-126-14
G7	CANI-16-14	G24	CANI-78-14	G41	CANI-128-14
G8	CANI-20-14	G25	CANI-80-14	G42	CANI-129-14
G9	CANI-25-14	G26	CANI-81-14	G43	CANI-130-14
G10	CANI-28-14	G27	CANI-82-14	G44	CANI-131-14
G11	CANI-29-14	G28	CANI-83-14	G45	CANI-133-14
G12	CANI-30-14	G29	CANI-85-14	T46	AVENA CUAHUTEMOC
G13	CANI-31-14	G30	CANI-86-14	T47	CEBADA CERRO P.
G14	CANI-40-14	G31	CANI-98-14	T48	CEBADA GABYAN95
G15	CANI-51-14	G32	CANI-99-14	T49	TRIGO AN-266-99
G16	CANI-55-14	G33	CANI-100-14	T50	IRITICALE ERONGA-83
G17	CANI-56-14	G34	CANI-101-14		

CANI= Cebada Antonio Narro Imberbe

## Metodología

### Establecimiento de plantas en campo

Se realizó la siembra en la localidad para establecer experimentos, sembrando los 50 genotipos incluyendo a los testigos a una densidad de 100 kg ha<sup>-1</sup> en parcelas de 6 surcos de 3.0 m de longitud, espaciados a 0.3 m, con una fertilización de 120-80-00; bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones de acuerdo con el procedimiento establecido por (Zar, 1996), ya que la distribución de bloques al azar es de uso común y eficaz, las ventajas son mayores cuando se conoce el gradiente de variación, formando bloques perpendiculares a la dirección del gradiente.

### Control de malezas

Se aplicó el herbicida 2-4-D amina a una dosis de 1.5 l ha<sup>-1</sup> para el control de malezas de hoja ancha y se complementó con deshierbes manuales posteriormente.

## **Riego**

Se llevaron a cabo dos riegos el primero se llevó a cabo el día 9 de diciembre del 2016 la cual fue adicionado con 200 kg de nitrógeno, el segundo riego se aplicó día 8 de enero del 2017.

## **Muestreos**

En el estudio se llevaron a cabo dos muestreos: uno a los 75 días después de la siembra, el 27 de enero del 2017 y el segundo a los 90 días después de la siembra, el 11 de febrero del 2017, donde se realizaron los muestreos de lecturas con los sensores infrarrojos y se realizaron los cortes de 10 hojas bandera por parcela para los estudios estomáticos en laboratorio.

## **Evaluación en la fase de campo**

### **Altura de la planta**

Se llevó a cabo la medición de la altura de la planta desde el suelo hasta la punta en central de la parcela, utilizando un flexómetro y registrando el dato en centímetros.

### **Temperatura del dosel**

Para esta variable se utilizó un termómetro infrarrojo IP-54, marca Fluke, con esta herramienta se pudo obtener los datos de temperatura de cada parcela. Este aparato puede medir temperatura desde los  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $500^{\circ}\text{C}$  con óptica de 10:1 la cual contiene un láser que permite señalar el cultivo o parcela para obtener la temperatura total de un conjunto de plantas.

En la Figura 3.2, se muestra la posición del aparato hacia el centro de la parcela para la toma de lectura.



Figura 3.2. Toma de lectura de temperatura de dosel.

### **Índice de contenido de clorofila**

Para obtener el contenido de clorofila en la planta se utilizó un (SPAD-420) marca konica Minolta, la cual nos permite medir el verdor de una planta por medio de la absorbancia este aparato utiliza una escala de 0-99, con dos longitudes de onda dando el ICC, la cantidad de clorofila de una planta, en este experimento se tomó lectura en la parte media de 10 hojas bandera de cada parcela experimental, como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Medición del índice de contenido de clorofila en hoja bandera.

### **Índice de vegetación diferenciado normalizado**

Este parámetro se evaluó con sensores de luz roja e infrarroja utilizando como herramienta un sensor portátil, marca GreenSeeker™, la cual tiene la función de emitir breves ráfagas de luz, dirigiendo en la parte central de la parcela como se observa en la Figura 3.4, obteniendo diferentes cantidades de luz reflejada, y expresada una lectura NDVI desde 0.00 a 0.99 en las configuraciones electrónicas.



Figura 3.4 Medición de NDVI mediante un sensor portátil.

### **Evaluación en la fase de laboratorio**

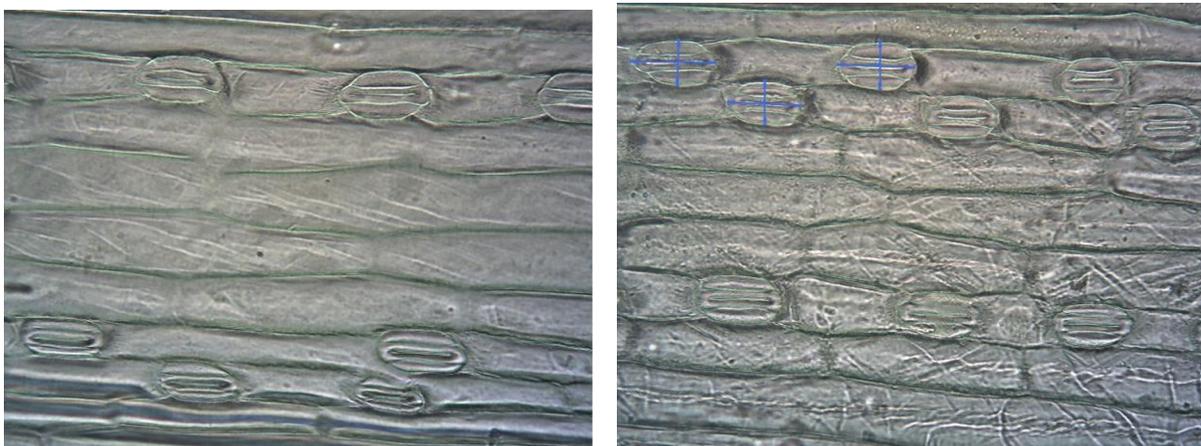
Una vez cortadas las hojas bandera de cada parcela, se llevaron a las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para determinar las variables del estudio de estomas, teniendo las variables: Densidad e índice estomático para haz y envés; así como ancho y largo de estomas para haz y envés.

### **Estudio de estomas (Densidad e índice estomático para haz y envés)**

Para el estudio de estomas, se tomaron dos muestreos que fueron a los 75 días y 90 después de la siembra, se utilizaron seis hojas bandera por parcela en cada

repetición. En cada hoja, de su parte media, se tomó una impresión epidérmica del haz (adaxial) y en otra hoja del envés (abaxial), utilizando poliestireno-xilol en forma líquida, el que se aplicó sobre la superficie foliar con un pincel. Después de que se secó la película, ésta fue removida con un trozo de cinta adhesiva transparente y se montó sobre un portaobjetos. En cada impresión se observaron al azar tres campos microscópicos a 40X, analizando 81 campos del microscopio por genotipo, de la superficie adaxial y 81 de la superficie abaxial.

De cada campo se tomó una microfotografía, en la que se contaron los estomas y las células epidérmicas, además se midió el ancho y largo ( $\mu\text{m}$ ) de las células oclusivas de dos estomas en cada una de los campos del microscopio compuesto (Carl Zeiss) con una cámara digital (PixeraWinder Pro), de manera que se midieron estomas de la superficie del adaxial las variables Longitud del Haz (LH) y Ancho del Haz (AH); y de la superficie envés por genotipo las variables Longitud del Envés (LE) y Ancho del Envés (AE), utilizando un software de medición (AxionVision Rel. 4.8, Digipro4), captando imagen y midiendo el largo y ancho de cada superficie estomática como lo muestra la Figura 3.5.



**Figura 3.5. Microfotografía de la evaluación del estudio estomático**

La densidad estomática se obtuvo de la siguiente forma:  $DE = \text{Número de estomas} / 0.02479 \text{ mm}^2 \text{ (área de la imagen fotografiada)} = \text{estomas por mm}^2$ .

Para sacar el índice estomático se utilizó la siguiente fórmula:  $IE = \frac{\text{N}^\circ \text{ de estomas}}{\text{células epidérmicas} + \text{N}^\circ \text{ de estomas}} \times 100$  (Wilkinson, 1979).

### **Análisis estadístico**

La significancia para los valores TEMP, NDVI, ALT, ICC, DEH, IEH, LH, AH, DEE, IEE, LE, AE fueron analizados por el paquete Statistical Analysis System(SAS, Ver 6 2009) donde se aplicó el modelo de análisis de varianza de bloques al azar. Para la comparación de medias de las diferentes variables registradas en el experimento se utilizó la prueba de diferencia mínima significancia (DMS) a un nivel de significancia del  $\alpha \leq (0.05)$ , donde se estableció en parcelas divididas considerando como parcela grande los muestreos y parcelas chicas los genotipos.

Los análisis de varianza se realizaron con el siguiente modelo.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + M_j + RM_{iJ} + G_k + GM_{JK} + E_{ijk}$$

$\mu$ : Efecto de la media general.

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

$M_j$ : Efecto del j-ésimo muestreo.

$RM_{iJ}$ : Efecto del error de parcela grande.

$G_k$ : Efecto del k-ésimo genotipo.

$GM_{jk}$ : Efecto de la interacción entre j-ésimo muestreo por k-ésimo genotipo.

$E_{ijk}$ : Efecto aleatorio del error experimental, según el modelo lineal aditivo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez registrados y analizados los datos de las diferentes variables del estudio; campo y laboratorio se realizó un Cuadro general de todas las variables evaluadas (Cuadro 4.1), indicando los cuadrados medios y nivel de significancia del análisis.

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza de la variable **Altura de planta**, mostró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las fuentes de variación genotipos y muestreos, así como en la interacción, lo que indica que al menos uno de los genotipos evaluados tuvo una altura diferente al resto, así como uno de los muestreos resultó con mayor o menor altura en las parcelas estudiadas; teniendo un Coeficiente de Variación de 4.85 %.

Para la variable **Temperatura de dosel**, se encontró una diferencia significativa entre los genotipos y altamente significativa entre muestreos evaluados, (Cuadro 4.1), indicando que el menos uno de los genotipos estudiados tuvo una respuesta en la temperatura de dosel diferente al resto, así como uno de los muestreos resultó con mayor o menor temperatura de dosel en las parcelas estudiadas. Mientras que, en la interacción genotipos por muestreos no se encontraron diferencias en las respuestas de la temperatura, teniendo un Coeficiente de Variación de 3.29%.

En los resultados obtenidos de la variable **Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en las fuentes de variación muestreo y en la interacción genotipo por muestreo, tal como se observan en el Cuadro 4.1; indicando que en alguno de los muestreos, mostró un mayor NDVI en las parcelas evaluadas; así como alguno de los genotipos presentó una respuesta diferente en uno de los muestreos, obteniendo un CV de 3.45 %. En el mismo cuadro general, el ANVA para la variable **Índice de contenido de clorofila (ICC)**, reportó diferencias altamente significativas en las fuentes de variación muestreo y en la interacción genotipo por muestreo, marcando que uno de los muestreos presento mayor o diferente respuesta en el

ICC; así como en alguno de los genotipos estudiados presenta una respuesta mayor o diferente en uno de los muestreos, generando un coeficiente de variación de 3.43% en los datos observados.

Siguiendo en el Cuadro 4.1, el resultado del análisis de varianza en **Densidad estomática de haz (DEH)**, se encontró diferencias altamente significativas en las fuentes de variación genotipos y muestreos, así como en la interacción, lo que sugiere que al menos uno de los genotipos evaluados tuvo una densidad estomática del haz diferente al resto, dado en uno de los muestreos resultando con una densidad mayor o menor (DEH) en las hojas de los genotipos estudiados; teniendo un Coeficiente de Variación de 20.89 %.

En los resultados obtenidos del ANVA en **Índice estomático del haz (IEH)**, se encontró diferencia altamente significativa en las fuentes de variación muestreo y en la interacción, como se observan en el cuadro general, marcando que alguno de los muestreos presentó en las hojas de los genotipos un valor diferente en el índice (IEH); así como en alguno de los genotipos estudiados a través de los muestreos presentó una respuesta en el IEH diferente al resto de los genotipos obteniendo un CV de 4.85 %.

Para la variable **Longitud del haz (LH)**, se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos y en la interacción genotipo por muestreo (Cuadro 4.1), indicando en la primera que al menos uno de los materiales genéticos estudiados se comportó de manera diferente al resto. Así mismo, en la interacción genotipo por muestreo al menos uno de los genotipos obtuvo un valor de longitud del haz en la hoja diferente en alguno de los muestreos, teniendo un Coeficiente de Variación de 13.79%.

En el caso de los resultados de análisis de varianza de **Ancho del haz (AH)**, se encontró una diferencia altamente significativa entre las fuentes de variación genotipos, muestreos y en su interacción genotipo por muestreo, dados en el

cuadro general, indicando entre los genotipos, que al menos uno de los genotipos estudiados tuvo una respuesta diferente en ancho del haz de la hoja, así como en alguno de los muestreos realizados y que la respuesta de al menos un genotipo al tiempo de muestreo fue diferente en el AH, encontrando un Coeficiente de Variación de 18.66%.

Para la **Densidad estomática de envés (DEE)**, se obtuvo una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en las fuentes de variación genotipos e interacción genotipos por muestreo, marcando entre los genotipos que al menos uno de los materiales genéticos estudiados presentó una densidad estomática del envés de la hoja diferente al resto, así como en algunos de los muestreos realizados, teniendo un Coeficiente de Variación de 21.75%, como lo muestra el Cuadro 4.1.

El análisis de varianza del **Índice estomático de envés (IEE)**, reportó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para las fuentes de variación genotipos y muestreos, así como en la interacción genotipos por muestreo, lo que puede indicar que al menos uno de los genotipos evaluados presento un índice estomático diferente al resto de los genotipos, además de presentar un mayor o menor IEE de las hojas en uno de los muestreos realizados; teniendo un Coeficiente de Variación de 4.79 %.

En las variables **Longitud del envés (LE) y Ancho del envés (EA)**, se encontró en el ANVA una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre las fuentes de variación genotipos, muestreos y en su interacción en las dos variables, como se observa en el Cuadro 4.1, indicando que el menos uno de los genotipos tuvo una respuesta tanto en la longitud como en el ancho de envés de la hoja diferente al resto de los materiales genéticos, en alguno de los muestreos realizados presentó una mayor o menor de longitud y ancho en el envés de la hoja de algunos de los genotipos evaluados, presentando un Coeficiente de Variación de 11.24% en LE y 13.60 % en AE.

**Cuadro 4.1 Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables evaluadas en 50 genotipos de cereales de grano pequeño en dos fechas de muestreo; Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

FV	GL	ALT	TEMP	NDVI	ICC	DEH	IEH	LH	AH	DEE	IEE(%)	LE	AE
REP	2	261.083**	11.038**	0.000060 NS	4.621**	116.173**	113.858**	288.142**	21.870**	142.307**	60.443**	439.815**	64.860**
MUESTREO	1	25300.083**	3228.176**	0.842*	27.695**	180.154**	923.221**	301.261**	109.819**	374.396**	234.456**	30.102**	266.869**
REP*MUESTREO	2	3.583 NS	40.59*	0.00057*	5.975 NS	173.236 NS	64.260**	154.245*	20.183*	869.957 *	61.219**	260.611 NS	159.244 NS
GENOTIPO	49	663.38**	0.774*	0.004 NS	27.695**	172.996**	13.148**	61.005**	29.548**	110.092**	18.271**	55.412**	19.435**
GEN*MUES	49	106.375**	0.487 NS	0.002*	4.782**	116.173**	10.924**	54.256**	25.259**	122.062**	15.313**	39.656**	15.159**
ERROR	196	23.914	0.453	0.0007	2.653	20528.246	14.895	54.092	20.678	101.639	14.458	37.694	10.825
CV(%)		4.85	3.29	3.45	3.43	20.89	4.85	13.79	18.66	21.75	4.79	11.24	13.60

**NS**=no significativo, \* =significativo al 0.05 de probabilidad, \*\* =significativo al 0.01 de probabilidad, **TEMP**= Temperatura, **NDVI**= Índice de vegetación diferencial normalizado, **ALT**= Altura, **ICC**= Índice de contenido de clorofila, **DEH**= Densidad estomática de haz, **IEH**= Índice estomático de haz, **LH**= Longitud haz, **AH**= Altura de haz, **DEE**= Densidad estomática de envés, **IEE**= Índice estomático de envés, **LE**= Longitud de envés, **AE**=Ancho de envés.

### Prueba de comparación de medias entre muestreos

En el Cuadro 4.2 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de comparación de medias Diferencia Mínima Significativa (DMS) de los dos muestreos realizados, encontrando que en la variable de temperatura de dosel fue mayor en el segundo muestreo a los 90 días después de la siembra que a los primeros 75 días teniendo una diferencia de 6.57 grados centígrados entre ellos. La temperatura cambia porque la luz influye de manera directa en el crecimiento de las plantas, sobre todo en su etapa de florecimiento y desarrollo vegetativo ya que el clima puede modificarse o alterarse conforme a los días que van pasando y la planta modifica su temperatura.

**Cuadro 4.2 Resultados de la prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables TEMP, ALT, NDVI e ICC; en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

Muestreo	Temperatura de dosel (TEMP)	Altura de la planta (ALT)	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)	Índice de Contenido de Clorofila (ICC)
75 dds	17.17 B	91.50 B	0.82 A	47.14 B
90 dds	23.74 A	109.86 A	0.72 B	47.61 A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. dds= días después de la siembra.

En la prueba de comparación de medias de la variable ALT, se logra detectar claramente el crecimiento de la planta al transcurrir los días, marcando que el segundo muestreo (90 días después de la siembra) obtuvieron la mayor altura, esto se debe al aprovechamiento de nutrientes, los procesos de asimilación de carbono evapotranspiración de agua y las condiciones ambientales donde crece y se desarrolla la planta se favoreció durante este tiempo (Medrano *et al.*, 2007).

Con respecto a la variable NDVI, el índice a los 75 dds fue mayor que al segundo muestreo (90 dds), teniendo una diferencia de 0.13; este efecto era de esperarse, el NDVI tiende a cambiar significativamente de acuerdo con el estado fenológico de un cultivo, cuando es tomada la lectura con un sensor la planta tiende a tener más NDVI en etapas tempranas que en etapas tardías, tal como lo reporta Pérez

(2018). Mientras que, en la variable de ICC, resultó un comportamiento contrario, en un primer muestreo presentó un menor contenido de clorofila en las hojas que aumentó en un segundo muestreo, como se sabe los pigmentos están relacionados con la fotoaclimatación de las plantas (Melgarejo, 2010), por lo que en los materiales pudo haber una acumulación o generación de mayor cantidad de clorofila en el desarrollo de la planta.

En la prueba de comparación de medias entre los muestreos en las variables del estudio estomático del haz de la hoja, reflejó que en el primer muestreo a los 75 días, las variables DHE, IEH e LH, resultaron con mayor valor, mientras que AH obtuvo un valor superior en los muestreos de 90 días (Cuadro 4.3). Estos cambios son provocados por los factores endógenos y ambientales como la luz, el CO<sub>2</sub> presentes en la localidad como lo menciona Boetsch *et al.* (1996); Schoettle y Rochelle, (2000) y puede ser modificada la morfología de los estomas de las hojas por estos factores; además de que los estomas regulan el intercambio gaseoso y mantiene un nivel hídrico adecuado en la planta, tendiendo a cambiar su morfología, como lo afirma Trewavas (2003).

**Cuadro 4.3 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables DEH, IEH, LH y AH; en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

Muestreo	Densidad estomática de haz (DEH)	Índice estomático de haz (IEH)	Largo de haz (LH)	Ancho de haz (AH)
75 dds	49.75 A	81.18 A	54.31 A	23.75 B
90 dds	48.20 B	77.67 B	52.30 B	24.96 A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. dds= días después de la siembra.

Se sabe que los estomas son primordiales en la fisiología de las plantas ya que son responsables del intercambio de gases entre la atmosfera y con ella evitan la excesiva perdida del agua (Weeb y Baker, 2002; Fan *et al.*, 2004); lo que hace que el conocer su forma, número y factores aporten información sobre como controlan su apertura y cierre en las plantas a nivel fisiológico (Sánchez y Aguirreola, 1996).

En Cuadro 4.4 se muestran los resultados de la comparación de medias entre muestreos en el estudio estomático del envés de las hojas de genotipos, encontrando los valores superiores en el segundo (90 dds), en las variables DEE, IEE y AE; comportamiento contrario a las variables del estudio estomático del haz, siendo también diferente en él LE que fue mayor a los 75 dds. Esto se debe a los diversos factores que controlan la apertura y cierre de estomas como la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las hojas, humedad atmosférica, potencial hídrico de la hoja, temperatura de la localidad y viento (Tibbitts, 1979; Comstock y Mecuccini, 1998) De igual manera se menciona que para algunas especies de plantas pueden ser afectadas su número y densidad estomática por la salinidad (Bethke y Drew, 1992; Salas *et al.*, 2001).

**Cuadro 4.4 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables DEE, IEE, LE y AE en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

Muestreo	Densidad estomática del envés (DEE)	Índice estomático de envés (IEE)	Largo del envés (LE)	Ancho del envés (AE)
75 dds	17.17 B	91.50 B	0.82 A	47.14 B
90 dds	23.74 A	109.86 A	0.72 B	47.61 A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. dds= días después de la siembra.

Sin embargo, en este estudio se encontró una inversa proporción en los valores del primer y segundo muestreo de la densidad e índice estomático tanto en el haz como en el envés; así como medidas inversas en los mismos muestreos tanto en el largo y ancho de haz y del envés.

## **Prueba de comparación de medias entre los genotipos**

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

En los resultados de la prueba de comparación de medias entre los genotipos estudiados en esta variable, se obtuvieron 11 grupos estadísticos, donde el primer grupo se conformó por 19 genotipos con valores de temperatura de dosel de 21.3 a 20.5 °C, siendo los genotipos G2 (CANI-9-14) y G20 (CANI-68-14) con los máximos valores de temperatura de 21.3 y 21.2 °C, respectivamente, a diferencia de Pérez (2018), que encontró a G17 y G5 (CANI-56-14 y CANI-12-14) con temperaturas de 28.30 °C y 28.30 °C en la localidad Zaragoza Coahuila en el ciclo O-I 2016-2017. Así mismo, dentro del estudio en este grupo estadístico también se encontraron los testigos avena Cuauhtémoc, cebada GABYAN95 (T46 y T48) con temperaturas de 20.8 y 20.7 °C respectivamente, como se muestra en el Anexo 1. En el último grupo estadístico, se encontraron 26 genotipos, con valores de temperatura de 20.4 a 19.6 °C, donde el testigo trigo AN-266-99 (T49) y el G9 (CANI-25-14) presentaron las temperaturas más bajas con 19.9 y 19.6 °C.

Estas diferencias de resultados entre genotipos confirman lo descrito por Houspanossian *et al.* (1990), al mencionar que en la planta se lleva a cabo un complejo equilibrio entre factores físicos, fisiológicos y climáticos, que alteran y modifican de diferente manera y proporcional la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación y la evapotranspiración.

### **Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**

Con respecto a la prueba de comparación de medias en NDVI, se obtuvieron 19 grupos estadísticos diferentes, donde el primer grupo se formó por 5 genotipos con valores de entre 0.845 a 0.815, teniendo a los genotipos G9 y G7 con los más altos índices de verdor de 0.845 y 0.83667, respectivamente (Anexo 1); así mismo en el primer grupo se encontraron los testigos avena, Cerro prieto y trigo (T46, T47 y T49) con índices de 0.82, 0.82 y 0.815, respectivamente: resultados

similares a los de Pérez (2018), quien encontró al trigo (AN-266-99) con el mayor valor de NDVI en el O-I 2016-2017, en Zaragoza Coahuila.

En el estudio, se encontraron en el último grupo estadístico a 19 genotipos con valores desde 0.751 hasta 0.723, y dentro de este grupo se estuvieron el testigo triticales Eronga-83 (T50) y el genotipo G43 (CANI-130-14) con el índice más bajo de 0.723.

Estos resultados se debieron a la afectación de las características anatómicas de las especies por factores medioambientales como la humedad del suelo, la cantidad disponible de nutrientes, la salinidad y la etapa foliar en que se encuentra la planta como lo afirma Ma *et al.* (2001).

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

En los resultados de la prueba de comparación de medias, se obtuvieron 17 grupos estadísticos diferentes en ALT, donde el primer grupo estadístico se formó por 22 genotipos con valores de altura de 105 a 110 cm, sobresaliendo los genotipos G33 (CANI-100-14) y G32 (CANI-99-14) con 110 y 109.2 cm respectivamente (Anexo 1); cabe mencionar que en este grupo se encontró al testigo cebada GABYAN95 (T48) con una altura de 108.3 cm; se puede mencionar que el efecto de la temperatura en esta localidad fue un factor determinante en el desarrollo de las plantas, como mencionan Van Keulen y Seligman citados por Solís y Díaz (2001), que pueden acelerar o acortar su ciclo de las plantas; como encontró Pérez (2018), por el efecto de la temperatura en la localidad de Zaragoza Coahuila, quien reportó en las especies triticales (Eronga-83) y avena (vr. Cuauhtémoc) alturas de 117 cm en promedio.

### **Índice de contenido de clorofila (ICC)**

En la prueba de comparación de medias entre los genotipos en el ICC, se obtuvieron 20 grupos estadísticos, donde los dos primeros grupos estadísticos los formaron los testigos avena T46 (var. Cuahutemoc) y triticales T50 (Eronga-83) con

valores de 55.92 y 53.96, respectivamente, estos resultados coinciden con Pérez (2018) al evaluar estos materiales en Zaragoza Coahuila en O-I 2016-2017; así mismo, se encontró en la comparación un tercer grupo formado por 14 genotipos donde el G6 (CANI-15-14) tuvo el mayor valor con 49.90, donde también se encontró al testigo cebada T47 (Cerro Prieto) como se aprecia en el Anexo 1, mientras que en el último grupo estadístico, se encontraron los genotipos G39, G9, G30, G13, G12 y trigo (T49, AN-266-99) con valores de 45.34 a 46.02, siendo este testigo el de más bajo ICC.

### **Densidad estomática del haz (DEH)**

En los resultados obtenidos en la prueba de comparación de medias entre los genotipos en esta variable, se obtuvieron 9 grupos estadísticos, donde el primer grupo se conformó por 11 genotipos con valores de 64.412 a 52.838 estomas\*mm<sup>2</sup> siendo los genotipos G1 (CANI-1-14) y G10 (CANI-28-14) con los máximos valores de 64.412 a 59.38 estomas\*mm<sup>2</sup>, respectivamente, como se describe en el Anexo 2, lo que puede indicar que estos genotipos tienen mayor capacidad fotosintética (Salas *et al.*, 2001), por tener mayor densidad en el adaxial (haz de la hoja). En el último grupo estadístico se encontraron 29 genotipos con valores de 38.245 a 49.819 estomas\*mm<sup>2</sup>, dentro de este grupo se encontró al testigo triticales T50 (Eronga-83) y el genotipo G12 (CANI-30-14) con las más bajas densidades de 38.245 y 40.761 estomas\*mm<sup>2</sup>, respectivamente.

Estas diferencias entre genotipos y especies posiblemente se debió a la constitución genética de los materiales, ya que no resultaron iguales a su progenitor (GABYAN95), generando un cambio en la densidad de estomas, como resultado tal vez del mejoramiento genético aplicado o también pudiera deberse a la heterosis o el nivel de ploidía, ya que tienden a disminuir la frecuencia estomática e incrementar el tamaño de estomas (Costa *et al.*, 2004).

### **Índice estomático del haz (IEH)**

Con respecto a los resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en el índice estomático, se obtuvieron 5 grupos estadísticos, formado por 44 genotipos con valores de 82.02 a 77.75 en el primer grupo, teniendo al testigo triticale Eronga-83 (T50) y el genotipo G41 (CANI-128-14) con los máximos valores de 82.024 y 81.68, respectivamente, e incluyendo a los testigos trigo AN-266-99 (79.45), avena Cuauhtémoc (80.25) y cebada Cerro prieto (78.70), como se observa en el Anexo 2. Mientras que en el último grupo estadístico se encontraron 39 genotipos con valores de 80.64 a 76.26, donde los genotipos G22 (CANI-70-14) y G4 (CANI-11-14) tuvieron los más bajos valores con 76.67 y 76.26, respectivamente.

### **Longitud del estoma del haz (LH)**

En la prueba de comparación de medias entre los genotipos para LH, se obtuvieron 20 grupos estadísticos, teniendo en el primer grupo a 19 genotipos con longitudes de estomas de 62.095 a 53.865  $\mu\text{m}$ , mostrados en el mismo Anexo 2, sobresaliendo el testigo triticale Eronga-83 (50) y el genotipo G13 (CANI-31-14) con las máximas longitudes de 62.095 y 59.855  $\mu\text{m}$ , respectivamente, sin embargo, el tamaño no representa eficiencia en el apertura y cierre de los estomas (Drake, 2013); en cambio, en el último grupo estadístico se encontraron 19 genotipos con valores de 44.032 a 52.042  $\mu\text{m}$ , donde el genotipo G10 (CANI-28-14) y G5 (CANI-12-14) tuvieron la LH más bajo con 47.623 y 44.032  $\mu\text{m}$ , respectivamente, quienes por el tamaño de estoma pudieran presentar una respuesta más rápida comparada con estomas grandes, además de contar con una alta densidad estomática lo que mostrarían una alta conductancia en condiciones desfavorables (Drake, 2013).

### **Ancho del estoma del haz (AH)**

En los resultados de la prueba de comparación de medias entre los genotipos en esta variable, se obtuvieron 5 grupos estadísticos, conformado el primer grupo por los testigos triticale T50 (Eronga-83) y cebada T48 (GABYAN95), así como el

genotipo G13 (CANI-31-14) con valores de 35.14, 30.31 y 28.81  $\mu\text{m}$ , respectivamente, como aparece en el Anexo 2, indicando posiblemente que estos genotipos pudieran tener mayor eficiencia en el intercambio gaseoso, fotosíntesis y el uso eficiente del agua (Cowan, 1977), mientras que en el último grupo estadístico se encontraron 47 genotipos, teniendo a los genotipos G29 (CANI-85-14) y G10 (CANI-28-14) con los más bajos valores en el ancho de estoma con 21.99 y 20.82  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

### **Densidad estomática del envés (DEE)**

En los datos obtenidos en la comparación de medias entre los genotipos para esta variable, se obtuvieron 7 grupos estadísticos, formado el primer grupo por 29 genotipos con valores desde 45.79 a 56.86 estomas\* $\text{mm}^2$ , sobresaliendo los genotipos G27 (CANI-82-14) y G6 (CANI-15-14) con los máximos valores de 56.86 y 53.34 estomas\* $\text{mm}^2$ , respectivamente. Dentro de este grupo se encontraron los testigos avena (T46, cv Cuauhtémoc) y cebada (T48, GABYAN95) con 48.31 y 46.8, respectivamente, mostrado en el Anexo 3, lo que indica que por tener la mayor densidad en el abaxial (envés) entre los genotipos estudiados resultan ser más eficiente en prevenir la pérdida del agua por estar menos expuesta a la radiación del sol como afirman Martin y Glover (2007). Así mismo, en el último grupo estadístico se encontraron 36 genotipos con un rango de 36.74 a 46.8 estomas\* $\text{mm}^2$ , dentro de este grupo estuvieron los testigos triticales Eronga-83 (T50) y trigo AN-266-99 (T49) con la densidad más baja de 36.74 y 37.74 estomas\* $\text{mm}^2$ , respectivamente.

### **Índice estomático del envés (IEE)**

Dentro de los resultados obtenidos en la prueba de comparación de medias, se obtuvieron 8 grupos estadísticos, marcando el primer grupo conformado por 22 genotipos con valores de 83.98 hasta 79.722, sobresaliendo el genotipo G43 (CANI-130-14) y el testigo trigo AN-266-99 (T49) con los mayores índices de 83.98 y 83.806 respectivamente como lo indica el Anexo 3. Mientras que en el último grupo estadístico se detectaron 32 genotipos con valores de 79.808 a 75.582,

dentro de este grupo se encontraron los genotipos G3 (CANI-10-14) y G6 (CANI-15-14) con los índices más bajos (75.58 y 76.61 cada uno). Es evidente que los resultados pudieron variar por factores como: la diferencia de hojas de las plantas aún de la misma especie o diferente especie, por la variación de genes de cada especie, al CO<sub>2</sub> atmosférico, a la humedad ambiental, a la misma intensidad y calidad de luz, así como a la radiación solar como menciona Kakami *et al.*, (2003).

### **Largo de estoma del envés (LE)**

Con respecto a la morfología de los estomas del envés, se encontró que en la prueba de comparación de medias, se obtuvieron 8 grupos estadísticos, debido posiblemente al mejoramiento genético de los materiales ya que puede llegar a modificar diferentes características de las estomas de las hojas como menciona Cornisth *et al.* (1991), destacando en el primer grupo a 33 genotipos con valores de 60.64 a 53.86  $\mu\text{m}$ , sobresaliendo el testigo triticales Eronga-83 (T50) y el genotipo G37 (CANI-107-14) con los máximos valores de 60.64 y 59.49  $\mu\text{m}$ , respectivamente; cabe señalar que dentro de este grupo, se encontraron los testigos avena Cuauhtémoc (T46) y trigo AN-266-99 (T49) con 58.19 y 56.47  $\mu\text{m}$ , respectivamente, como se muestra en el Anexo 3;. En el último grupo estadístico, se encontraron los genotipos G13 (CANI-31-14) y G14 (CANI-40-14) con los valores de LE más bajos de 43.40 a 50.30  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

### **Ancho de estoma del envés (AE)**

En cuanto a la prueba de comparación de medias entre los genotipos, se obtuvieron 7 grupos estadísticos, donde los dos primeros grupos estadísticos fueron formados por los testigos avena (T46) y triticales (T50) con valores de 28.77 y 31.87  $\mu\text{m}$  (Anexo 3). Mientras que en el último grupo estadístico, se encontraron 37 genotipos con valores de 21.05 a 24.68  $\mu\text{m}$ , teniendo a los genotipos G19 (CANI-63.14) y G13 (CANI-31-14) con los más bajos valores en el ancho de estoma con 21.02 y 21.9  $\mu\text{m}$ .

## Interacción genotipo por muestreos

### Temperatura del dosel (TEMP)

En la interacción en TEMP, reflejó que todos los genotipos estudiados resultaron con mayor temperatura en el segundo muestreo (90 dds) como se observa en la Figura 4.1; pero se puede apreciar que los genotipos, G10 (CANI-28-14) (24.4°C) con Desviación Estándar (Ds) de  $\pm 1.11$ , G17 (24.4°C, Ds  $\pm 1.25$ ), G20 (24.6°C), G21 (24.5°C) G26 (24.6°C), resultaron ser los más sobresalientes en temperatura de dosel.

Sin embargo se puede destacar que en el primer muestreo 75 dds hubo genotipos que tuvieron temperaturas altas tales como el G2 (CANI-9-14) y el T48 (trigo AN-266-99) pero en el segundo muestreo no lo mantienen.

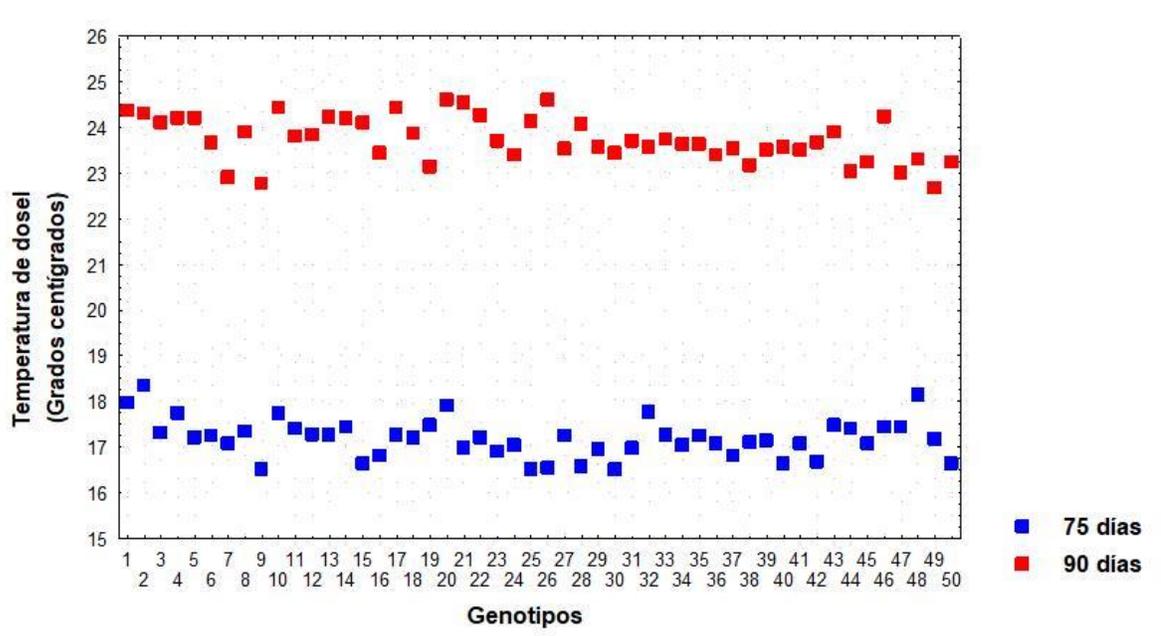
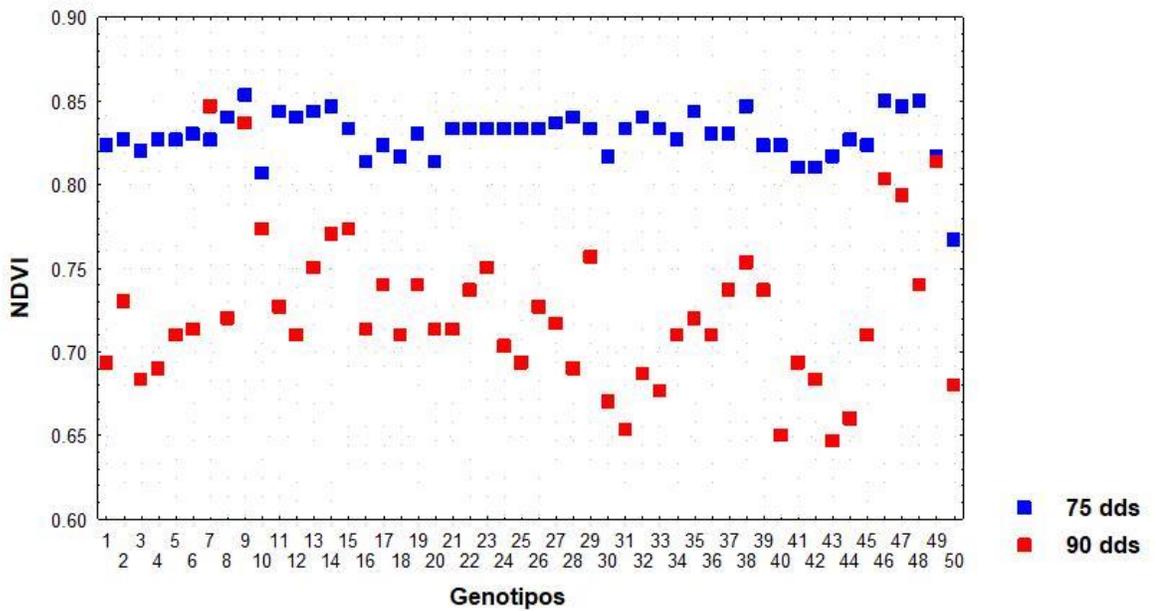


Figura 4.1 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable temperatura de dosel, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.

### **Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**

La respuesta de la interacción en el índice de verdor, reflejó que la mayoría de los genotipos estudiados resultaron con mayor NDVI en el primer muestreo (75 dds) como se observa en la Figura 4.2; sobresaliendo los genotipos, G9 con un valor de 0.85 ( $Ds \pm 0.005$ ), G14 con 0.84 ( $Ds \pm 0.011$ ), G38 con 0.85 ( $Ds \pm 0.005$ ) y los testigos avena (T46) con 0.85 ( $Ds \pm 0.010$ ), cebada Cerro prieto (T47) con 0.85 ( $Ds \pm 0.005$ ), y T48 con un valor de 0.85 ( $Ds \pm 0.017$ ). Sin embargo, en un segundo muestreo, se encontraron a los genotipos G7, G9 y el testigo T49 con valores similares que en el primer muestreo, por ejemplo en el primer genotipo mencionado tuvo un valor de 0.82 a los 75 dds y 0.84 a los 90 dds con  $Ds \pm 0.020$ , G9 tuvo 0.83 a los 90 dds ( $Ds \pm 0.015$ ) y como ya se mencionó a los 75 dds 0.85, y el T49 quien obtuvo el mismo valor en ambos muestreos con 0.81. Lo que indica que G7 y G9 tienen características de stay green por permanecer con verdor aún a los 90 días; pero, también pudiera ser que los materiales sean de tendencia para la mejora genética ya que mantiene esta característica a través del tiempo (Vargas y Gamboa, 2008). Así como el trigo T49, que tal vez pudiera deberse a que es un material tardío al encontrarse en diferente etapa fenológica en comparación al resto, como el Fedearroz 50 que tiene de una a tres semanas más largo que otras variedades (Berrio, 2002).



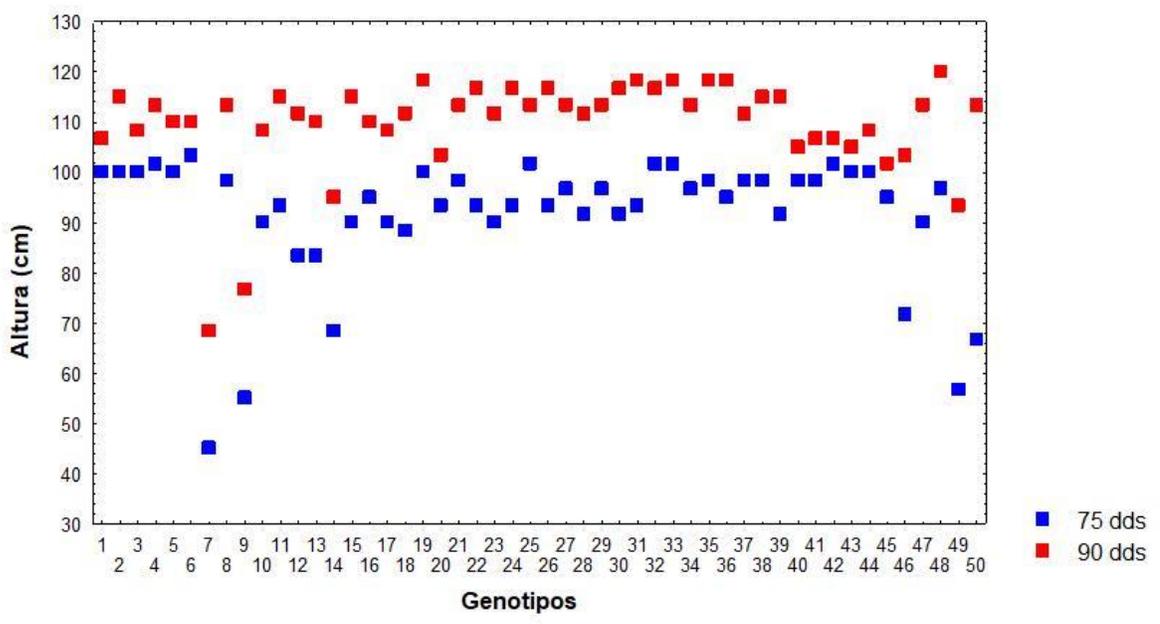
**Figura 4.2 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable NDVI, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Altura de la planta (ALT)

En la interacción genotipo por muestreos, reflejó que la mayoría de los genotipos estudiados resultaron con mayor altura en el segundo muestreo (90 dds) como se observa en la Figura 4.3; sobresaliendo el testigo cebada GABYAN95 (T48) con 120 cm, teniendo una Ds  $\pm 5.0$ , seguidos los genotipos G31, G35 y G36 con alturas de 118.33 cm, y sus Ds de  $\pm 5.77$ ,  $\pm 2.88$ ,  $\pm 5.77$  cada uno, superando al resto de los testigos, pero no superaron al progenitor.

Cabe señalar que los genotipos G7 (CANI-16-14) y G9 (CANI-25-14), resultaron con alturas inferiores en comparación al resto y en ambos muestreos, lo que pudiera ser un primer paso para una selección de genotipos ya que tuvieron una interacción ambiente positivo en los dos muestreos donde es importante para los ganaderos ya que necesitan un mayor altura de una variedad para su máximo aprovechamiento en forraje y obtener mejores rendimientos para el alimento de ganado, representando estos materiales genéticos una opción en variedades

adaptadas a condiciones adversas, teniendo asociación genética entre el contenido en clorofila y altura (Reynolds *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2000).

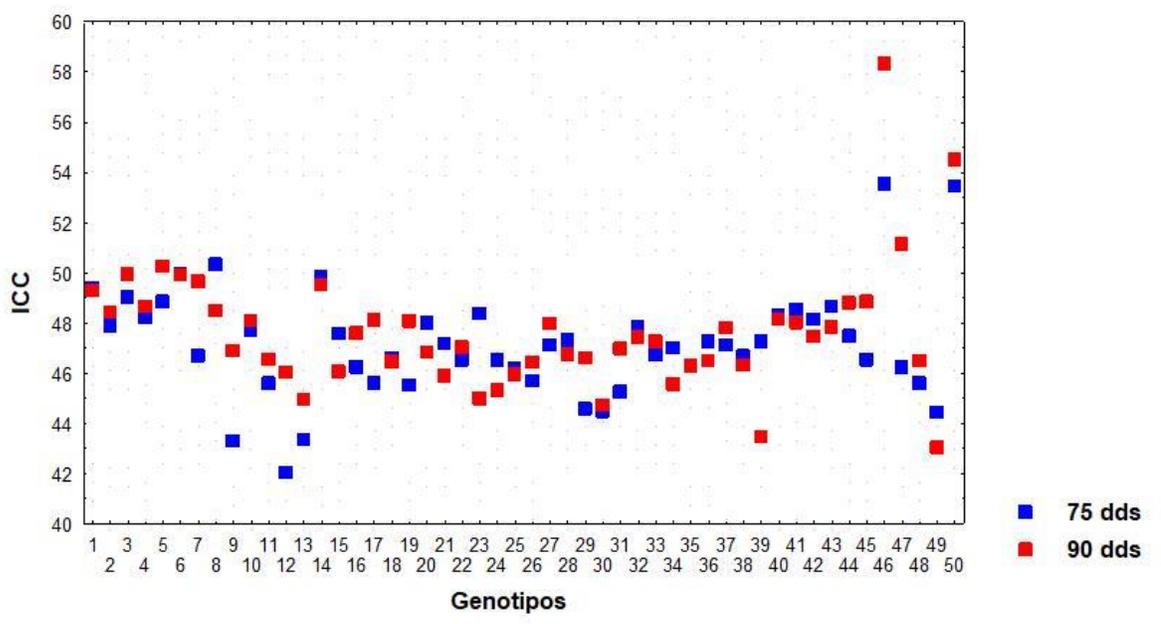


**Figura 4.3 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable altura, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Índice de contenido de clorofila (ICC)

En esta variable, la respuesta de la interacción mostró que en los dos muestreos (75 y 90 dss), los genotipos estudiados obtuvieron un índice similar entre 45 y 50 de contenido de clorofila, indicando que la clorofila de las plantas se mantuvo durante los dos muestreos; sin embargo, los testigos T46 (avena Cuahutemoc) y T50 (triticale Eronga-83) mantuvieron el ICC superior al resto de los materiales genéticos con 58.31 y 54.49 como se observa en la Figura 4.4, teniendo tal vez una relación con la fotoaclimatación, debido a células aclimatadas a alta irradiación parecen contener altas concentraciones de clorofila. (Melgarejo, 2010). Sin embargo los genotipos G1 (CANI-1-14) y G40 (CANI-126-14) permanecieron con el mismo ICC durante los dos muestreos con 49.38 y 48.28, destacando su interacción con el ambiente por muestreos efectuados durante 15 días de diferencia, estos genotipos mantienen su índice contenido de clorofila conforme

pasaron los días por lo que tienen características de interés para la selección en el mejoramiento genético.

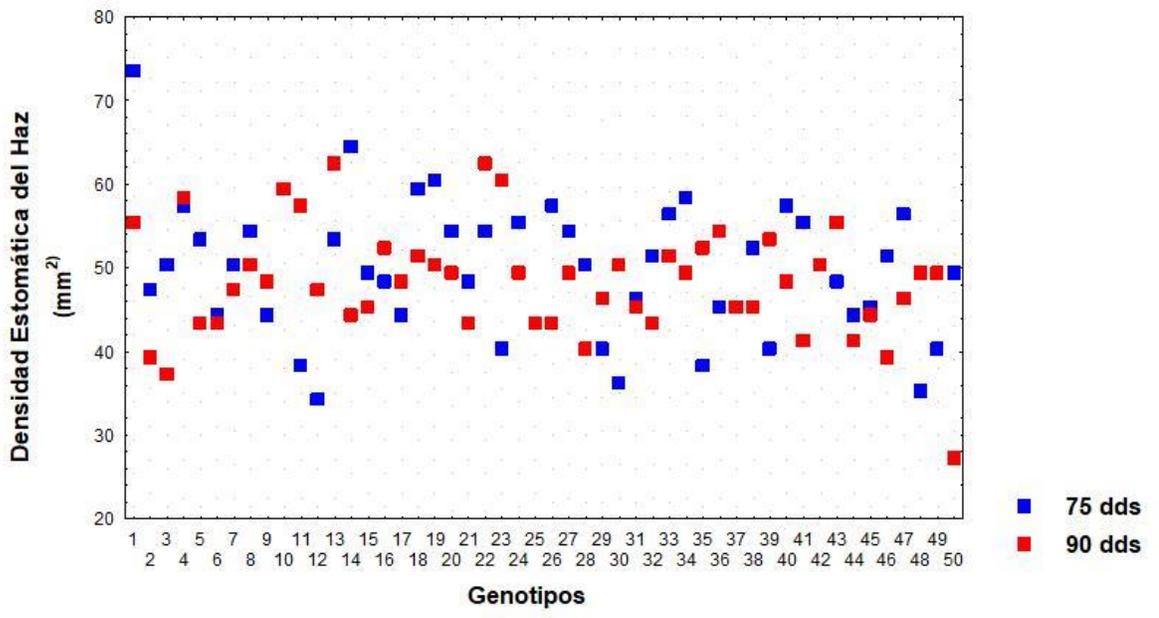


**Figura 4.4 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice de contenido de clorofila, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Densidad estomática en el haz de la hoja (DEH)

En la interacción para DEH, reflejó una respuesta variada en ambos muestreos (Figura 4.5), lo que indica que cada genotipo obtuvo una densidad diferente con respecto a el muestreo, debido a los factores que controlan la apertura y cierre de estomas: la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las hojas, humedad atmosférica, potencial hídrico de la hoja, temperatura y viento (Tibbitts, 1979; Comstock y Mecuccini, 1998; Cochard *et al.*, 2002); pero se puede apreciar que al muestreo de 75 dds, los genotipos, G1 (CANI-1-14) y G14 (CANI-40-14) presentaron una densidad mayor que el resto de los materiales con 73.47 estomas\*mm<sup>2</sup> (Ds±12.20) y 64.41 estomas\*mm<sup>2</sup> (Ds±20.10), sin embargo, la densidad se afectó posiblemente por la temperatura y humedad relativa. En cambio el testigo T50, presento una densidad promedio a los demás a los 75 dds, pero decayó a los siguientes 90 dds hasta tener el valor más bajo con 27.17

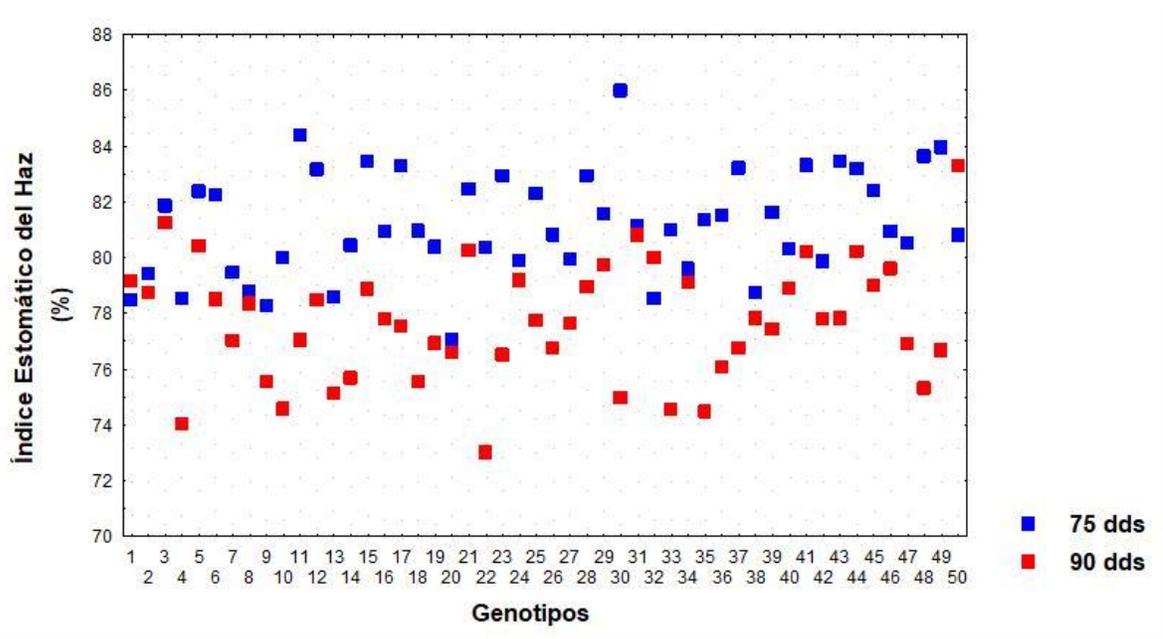
estomas\*mm<sup>2</sup> y una Ds ±0.0. Pero se puede destacar que hubo genotipos que resultaron tener una interacción durante los dos muestreos tales como el G31 (CANI-98-14) y G45 (CANI-133-14) con 46.29 y 45.28, estos valores representan un dato para considerar materiales que tengan el gen dominante de mantener una densidad estomática estable durante la producción de cebada.



**Figura 4.5 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable densidad estomática del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Índice estomático del haz (IEH)

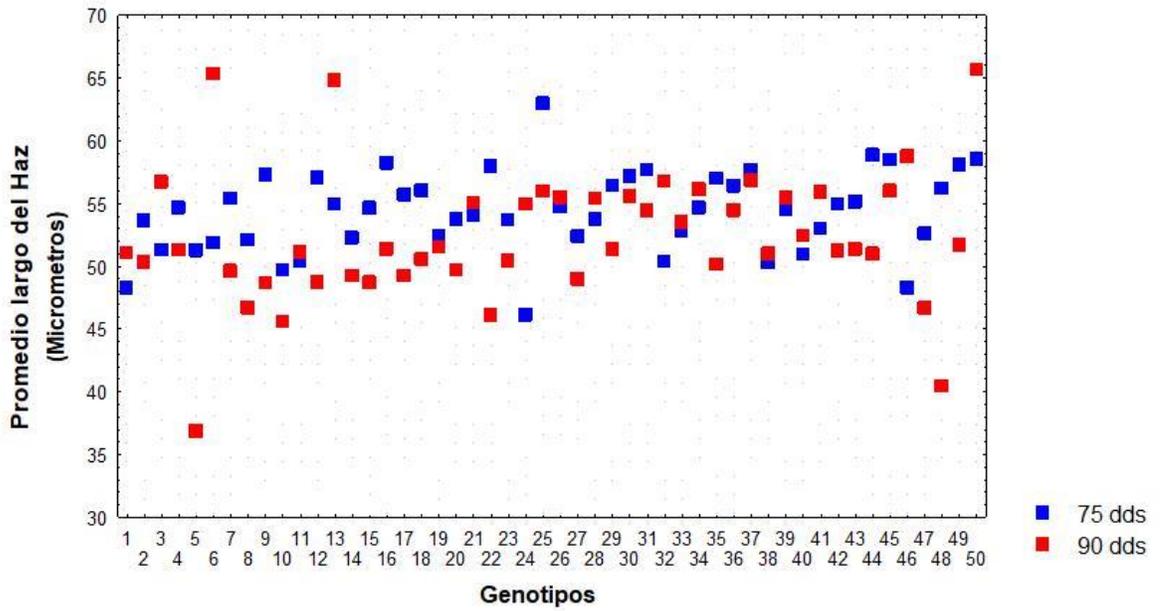
En la interacción para la variable IEH, reflejó que la mayoría de los genotipos estudiados resultaron con mayor valor en el primer muestreo (75 dds) como se observa en la Figura 4.6; teniendo en este muestreo a los genotipos, G11 y G30, así como el testigo trigo T49(AN-266-99) los mayores índices con 84.36, 85.96 y 83.94 respectivamente. Así mismo, G4 (CANI-11-14) y G22 (CANI-70-14), resultaron con IEH inferiores al resto de los genotipos a los 90 dds, lo que puede indicar que la temperatura pudo afectar esta variable en ellos.



**Figura 4.6 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice estomático del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### **Largo del haz (LH)**

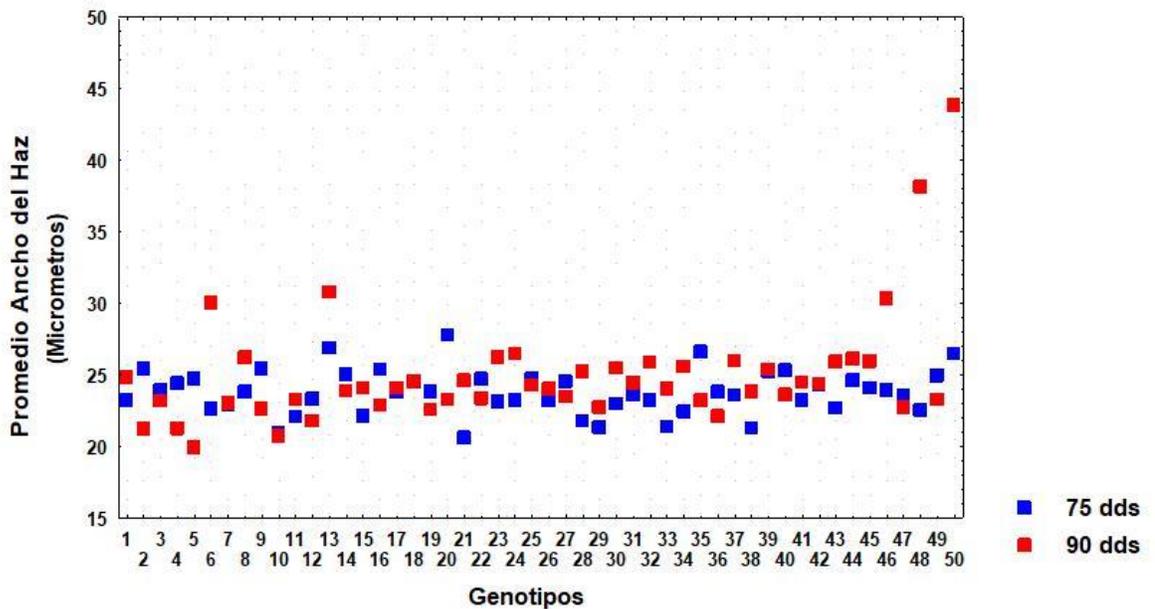
En la interacción genotipos por muestreo para la variable LH, reflejo una respuesta variada como se observa en la Figura 4.7; al apreciar que los genotipos, G6 (CANI-15-14) presentó un largo de estoma de  $65.30 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 30.16$ ), G13 (CANI-31-14) con  $64.78 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 22.14$ ) y el testigo triticales T50 con  $65.55 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 1.86$ ), quienes resultaron ser los más sobresalientes en el segundo muestreo (90 dds); cabe mencionar que el comportamiento de algunos genotipos como G5 (CANI-12-14) y el testigo cebada T48 (GABYAN95), presentaron una modificación en la morfología del estoma del haz a los 90 dds (segundo muestreo) teniendo una longitud de  $36.83 \mu\text{m}$  y  $40.41 \mu\text{m}$ , esto puede ser ocasionado por los cambios de la temperatura y fotoperiodo coincidiendo con Kakami et al (2003), causando cambios en el índice de clorofila y características morfológicas de los estomas.



**Figura 4.7 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable largo del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

**Ancho del haz (AH)**

En la variable AH resultaron valores muy aleatorios en el primer y segundo muestreo, como se observa en la Figura 4.8, donde los genotipos G6 (CANI-15-14) con 30.01  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 14.35$ ), G13 (CANI-31-14) con 30.76  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 10.94$ ) y los testigos avena T46 (cv Cuauhtémoc) con 30.32  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 1.63$ ), cebada GABYAN95 (T48) con 38.12  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 23.01$ ) y triticale T50 (Eronga-83) con 43.83  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 15.57$ ), tuvieron una modificación en el ancho del haz a los 90 dds, lo que puede representar que tuvieron dificultad en la apertura y cierre de los estomas por el tamaño como menciona Drake *et al* (2013); sin embargo, los genotipos G5 (CANI-12-14) y G10 (CANI-28-14) obtuvieron anchos de 19.90 y 20.72  $\mu\text{m}$ , quienes resultaron no tener cambios en su morfología a pesar de los cambios de temperatura de un primer a un segundo muestreo lo que da conocer que estos materiales tienden a ser estables en su anatomía de los estomas y pudieran ser eficientes en su actividad fotosintética Cowan (1977).

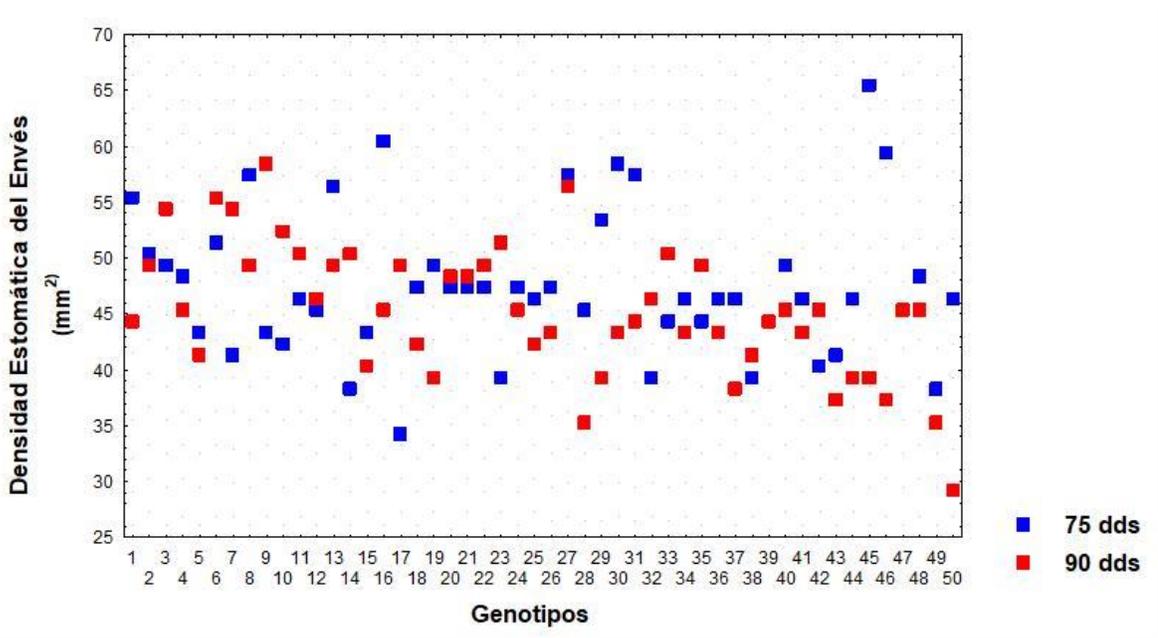


**Figura 4.8 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable ancho del haz, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

#### **Densidad estomática del envés (DEE)**

En la interacción de la DEE, reflejó que algunos genotipos estudiados resultaron con mayor valor en el primer muestreo (75 dds) como se observa en la Figura 4.9.; donde se puede apreciar que los genotipos, G16 (CANI-55-14) con 60.38 estomas\*mm<sup>2</sup> con Ds±15.09, G45(CANI-133-14) con una densidad de 65.41 estomas\*mm<sup>2</sup>, y una Ds±6.97, así como el testigo avena T46(Avena Cuauhtémoc) con 59.38 estomas\*mm<sup>2</sup> (Ds±13.61), quienes resultaron ser los más sobresalientes en la densidad estomática del envés, esto nos afirma que a los 75 días las plantas presentaron más índice estomático por lo que perdieron menos agua durante este tiempo, tal como lo indica Martin y Glover (2007); así mismo algunos genotipos del segundo muestreo indicaron valores cercanos al primer muestreo tales como el G9 (CANI-25-14) y el G27 (CANI-82-14) con valores de 58.37 y 56.36 estomas\*mm<sup>2</sup> cada uno; sin embargo, en el segundo muestreo, fue donde se encontraron la mayoría de genotipos con valores muy bajos como G28

(CANI-83-14) y T50 (triticale, Eronga-83) con valores de 35.22 y 29.18 estomas\*mm<sup>2</sup>, siendo los genotipos que presentaron la mayor deficiencia en DEE.

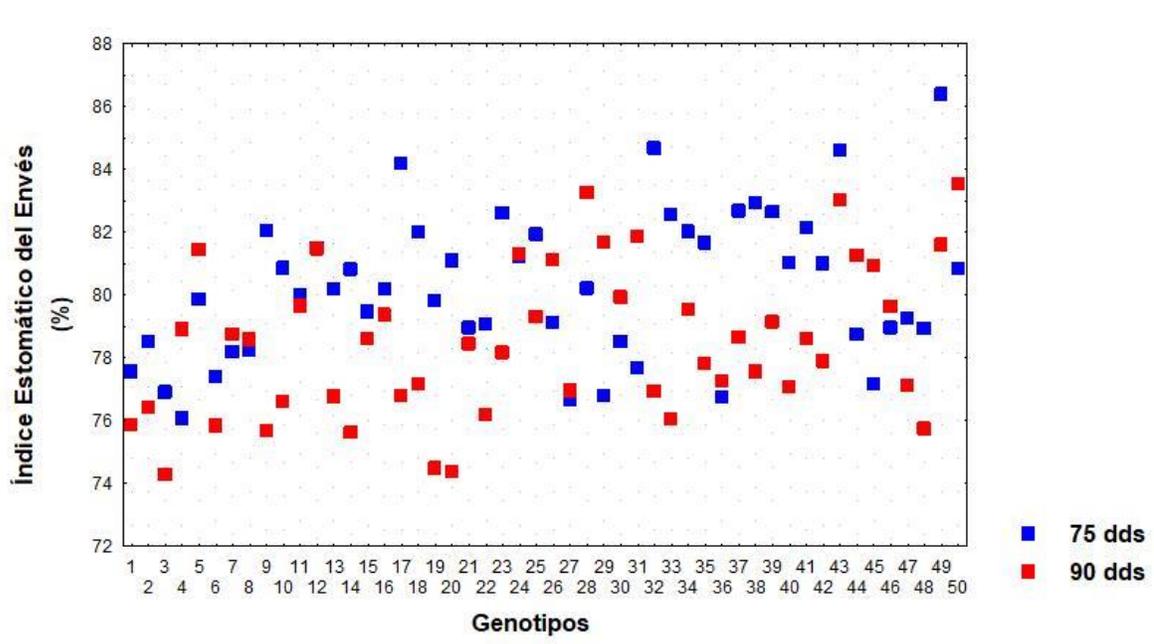


**Figura 4.9 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable densidad estomática del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Índice estomático del envés (IEE)

La respuesta de la interacción en el índice estomático del envés, reflejó resultados muy variados en los dos muestreos, teniendo algunos genotipos con mayor valor en el primer muestreo (75 dds) como se observa en la Figura 4.10, siendo los genotipos G17 (CANI-56-14) con un valor de 84.16 (Ds ±2.69), G32 (CANI-99-14) con 84.65 (Ds±3.43), G43 (CANI-130-14) con 84.60 (Ds±4.19) y el testigo trigo T49 (AN-266-99) con 86.37 (Ds±3.05); por lo que se pudiera mencionar que estos materiales genéticos, son más eficientes en apertura y cierre por la cantidad de estomas, evitando pérdida de agua como mencionan Hetherington y woodward (2003).

Sin embargo, en el segundo muestreo se obtuvo menos respuesta en el IEE ya que hubo genotipos que tuvieron índices bajos como fueron G3 (CANI-10-14), G19 (CANI-63.14) y G20 (CANI-68-14) con 74.26, 74.47 y 74.37 respectivamente, pero también se encontraron materiales genéticos con un índice similar a los sobresalientes en el primer muestreo, caso de G28 (CANI-77-14), G43 y el testigo T50 triticale (Eronga-83), que incrementaron su índice conforme el aumento de la temperatura de la localidad, donde posiblemente se volvieron eficientes en el reaccionar en la apertura y cierre evitando la pérdida de agua.

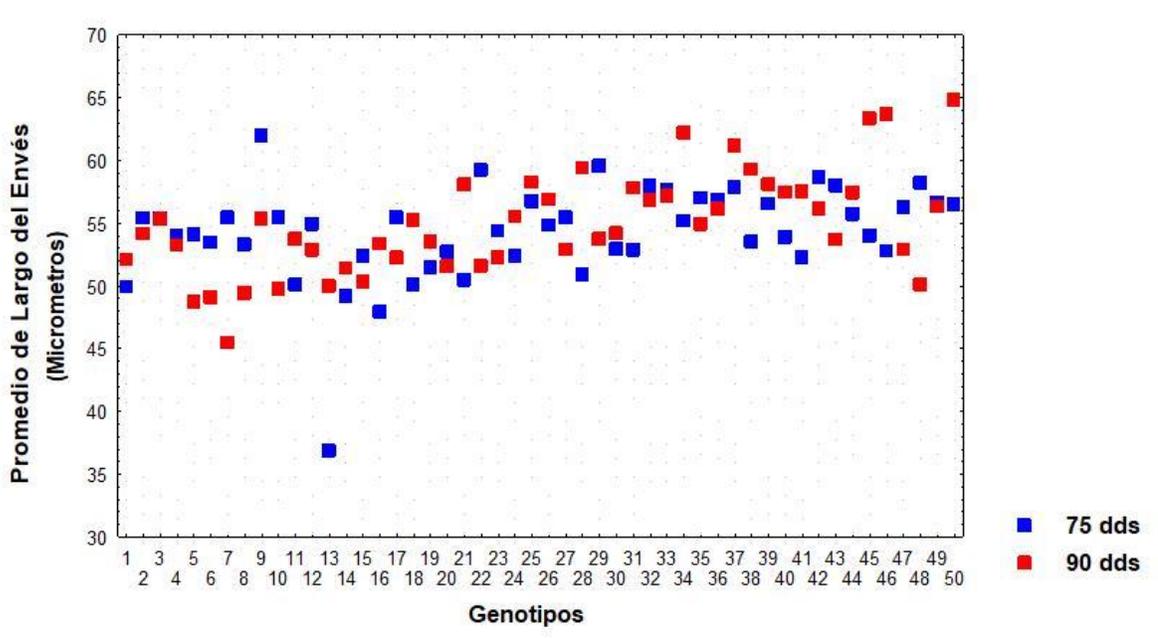


**Figura 4.10 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable índice estomático del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Largo del envés (LE)

En los resultados de la interacción, reflejó un resultado muy disperso como se indica en la Figura 4.11, donde algunos genotipos presentaron los valores más largos en sus estomas del envés en el segundo muestreo como el G34 (CANI-101-14) con 62.19  $\mu\text{m}$  con Desviación Estándar de  $\pm 1.81$ , G37 (CANI-107-14) con 61.13  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 5.51$ ), G45 (CANI-133-14) 63.32  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 4.84$ ) y los testigos avena T46 con 63.64  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 2.50$ ) y triticale T50 con 64.80  $\mu\text{m}$  ( $Ds \pm 5.05$ ), pero no

quiere decir que son los mejores, ya que como se ha estado mencionando entre más cortos sean los estomas más eficiente es en la apertura y cierre (Hetherington y woodward, 2003). Cabe señalar que el genotipo G13 (CANI-31-14) presentó el largo de estomas del envés más cortos en el primer muestreo con  $36.83 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 17.98$ ), marcando tal vez que su eficiencia es mejor que el resto de los genotipos.

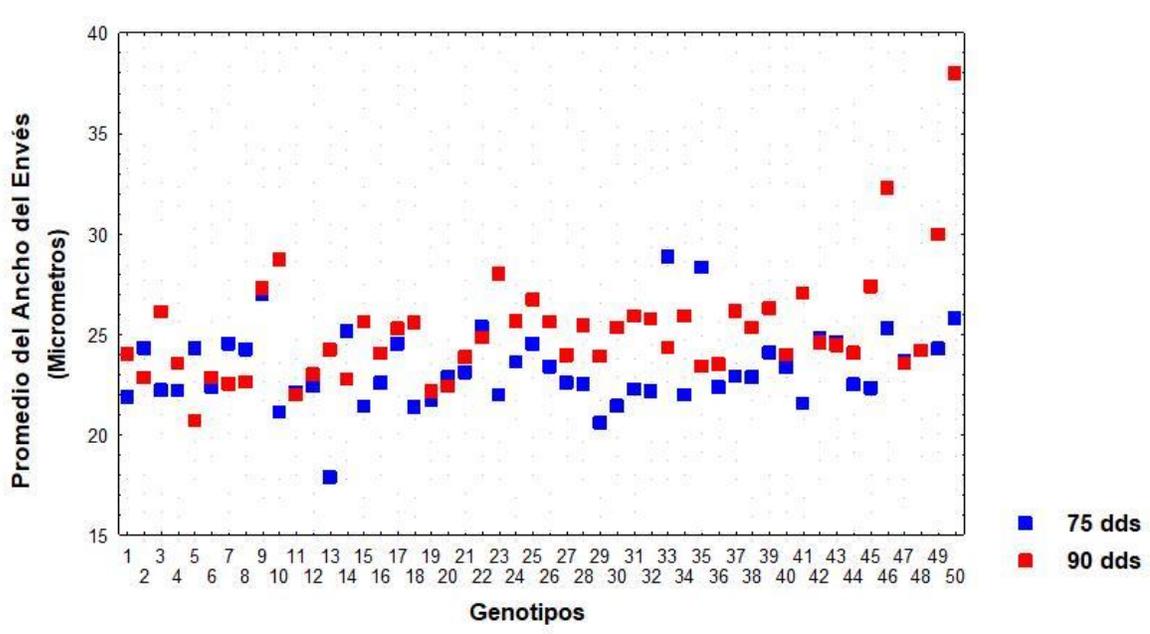


**Figura 4.11 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable largo del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

### Ancho del envés (AE)

En esta interacción, se encontró una respuesta del ancho de los estomas entre un rango estrecho entre genotipos, donde la mayoría de los genotipos presentaron mejores valores en el segundo muestreo (90 dds) Figura 4.12, destacando G10 (CANI-28-14) con un ancho de  $28.67 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 13.79$ ), G23 de  $28.0 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 2.85$ ), así como los testigos avena T46 (cv Cuauhtémoc) con  $32.28 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 3.44$ ), trigo T49 con  $29.93 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 5.58$ ) y triticale T50 con  $37.98 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 3.85$ ), que por su morfología pudieran no ser tan eficientes en función.

Sin embargo, en el primer muestreo se encontró que G8 (CANI-20-14) resultó tener el mismo valor en ambos muestreos con  $24.1 \mu\text{m}$  ( $Ds \pm 2.01$ ); lo cual resulta que los cambios de temperatura, desarrollo de la planta no intervinieron en el ancho de los estomas de envés, siendo tal vez una característica de su eficiencia en su función y estabilidad en la morfológica de los estomas de esta línea; que a diferencia de los genotipos G33 (CANI-100-14) y G35 (CANI-103-14) donde en un primer muestreo tuvieron más anchos los estomas ( $28.84$  y  $28.30 \mu\text{m}$ ) y se modificaron al tiempo de un segundo muestreo siendo más angostos ( $24.30$  y  $23.37 \mu\text{m}$ ).



**Figura 4.12 Interacción genotipos por días de muestreos en la variable ancho del envés, en el Ejido San Lorenzo, Municipio de San Pedro de las Colonias, Coah. 2017.**

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y a las condiciones en las que se realizó esta investigación se concluye lo siguiente:

- Al comparar 45 progenies de cebada forrajera imberbe con otras especies de cereales se encontraron respuestas diferentes a través de los dos muestreos evaluados con los sensores infrarrojos (temperatura de dosel, NDVI, ICC), así como altura y el estudio estomático de la planta producida en el Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.
- Al tener diferencias entre los dos muestreos, se destacó el segundo muestreo de 90 dds, por tener mayores valores en algunos de los genotipos estudiados a través de los sensores infrarrojos (temperatura de dosel, NDVI y ICC), así como altura de la planta; sin embargo, en el estudio estomático tanto del haz como envés en la mayoría de los genotipos se vio afectado la cantidad, índice, largo y ancho de los estomas.
- En el estudio, en los dos muestreos destacaron G20 (CANI-68-14) por mantener su temperatura fresca; G33 (CANI-100-14) por mantener la mayor altura y trigo (T49) con mayor ICC en comparación al resto de los genotipos; además, G9 (CANI-25-14) y G7(CANI-16-14) destacaron en ambos muestreos al mantener cercanos los valores de NDVI, superando al progenitor GABYAN95 (T48) y el testigo avena T46 que solo presentaron mayor NDVI a los 90 dds.
- En el estudio estomático, destacó en el primer muestreo (75 dds), G16 con alta DEE y estomas cortos en el haz, así mismo trigo (T46) destacó por su DEE alta y LH corto, y G13 al presentar LE corto y AE más bajo en comparación al resto de los materiales evaluados, teniendo la posibilidad

de ser eficientes en la apertura y cierre de estomas, generando una buena transpiración en la planta.

- En el segundo muestreo del estudio estomático (90 dds), destaco el G5 (CANI-12-14), en LH, AH y AE; además de los testigos GABYAN95 (T48) en LH y LE, y triticales (T50) en obtener los más altos IEH y IEE esto puede ser ocasionado por la diferencia que existe entre las especies.
- Al realizar este estudio podemos decir que se podría llevar a cabo una selección para el mejoramiento genético ya que se encontraron características favorables de algunos genotipos como la altura, temperatura, ICC, NDVI, índice estomático del haz y envés lo cual lleva a varias respuestas para selección de un material que permita elevar la producción de grano o forraje.
- Al recabar información de los materiales con la tecnología infrarroja se pudo conocer sobre la actividad que existía entre el clima y el cultivo, con esto podremos aprovechar los materiales genéticos con el mejor resultado de los índices de reflectancia ya que nos permite detectar el proceso de desarrollo de las plantas y su comportamiento fisiológico en un determinado ciclo además favorece este tipo de análisis ya que recauda información para seleccionar los mejores genotipos para el mejoramiento genético.
- En los genotipos estudiados se estableció que el (IE) y (DE) en el haz y envés de la hoja fueron diferentes.

## LITERATURA CITADA

- Arrieta-Ramos, B., A. Villegas-Monter, A. Hernández- Bautista, M.N. Rodríguez Mendoza, L.M. Ruiz- Posadas, y E. García-Villanueva. 2010. Estomas y vigor de naranjo "Valencia" injertado en portainjertos tolerantes al virus de la tristeza de los cítricos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:257-263.
- Ayala, C. G.; Terrazas, T.; López M. L. y Trejo, C. 2006. Cambios morfo-anatómicos y metabolismo fotosintético de plantas *Stenocereus beneckeii* en semilleros, bajo déficit hídrico de agua en el suelo. (En inglés) *J. Exp. Bot.* 57:3165-3174.
- Barrientos, P. A.; Borys, M; Trejo, C. y López L. L. 2003. Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:285-290.
- Bethke, P. & M. Drew. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition and photosynthesis in leaves of *Capsicum annum* L. during progressive exposure to NaCl salinity. *Pl. Physiol.* 99: 219-226.
- Cañizares, A., M.E. Sanabria, D.A. Rodríguez, y Y. Perozo. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia tanaka*) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Rev. Cien. UDO Agríc.* 3:59-64
- Colín R. M. 2007. Producción de materia seca, valor nutritivo e interacción genotipo ambiente en líneas imberbes de cebada forrajera. Tesis de maestría. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

- Cowan, I.R. 1977. Comportamiento estomático y medio ambiente. (En inglés) *Adv. Bot. Res.* 4:117-228.
- Daszkowska-Golec, A. and Szarejko, I. (2013). Open or Close the Gate – Stomata Action Under the Control of Phytohormones in Drought Stress Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 4.
- Delfino, R. L. 2015. Caracterización estomática de cinco especies del género vainilla. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Sistema Nacional de los Recursos Fitogenéticos. Montecillo, Texcoco Edo. México.
- Donato G. y Loza B. M.S. 2017. Desde la industria: Importancia de la calidad de cebada cervecera para el malteo. Nota Técnica. Cangúe, [http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue\\_38/Cangue38\\_industria.pdf](http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue_38/Cangue38_industria.pdf).
- Equiza, G Dario y A. Tognetti. 2014. Cambios en la anatomía epidérmica foliar de cereales de clima templado en respuesta al frío. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*.
- Equiza, M.A. & J.A. Tognetti. 2002. Morphological plasticity of spring and winter wheats in response to changing temperatures. *Functional Plant Biology*. 29:1427-143.
- Equiza, M.A., J.P. Miravé & J.A. Tognetti. 1997. Differential root vs. shoot growth inhibition and its relationship with carbohydrate accumulation at low temperature in different wheat cultivars. *Annals of Botany*. 80: 657-663.
- Esau, K. 1976. *Anatomía Vegetal*. Editorial Omega. Barcelona

- Evans, L.T. 1993. Adaptation and the ecology of yield. En: Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge University Press, New York, NY. 116 pp.
- Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C-3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Fuentes Ponce, M. 2010. Sensor portátil GreenSeeker™ para la medición del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI): Una herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas. Parte A: Conceptos y estudios de caso. México, D.F.; CIMMYT.
- Griffith, M. & G.N. Brown. 1982. Cell wall deposits in winter rye *Secale cereale* 'Puma' during cold acclimation. *Botanical Gazette*. 143: 486-490.
- Hetherington, M., y F. Woodward. 2003. El papel de las estomas en la detección y manejo del cambio ambiental. (En inglés) *Nature* 424:901-908
- Howard, R.A. 1969. La ecología de un bosque enano en Puerto Rico 8. Estudios de crecimiento del tallo y de la forma y estructura de la hoja. (En inglés) *J. Arnold Arbor*. 50:225-267
- Hüner, N.P.A. 1985. Morphological, anatomical and molecular consequences of growth and development at low temperature in *Secale cereale* L. cv. Puma. *American Journal of Botany* 72: 1290-1306.
- Martin, C., y Glover, B. 2007. Aspectos funcionales del patrón celular en la epidermis aérea. (En inglés) *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:70-82.
- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas-Carbó, y J. Gulias. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Invest. Geogr.* 43:63-84

- Peter R. Jennings y I. E. Berrio. 2002. Una estrategia de mejoramiento para incrementar el potencial de rendimiento en arroz. Investigación. Originally published in foro arrocero latinoamericano 8(2)10 13, copyright 2002. [http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/flar/estrategia.pdf](http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/flar/estrategia.pdf).
- Reyes, L. T.; Camacho C. y Guevara, F. 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. INIFAP. Libro técnico núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. 242 p
- Ruben C.T. 2013. Manual para el tratamiento de imágenes satelitales con índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA FIC, <http://www.monitoreosalital.cl/wp-content/uploads/2014/11/Manual-Tratamiento-imagines-NDVI.pdf>
- Salas, J., M. Sanabria y R. Pire. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) sometidos a tratamientos salinos. Bioagro 13(3): 99-104.
- Sánchez, M. y J. Aguirreola. 1996. Relaciones hídricas. En: Azcon-bieto, J. y M. Talon(eds)-Fisiología y bioquímica vegetal. Edigrafos. Madrid. España. 49-90pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- Schoch, P., C. Zinsou y M. Sibi. 1980. Dependence of the stomatal index on environmental factors during stomatal differentiation in leaves of *vigna sinensis* L. Jour. Exp. Bot, 31(124): 1211-121.

- Vargas, L.B. y Gamboa, Z. G. (2008). Estimación de tendencias genéticas e interacción genotipo x ambiente en ganado lechero de Cota Rica. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 46(4):371-386.
- Vavilov, N. I., 1992. *Origin and Geography of cultivated plants*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Xu W, Subudhi PK, Crasta OR, Rosenow DT, Mullet JE, Nguyen HT (2000b) Molecular mapping of QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.Moench). *Genome* 43:461–469. doi:10.1139/gen-43-3 461.
- Wilkinson, H.P. 1979. The plant surface (mainly leaf). In:C.R. Metalcafe, and L. Chalk, editors, *Anatomy of the dicotyledons*. Vol. 1. Clarendon Press, Oxford, USA.p. 97-117.

## ANEXOS

**Anexo 1. Prueba de Comparación de Medias de las variables Altura de planta, Temperatura, Índice de vegetación diferencial normalizado e Índice de contenido de clorofila, en el Ejido San Lorenzo, Municipio San Pedro de las Colonias, Coahuila.**

Genotipo	Altura de planta		Temperatura		Índice de vegetación diferencial normalizado		Índice de contenido de clorofila	
1	103.333	CDEFGHI	21.2	ABC	0.75833	LMNOPQ	49.3233	CDEFG
2	107.5	ABCD	21.3	A	0.77833	FGHIJKLM	48.145	CDEFGHIJ
3	104.167	BCDEFGH	20.7	ABCDEFGH	0.75167	MNOPQR	49.4667	CDEF
4	107.5	ABCD	21.1	ABCD	0.75833	LMNOPQ	48.4117	CDEFGHI
5	105	ABCDEFG	20.7	ABCDEFGH	0.76833	IJKLMNOP	49.5283	CDE
6	106.667	ABCDE	20.45	CDEFGHIJ	0.77167	HIJKLMNO	49.9033	C
7	56.667	P	19.9833	GHIJK	0.83667	AB	48.145	CDEFGHIJ
8	105.833	ABCDEF	20.6167	ABCDEFGHIJ	0.78	FGHIJKLM	49.39	CDEF
9	65.833	O	19.6333	K	0.845	A	45.0717	OPQRS
10	99.167	HIJK	21.1667	ABCD	0.79	DEFGHIJ	47.8733	DEFGHIJK
11	104.167	BCDEFGH	20.6	ABCDEFGHIJ	0.785	EFGHIJKL	46.0567	KLMNOP
12	97.5	JK	20.55	BCDEFGHJ	0.775	GHIJKLMN	44.0233	RS
13	96.667	K	20.75	ABCDEF	0.79667	DEFGHI	44.1283	PQRS
14	81.667	M	20.8167	ABCDEF	0.80833	BCDEF	49.6733	CD
15	102.5	DEFGHIJ	20.3667	DEFGHIJK	0.80333	DEFG	46.795	IJKLMNOP
16	102.5	DEFGHIJ	20.1167	FGHIJK	0.76333	KLMNOP	46.8967	HIJKLMNO
17	99.167	HIJK	20.85	ABCDEF	0.78167	FGHIJKLM	46.835	HIJKLMNO
18	100	GHIJK	20.5333	BCDEFGHJ	0.76333	KLMNOP	46.5033	JKLMNO
19	109.167	AB	20.3	EFGHIJK	0.785	EFGHIJKL	46.7783	IJKLMNOP
20	98.333	IJK	21.25	AB	0.76333	KLMNOP	47.4083	HIJKL
21	105.833	ABCDEF	20.75	ABCDEF	0.77333	GHIJKLMN	46.5133	JKLMNO
22	105	ABCDEFG	20.7333	ABCDEFG	0.785	EFGHIJKL	46.7667	IJKLMNOP
23	100.833	FGHIJK	20.3	EFGHIJK	0.79167	DEFGHIJ	46.6683	IJKLMNOP
24	105	ABCDEFG	20.2167	EFGHIJK	0.76833	IJKLMNOP	45.9	LMNOPQ
25	107.5	ABCD	20.3167	EFGHIJK	0.76333	KLMNOP	46.04	KLMNOP
26	105	ABCDEFG	20.5667	ABCDEFGHIJ	0.78	FGHIJKLM	46.0417	KLMNOP
27	105	ABCDEFG	20.3833	DEFGHIJK	0.77667	GHIJKLMN	47.5317	GHIJKL
28	101.667	EFGHIJK	20.3167	EFGHIJK	0.765	JKLMNOP	47.0267	HIJKLMN
29	105	ABCDEFG	20.25	EFGHIJK	0.795	DEFGHI	45.58	MNOPQR
30	104.167	BCDEFGH	19.9667	HIJK	0.74333	OPQR	44.58	PQRS
31	105.833	ABCDEF	20.3333	DEFGHIJK	0.74333	OPQR	46.1	KLMNOP
32	109.167	AB	20.6667	ABCDEFGHIJ	0.76333	KLMNOP	47.6367	FGHIJKL
33	110	A	20.5	BCDEFGHJ	0.755	LMNOPQ	46.975	HIJKLMN
34	105	ABCDEFG	20.3333	DEFGHIJK	0.76833	IJKLMNOP	46.265	KLMNOP
35	108.333	ABC	20.4333	CDEFGHIJ	0.78167	FGHIJKLM	46.265	KLMNOP
36	106.667	ABCDE	20.2333	EFGHIJK	0.77	HIJKLMNO	46.855	HIJKLMNO
37	105	ABCDEFG	20.1667	FGHIJK	0.78333	FGHIJKL	47.4367	HIJKL
38	106.667	ABCDE	20.1333	FGHIJK	0.8	DEFGH	46.475	JKLMNO
39	103.333	CDEFGHI	20.3167	EFGHIJK	0.78	FGHIJKLM	45.3483	NOPQRS
40	101.667	EFGHIJK	20.1	FGHIJK	0.73667	OPQR	48.21	CDEFGHIJ
41	102.5	DEFGHIJ	20.2833	EFGHIJK	0.75167	MNOPQR	48.27	CDEFGHIJ
42	104.167	BCDEFGH	20.1667	FGHIJK	0.74667	NOPQR	47.775	FGHIJK
43	102.5	DEFGHIJ	20.6833	ABCDEFGHI	0.73167	QR	48.225	CDEFGHIJ
44	104.167	BCDEFGH	20.2167	EFGHIJK	0.74333	OPQR	48.1233	CDEFGHIJ

45	98.333	HIJK	20.15	FGHIJK	0.76667	IJKLMNOP	47.6733	FGHIJKL
Avena Cuahutemoc	87.5	L	20.8333	ABCDEF	0.82667	ABC	55.9217	A
Cebada Cerro prieto	101.667	EFGHIJK	20.2167	EFGHIJK	0.82	ABCD	48.6683	CDEFGH
Cebada GABYAN95	108.333	ABC	20.7167	ABCDEFGH	0.795	DEFGHI	46.0267	KLMNOP
Trigo AN-266-99	75	N	19.9167	JK	0.815	ABCDE	46.0267	S
Triticale Eronga-83	90	L	19.9333	IJK	0.72333	R	53.9617	B

**Anexo 2. Prueba de Comparación de Medias de las variables, Densidad estomática Índice estomático, Largo y ancho de estoma del haz de la hoja, en el Ejido San Lorenzo, Municipio San Pedro de las Colonias, Coahuila.**

Genotipos	Densidad estomática		Índice estomático		Largo		Ancho	
1	64.412	A	78.808	ABCDE	49.643	DEFG	23.993	CDE
2	43.277	FGHI	79.06	ABCDE	51.955	BCDEFG	23.3	DE
3	43.78	EFGHI	81.541	AB	53.972	ABCDEF	23.53	DE
4	57.871	ABCD	76.263	E	52.957	BCDEF	22.8	DE
5	48.309	BCDEFGHI	81.372	AB	44.032	G	22.295	DE
6	43.78	EFGHI	80.35	ABCDE	58.573	ABC	26.3	BCD
7	48.813	BCDEFGHI	78.228	ABCDE	52.485	BCDEF	22.947	DE
8	52.335	BCDEFGH	78.547	ABCDE	49.38	DEFG	25	CDE
9	46.297	DEFGHI	76.893	CDE	52.967	BCDEF	23.995	CDE
10	59.38	AB	77.271	BCDE	47.623	FG	20.822	E
11	47.806	BCDEFGHI	80.694	ABCD	50.755	CDEFG	22.672	DE
12	40.761	HI	80.8	ABCD	52.878	BCDEF	22.523	DE
13	57.87	ABCD	76.833	CDE	59.855	AB	28.81	ABC
14	54.348	ABCDEF	78.04	ABCDE	50.723	CDEFG	24.405	CDE
15	47.303	CDEFGHI	81.14	ABC	51.652	BCDEFG	23.065	DE
16	50.322	BCDEFGH	79.349	ABCDE	54.773	ABCDEF	24.102	CDE
17	46.297	DEFGHI	80.396	ABCDE	52.44	BCDEF	23.927	CDE
18	55.354	ABCDE	78.232	ABCDE	53.273	BCDEF	24.502	CDE
19	55.355	ABCDE	78.638	ABCDE	51.922	BCDEFG	23.175	DE
20	51.832	BCDEFGH	76.816	CDE	51.703	BCDEFG	25.498	BCDE
21	45.793	EFGHI	81.337	AB	54.522	ABCDEF	22.578	DE
22	58.374	ABC	76.669	DE	52.023	BCDEFG	24	CDE
23	50.322	BCDEFGH	79.71	ABCDE	52.042	BCDEFG	24.645	CDE
24	52.335	BCDEFGH	79.516	ABCDE	50.508	CDEFG	24.812	CDE
25	43.277	FGHI	79.999	ABCDE	59.468	AB	24.473	CDE
26	50.322	BCDEFGH	78.763	ABCDE	55.11	ABCDEF	23.593	DE
27	51.832	BCDEFGH	78.766	ABCDE	50.665	CDEFG	23.978	CDE
28	45.29	EFGHI	80.935	ABCD	54.555	ABCDEF	23.478	DE
29	43.277	FGHI	80.638	ABCDE	53.865	ABCDEF	21.992	DE
30	43.277	FGHI	80.464	ABCDE	56.355	ABCDE	24.205	CDE
31	45.793	EFGHI	80.961	ABC	56.043	ABCDE	23.978	CDE
32	47.303	CDEFGHI	79.247	ABCDE	53.552	BCDEF	24.542	CDE
33	53.845	ABCDEF	77.754	ABCDE	53.152	BCDEF	22.67	DE
34	53.844	ABCDEF	79.328	ABCDE	55.367	ABCDEF	23.975	CDE
35	49.819	BCDEFGHI	77.893	ABCDE	53.543	BCDEF	24.887	CDE
36	45.29	EFGHI	78.781	ABCDE	55.407	ABCDEF	22.935	DE

37	45.29	EFGHI	79.966	ABCDE	57.228	ABCDE	24.74	CDE
38	48.813	BCDEFGHI	78.264	ABCDE	50.622	CDEFG	22.523	DE
39	46.8	CDEFGHI	79.509	ABCDE	54.96	ABCDEF	25.273	BCDE
40	52.838	ABCDEF	79.6	ABCDE	51.673	BCDEFG	24.44	CDE
41	48.309	BCDEFGHI	81.688	A	54.457	ABCDEF	23.823	CDE
42	50.322	BCDEFGH	78.825	ABCDE	53.052	BCDEF	24.313	CDE
43	51.832	BCDEFGH	80.621	ABCDE	53.227	BCDEF	24.277	CDE
44	42.774	FGHI	81.688	A	54.898	ABCDEF	25.34	BCDE
45	44.787	EFGHI	80.689	ABCD	57.233	ABCD	24.995	CDE
Avena Cuahtémoc	45.29	EFGHI	80.254	ABCDE	53.507	BCDEF	27.11	BCD
Cebada Cerro P.	51.329	BCDEFGH	78.709	ABCDE	49.623	DEFG	23.102	DE
Cebada GABYAN95	42.271	GHI	79.457	ABCDE	48.312	FG	30.317	AB
Trigo AN-266-99	44.787	EFGHI	80.293	ABCDE	54.863	ABCDEF	24.097	CDE
Triticale Eronga-83	38.245	I	82.024	A	62.095	A	35.14	A

**Anexo 3. Prueba de Comparación de Medias de las variables, Densidad estomática Índice estomático, Largo y ancho de estoma del envés de la hoja, en el Ejido San Lorenzo, Municipio San Pedro de las Colonias, Coahuila.**

Genotipos	Densidad estomática	Índice estomática	Largo	Ancho
1	49.819 ABCDE	76.699 GH	50.978 EFG	22.913 DEFG
2	49.819 ABCD	77.454 DEFGH	54.763 ABCDEFG	23.537 CDEFG
3	51.832 ABC	75.582 H	55.352 ABCDEFG	24.128 CDEFG
4	46.8 ABCDEFG	77.48 DEFGH	53.607 BCDEFG	22.837 DEFG
5	42.271 BCDEFG	80.648 ABCDEFG	51.398 DEFG	22.46 EFG
6	53.342 AB	76.608 GH	51.257 DEFG	22.57 EFG
7	47.806 ABCDEFG	78.45 CDEFGH	50.428 EFG	23.498 CDEFG
8	53.341 AB	78.396 CDEFGH	51.343 DEFG	23.403 CDEFG
9	50.825 ABCD	78.847 CDEFGH	58.642 ABC	27.127 BC
10	47.303 ABCDEFG	78.723 CDEFGH	52.572 CDEFG	24.888 CDEF
11	48.309 ABCDEF	79.808 ABCDEFGH	51.897 CDEFG	22.01 FG
12	45.793 ABCDEFG	81.463 ABCDE	53.867 ABCDEFG	22.673 EFG
13	52.838 ABC	78.472 CDEFGH	43.402 H	21.025 G
14	44.284 BCDEFG	78.203 CDEFGH	50.302 GH	23.925 CDEFG
15	41.768 CDEFG	79.017 CDEFGH	51.325 DEFG	23.483 CDEFG
16	52.838 ABC	79.762 ABCDEFGH	50.628 EFG	23.27 DEFG
17	41.767 CDEFG	80.465 ABCDEFG	53.823 ABCDEFG	24.87 CDEF
18	44.787 BCDEFG	79.577 BCDEFGH	52.647 BCDEFG	23.453 CDEFG
19	44.284 BCDEFG	77.142 EFGH	52.457 CDEFG	21.9 FG
20	47.806 ABCDEFG	77.728 DEFGH	52.127 CDEFG	22.613 EFG
21	47.806 ABCDEFG	78.689 CDEFGH	54.252 ABCDEFG	23.452 CDEFG
22	48.309 ABCDEF	77.609 DEFGH	55.383 ABCDEFG	25.073 BCDEF
23	45.29 BCDEFG	80.372 ABCDEFG	53.322 BCDEFG	24.973 CDEF
24	46.297 ABCDEFG	81.243 ABCDEF	53.927 ABCDEFG	24.605 CDEFG
25	44.284 BCDEFG	80.606 ABCDEFG	57.473 ABCDE	25.597 BCDEF
26	45.29 BCDEFG	80.097 ABCDEFG	55.823 ABCDEFG	24.465 CDEFG
27	56.864 A	76.804 GH	54.135 ABCDEFG	23.237 DEFG

28	40.258	DEFG	81.727	ABCD	55.133	ABCDEFGF	23.957	CDEFG
29	46.296	ABCDEFGF	79.215	CDEFGH	56.615	ABCDEFGF	22.223	EFG
30	50.826	ABCD	79.209	CDEFGH	53.54	BCDEFG	23.345	DEFG
31	50.826	ABCD	79.767	ABCDEFGFH	55.312	ABCDEFGF	24.048	CDEFG
32	42.774	BCDEFG	80.791	ABCDEFGF	57.392	ABCDEF	23.94	CDEFG
33	47.303	ABCDEFGF	79.282	CDEFGH	57.377	ABCDEF	26.573	BCD
34	44.787	BCDEFG	80.757	ABCDEFGF	58.662	ABC	23.912	CDEFG
35	46.8	ABCDEFGF	79.722	ABCDEFGFH	55.947	ABCDEFGF	25.838	BCDE
36	44.787	BCDEFG	76.985	FGH	56.5	ABCDEFGF	22.897	DEFG
37	42.271	BCDEFG	80.646	ABCDEFGF	59.49	AB	24.512	CDEFG
38	40.258	DEFG	80.221	ABCDEFGF	56.38	ABCDEFGF	24.057	CDEFG
39	44.284	BCDEFG	80.875	ABCDEFGF	57.313	ABCDEF	25.16	BCDEF
40	47.303	ABCDEFGF	79.044	CDEFGH	55.652	ABCDEFGF	23.63	CDEFG
41	44.787	BCDEFG	80.366	ABCDEFGF	54.868	ABCDEFGF	24.262	CDEFG
42	42.774	BCDEFG	79.435	CDEFGH	57.387	ABCDEF	24.682	CDEFG
43	39.251	EFG	83.806	AB	55.823	ABCDEFGF	24.507	CDEFG
44	42.774	BCDEFG	79.981	ABCDEFGF	56.557	ABCDEFGF	23.253	DEFG
45	52.335	ABC	79.031	CDEFGH	58.655	ABC	24.822	CDEF
Avena Cuauhtémoc	48.309	ABCDEF	79.278	CDEFGH	58.193	ABCD	28.778	AB
Cebada Cerro P.	45.29	BCDEFG	78.176	CDEFGH	54.563	ABCDEFGF	23.59	CDEFG
Cebada GABYAN95	46.8	ABCDEFGF	77.327	EFGH	54.128	ABCDEFGF	24.163	CDEFG
Trigo AN-266-99	36.735	G	83.98	A	56.477	ABCDEFGF	27.097	BC
Triticale Eronga-83	37.742	FG	82.17	AB	60.648	A	31.87	A