

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comparación de Cereales de Grano Pequeño a Través de Sensores Infrarrojos, Altura y Estudio Estomático de la Planta

Por:

**ISAAC PÉREZ NAVARRO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comparación de Cereales de Grano Pequeño a Través de Sensores Infrarrojos, Altura y  
Estudio Estomático de la Planta

Por:

**ISAAC PÉREZ NAVARRO**

TESIS

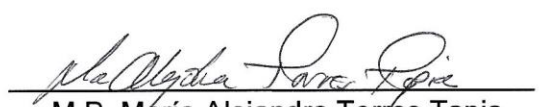
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**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 Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

  
Coordinación

Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2018

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias a Dios por poder tener la oportunidad de vivir y de poder concluir una meta en mi vida y disfrutar cada instante de esta etapa universitaria.

A mi alma mater, agradecido infinitamente con esta institución que me abrió las puertas para que yo pudiera realizar mi carrera, y me forjó con valores y conocimientos que podré poner en práctica. Me llena de orgullo haber pertenecido a esta gloriosa y noble institución. GRACIAS POR TODO NARRO.

A la **M.P. María Alejandra Torres Tapia** Por darme la oportunidad de realizar este trabajo con usted, y por la paciencia que tuvo durante la elaboración del mismo, de igual manera por su gran dedicación, atención y disponibilidad de trabajo.

Al **M.C. Modesto Colín Rico** por haberme aceptado en este trabajo de investigación y por el apoyo que me brindó para realizar el presente trabajo, por regalar un poco de su tiempo para la revisión.

Al **DR. Víctor Manuel Zamora Villa** Por la gran ayuda que me brindó en el área de estadística, por brindarme su apoyo para la revisión del mismo, por el tiempo que dedicó y por haberme aceptado en este trabajo de investigación.

A mis compañeros de generación y a mis amigos del acuario, Martín, Eriberto, Hector y Octavio por compartir experiencias únicas a lo largo de estos años. A mi amigo Luis Alberto Martínez por las buenas experiencias que compartimos y por ser uno de mis primeros amigos cuando llegué a Saltillo y por aún seguir conservando su amistad.

## DEDICATORIA

A mis padres Rebeca Navarro Jiménez y Filiberto Pérez Keb, por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mi vida y que siempre han estado ahí, también por su esfuerzo y sacrificio que han realizado en todo el tiempo que estuve fuera de casa, y que a pesar de que cometí errores no me dejaron solo. Son los mejores y siempre estaré agradecido con ustedes por la gran herencia que me dejaron que fue una carrera, los amo mucho y gracias por haber creído en mí.

A mi hermano Israel Pérez Navarro, gracias por estar conmigo en los mejores momentos y todos los momentos que hemos pasado en familia y el apoyo que me has dado. Siempre serás una parte fundamental en mi vida, te quiero demasiado aaaahh.

A mis abuelos, Edison Navarro Pereyra, Filiberto Pérez Maya, Guadalupe Keb Palomino (†), a ustedes que han sido una de mis más grandes alegrías, por siempre darme todo su amor, cariño y por el gran apoyo que me dieron y consejos. Gracias por haberme permitido pasar grandes momentos de mi infancia al lado suyo, si mi abuela aún viviera estaría igual de orgullosa que ustedes.

A mis tíos por su gran apoyo y sus consejos en esta etapa por la confianza que han depositado en mí, por cada uno de los momentos que he convivido con ustedes, muchas gracias, los quiero mucho a cada uno de ustedes.

A mis primos por siempre estar ahí, y disfrutar cada reunión familiar divirtiéndonos en cada momento y por apoyarme igual en todo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA .....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE CUADROS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
RESUMEN .....	VII
I INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos .....	3
Hipótesis .....	3
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Origen geográfico de la cebada .....	4
Genética de la cebada .....	4
Descripción botánica de la cebada .....	5
Condiciones edafológicas .....	7
Fotosíntesis .....	10
Estomas .....	12
Clorofila .....	15
NDVI y temperatura de dosel .....	15
Fisiología en el mejoramiento .....	17
III MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
Localización y descripción del sitio experimental .....	19
Material genético .....	19
Preparación del terreno y manejo en campo .....	20
Muestreos .....	21
Variables evaluadas .....	21
Diseño experimental .....	22
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
Prueba de comparación de medias entre los muestreos .....	27

Prueba de comparación de medias entre los genotipos .....	30
Interacción genotipo-ambiente de los muestreos .....	43
Correlaciones entre variables .....	56
V CONCLUSIONES .....	60
VI LITERATURA CITADA .....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Clasificación taxonómica.....	5
Cuadro 2.2 Temperatura para las etapas fenológicas de la cebada .....	7
Cuadro 3.1 Identificación de los materiales genéticos estudiados .....	19
Cuadro 4.1 Cuadros medios y nivel de significancia de las variables evaluadas en 50 genotipos de cereales de grano pequeño en dos fechas de muestreo .....	26
Cuadro 4.2 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables TEMP, NDVI, ALT e ICC. Zaragoza, Coahuila, 2017 .....	27
Cuadro 4.3 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables del estudio estomático del haz en Zaragoza, Coahuila, 2017 .....	28
Cuadro 4.4 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables del estudio estomático del envés en Zaragoza, Coahuila, 2017 .....	29
Cuadro 4.5 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la TEMP .....	30
Cuadro 4.6. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la variable NDVI .....	32
Cuadro 4.7. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la variable ALT .....	34
Cuadro 4.8. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la variable ICC .....	35
Cuadro 4.9. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables DEH y IEH .....	37
Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables LH y AH .....	39
Cuadro 4.11 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables DEE y IEE .....	41
Cuadro 4.12. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables LE y AE .....	43
Cuadro 4.13. Correlaciones entre variables para el primer muestreo a los 75 días .....	56
Cuadro 4.14. Correlaciones entre variables para el segundo muestreo a los 90 días .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Interacción genotipo- ambiente en la variable temperatura de dosel .....	45
Figura 4.2 Interacción genotipo- ambiente en la variable NDVI .....	46
Figura 4.3 Interacción genotipo- ambiente en la variable altura de planta .....	47
Figura 4.4 Interacción genotipo- ambiente en la variable ICC .....	48
Figura 4.5 Interacción genotipo- ambiente en la variable DEH .....	49
Figura 4.6 Interacción genotipo- ambiente en la variable IEH .....	50
Figura 4.7 interacción genotipo- ambiente para LH .....	51
Figura 4.8 Interacción genotipo- ambiente en la variable AH .....	51
Figura 4.9 Interacción genotipo- ambiente en la variable DEE .....	52
Figura 4.10 Interacción genotipo- ambiente en la variable IEE .....	53
Figura 4.11 Interacción genotipo- ambiente en la variable LE .....	54
Figura 4.12 Interacción genotipo- ambiente en la variable AE .....	55



## Resumen

Es importante la predicción del rendimiento del cultivo en un sistema de producción, ayuda en el conocer la relación clima/cultivo, y generar información aprovechable en la planeación y manejo de producción agropecuaria; el uso de tecnologías satelitales y sensores remotos de infrarrojo como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), ayuda a asegurar la condición simulada del crecimiento, desarrollo o rendimiento del cultivo, lo que hace que la aplicación de estos índices de reflectancia espectral sea práctico para adoptar la selección de los rasgos fisiológicos dentro del fitomejoramiento. Por ello, el presente trabajo de investigación, comparó la respuesta de sensores infrarrojos, la altura y el estudio estomático de la planta de 50 genotipos de cereales de grano pequeño para fines de selección de genotipos; donde 45 de ellos fueron líneas, producto de la cruce entre var. GABYAN95 y var. Esparanza, 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 “Zaragoza” de la UAAAN, municipio de Zaragoza, Coahuila, considerando dos fechas de muestreos. 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 en tres repeticiones, determinando el nivel de significancia y las pruebas de comparación de medias, adicionalmente se realizaron análisis de correlación para conocer el grado de asociación entre las variables del estudio. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los muestreos en todas las variables, entre genotipos a excepción de AH, DEE y IEH al no tener diferencias; al igual que en la interacción genotipos por muestreo en las variables del estudio estomático en Longitud y

ancho de la hoja en haz y envés, así como en DEE e IEE. El segundo muestreo presentó las mejores respuestas en TEMP, ALT, ICC, DEH, IEE, LE y AE; mientras que DEE y LH tuvieron respuestas estadísticamente iguales en ambos muestreos. Entre los genotipos, las líneas de cebada CANI-56-14 y CANI-12-14 destacaron con mayor TEMP; CANI-82-14 y CANI-16-14 mayor DEH; CANI-30-14 y CANI-15-14 alto IEH; así como CANI-56-14 mayor LH, AH, LE y AE; CANI-78-14 alta DEE y CANI-126-14 alto IEE. Sin embargo, los testigos avena y triticale obtuvieron mayor ALT, ICC, DEE, IEE; GABYAN95 y trigo mayor NDVI y DEH; y por último Cerro prieto teniendo altos valores en DEH, DEE, LH y AH. El sensores infrarrojos NDVI, TEMP e ICC no están asociados con el estudio estomático de la hoja de los cereales de grano pequeño, pero si entre ellos, donde la TEMP se asocia negativamente con el NDVI, a menor TEMP mayor NDVI; así mismo las variables del estudio estomático están asociadas entre ellas, a mayor DE habrá mayor IE tanto en haz como en envés y, la longitud de los estomas es similar en ambos.

**Palabras clave:** *Cebada forrajera, NDVI, SPAD, temperatura de dosel, estudio estomático.*

## I. INTRODUCCIÓN

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) pertenece al género *Hordeum* en el cual se agrupan varias especies, aunque el interés del hombre se ha centrado en dos especies, *H. vulgare*, L., y *H. distichum*, L.; su origen es del antiguo Egipto y es considerada como el cultivo más antiguo, con más de 15,000 años bajo el cuidado del hombre y cuyos granos se utilizaron para la panificación incluso antes que el trigo.

Debido a su bajo requerimiento de agua en comparación a otros cereales, puede producir una unidad de peso en grano en condiciones adversas, debido a su nivel de transpiración más bajo dentro de los cereales de invierno; alrededor de dos tercios de la producción mundial de cebada es localizada en regiones semiáridas, con inferior a los 300 mm de pluviometría, como se presenta en Oriente Medio y el Norte de África, siendo el cereal dominante (López, 1990).

En México, es baja la producción de cebada debido a diversos factores, como es el agotamiento de los suelos. Existe variedades que se utilizan en las áreas de influencia como el Bajío Mexicano en donde las condiciones del suelo y agua son de alto potencial productivo; sin embargo, al establecerse en otras áreas como en el norte de México presentan diferentes comportamientos (Colín, 2007).

La cebada se destaca de otros cereales del mismo ciclo (Avena, Trigo, Triticale, Centeno), por que tiende a ser un cultivo altamente precoz, resistente a sequía, salinidad y puede cultivarse en suelos marginales; tiene un rápido desarrollo, produciendo forraje y/o grano en relativamente menor tiempo y costo en comparación con otros cereales.

La predicción del rendimiento de los cultivos tiene el objetivo prioritario tanto para aumentar el conocimiento de las relaciones clima/cultivo, como para generar información aprovechable en la planeación y manejo de producción agropecuaria.

Se han desarrollado tecnologías satelitales y la utilización de sensores remotos, como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) con el fin de asegurar la condición simulada del crecimiento, desarrollo o rendimiento del cultivo (Doraiswami *et al.*, 2003).

La aplicación de estos índices de reflectancia espectral es un medio práctico para adoptar la selección de los rasgos fisiológicos dentro del fitomejoramiento de cultivos y de programas de investigación; por ejemplo, tener la posibilidad de incrementar el rendimiento en diversos cultivos al aumentar la tasa de fotosíntesis, pues toda la materia seca producida depende totalmente de este proceso (Slafer *et al.*, 1994). Existe una relación más directa entre el contenido en clorofilas de hojas y el rendimiento en grano, al comprobar que la tasa de fotosíntesis neta está estrechamente asociada con la pérdida de clorofila durante el periodo de llenado del grano de los cereales. Además, se ha observado la existencia de una asociación genética entre el contenido en clorofila y el rendimiento (Reynolds *et al.*, 2000; Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2000).

Pese a ello, no se tienen reportes de todos los cultivos de importancia agrícola como es en el caso de cebada, que al hacer uso de tecnologías remotas pueda ser posible el seleccionar genotipos de este cultivo por su producción de materia seca o biomasa en menor tiempo (90 días) y contar con una buena selección de genotipos efectivos en el corto ciclo de otoño-invierno que se presenta en las regiones del norte de México.

En los últimos años, el Programa de Cereales de Grano Pequeño de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ha generado líneas elite de cebada imberbe que tiene posibilidades de competir con otras especies que comercialmente se producen en estas regiones. Sin embargo, es necesario realizar trabajos de investigación que permitan obtener información sobre la relación en la utilización de la tecnología infrarroja con los procesos fisiológicos (transpiración y fotosíntesis) y rendimiento de este cultivo, por lo que se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

## **Objetivo General**

- Comparar 50 genotipos de cereales de grano pequeño mediante sensores infrarrojos, altura y estudio estomático de la planta para fines de selección de genotipos.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar y comparar 47 genotipos de cebada (45 progenies y dos variedades) con especies como avena, trigo y triticale mediante tecnología infrarroja (NDVI e ICC), temperatura y altura de la planta en dos muestreos durante el crecimiento de la planta.
- Evaluar y comparar 47 genotipos de cebada con especies como avena, trigo y triticale mediante el estudio estomático del haz y envés de las hojas a través de dos muestreos durante el crecimiento de la planta.
- Identificar la relación entre las variables evaluadas con sensores infrarrojos vs temperatura de dosel, altura de planta y estudio estomático de las hojas de los 50 genotipos de cereales de grano pequeño.

## **Hipótesis**

- Al menos uno de los genotipos de cebada estudiados tendrá una respuesta diferente al de otra especie en una de las variables de la tecnología infrarroja (NDVI e ICC), así como en el estudio estomático de la planta.
- Existe una relación positiva entre las variables evaluadas mediante la tecnología infrarroja con la temperatura de dosel, altura de la planta, así como con las variables del estudio estomático del haz y envés de hojas para ser usados como parámetros de selección en los genotipos estudiados.

## II. REVISION DE LITERATURA

### Origen geográfico de la cebada

Se han descrito dos centros de origen de la cebada. De un centro en Etiopia y en África del Norte provienen muchas de las variedades cubiertas con barbas largas, mientras que del otro centro, China, Japón y el Tíbet, proceden las variedades desnudas, barbas cortas o sin barbas, y los tipos de granos cubiertos por caperuzas (Robles, 1990).

Según Brucher y Aberg, citados por Hughes *et al.* (1974), existen dos probables centros de origen, siendo uno de ellos Abisinia y el otro el sureste del Tíbet, donde crece la cebada en forma silvestre.

Se supone que donde se cultivó primeramente fue en el sudoeste de Asia, (más o menos 15,000 años A.C), región en donde aún pueden hallarse las cebadas silvestres *Hordeum spontaneum* y *Hordeum ithuburensense*. Siendo la primera posiblemente el antepasado de las cebadas de dos carreras y la segunda puede ser el de los tipos de seis carreras (Robles, 1990).

### Genética de la Cebada

Robles (1990), dice que el género *Hordeum* comprende cerca de 25 especies. Se encuentran tanto especies diploides como tetraploides. A diferencia del trigo y de la avena, las especies cultivadas son especies diploides.

Especies diploides ( $2n = 14$ )

Especies cultivadas. *Hordeum vulgare*, *H. distichum*, *H. irregulare*.

Especies silvestres. *H. spontaneum*, *H. agriocrithon*, *H. picillum*.

Especies tetraploides ( $4n = 28$ )

Especies silvestres. *H. murinum*, *H. bulbosum*, *H. jubatum*, *H. nodosum*.

## Cuadro 2.1 Clasificación Taxonómica

Reino	Vegetal
División	<i>Tracheophyta</i>
Subdivisión	<i>Pteriopsidae</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>
Subclase	<i>Monocotyledoneae</i>
Grupo	<i>Glumiflora</i>
Orden	<i>Graminales</i>
Familia	<i>Gramineae</i>
Género	<i>Hordeum</i>
Especie	<i>Vulgare</i>

### Descripción Botánica de la Cebada

La cebada puede ser de crecimiento anual, con tendencias a convertirse en perenne bajo condiciones muy especiales. Existen variedades de primavera e invierno; las primeras tienen un ciclo corto de 80 a 90 días, se siembra a fines de invierno o a principio de primavera, usadas para la producción de grano. Las variedades de invierno poseen un ciclo hasta de 160 días, utilizadas para producción de forraje (Robles, 1990).

**Raíz:** El sistema radical de la cebada es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación de otros cereales.

**Tallo:** El tallo de la cebada es una caña hueca que presenta de siete a ocho entrenudos, separados por diafragmas nudosos. Los entrenudos son más largos a medida que el tallo crece desde la región basal. El número de tallos en cada planta es variable, y cada uno de ellos presenta una espiga. los tallos llegan a medir en promedio de 20 cm las variedades cortas bajo condiciones de sequía y 154 cm en variedades altas en condiciones de buen manejo (Méndez, 2004).

**Hoja:** Las hojas de la cebada son más largas y de color más claro que las del trigo, siendo en general lisas y rara vez pubescentes; su ancho va entre 5 y 15 mm. Los cultivares primaverales se caracterizan por presentar hojas lisas, y los cultivares invernales presentan por hojas rizadas y más angostas. Las hojas están compuestas por una vaina, una lámina, dos aurículas y una lígula. La vaina de cada hoja envuelve la sección del tallo ubicada sobre el nudo a partir del cual se origina; en la unión de la vaina con la lámina se observa un par de aurículas largas y abrazadoras, la lígula es lisa, corta y dentada.

**Inflorescencias:** Las inflorescencias corresponden a espigas, las cuales se caracterizan por ser compactas y generalmente barbadas. En *Hordeum distichum* L. Las espigas son largas y delgadas; en *Hordeum hexastichum* L, son más anchas y de menor longitud. La espiga es una extensión de tallo, tiene un raquis en forma de zig-zag de 2.5 a 12.7 cm. de longitud el cual cuenta con 10 a 30 nudos. La espiga está conformada por estructuras llamadas espiguillas, cada una integrada por el grano y dos glumas con barbas de longitud variable, lisas o aserradas, las espiguillas son alternas y están adheridas al raquis. Las variedades de 6 hileras (*Hordeum vulgare*) tienen 25 a 60 granos por espiga, mientras que las de 2 hileras (*Hordeum distichum*) tiene de 15 a 30. (Warren y Martin, 1970).

**Grano:** El grano de la cebada es parte de un fruto denominado cariósipide, en el cual las paredes del ovario (pericarpio) y cubierta seminal (testa), están estrechamente unidas, siendo generalmente inseparables; el fruto, por lo tanto, es de carácter indehiscente. El grano está compuesto por pericarpio, endospermo y embrión, el cual está localizado en la parte dorsal del mismo, y su color puede ser crema, blanco, negro, rojo o azul; los últimos colores son el resultado de pigmentos de antocianina (Zúñiga, 1987).



## Condiciones Edáficas y Ecológicas

### Rango de Temperaturas

Según Álvarez y César (2006), la cebada tiene pocas exigencias en cuanto al clima; crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos; requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes; tolera muy bien las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10 °C.

Temperatura mínima: -10 a 4 °C.

Temperatura óptima: 20 °C.

Temperatura máxima: 28 a 30 °C.

Sin embargo, las temperaturas para germinación van de 3 a 4 °C, mientras que la temperatura óptima es 20 °C y la máxima entre 28 °C y 30 °C. durante el crecimiento y el periodo vegetativo la temperatura óptima es de 15 °C y en el en espigado 17-18 °C.

Mientras que la temperatura óptima durante la etapa de llenado de grano es alrededor de 22 °C, pero Iglesias y Taha (2010) puntualizan en el Cuadro 2.2, los principales parámetros de requerimiento de temperatura que requiere el cultivo de la cebada, durante todo su ciclo fenológico.

**Cuadro 2.2 Temperatura para las etapas fenológicas de la cebada**

Etapa	Temperatura		
	Mínima °C.	Optima °C.	Máxima °C.
Germinación	1	20	20
Crecimiento	1	20	28
Floración	5	16 – 17	30
Llenado de grano	7	20	30

## **Humedad**

INFOAGRO (2002, en línea) dice que la cebada tiene un coeficiente de transpiración superior al trigo, aunque, por ser el ciclo más corto, la cantidad de agua absorbida es algo inferior. La cebada tiene como ventaja que exige más agua al principio de su desarrollo que al final, por lo que es menos frecuente que en el trigo el riesgo de asurado. De ahí que se diga que la cebada es más resistente a la sequía que el trigo, y de hecho así es, a pesar de tener un coeficiente de transpiración más elevado.

Cuando se llevan a cabo los riegos en el cultivo de la cebada, hay que aplicar éstos de acuerdo con las necesidades de la planta; pero en términos generales, se puede afirmar que la cebada es un poco menos exigente que el trigo. El número de riegos depende del clima y del suelo principalmente (Robles, 1990).

AGROFORO (2003, en línea), explica que el periodo de máxima exigencia de agua es el encañado y el espigado, siendo en este último, peligroso el riego en zonas donde las altas temperaturas favorezcan la roya.

## **Rango de adaptación de la cebada**

La cebada puede ser sembrada a diferentes altitudes que comprende desde los 0 msnm y hasta los 3500 msnm, pero la zona óptima para el cultivo comprende desde los 2800 msnm a 3200 msnm (INIFAP, 1999).

## **Suelos**

Menciona Beratto (2001), que la cebada en los requerimientos edáficos responde muy bien a suelos de textura liviana (franco, franco limoso, y franco arcilloso) y profundos. En las primeras etapas del cultivo, sin embargo, es más sensible a los excesos de humedad, siendo por lo tanto menos recomendables los suelos de textura muy pesada (arenosos y arcillosos). El nivel óptimo de pH del suelo fluctúa entre 6,0 y 8,5 siendo susceptible a suelos ácidos (pH 5,2 o inferiores) y tolerante a suelos alcalinos.

Castillo (2001), dice que la resistencia al frío para unas plantas o la tolerancia a la salinidad para otras está más estrechamente relacionada con la fase de desarrollo que con la época del año; la cebada y el trigo no toleran salinidades superiores a 4 – 5 dSm-1 a 25 °C durante la germinación y el estadio de plántula, mientras que en las restantes fases su tolerancia aumenta análogamente.

Sin embargo, Castañeda (2004) indica que la cebada es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, estimándose que puede soportar niveles de hasta 8 mmhos/cm, en el extracto de saturación del suelo, sin que sea afectado el rendimiento.

### **Fotoperiodo**

Las plantas al tener un cambio en el número de horas de luz es uno de los principales factores determinantes de la duración de las diferentes fases de desarrollo y, por tanto, de adaptación al ambiente (Evans, 1993).

Gil (1995) menciona, que la radiación solar determina la distribución de calor, del agua por la evaporación y como tal, de las sustancias orgánicas. De igual modo, las monocotiledóneas muestran una mayor inclinación foliar que las dicotiledóneas; esto determina que para los índices foliares pequeños las dicotiledóneas exhiban mayores tasas de fotosíntesis que las monocotiledóneas.

En el caso de los cereales de grano pequeño son, en general plantas de día largo, es decir, florecen cuando el número de horas de luz de los días es creciente (Thomas y Vince, 1997).

Wareing y Phillips (1978), mencionan que la duración del día es el segundo factor en importancia que regula la floración. Por ende, los cereales de invierno generalmente han sido clasificados como plantas de día largo, si bien, existe un gran número de variedades indiferentes al fotoperiodo, esto es que son capaces de espigar independientemente de la duración del día.

En caso de la cebada, esta generalización está limitada por el hecho de que existe un umbral inferior de fotoperiodo, por debajo del cual la floración no ocurre de ninguna manera (8-10 horas en función de los genotipos), y un umbral superior por encima del cual un incremento en el fotoperiodo no supone un cambio en la tasa de desarrollo de 13-18 horas en función de los genotipos (Roberts *et al.*, 1988).

### **Fotosíntesis**

La posibilidad de incrementar el rendimiento en diferentes cultivos con un aumento en la tasa de fotosíntesis ha sido considerada frecuentemente, pues toda la materia seca producida depende totalmente de este proceso (Slafer *et al.*, 1994)

Sin embargo, es necesario precisar que existen factores externos e internos que pueden regular en mayor o menor grado el proceso de fotosíntesis. Entre los primeros están los parámetros climáticos como la temperatura, precipitación (agua disponible), radiación solar, humedad relativa del ambiente (alta o baja demanda evaporativa), etc. Mientras que los factores internos son la actividad de la enzima Rubisco (ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa), el contenido de clorofila en las hojas y su duración activa (verdor en las hojas por más tiempo). Otros elementos que influyen en la fotosíntesis son la interacción entre el medio externo (suelo, disponibilidad de agua) y el metabolismo de la planta, como el balance nutricional y el estatus hídrico.

Las plantas ocupan la incidencia de la radiación solar para poder sintetizar compuestos orgánicos a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, agua y nutrientes del suelo o asimilarlos desde otros órganos de la planta, mediante el proceso de la fotosíntesis (Gracia, 2008).

Smith (1982, en línea) menciona que como la luz solar es la fuente primaria de energía para las plantas, es hasta cierto punto de esperarse que el ambiente de radiación determine las respuestas de las plantas en muchos ámbitos de su crecimiento y desarrollo. La radiación controla los procesos de fotosíntesis, la morfogénesis y regula también en mayor o menor medida otros procesos como la respiración, movimientos estomáticos, metabolismo del carbono, entre otros.

El conocimiento del proceso de la fotosíntesis es esencial para entender las relaciones de los seres vivos y la atmósfera, y para entender el balance de la vida sobre la tierra, dado el profundo impacto que tiene sobre la atmósfera y el clima terrestres. Esto significa que el aumento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico generado por la actividad humana tiene un gran impacto sobre la fotosíntesis (Urria, 2009).

Existen diversos caminos para poder encontrar altas tasas de fotosíntesis y encontrar una relación directa con el rendimiento de los cultivos. Uno de ellos es usar genotipos con hojas semi erectas que permiten mayor penetración de la radiación en las hojas inferiores de la planta. Otra manera es emplear genotipos o cultivares con potencial de rendimiento alto, los cuales tienen mayor capacidad de enviar foto asimilados al grano (mayor capacidad en la relación fuente-demanda). Por último, se puede crecer el cultivo en ambientes de radiación alta (sin restricción de agua), lo que permite altas tasas de fotosíntesis y, finalmente, un alto rendimiento de grano. Aumentar la penetración de radiación dentro del dosel del cultivo es una buena forma de inducir mayores tasas de fotosíntesis en hojas inferiores del dosel, que frecuentemente reciben poca radiación.

La selección de genotipos de trigo, maíz y arroz con hojas semi erectas ha permitido incrementar el rendimiento debido a la penetración de radiación y seguramente a un aumento en la fotosíntesis de esas hojas (Reynolds *et al.*, 1999).

Los altos niveles de radiación permiten que los genotipos expresen su máxima capacidad en fotosíntesis, mientras no haya restricción de agua y nutrientes. La fotosíntesis y el rendimiento de cultivos pueden llegar a asociarse en estos ambientes. En cereales como el trigo, cebada y avena, la fotosíntesis de la hoja bandera tiene un papel primordial en el rendimiento de grano, pues es la principal fuente de fotosintatos durante la etapa de llenado de grano (Blum, 1985).

De toda la radiación incidente sobre una hoja, sólo los fotones cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 700 nm resultan útiles para la fotosíntesis. El flujo de fotones fotosintéticos (PPF) es absorbido por las hojas, constituye la fuente de energía utilizada en la fotosíntesis y determina la tasa de asimilación del CO<sub>2</sub> (Gracia, 2008).

### **Estomas**

De todos los órganos de la planta, el principal y de mayor importancia se podría decir que son las hojas ya que es el más sensible en responder a las condiciones del ambiente razón por la cual refleja alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos del estrés, al producir cambios en la síntesis de proteínas, pared celular, espesor de la cutícula y conductancia estomática (Trewavas, 2003).

La apertura estomática se produce cuando ingresa agua y aumenta la turgencia de las células oclusivas, como consecuencia de la disminución de su potencial osmótico. La disminución del potencial osmótico se produce por el ingreso de iones como K<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>; por la síntesis de malato; y por el desdoblamiento de almidón en las células oclusivas (Assman y Shimazaki, 1999).

Cada estoma consiste en dos células que rodean a un poro central, las capas cuticulares se extienden sobre o debajo de los límites del poro dentro o fuera de las paredes celulares de las células adyacentes o células guardianes. Las células

de guardianes tienen forma de riñón en la mayoría de las plantas; los estomas pueden estar hundidos o levantados, y se asocian a menudo con una cavidad subestomática en el mesófilo, causada por la diferencia de extensión de la célula madre y las células guardianas y el desarrollo es en la base de las células del mesófilo (Rudall, 2007).

Roth *et al.* (1986), plantearon en diversos estudios relacionados con la anatomía foliar que se deben de considerar diferentes aspectos individuales tales como el índice estomático, valor que puede variar dentro de la misma hoja según la parte del limbo que se analice (ápice, media o base), posición de la hoja en la planta y también del ambiente ecológico, el cual puede ejercer cierta influencia sobre este carácter. Del mismo modo, la densidad estomática parece estar relacionada con ciertas familias, además de existir relación entre la DE y el tamaño de las células oclusivas, de tal manera que la alta densidad estomática se presenta en plantas con células oclusivas pequeñas y viceversa.

Salisbury y Ross (2002), mencionan que la mayor preocupación de los agricultores y de los fisiólogos vegetales es la falta de agua, palabras técnicas el estrés hídrico. Ya sus efectos son inhibitorios en el rendimiento vegetal de los ecosistemas naturales y agrícolas. El punto más importante probablemente sea el crecimiento celular, que depende de la absorción del agua por parte de las células y además es uno de los primeros procesos que se ven afectados.

El potencial hídrico de una hoja también tiene un efecto en la apertura y el cierre de los estomas, cuando el potencial hídrico disminuye, los estomas tienden a cerrarse, es decir cuando existe una temperatura elevada de 30 a 35 °C. durante el fotoperiodo, las plantas deben interpretar ciertos flujos fotónicos como luz y cierto flujo menor como oscuridad, diferenciando así la noche y el día; las plantas deben medir la duración del día, la noche, o ambas, y cuando esas duraciones alcanzan los valores programados genéticamente en las plantas, debe iniciar o controlar determinados procesos, como la floración.

Los estomas de la mayor parte de los vegetales se abren al amanecer y se cierran en la oscuridad, lo que permite la entrada del CO<sub>2</sub> que utiliza en la fotosíntesis durante el día. Por lo general, la apertura necesita aproximadamente una hora, y el cierre suele ser gradual, durante todo el atardecer. Los estomas se cierran más rápidamente si la planta se expone a una situación de oscuridad repentina.

Assman *et al.*, 1985; Zeiger y Hepler, 1977, explican que los estímulos que desencadenan el mecanismo, provocando la apertura o cierre, son de índole ambiental y endógena e incluyen a la luz, la concentración foliar interna de CO<sub>2</sub>, la temperatura, el estado hídrico de la hoja y la presencia de hormonas vegetales, especialmente ABA. La luz en especial la luz azul, y secundariamente la luz roja provoca la apertura de los estomas al activar la H<sup>+</sup>-ATPasa que bombea protones a través de las membranas de las células oclusivas hacia el apoplasto.

Los diversos estudios relacionados con la actividad estomática revisten gran importancia ya que la productividad está íntimamente relacionada con el consumo y disponibilidad del agua más que con cualquier otro factor ambiental. Por lo tanto, la capacidad de algunas plantas de mantenerse túrgidas bajo condiciones de escasez de agua en el suelo es una característica beneficiosa para evitar la disminución en la producción, puesto que bajo tales circunstancias el descenso del rendimiento puede estar relacionado con la reducción de la conductancia estomática (Agraria *et al.*, 1995; Nogueira *et al.*, 2001).

Otro parámetro fisiológico relacionado con el intercambio gaseoso en la hoja es la conductancia estomática, la cual indica si están abiertos o cerrados los poros de las estomas y el flujo de moléculas a través de ellos; líneas de trigo mostraron diversidad genética en el rendimiento de grano (Gutiérrez *et al.*, 2000).



## **Clorofila**

Las concentraciones de clorofila se ocupan para poder estimar en forma indirecta el contenido de biomasa que contiene la planta (Gregor y Marsálek, 2004).

Para la estimación de la clorofila existen distintos métodos, procedimientos y modelos matemáticos desarrollados para minimizar los errores ocasionados por la presencia de otros pigmentos fotosintéticos y de algunos compuestos químicos en el agua (Apha, 1998).

El medidor de clorofila SPAD 502 es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y, por ende, el estado nutricional del cultivo, así como tendencias en la salud de las plantas mucho antes que sean visibles al ojo humano. Esta una medición no invasiva, ya que al colocar el medidor sobre el tejido de la hoja se recibirá una lectura del contenido indexado de clorofila (0-99.9) en menos de dos segundos. Todos los valores de clorofila están ligados con el estado nitrogenado de las plantas (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996).

## **NDVI y Temperatura dosel**

El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. La interpretación del índice debe asimismo considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anuales para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores (Gilabert *et al.*, 1997).

Los sensores infrarrojos tienen un rol fundamental en el desarrollo de investigación sobre las coberturas vegetales a distintas escalas (Justice *et al.*, 1985). Pero

Townshend *et al.* (1985), mencionan que solo es posible el monitoreo del comportamiento de la vegetación y su estacionalidad, si se dispone de datos derivados de sensores remotos sobre bases temporalmente regulares.

El NDVI es históricamente uno de los primeros índices de vegetación. Se trata de una relación normalizada de los NIR (infrarrojo cercano) y las bandas de color rojo:  $NDVI = (NIR - Rojo) / (NIR + Rojo)$ . El NDVI ha sido usado en numerosos estudios para estimar la vegetación, biomasa, producción primaria, especies dominantes e índice de área foliar en varios tipos de modelos locales, regionales y globales. Las imágenes de NDVI derivado del Radiómetro Avanzado de muy alta Resolución de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA-AVHRR) proporcionan oportunidades para análisis de series de tiempo entre los cambios en el uso y cobertura de la vegetación a escala global (Maskova *et al.*, 2008).

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

Houspanossian *et al.* (1990), explica que la temperatura del dosel de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie factores físicos, fisiológicos y climáticos, que la alteran y modifican de diferente manera y proporción. Entre ellos se encuentran, la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación, la evapotranspiración, el tipo de superficie (propiedades térmicas, rugosidad), las propiedades conductoras de la atmósfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo.

El estrés por sequía es el factor abiótico que afecta en mayor grado la producción

mundial de cultivos y en consecuencia la de alimentos. En México la sequía se debe principalmente a la escasa y errática distribución de la precipitación, que causan pérdidas que van desde 60 a 100 % (Acosta *et al.*, 2000).

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

Entre los diferentes índices de vegetación desarrollados, se encuentra el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI). Este índice ha sido utilizado, entre otras razones, para conocer la riqueza de especies de tal manera que se pueda lograr la caracterización regional de la vegetación y su ambiente (Fairbanks y McGwire, 2004).

### **Fisiología en el mejoramiento**

Durante los años recientes, las tecnologías espectro radiométricas han ofrecido un salto cuántico hacia adelante en la eficiencia de evaluación de rasgos fisiológicos, la cual ha sido típicamente laboriosa y consumidora de tiempo, y que ha tenido consecuentemente limitada aplicación dentro de los programas de fitomejoramiento. Estas tecnologías son ahora capaces de identificar los mejores genotipos en materiales de generación temprana, antes de que se lleven a cabo costosos ensayos de rendimiento, y mejorar la selección de líneas ya superiormente avanzadas (Reynolds *et al.*, 1999).

Por lo tanto, un índice de vegetación se puede definir como aquel parámetro que puede ser calculado a partir de los valores de la reflectancia de a distintas

longitudes de onda, y que es particularmente sensible a una cubierta vegetal. Pero estos índices no miden directamente productividad ni disponibilidad forrajera, pero tienen una estrecha relación con estas variables, lo que permite utilizarlos para análisis regionales. Es decir, que los cambios del índice de vegetación permiten decir si un determinado mes o año es mejor o peor respecto al valor histórico (Gilabert *et al.*, 1997). Es por lo que las tecnologías de detección y la evaluación cuantitativa de la vegetación verde constituyen una de las mejores aplicaciones de la percepción remota y la toma de decisiones.

Pero actualmente hay pocas variedades adaptadas a condiciones ecológicas. El interés creciente en cultivos ecológicos de cereales ha aumentado la demanda de variedades idóneas para localidades que tienen un alto índice de radiación incidente, dado que en los últimos años se ha obtenido una relación más directa entre el contenido en clorofilas de las hojas y el rendimiento en grano, al comprobar que la tasa de fotosíntesis neta está estrechamente asociada con la pérdida de clorofila durante el periodo de llenado del grano de los cereales. Además, se ha observado la existencia de una asociación genética entre el contenido en clorofila y el rendimiento (Reynolds *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2000).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### Localización y descripción del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo durante el ciclo otoño-invierno (2016-2017); en el Campo Experimental “Zaragoza” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicado en el municipio de Zaragoza, Coahuila ubicado a 28° 30` latitud norte y 100° 55´ longitud oeste, con una altitud de 360 msnm, con clima árido, cálido (Bso(h´)(x´)), y temperatura media anual mayor de 22°C, con temperatura del mes más frío mayor de 18°C; lluvias entre verano e invierno mayores al 18% anual entre 300 a 400 mm (Arriaga *et al.*, 2000).

#### Material genético

Se evaluaron 45 nuevas líneas de cebada forrajera imberbe (sin aristas o barbas), producto de la cruza entre la variedad GABYAN95 registrada por la UAAAN con la variedad comercial Esperanza liberada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), utilizando como testigos a: la avena cv. Cuauhtémoc, una variedad comercial de cebada maltera (cv. Cerro Prieto) y la cebada forrajera GABYAN95, adicionalmente una línea de trigo (AN-266-99) y un triticale de grano (cv Eronga-83); enlistados a continuación en el Cuadro 3.1

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

Número	Genotipo	Número	Genotipo	Número	Genotipo
1	CANI-1-14	18	CANI-62-14	35	CANI-103-14
2	CANI-9-14	19	CANI-63-14	36	CANI-104-14
3	CANI-10-14	20	CANI-68-14	37	CANI-107-14
4	CANI-11-14	21	CANI-69-14	38	CANI-108-14
5	CANI-12-14	22	CANI-70-14	39	CANI-110-14
6	CANI-15-14	23	CANI-77-14	40	CANI-126-14
7	CANI-16-14	24	CANI-78-14	41	CANI-128-14
8	CANI-20-14	25	CANI-80-14	42	CANI-129-14
9	CANI-25-14	26	CANI-81-14	43	CANI-130-14
10	CANI-28-14	27	CANI-82-14	44	CANI-131-14

11	CANI-29-14	28	CANI-83-14	45	CANI-133-14
12	CANI-30-14	29	CANI-85-14	46	AVENA CUAHUTEMOC
13	CANI-31-14	30	CANI-86-14	47	CEBADA CERRO P.
14	CANI-40-14	31	CANI-98-14	48	CEBADA GABYAN95
15	CANI-51-14	32	CANI-99-14	49	TRIGO AN-266-99
16	CANI-55-14	33	CANI-100-14	50	TRITICALE ERONGA-83
17	CANI-56-14	34	CANI-101-14		

CANI= Cebada Antonio Narro Imberbe

## Preparación del terreno y manejo en campo

La preparación del terreno consistió en las labores tradicionales utilizadas para el establecimiento de cereales de grano pequeño de invierno en las regiones donde se siembra bajo condiciones de riego, esto es: barbecho, rastreo, nivelación o empareje y surcado (hilas separadas entre sí a 0.36 m).

### Siembra

La fecha de siembra fue el 14/12/16 y se realizó de manera manual, depositando la semilla en el fondo del surco a una densidad de 83.33kg ha<sup>-1</sup> en parcelas de 6 surcos de 3.0 m de longitud, espaciados a 0.36 m; bajo un diseño 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.

### Fertilización y riego

Durante el ciclo, en Zaragoza se aportó una fertilización de 120-60-00 aplicándose la mitad de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra y el resto del nitrógeno en el primer riego de auxilio, se utilizaron como fuentes de nitrógeno la Urea y el MAP, siendo este último como fuente de fosforo.

Se aplicó el riego de siembra y dos auxilios antes del muestreo conforme el estatus del cultivo durante su desarrollo.

### **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.

### **Muestreos**

Las fechas de los muestreos fueron las siguientes, 28/02/17 se realizó a los 75 y el 15/03/17 a los 90 días después de la siembra se realizaron los muestreos de hojas para las determinaciones estomáticas, cortando 10 hojas bandera por parcela.

### **Variables evaluadas**

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

Se realizó mediante un flexómetro, registrando en centímetros desde la superficie del suelo a la parte superior de la planta.

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

Se determinó con un termómetro infrarrojo IP-54, marca Fluke, mide temperaturas desde -30°C a 500°C, con una óptica de 10:1, con mira laser, señalando en la parte media de cada parcela experimental.

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

Se utilizó un clorofilómetro SPAD-420, marca Konica Minolta, mide el contenido de clorofila o “verdor” de las plantas dando lecturas en absorbancia, en una escala de 0-99, utilizando dos longitudes de onda dando el ICC, valor que es proporcional a la cantidad de clorofila de la muestra, se tomó la lectura en la parte media de 10 hojas bandera de cada parcela experimental.

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

Se midió a través de un sensor portátil, marca GreenSeeker™, emitiendo breves ráfagas de luz roja e infrarroja, evaluando el área escaneada en la parte central de la cada parcela dando la cantidad de cada tipo de luz reflejada, expresando una lectura NDVI desde 0.00 a 0.99 en la pantalla LCD.

### **Densidad e índice estomático para haz y envés**

Se realizó una impresión epidérmica del haz (adaxial) y otra del envés (abaxial), con ayuda de pegamento para PVC y colocando la impresión en un portaobjeto para cada haz y envés de cada hoja, teniendo 9 impresiones por parcela, luego se determinó la densidad estomática (DE) e índice estomático (IE), de acuerdo con el método de Cañizares *et al.* (2003).

Así también, se determinó el largo y ancho de las células oclusivas incluyendo el poro que componen el aparato estomático o estomas de la superficie adaxial donde las unidades son número de estomas/ mm<sup>2</sup> (LH y AH), densidad estomática adaxial y abiaxial (DEH y DEE), índice estomático adaxial y abiaxial (IEH y IEE), largo y ancho de las células oclusivas incluyendo el poro que componen el aparato estomático o estomas de la superficie adaxial, los índices se obtienen al tomar la densidad de los estomas al dividiendo el número de estomas que se cuentan por 10 veces el área del cuadrado de 1 cuadrícula; en todos se midieron en milímetros, convirtiéndose posteriormente a micrómetros (LEE y AE) según la metodología de Ramírez *et al.*, (2013).

### **Diseño experimental**

Los genotipos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento para todas las variables.

$$Y_{ij} = \mu + R_i + T_j + E_{ij}$$

**Donde:**

**Y<sub>ij</sub>:** Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima repetición.



- $\mu$ : Efecto de la media general.
- $G_i$ : Efecto de la i-ésimo repetición.
- $r_j$ : Efecto del j-ésimo tratamiento.
- $E_{ij}$ : Efecto del error experimental.
- $i$ : 1.....t (número de genotipos o tratamientos).
- $j$ : 1.....r (número de repeticiones).

### Análisis de varianza

El análisis conjunto de los datos de los dos muestreos se realizó mediante un parcelas divididas, teniendo como parcela grande los dos muestreos a los 75 y 90 días y la parcela chica a los genotipos, con tres repeticiones y que considera el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + M_j + E_{ij} + G_k + MG_{jk} + E_{ijk}$$

### Donde:

$Y_{ijk}$ : Variable medida en la i-ésimo repetición obteniendo el j-ésimo muestreo y k-ésimo genotipo.

- $\mu$ : Efecto de la media general.
- $R_i$ : Efecto de la i-ésimo repetición.
- $M_j$ : Efecto del j-ésimo muestreo.
- $E_{ij}$ : Efecto del error de parcela grande.
- $G_k$ : Efecto del k-ésimo genotipo.
- $MG_{jk}$ : Efecto de la interacción entre j-ésimo muestreo por k-ésimo genotipo.
- $E_{ijk}$ : Efecto aleatorio del error experimental, según el modelo lineal aditivo.

### Comparación de medias

Para la comparación de medias de las diferentes variables registradas se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS), mediante la siguiente formula:

$$W = t_s \sqrt{\frac{2CME}{r}}$$

Donde:

$W$  = Valor de DMS wed

$t_s$  = Valor tabulado y (S) nivel de significancia

$2CME$  = Dos veces el cuadrado medio del error experimental

$r$  = Repeticiones

### Correlaciones

Se realizaron las correlaciones entre pares de variables evaluadas para conocer su asociación con la formula siguiente:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}\right)}}$$

Donde:

$r$ = coeficiente de correlación

$n$ = número de pares ordenados

$X$ = variable independiente

$Y$ = variable independiente

Todos los análisis de varianza y pruebas de medias se realizaron mediante el uso del paquete computacional Statistical Analysis System (SAS, 1988).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez analizados los datos del estudio, se mencionan a continuación los resultados e interpretaciones de las variables estudiadas.

En el Cuadro 4.1, se muestra el resultado de los análisis de varianza (ANVA) de las variables, encontrando que en la fuente de variación repeticiones (REP) las variables de TEMP e ICC obtuvieron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ), indicando que al menos una de las repeticiones presentó diferente valor en la temperatura de dosel y en el contenido de clorofila; mientras que en el resto de las variables no se encontró diferencia entre las repeticiones.

Con respecto a la fuente de variación de los dos muestreos realizados, se encontró que la mayoría de las variables (TEMP, NDVI, ALT, ICC, DEH, IEH, AH, DEE, AE) presentaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ), lo que indica que los valores encontrados en los tiempos a 75 y 90 días después de la siembra fueron diferentes, además de no encontrar diferencia en la variable LH, pero si diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en las variables IEE y LE (Cuadro 4.1).

En el caso de la fuente de variación genotipos (GEN), como se muestra en el mismo Cuadro 4.1, se presentó que las variables TEMP, NDVI, ALT, ICC, IEE, LE obtuvieron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ), indicando que el menos uno de los materiales genéticos estudiados se comportó de manera diferente al resto; mientras que en las variables DEH, LH y AE fueron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Así mismo, los genotipos obtuvieron valores muy similares en las variables IEH, AH y DEE, resultando no significativos, como se muestra en el Cuadro 4.1.

**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**

FV	GL	TEMP	NDVI	ALT	ICC	DEH	IEH	LH	AH	DEE	IEE	LE	AE
REP	2	65.32 **	0.388 NS	18.75 NS	56.29 **	565.44 *	21.19 NS	5.71 NS	0.89 NS	416.86 NS	16.66 NS	9.26 NS	0.94 NS
MUESTREO	1	2140.27 **	5.74 **	9633.33 **	4245.94 **	77452.58 **	171.03 **	0.08 NS	1300.18 **	14741.45 **	58.55 *	88.06 *	211.19 **
REP*MUES	2	1.71 NS	0.0039 NS	152.08 **	25.95 *	131.05 NS	0.44 NS	16.27 NS	11.19 NS	288.58 NS	0.55 NS	3.36 NS	4.31 NS
GEN	49	1.55 **	0.0096 **	383.1 **	37.89 **	263.32 *	10 NS	50.24 *	13.88 NS	525.95 NS	27.73 **	39.44 **	10.09 *
GEN*MUES	49	0.99 *	0.0067 **	69.21 **	9.05 **	301.79 **	25.31 **	22.66 NS	6.5 NS	330.66 NS	10.87 NS	14.01 NS	4.17 NS
ERROR	196	0.7	0.0031	17.64	4.28	148.25	12.58	25.26	11.23	430.06	13.56	18.41	6.99
CV (%)		3.05	8.84	3.99	4.78	15.12	10.88	10.12	14.92	26.29	11.56	8.56	13.15

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

Por último, en el ANVA en la interacción genotipos por los dos muestreos (GEN\*MUESTREO), se encontró que las variables NDVI, ALT, ICC, DEH, IEH presentaron diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ), a diferencia de la variable TEMP que fue significativa ( $P < 0.05$ ), y las variables con respecto al estudio estomático (LH, AH, DEE, IEE, LE y AE) no se encontraron diferencias en la interacción (Cuadro 4.1).

### Prueba de comparación de medias entre los muestreos

En el Cuadro 4.2, se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa (DMS) a través de los dos muestreos, donde es posible observar que existió mayor temperatura de dosel en el segundo muestreo a los 90 días después de la siembra, ya que la temperatura del dosel de una planta tiende a equilibrarse, alterarse y/o modificarse de diferente manera y proporción por los cambios climáticos como mencionan Houspanossian *et al.* (1990).

**Cuadro 4.2 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables TEMP, NDVI, ALT e ICC. Zaragoza, Coahuila, 2017**

	TEMP	NDVI	ALT	ICC
<b>75 DÍAS</b>	24.79 B	0.764 A	99.4333 B	39.4658 B
<b>90 DÍAS</b>	30.13 A	0.487 B	110.7667 A	46.9899 A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Así mismo, en el segundo muestreo a 90 días, se encontró mayor altura de la planta en los genotipos estudiados y mayor índice de contenido de clorofila en la planta; sin embargo, la lectura promedio mayor del infrarrojo de NDVI se presentó a los 75 días con una diferencia de 0.277 que el segundo muestreo; era de esperarse, como lo explicó Muriano *et al.* (2016), que el NDVI tiende a cambiar significativamente de acuerdo con el estado fenológico cuando es tomada la

lectura, ya que este índice mide el verdor que presenta el cultivo, pero la disminución de NDVI (con sensor óptico) que se encontró entre los muestreos, se consideró normal, al coincidir con otros autores, en etapas tempranas mayor valor en NDVI y disminuyen en etapas más tardías, como en maíz, teniendo mayor rendimiento de forraje y NDVI tanto en una etapa V8 como V10 disminuyendo gradualmente el NDVI (Freeman *et al.*, 2007); en otro estudio, en rendimiento de grano y NDVI en mediciones posteriores, no se logró distinguir la variación de biomasa verde y el NVDI con días de grado de crecimiento, lo que no predice completamente el potencial de rendimiento (Teal *et al.*, 2006).

Con respecto a la variable de ALTURA, en la prueba de comparación de medias, se obtuvieron dos grupos estadísticos, en donde a los 90 días (segundo muestreo), se obtuvo la mayor altura con promedio de 110.8 cm (Cuadro 4,2). Es una tendencia normal en los cultivos por presentar mayor crecimiento en la planta a una etapa fenológica mayor. Esta respuesta presentó la variable ICC en este muestreo, al obtener altos índices de clorofila, quienes indican la actividad de la fotosíntesis en la planta para generar energía y producir más biomasa como menciona Vermaas, (1998).

En la prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables del estudio estomático del haz de hojas, resultó que, a los 75 días, existe mayor IEH, encontrando mayor dimensión en los estomas de haz tanto en longitud y ancho (LH y AH), como se puede observar en el Cuadro 4.3; mientras que a los 90 días la densidad estomática es casi el doble del primer muestreo, sin cambiar la longitud de los estomas del haz en este muestreo.

**Cuadro 4.3 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables del estudio estomático del haz en Zaragoza, Coahuila, 2017**

	DEH	IEH	LH	AH
<b>75 DÍAS</b>	64.422 B	33.3550 A	49.6586 A	24.5425 A
<b>90 DÍAS</b>	96.558 A	31.8449 B	49.6248 A	20.3789 B

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Esto cambios, pudieron deberse a los por factores endógenos y ambientales como la luz, el CO<sub>2</sub> presentes en la localidad, ya que mencionan Boetsch *et al.* (1996); Schoettle y Rochelle, (2000) que puede ser modificada la morfología de los estomas 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).

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 que al segundo a los 90 días, los valores de las variables IEE, LE y AE fueron mayores mientras que en la densidad estomática de envés (DEE) no tuvo diferencias entre los dos muestreos, quedando ambos dentro del mismo grupo.

**Cuadro 4.4 Prueba de comparación de medias entre muestreos en las variables del estudio estomático del envés en Zaragoza, Coahuila, 2017**

	DEE	IEE	LE	AE
<b>75 DÍAS</b>	71.870 B	31.4115 B	49.3781 B	19.2667 B
<b>90 DÍAS</b>	85.890 B	32.2951 A	50.4618 A	20.9448 A

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Nuevamente se confirma que los factores ambientales de la localidad pueden tener una influencia en la morfología y cantidad estomas de la planta (Roth *et al.*, 1986; Trewavas, 2003), al presentar la diferencia estadística de un fecha de evaluación en comparación a la siguiente, ya que las condiciones del clima fueron variables de un muestreo a otro.

## Prueba de comparación de medias entre los genotipos

### Temperatura de dosel (TEMP)

En la prueba de comparación de medias entre los genotipos se obtuvieron 11 grupos de significancia, donde los genotipos de cebada 17 y 5 (CANI-56-14 y CANI-12-14) sobresalieron por encontrarse en el grupo estadístico A (Cuadro 4.5) con la mayor temperatura de dosel de 28.3°C, junto con otros 32 genotipos más, lo cual sugiere que las progenies de cebada forrajera estudiadas exhibieron mayor temperatura que los testigos, posiblemente debido a la mayor precocidad de dichas progenies; la avena var. Cuahutemoc (46), las cebadas Cerro prieto (47) y GABYAN95 (48), así como triticale var. Eronga conformaron con otros 25 genotipos el penúltimo grupo estadístico J; mientras que la línea de trigo AN-266-99 se encontró en el último grupo estadístico K teniendo el menor valor de TEMP.

**Cuadro 4.5 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la TEMP**

GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
17	28.3000	A
5	28.3000	A
13	28.2167	A B
25	28.1667	A B C
40	28.0333	A B C D
32	27.9833	A B C D E
3	27.9667	A B C D E
43	27.8667	A B C D E F
6	27.8000	A B C D E F
1	27.8000	A B C D E F
31	27.7667	A B C D E F G
45	27.7333	A B C D E F G
18	27.7167	A B C D E F G H
28	21.7167	A B C D E F G H
30	27.7167	A B C D E F G H
41	27.7000	A B C D E F G H I
21	27.7000	A B C D E F G H I
29	27.7000	A B C D E F G H I
12	27.6667	A B C D E F G H I
11	27.6500	A B C D E F G H I
24	27.6333	A B C D E F G H I



39	27.6000	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
19	27.6000	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
4	27.5667	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
2	27.5667	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
34	27.5500	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
8	27.5500	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
15	27.5333	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
16	27.5333	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
36	27.5167	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
23	27.4667	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
9	27.3833	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
26	27.3333		B	C	D	E	F	G	H	I	J	
44	27.3333		B	C	D	E	F	G	H	I	J	
14	27.3000		B	C	D	E	F	G	H	I	J	
37	27.2833		B	C	D	E	F	G	H	I	J	
20	27.2167			C	D	E	F	G	H	I	J	
38	27.1500				D	E	F	G	H	I	J	
10	27.1333					D	E	F	G	H	I	J
22	27.1333					D	E	F	G	H	I	J
27	27.1333					D	E	F	G	H	I	J
7	27.1000					D	E	F	G	H	I	J
35	27.0500						E	F	G	H	I	J
33	26.9167							F	G	H	I	J
48	26.8333								G	H	I	J
50	26.8167								G	H	I	J
47	26.7667									H	I	J
46	26.7500									H	I	J
42	26.6500										I	J
49	25.3167											K

---

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

Las temperaturas frescas en las plantas (menor temperatura de dosel) como se encontró en los testigos, posiblemente puedan estar relacionadas directamente con el potencial genético de la capacidad de raíces para explorar la humedad del suelo en un ambiente, como menciona Reynolds et al. (2013); o tal vez se deba a la deficiencia de microelementos o enfermedades de suelo afectan el crecimiento radicular, o la etapa fenológica más tardía como fue en el caso de trigo, por estar en el último grupo.

### Índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI)

En el Cuadro de 4.6, se aprecia la formación de 14 grupos estadísticos, donde los testigos trigo (49) y GABYAN95 (48) fueron los que presentaron mayores valores en NDVI, al encontrarse en el grupo estadístico A, además este último también conforme junto con los testigos Cerro prieto (47) y avena (46) y los genotipos 22 y 39 el grupo estadístico B.

Sin embargo, avena mostró el más bajo valor en este grupo (B) con 0.67. Dentro del último grupo estadístico se encontraron 21 genotipos de cebada, entre los cuales 45, 29, 17, 7 5, 43, 41, 40, 44 y 1 exhibieron valores entre 0.58 a 0.55 de NDVI, siendo el genotipo 1 del de menor valor.

**Cuadro 4.6. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la variable NDVI**

GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
49	0.77167	A
48	0.73000	A B
47	0.68667	B C
22	0.68500	B C D
39	0.68000	B C D E
46	0.67167	B C D E F
34	0.66500	C D E F G
38	0.65500	C D E F G H
33	0.65167	C D E F G H
15	0.65000	C D E F G H I
50	0.64333	C D E F G H I J
35	0.64167	C D E F G H I J
14	0.63833	C D E F G H I J K
16	0.63333	C D E F G H I J K L
10	0.63167	C D E F G H I J K L
11	0.63000	C D E F G H I J K L
21	0.63000	C D E F G H I J K L
18	0.63000	C D E F G H I J K L
9	0.62833	C D E F G H I J K L
4	0.62833	C D E F G H I J K L
12	0.62833	C D E F G H I J K L
6	0.62833	C D E F G H I J K L
8	0.62667	C D E F G H I J K L
23	0.62667	C D E F G H I J K L
13	0.62667	C D E F G H I J K L
19	0.62333	D E F G H I J K L M
31	0.62167	E F G H I J K L M
28	0.62000	E F G H I J K L M
42	0.62000	E F G H I J K L M
36	0.61667	F G H I J K L M N

32	0.61667	F	G	H	I	J	K	L	M	N
30	0.61500	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2	0.61333	F	G	H	I	J	K	L	M	N
27	0.60833		G	H	I	J	K	L	M	N
20	0.60833		G	H	I	J	K	L	M	N
26	0.60667		G	H	I	J	K	L	M	N
24	0.60667		G	H	I	J	K	L	M	N
25	0.60333		G	H	I	J	K	L	M	N
37	0.60000			H	I	J	K	L	M	N
3	0.59500			H	I	J	K	L	M	N
45	0.58833				I	J	K	L	M	N
29	0.58667					J	K	L	M	N
17	0.58667					J	K	L	M	N
7	0.58500					J	K	L	M	N
5	0.58167					J	K	L	M	N
43	0.57833						K	L	M	N
41	0.57500							L	M	N
40	0.56333								M	N
44	0.56167								M	N
1	0.55667									N

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

Estas diferencias en el índice de vegetación diferencial normalizado, podría deberse a que el estado fenológico de los testigos, que se encontraban en diferente etapa que los demás genotipos de cebada, ya que como menciona Aparicio *et al.* (2000), esta variable indica el estado de la planta, siendo una herramienta útil para medir el progreso del follaje, no destructiva y que contribuye a determinar el rendimiento.

### Altura de la planta (ALTURA)

Para la variable altura de planta se encontraron 16 grupos estadísticos como se muestra en el Cuadro 4.7, donde los testigos avena (46) y triticale (50), sobresalieron en el grupo A con las mayores alturas promedio de los dos muestreos, Hernández (2017), en un estudio de comparación de alturas entre especies, reportó un primer grupo de significancia conformado por una línea de trigo AN-228-09 y el triticale var. Eronga, confirmando que dicho triticale posee un porte alto.

Mientras que los genotipos de cebada forrajera 9, 14 y 7, presentaron alturas 80.8 a 75 cm, lo cual se ubicaron en el último grupo estadístico. Sin embargo, la línea

de cebada forrajera 33, presentó una altura estadísticamente similar al testigo triticales por encontrarse en el segundo grupo de significancia (B), así mismo los genotipos 29, 36, 8 y 34 resultaron con valores por arriba de 111.0 cm lo que pueden ser potencialmente competidores de las cebadas forrajeras testigo Cerro prieto (47) y GABYAN95 (48) por estar en grupos estadísticos distintos y más abajo.

**Cuadro 4.7. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en la variable ALT**

GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO											
46	117.500	A											
50	116.667	A	B										
33	112.500	B	C										
29	111.667		C	D									
36	111.667		C	D									
8	111.667		C	D									
34	111.667		C	D									
6	110.833		C	D	E								
20	110.000		C	D	E	F							
32	110.000		C	D	E	F							
22	110.000		C	D	E	F							
24	110.000		C	D	E	F							
35	109.167		C	D	E	F	G						
39	108.333		C	D	E	F	G	H					
19	108.333		C	D	E	F	G	H					
31	108.333		C	D	E	F	G	H					
10	108.333		C	D	E	F	G	H					
4	108.333		C	D	E	F	G	H					
1	107.500			D	E	F	G	H	I				
5	107.500			D	E	F	G	H	I				
23	107.500			D	E	F	G	H	I				
2	107.500			D	E	F	G	H	I				
13	106.667				E	F	G	H	I	J			
11	106.667				E	F	G	H	I	J			
27	106.667				E	F	G	H	I	J			
3	106.667				E	F	G	H	I	J			
16	106.667				E	F	G	H	I	J			
30	106.667				E	F	G	H	I	J			
21	105.833					F	G	H	I	J	K		
37	105.833					F	G	H	I	J	K		
44	105.833					F	G	H	I	J	K		
42	105.833					F	G	H	I	J	K		
15	105.000						G	H	I	J	K		
17	104.167							H	I	J	K	L	
49	104.167							H	I	J	K	L	
38	104.167							H	I	J	K	L	
43	103.333								I	J	K	L	
12	103.333									I	J	K	L





estadístico A con el mayor valor dentro de 22 genotipos más (Cuadro 4.9), donde los testigos GABYAN95 (48), Cerro prieto (47) y trigo (49), se encontraron en este grupo, pero a su vez formaron otros grupos estadísticos, así como el genotipo 20 (CANI-68-14), quien se encontró en el último grupo estadístico al tener una densidad estomática menor; se puede mencionar que los materiales estudiados 27 y 7 (CANI-82-14 y CANI-16-14) pueden ser seleccionados a partir de estos criterios de evaluación, ya que al tener mayor cantidad de estomas podrán retener mayores cantidades de agua y conseguir una mejor cantidad de CO<sub>2</sub>, como menciona Cerana *et al.* (1996).

**Cuadro 4.9. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables DEH y IEH**

DENSIDAD ESTOMÁTICA DEL HAZ			ÍNDICE ESTOMÁTICO DEL HAZ		
GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO	GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
27	94.102	A	12	35.285	A
7	93.851	A	50	35.079	A
45	92.593	A B	6	34.996	A
28	90.076	A B C	40	34.676	A B
29	88.818	A B C D	5	34.659	A B
4	88.315	A B C D E	15	34.103	A B C
23	88.064	A B C D E F	36	33.826	A B C D
31	87.064	A B C D E F	13	33.771	A B C D
33	87.309	A B C D E F	16	33.714	A B C D
21	86.806	A B C D E F	9	33.661	A B C D
48	86.554	A B C D E F	19	33.587	A B C D
24	86.302	A B C D E F	41	33.551	A B C D
44	85.799	A B C D E F	30	33.424	A B C D
32	85.799	A B C D E F	37	33.302	A B C D
10	85.044	A B C D E F G	38	33.300	A B C D
47	84.038	A B C D E F G	18	33.269	A B C D
37	83.786	A B C D E F G H	42	33.079	A B C D
2	83.535	A B C D E F G H	39	33.077	A B C D
26	82.528	A B C D E F G H	8	33.039	A B C D
22	81.270	A B C D E F G H I	29	33.000	A B C D
11	81.270	A B C D E F G H I	47	32.911	A B C D
42	81.019	A B C D E F G H I	49	32.909	A B C D
3	81.019	A B C D E F G H I	22	32.675	A B C D
49	80.767	A B C D E F G H I	43	32.629	A B C D
35	79.257	B C D E F G H I	1	32.584	A B C D
17	79.257	B C D E F G H I	17	32.551	A B C D
18	79.006	B C D E F G H I	25	32.484	A B C D
19	78.754	B C D E F G H I	4	32.395	A B C D
5	78.251	C D E F G H I J	46	32.297	A B C D
43	77.999	C D E F G H I J	21	32.269	A B C D

38	77.748	C D E F G H I J	34	32.218	A B C D
50	77.244	C D E F G H I J	48	32.175	A B C D
9	77.244	C D E F G H I J	14	32.166	A B C D
14	77.244	C D E F G H I J	44	32.113	A B C D
25	77.244	C D E F G H I J	10	32.096	A B C D
34	76.741	C D E F G H I J	11	32.091	A B C D
46	76.490	C D E F G H I J	33	32.076	A B C D
1	75.986	D E F G H I J	20	32.009	A B C D
6	75.735	D E F G H I J	26	31.942	A B C D
30	75.483	D E F G H I J	32	31.507	A B C D
41	75.483	D E F G H I J	2	31.476	A B C D
8	74.980	D E F G H I J	3	31.395	A B C D
15	74.728	E F G H I J	35	31.395	A B C D
36	74.225	E F G H I J	23	31.356	A B C D
40	74.225	F G H I J	24	30.785	B C D
12	71.457	G H I J	31	30.679	B C D
16	69.948	H I J	27	30.364	C D
13	69.948	H I J	28	30.258	C D
39	68.186	I J	45	29.918	D
20	64.664	J	7	29.872	D

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

Con respecto a la variable Índice Estómata del Haz (IEH) se formaron cuatro grupos estadísticos, sobresaliendo los genotipos 12, 50 y 6 (CANI-30-14, triticale var. Eronga y CANI-15-14) junto con 41 genotipos más dentro del grupo A, entre ellos se encontraron los testigos 47, 49, 46 y 48 (Cerro prieto, trigo, avena y GABYAN95), quienes también formaron otros grupos estadísticos; mientras que las líneas de cebada CANI-133-14 y CANI-16-14, presentaron los menores valores de IEH (Cuadro 4.9).

### Largo y ancho de estomas en el haz

En el Cuadro 4.10 se muestran los resultados de la variable largo de estoma en el haz (LH), presentando al genotipo 17 (CANI-56-14) en el mayor resultado en el largo del haz de la hoja con 63.3  $\mu\text{m}$ , mientras que los testigos 50 y 47 (triticale y cebada Cerro prieto) se ubicaron en el grupo estadístico B junto con 34 genotipos; mientras que los testigos 46 y 49 (avena y trigo) se encontraron en el grupo estadístico D, a diferencia de la cebada forrajera GABYAN95 (48) que se encontró



dentro de los últimos grupos estadísticos (F), seguida del genotipo 7 (CANI-16-14) quien obtuvo el menor largo de haz con 44.3  $\mu\text{m}$ .

**Cuadro 4.10 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables LH y AH**

LARGO DE ESTOMA EN EL HAZ			ANCHO DE ESTOMA EN EL HAZ		
GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO	GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
17	63.326	A	22	27.462	A
35	54.223	B	17	27.300	A
44	53.908	B C	20	26.208	A B
21	52.956	B C D	35	25.421	A B C
20	52.889	B C D	26	24.912	A B C D
26	52.417	B C D E	21	24.092	A B C D E
14	51.733	B C D E F	39	23.378	B C D E
28	51.392	B C D E F	47	23.347	B C D E
39	51.243	B C D E F G	3	23.294	B C D E
25	50.990	B C D E F G	16	23.275	B C D E
22	50.899	B C D E F G	44	23.111	B C D E
40	50.434	B C D E F G H	50	23.055	B C D E
34	50.365	B C D E F G H	38	23.046	B C D E
8	50.325	B C D E F G H	13	22.754	B C D E
50	50.204	B C D E F G H	46	22.691	B C D E
45	50.102	B C D E F G H	15	22.690	B C D E
41	50.102	B C D E F G H	8	22.480	B C D E
19	50.088	B C D E F G H	9	22.449	B C D E
12	50.076	B C D E F G H	12	22.390	C D E
23	49.990	B C D E F G H I	34	22.199	C D E
36	49.977	B C D E F G H I	6	22.189	C D E
30	49.943	B C D E F G H I	33	22.188	C D E
42	49.818	B C D E F G H I	18	22.146	C D E
43	49.719	B C D E F G H I	48	22.101	C D E
47	49.611	B C D E F G H I	5	21.986	C D E
3	49.562	B C D E F G H I	7	21.940	C D E
31	49.451	B C D E F G H I	41	21.939	C D E
11	49.289	B C D E F G H I	10	21.914	C D E
6	49.285	B C D E F G H I	45	21.900	C D E
13	49.153	B C D E F G H I	1	21.857	C D E
38	49.143	B C D E F G H I	32	21.846	C D E
15	49.060	B C D E F G H I	30	21.827	C D E
27	49.048	B C D E F G H I	27	21.807	C D E
9	48.982	B C D E F G H I	19	21.785	C D E
37	48.646	B C D E F G H I	40	21.692	C D E
18	48.608	B C D E F G H I	36	21.639	C D E
24	48.426	C D E F G H I	43	21.636	C D E
2	48.365	C D E F G H I	2	21.631	C D E
49	48.161	D E F G H I	42	21.616	C D E
10	48.070	D E F G H I	14	21.519	D E
46	47.622	D E F G H I	11	21.344	D E

4	46.964	E F G H I	23	21.325	D E
1	46.917	E F G H I	31	21.323	D E
32	46.759	E F G H I	28	21.221	D E
33	46.520	F G H I	37	21.207	D E
16	46.223	F G H I	49	20.909	E
48	46.118	F G H I	4	20.881	E
29	45.546	G H I	29	20.794	E
5	45.130	H I	25	20.732	E
7	44.310	I	24	20.586	E

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

En la prueba de comparación de medias en la variable AH, se obtuvieron nueve grupos estadísticos mostrados en el mismo Cuadro 4.10; los genotipos 22 y 17 (CANI-70-14 y CANI-56-14) se ubicaron en el grupo A con los más altos valores de 27.5 y 27.3  $\mu\text{m}$ , junto con otros 4 genotipos más, quienes conformaron también otros grupos estadísticos, marcando que este carácter puede apoyar en la selección de los mejores genotipos, por presentar mayor morfología del estoma y considerarse una relación inversa entre el tamaño del estoma y la resistencia a la sequía como menciona Trewavas (2003); cabe señalar que los testigos 47, 50 y 46 (Cerro prieto, triticale y avena) formaron con otras 14 líneas de cebada parte del grupo estadístico B, permitiendo tener la misma capacidad de respiración que estos genotipos.

Sin embargo, trigo AN-266-99, junto con las líneas 4, 29, 25 y 24 se encontraron con la menor anchura de estomas ubicados en el último grupo estadístico junto con otros genotipos con valores entre 20.9 y 20.6  $\mu\text{m}$ ; lo cual se podría utilizar para discriminar en la selección.

### Densidad e índice estomático de envés

En el siguiente Cuadro 4.11, se presentan los resultados de la comparación de medias de la variable Densidad Estomática de Envés (DEE), reportando seis grupos estadísticos, destacando la línea de cebada 24 (CANI-78-14) al encontrarse en el grupo estadístico A, que junto con seis genotipos conformaron el primer grupo estadístico, estando también los testigos 47, 46 y 50 (Cerro prieto,

avena y triticale), este último testigo así mismo, se ubicó en el grupo estadístico B; en cambio, la cebada GABYAN96 (48) junto con otros 17 genotipos de cebada se ubicaron en antepenúltimo grupo estadístico D y la línea de cebada 10 presentó el menor valor de DEE con 64.3 formando con otros 45 genotipos el último grupo estadístico F.

**Cuadro 4.11 Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables DEE y IEE**

DENSIDAD ESTOMATICA			ÍNDICE ESTOMÁTICO		
GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO	GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
24	110.21	A	40	35.597	A
17	105.17	A B	35	34.669	A B
21	100.14	A B C	25	34.534	A B
23	92.09	A B C D	33	34.322	A B
8	89.82	A B C D E	29	34.300	A B
47	87.31	A B C D E F	39	33.889	A B C
46	87.06	A B C D E F	19	33.802	A B C D
50	86.55	B C D E F	31	33.628	A B C D E
36	86.55	B C D E F	13	33.595	A B C D E
11	86.05	B C D E F	45	33.569	A B C D E
4	86.05	B C D E F	32	33.520	A B C D E F
12	84.04	B C D E F	43	33.339	A B C D E F G
3	83.28	B C D E F	1	33.226	A B C D E F G
41	82.78	B C D E F	20	33.078	A B C D E F G
18	82.78	B C D E F	27	33.003	A B C D E F G
1	81.52	C D E F	48	32.967	A B C D E F G
34	80.52	C D E F	26	32.870	A B C D E F G
37	80.01	C D E F	14	32.847	A B C D E F G
9	80.01	C D E F	42	32.807	A B C D E F G
22	79.51	C D E F	5	32.804	A B C D E F G
42	79.26	C D E F	49	32.569	A B C D E F G H
7	78.50	C D E F	2	32.528	A B C D E F G H
32	78.00	C D E F	38	32.435	A B C D E F G H
27	77.24	C D E F	47	32.407	A B C D E F G H
25	76.74	C D E F	6	32.170	A B C D E F G H
49	76.74	C D E F	30	32.106	A B C D E F G H
38	76.74	C D E F	10	32.077	A B C D E F G H
30	76.24	D E F	28	31.805	A B C D E F G H
48	75.48	D E F	50	31.781	A B C D E F G H
26	75.23	D E F	16	31.712	A B C D E F G H
31	74.73	D E F	24	31.613	A B C D E F G H
19	74.73	D E F	44	31.566	A B C D E F G H
13	74.73	D E F	3	31.536	A B C D E F G H
45	74.23	D E F	46	31.446	A B C D E F G H
2	73.97	D E F	15	31.369	B C D E F G H
15	73.47	D E F	4	31.368	B C D E F G H

28	73.47	D E F	34	31.284	B C D E F G H
29	72.72	D E F	12	30.884	B C D E F G H
44	71.96	D E F	41	30.783	B C D E F G H
5	71.71	D E F	37	30.624	B C D E F G H
6	71.46	D E F	11	30.556	B C D E F G H
33	71.21	D E F	22	30.053	C D E F G H
35	70.20	D E F	36	30.005	C D E F G H
43	69.44	D E F	7	29.678	D E F G H I
16	69.19	D E F	18	29.457	E F G H I
39	68.19	E F	23	29.371	F G H I
20	68.19	E F	8	29.199	G H I
14	67.93	E F	9	28.515	H I
40	66.68	E F	21	25.505	I J
10	64.16	F	17	23.895	J

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

Estos resultados pueden apoyar en definir la relación entre progenies, ya que existe una relación entre la DE y el tamaño de las células oclusivas, de tal manera que la alta densidad estomática se presenta en plantas con células oclusivas pequeñas y viceversa, siendo un buen parámetro de selección y diferenciación entre especies o familias como mencionan Roth *et al.* (1986) y pudiera aplicarse a las progenies aquí evaluadas.

En el caso de la variable IEE (Índice estomático del envés) se registraron 10 grupos estadísticos, en el cual la línea CANI-126-14 (40), sobresalió en el grupo estadístico A, seguido de 39 genotipos que conformaron a su vez otros grupos estadísticos, encontrando a los testigos (48, 49, 47, 50 y 46) dentro de la media general; mientras las líneas de cebada CANI-56-14 (17) y CANI-69-14 (21), se ubicaron en el último grupo estadístico J con el menor valor en índice estomático de 23.9.

En el Cuadro 4.12, se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias de la variable Largo de Envés (LE), donde se señalan 11 grupos estadísticos, resultando la línea de cebada CANI-56-14 (17) en la primera posición dentro del grupo estadístico A seguido de otros 5 genotipos más, quienes también conformaron otros grupos estadísticos. Por otro lado, se logró observar que los testigos se encontraron dentro de la media general de los grupos estadísticos con excepción de avena, quien presentó el menor largo del envés entre los testigos,

pero la línea CANI-12-14 (5) fue quien tuvo menor longitud con 45.0  $\mu\text{m}$ , dentro del último grupo K formado por 26 genotipos más.

**Cuadro 4.12. Resultados de la prueba de comparación de medias entre genotipos en las variables LE y AE.**

LARGO DE ESTOMA EN EL ENVÉS			ANCHO DE ESTOMA EN EL ENVÉS		
GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO	GENOTIPOS	MEDIA	GRUPO
17	57.100	A	17	25.060	A
21	56.408	A B	16	23.384	A B
35	55.843	A B C	35	23.027	A B C
44	54.711	A B C D	44	22.152	A B C D
26	53.908	A B C D E	33	22.085	A B C D E
28	52.260	A B C D E F	21	21.576	B C D E F
43	52.194	B C D E F	26	21.427	B C D E F
40	52.148	B C D E F G	20	21.178	B C D E F G
18	51.754	B C D E F G H	9	20.890	B C D E F G H
20	51.493	C D E F G H	45	20.881	B C D E F G H
38	51.286	C D E F G H I	15	20.637	B C D E F G H
27	51.286	C D E F G H I	47	20.455	B C D E F G H
48	51.107	C D E F G H I	39	20.453	B C D E F G H
34	51.810	C D E F G H I	12	20.312	C D E F G H
2	50.810	D E F G H I J	36	20.294	C D E F G H
6	50.737	D E F G H I J	7	20.261	C D E F G H
42	50.732	D E F G H I J	10	20.243	C D E F G H
32	50.379	D E F G H I J	46	20.186	C D E F G H
39	50.289	D E F G H I J	1	20.164	C D E F G H
47	50.159	D E F G H I J	5	20.083	C D E F G H
31	50.105	D E F G H I J	30	19.958	D E F G H
49	50.105	D E F G H I J	2	19.896	D E F G H
22	50.079	D E F G H I J	41	19.888	D E F G H
9	49.914	D E F G H I J	48	19.869	D E F G H
36	49.824	E F G H I J K	11	19.864	D E F G H
33	49.578	E F G H I J K	6	19.855	D E F G H
25	49.488	E F G H I J K	43	19.730	D E F G H
15	49.468	E F G H I J K	3	19.711	D E F G H
41	49.296	E F G H I J K	18	19.692	D E F G H
23	49.205	E F G H I J K	40	19.660	D E F G H
30	48.922	F G H I J K	50	19.521	D E F G H
1	48.844	F G H I J K	4	19.517	D E F G H
19	48.762	F G H I J K	29	19.496	D E F G H
14	48.689	F G H I J K	31	19.489	D E F G H
50	48.643	F G H I J K	38	19.477	D E F G H
24	48.392	F G H I J K	14	19.466	D E F G H
45	48.343	F G H I J K	27	19.383	D E F G H
11	48.065	F G H I J K	25	19.345	D E F G H

3	48.042	F G H I J K	13	19.326	D E F G H
46	47.823	F G H I J K	28	19.275	D E F G H
10	47.685	F G H I J K	34	19.144	D E F G H
37	47.667	F G H I J K	42	19.098	E F G H
29	47.501	F G H I J K	32	19.075	E F G H
16	47.428	F G H I J K	49	19.064	F G H
7	47.273	G H I J K	19	19.021	F G H
13	47.026	H I J K	22	18.936	F G H
8	46.540	I J K	24	18.752	F G H
12	46.506	I J K	37	18.679	F G H
4	46.037	J K	23	18.317	G H
5	45.022	K	8	18.036	H

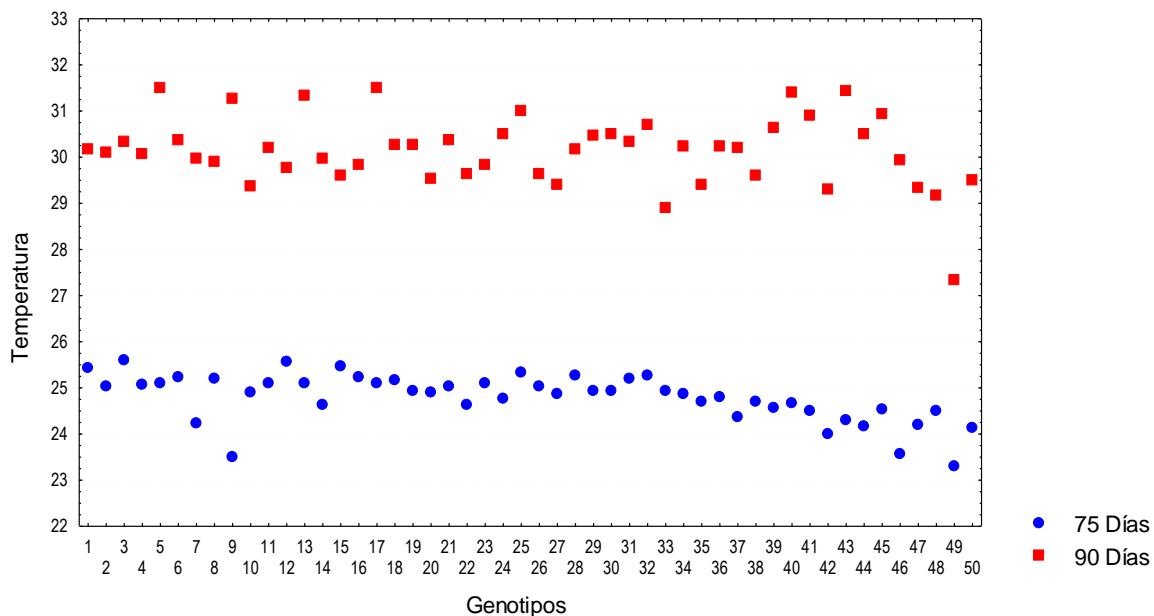
Medias con la misma literal son estadísticamente iguales (DMS al 0.05% de probabilidad)

Con respecto a la variable AE, se presentaron ocho grupos estadísticos (Cuadro 4.12), marcando a las líneas 17, 16, 35, 44 y 33 en el grupo estadístico A, donde las cuatro últimas conformaron otros grupos estadísticos, así mismo los testigos se encontraron en el último grupo estadístico H; donde Cerro prieto y avena (47 y 46) tuvieron valores del ancho del envés por encima de la media, mientras que trigo (49) se encontró por debajo de la media junto con las líneas 19, 22, 24, 37, 23 y 8, donde esta última (CANI-20-14) presentó la menor anchura de el envés de sus hojas con 18.0  $\mu\text{m}$ .

## Interacción genotipo-ambiente de los muestreos

### Temperatura de dosel (TEMP)

En la interacción genotipo-ambiente en esta variable de temperatura, se logra destacar que a los 90 días, las líneas de cebada 5, 9, 13, 17, 25, 40 y 43 (CANI-12-14, CANI-25-14, CANI-31-14, CANI-56-14, CANI-80-14, CANI-126-14 y CANI-130-14) como se muestra en la Figura 4.1, fueron los más sobresalientes con temperaturas altas, , teniendo promedios desde 31.0 a 31.5 °C.



**Figura 4.1 Interacción genotipo- ambiente en la variable temperatura de dosel**

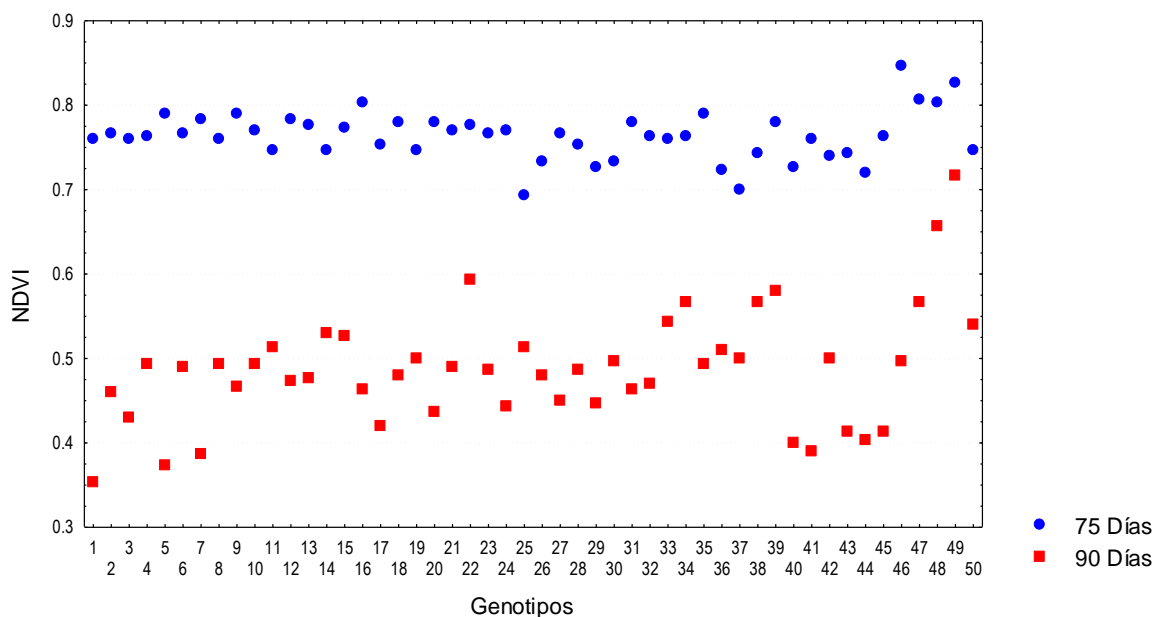
Mientras que el testigo trigo (49), en ambos muestreos presentó los más bajos valores de temperatura de 23.30 y 27.33 °C en cada uno, a diferencia del resto de los testigos que presentaron bajas temperaturas; así mismo, la línea de cebada 9 (CANI-25-14) en el primer muestreo estuvo muy por debajo de los demás genotipos con 23.5 °C, pero al segundo muestreo aumentó su temperatura hasta 31.3 °C.

Estas diferencias en la temperatura de dosel tal vez se deban a la etapa fenológica tardía o diferente en algunos de los genotipos, ya que la temperatura de

la planta es una medida muy versátil y se puede complementar con el mejoramiento de la especie como afirma Ramírez (2017), además de estar altamente integrativa a funciones fisiológicas de la planta necesarias para poder realizar una adaptación a un medio ambiente determinado.

### Índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI)

En la interacción genotipo-ambiente de la variable NDVI se destaca que en el muestreo a los 75 días, los genotipos que más sobresalieron fueron 16, 46, 47, 48 y 49 (CANI-55-14, avena, Cerro prieto, GABYAN95 y trigo), tuvieron los promedios más altos entre 0.803 y 0.846 en el contenido de NDVI, como se muestra en la Figura 4.2; que para los 90 días continuaron los testigos 48 y 49 (GABYAN95 y trigo) con los mayores promedios de 0.66 y 0.72 en comparación con el resto genotipos; A comparación de las líneas 1, 5 y 7 (CANI-1-14, CANI-12-14 y CANI-16-14), quienes presentaron en el primer muestreo los valores de 0.76, 0.79 y 0.78 respectivamente, y a un segundo muestreo presentaron promedios por debajo de la media general, detectando valores de 0.353, 0.373 y 0.386 en esta variable.



**Figura 4.2 Interacción genotipo- ambiente en la variable NDVI**

Confirmando que la etapa fenológica de los genotipos afecta la respuesta del NDVI, como menciona Muriano et al., (2016), así como por los niveles hídricos y la



cantidad de N; sin embargo, en este estudio no se tomaron en cuenta estos parámetros.

### Altura de la planta (ALTURA)

En la interacción genotipo-ambiente de la variable ALTURA como se observa en la Figura 4.3, a un segundo muestreo de 90 días los testigos 46 y 50 (avena y triticale) sobresalieron con las alturas de 136.7 y 130.0 cm, siendo las sobresalientes del resto de los genotipos, coincidiendo con Hernández (2017) al encontrar un solo grupo de significancia en trigo y triticale sobresalientes en la altura de la planta. Cabe señalar que, la línea de cebada 5 (CANI-12-14), presento a un primer muestreo de 75 días una altura de 106.7 cm aumentando a 108.3 cm a los 90 días. Mientras las líneas 7, 9 y 14 (CANI-16-14, CANI-25-14 y CANI-51-14) a 75 días presentaron la menor altura de las plantas con 65.0, 73.3 y 71.7 cm, y 15 días después (90 días) no lograron superar las medias del resto de los genotipos, teniendo alturas de 85.0, 88.3 y 86.7 cm, respectivamente.

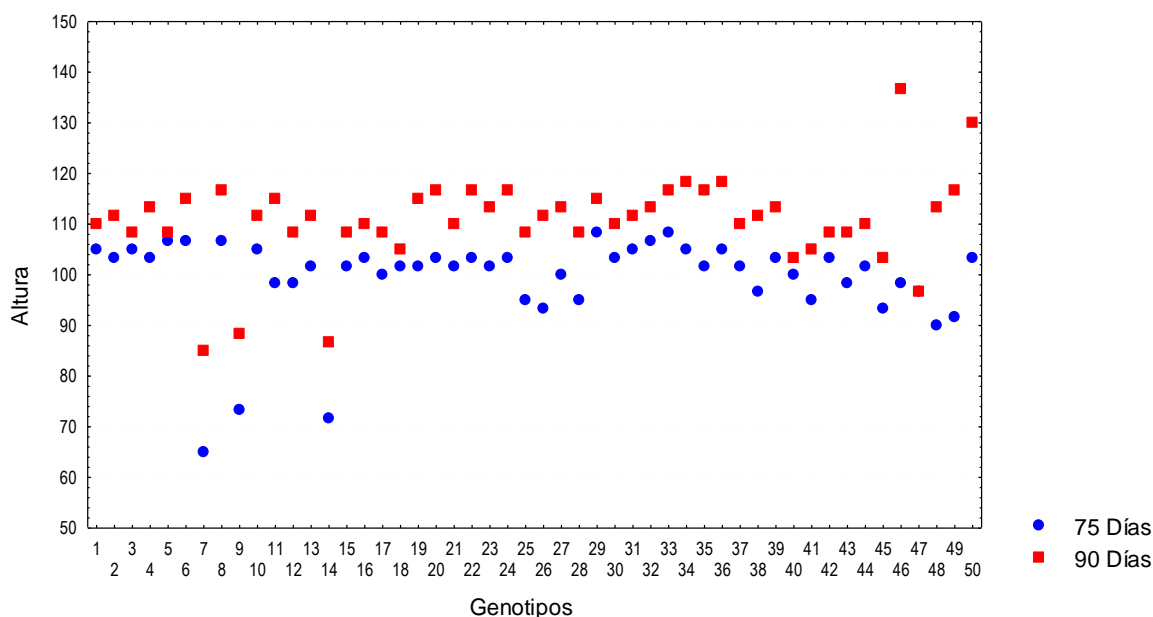
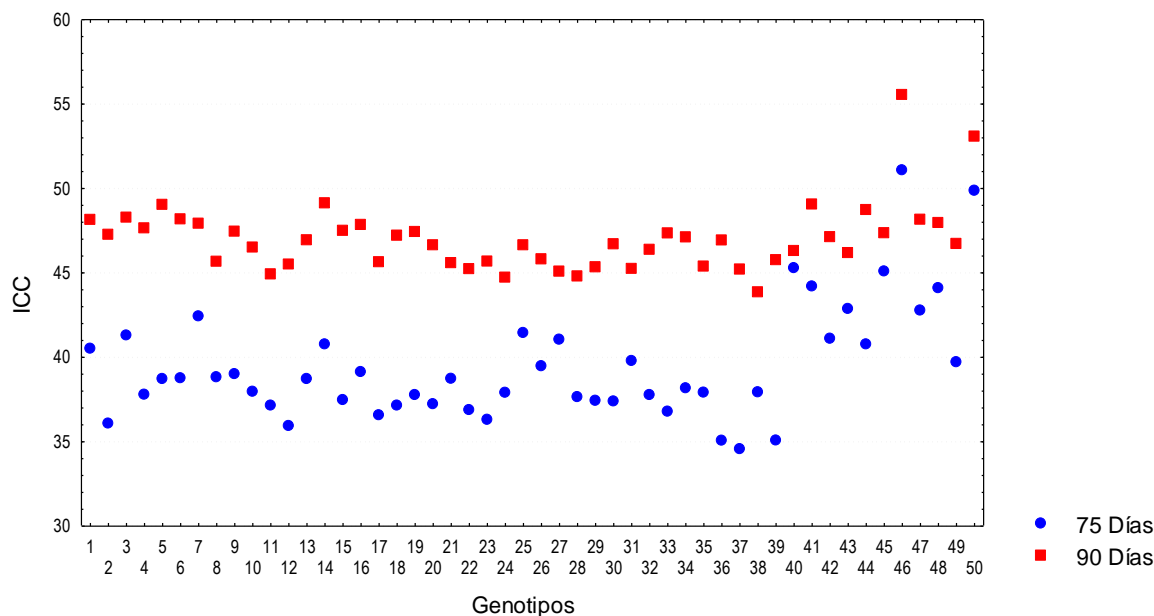


Figura 4.3 Interacción genotipo- ambiente en la variable altura de planta

## Índice de contenido de clorofila (ICC)

En cuanto a la interacción en la variable ICC, se observó que, en ambos muestreos, los genotipos testigos de avena y triticale (46 y 50) (Figura 4.4), nuevamente sobresalieron encontrando a 75 días valores de Spad de 51.1 y 49.9, así como a 90 días el obtener índices de 55.5 y 53.1 respectivamente, están por encima de la media general al resto de los genotipos estudiados. Sin embargo, en la misma Figura 4.4, se observa que las líneas 40 y 45 (CANI-126-14 y CANI-133-14) en un primer muestreo obtuvieron valores de 45.3 y 45.1 por arriba de la media y, a los 15 días más tarde permanecieron con valores más o menos similares teniendo 46.3 y 47.3.

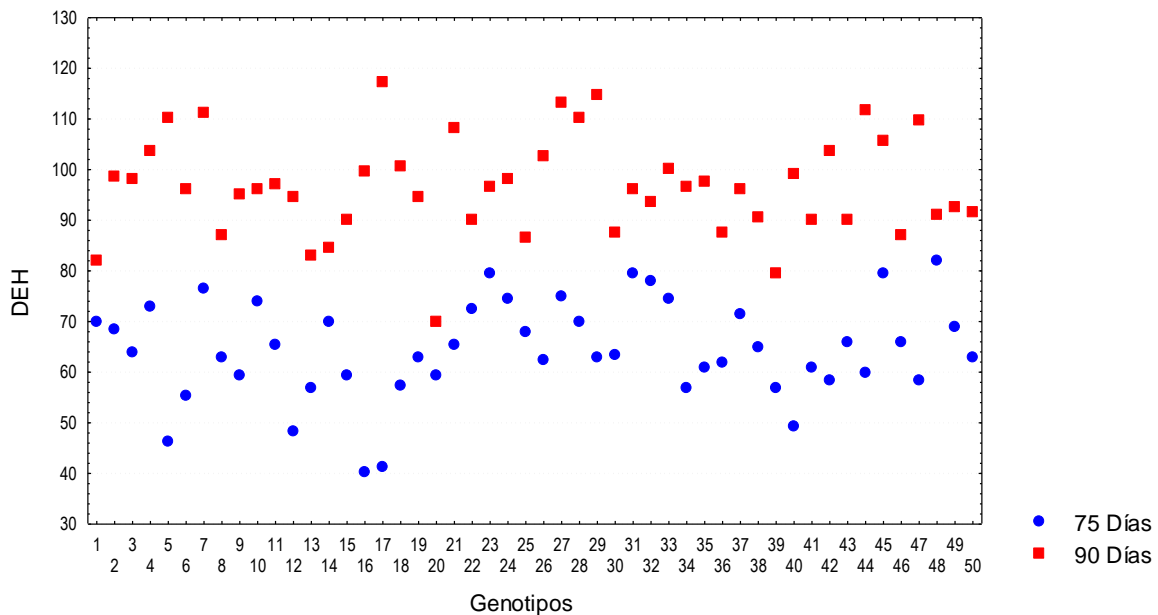


**Figura 4.4 Interacción genotipo- ambiente en la variable ICC**

## Densidad e índice estomático de haz (DEH y IEH)

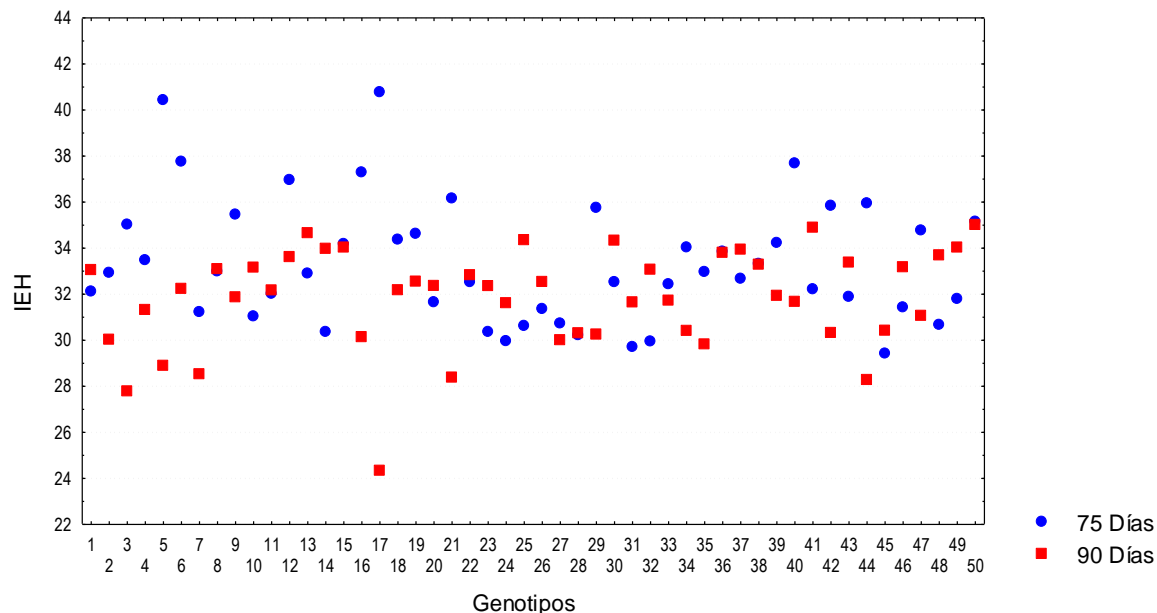
Por su parte en el estudio estomático, en la variable DEH mostrado en la Figura 4.5, destacan las líneas de cebada 16 y 17 (CANI-56-14) a 75 días por presentar las más bajas densidades con 40.3 y 41.3, respectivamente, sin embargo, a un segundo muestreo de 90 días, logra despegar la línea 17 al resto de los genotipos con 117.3. En cambio, la línea 20 (CANI-68-14) obtuvo densidades similares en ambos muestreos se 59.4 y 69.9, lo cual indica que esta línea es estable en su

densidad en las dos etapas fenológicas. Así mismo, las líneas 27 y 29 (CANI-82-14 y CANI-85-14) se vieron afectas positivamente por la etapa fenológica de planta, ya que, a 75 días de crecimiento, obtuvieron una densidad estomática de 74.9 y 62.9 cada una, y aumentó a los 90 días con 113.2 y 114.7, un poco debajo de la densidad de la línea 17 (CANI-56-14). Cabe destacar, que el testigo Cerro prieto, fue el único que presentó una mayor densidad estomática al segundo muestreo al resto de los testigos.



**Figura 4.5 Interacción genotipo- ambiente en la variable DEH**

En cuanto a la interacción genotipo-ambiente en la variable de IEH, se logró observar que los genotipos CANI-29-14, CANI-51-14, CANI-70-14, CANI-83-14 y triticale (11, 15, 22, 28 y 50) no presentaron diferencias significativas en ambos muestreos (Figura 4.6); por el contrario, la línea CANI-56-14 (17) a los 75 días, presentó el mayor índice estomático con 40.7, pero al siguiente muestreo descendió hasta 24.3; de igual forma CANI-12-14 (5), presentó bajo índice (40.4) y a los 90 días bajó aún más (28.9), colocándolo un poco debajo de la media del resto de los genotipos.



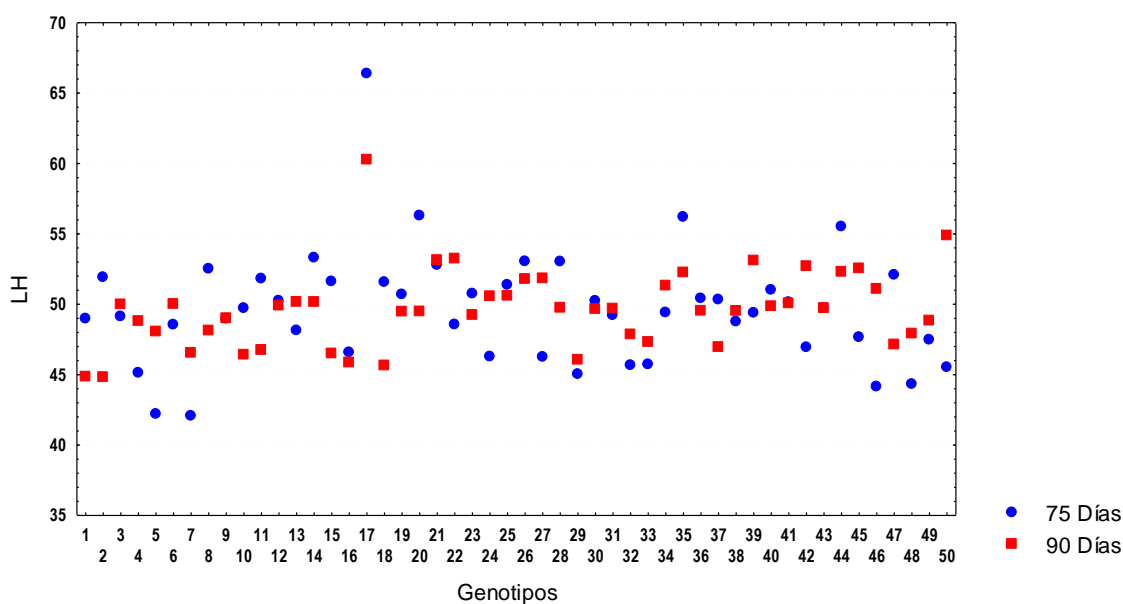
**Figura 4.6 Interacción genotipo- ambiente en la variable IEH**

### Largo y ancho de estomas en haz (LH y AH)

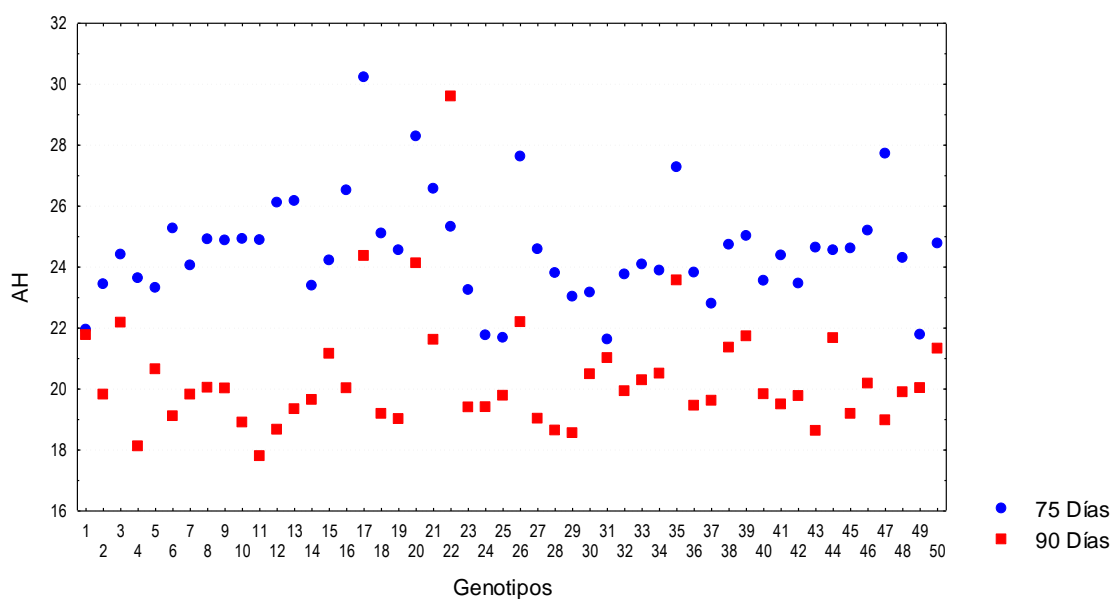
En el caso de la interacción genotipo-ambiente en la variable LH, nuevamente destaca la línea de cebada CANI-56-14 (17) a los 75 días al tener un promedio alto en la longitud del estoma en el haz (66.4  $\mu\text{m}$ ) y a los 90 días con 60.3  $\mu\text{m}$ , siendo este genotipo el más sobresaliente en la Figura 4.7. Además, se logra observar que las líneas 12, 16, 21, 25, 30, 31, 36 y 38 (CANI-30-14, CANI-55-14, CANI-69-14, CANI-80-14, CANI-86-14, CANI-98-14, CANI-104-14 y CANI-108-14) obtuvieron valores similares en la longitud en ambos muestreos, lo que nos indica que no tienen alteración alguna en la diferentes etapas fenológicas de la planta aquí estudias.

Así mismo en la interacción en AH, la línea CANI-56-14 (17) sobresale en el primer muestreo con mayor anchura del estoma (30.2  $\mu\text{m}$ ) y a un segundo se vio afectada al obtener una menor anchura del estoma (24.4  $\mu\text{m}$ ), al igual que los genotipos 20, 26, 35 y 47 (CANI-68-14, CANI-81-14 y CANI-103-14 y Cerro prieto), quienes obtuvieron en el primer muestreo anchos de estomas desde 28.3 a 27.3  $\mu\text{m}$ , y en el segundo muestreo valores más bajos desde 18.9 hasta 24.1  $\mu\text{m}$  (Figura 4.8). Estos cambios de los genotipos posiblemente se presentaron al

presentarán diferentes de nivel hídrico en la planta durante su transpiración, haciendo que tanto largo y ancho de un estoma cambie su anatomía al regular el intercambio gaseoso, que en el caso de la línea de cebada CANI-70-14 (22), presentó una respuesta inversa en los muestreos dando un valor bajo de 25.3  $\mu\text{m}$  a los 75 días y, aumento a los 90 días con 29.6  $\mu\text{m}$ .



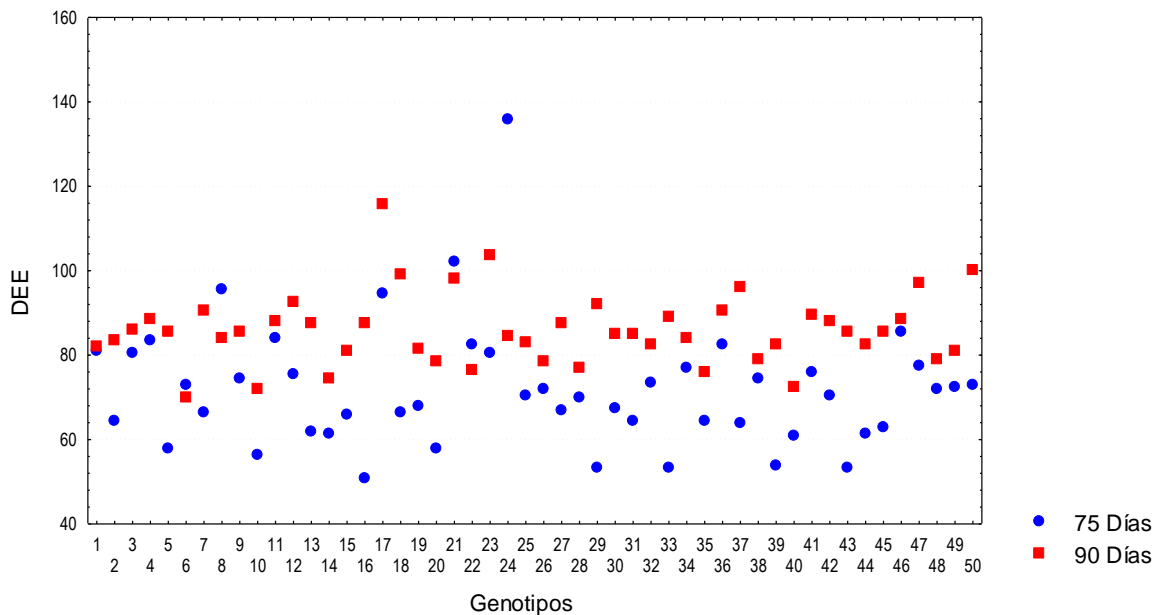
**Figura 4.7 interacción genotipo- ambiente para LH**



**Figura 4.8 Interacción genotipo- ambiente en la variable AH**

## Densidad e índice estomático de envés (DEE y IEE)

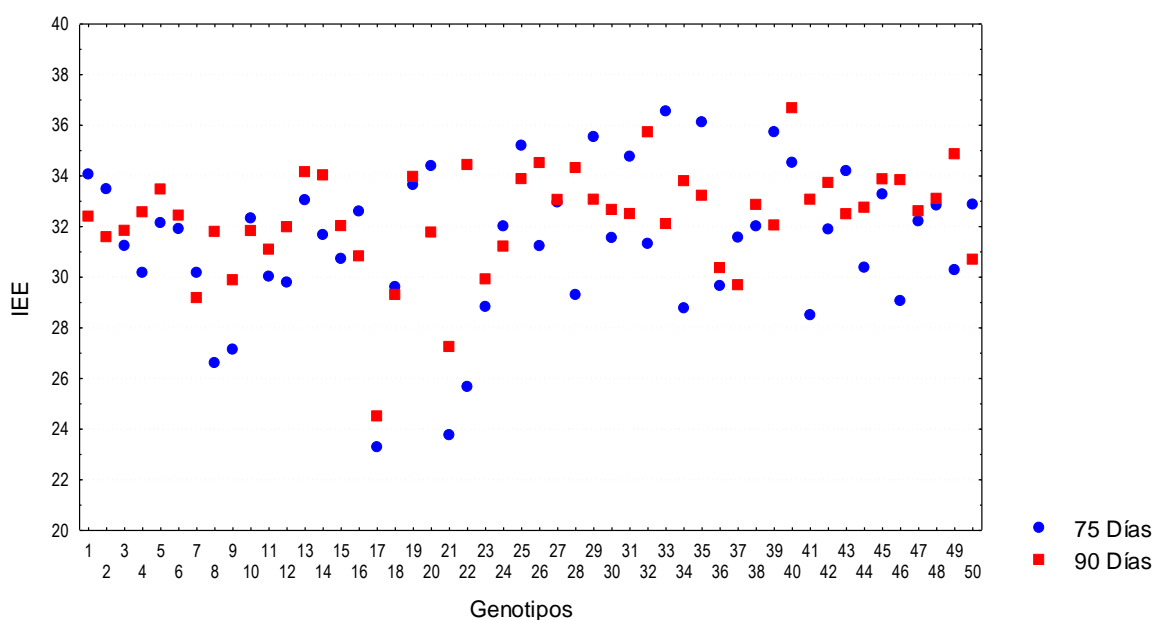
Lo que corresponde a la interacción genotipo-ambiente en la variable DEE, como se observa en la Figura 4.9, la mayoría de los genotipos tanto en el primero como en el segundo muestreo presentaron valores de densidad por debajo de 100; sin embargo, las líneas de cebada 17 (CANI-56-14) y 24 (CANI-78-14) destacaron en uno de los muestreos, presentando la primera línea un valor de 94.6 en el primer muestreo e incrementando a los 15 días después a 115.7 en la densidad; contrario en la segunda línea al presentar alta densidad estomática de envés de 135.9 en el primer muestreo y al segundo bajar hasta 85.5.



**Figura 4.9 Interacción genotipo- ambiente en la variable DEE**

Por su parte, en la interacción genotipo-ambiente en la variable IEE se observó que la línea 20 (CANI-68-14), se ubicó por arriba de las medias de los genotipos a los 75 días (Figura 4.10), teniendo un índice estomático de 34.4, que a los 90 días bajó a 31.8; mientras las líneas 17 y 21 (CANI-56-14 y CANI-64-14), dieron bajos índices (23.3 y 23.8, respectivamente) en un primer muestreo, y a un segundo marcaron valores poco más altos de 24.5 y 27.4 cada uno, siendo los de menor índice que el resto de los genotipos.

Además, en la misma Figura 4.10, se logra observar que la mayoría de los genotipos no tienen una gran diferencia entre los muestreos, como es en el caso de los testigos 47 y 48 (Cerro prieto y GABYAN95) que tuvieron valores muy similares en ambos muestreos. Cabe señalar, que avena var. Cuauhtémoc y trigo AN-266-99 (46 y 49) obtuvieron un incremento ligero en los índices a través del tiempo de crecimiento de la planta de 29.1 y 30.3 de cada uno, a 33.8 y 34.9; respuesta contraria a triticale (50) que tuvo un índice de 32.9 y disminuyó a 30.7 en el segundo muestreo.



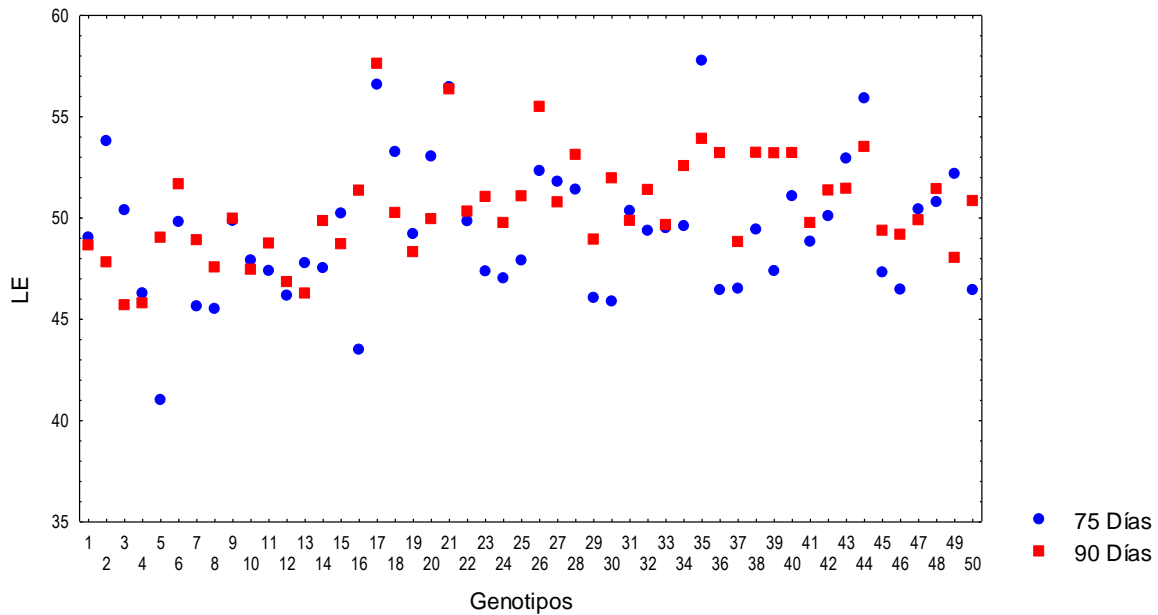
**Figura 4.10 Interacción genotipo- ambiente en la variable IEE**

### Largo y ancho de estomas en envés (LE y AE)

En la Figura 4.11, se puede ver los testigos GABYAN95 y Cerro prieto (47 y 48), presentaron similares LE en ambos muestreos, pero avena y triticale (46 y 50), obtuvieron mayores longitudes de 46.5 y 46.5  $\mu\text{m}$  a los 75 días, aumentando en un segundo muestreo de 49.2 y 50.8  $\mu\text{m}$ ; en cambio, trigo (49), al primer muestreo tuvo 52.2 y se redujo a los 90 días a 48.0  $\mu\text{m}$ . Además, la línea CANI-56-14 (17), a 75 días tuvo una longitud en envés de 24.1 mm incrementando a los 90 días con 25.9  $\mu\text{m}$ , comportamiento contrario a la línea 35 (CANI-103-14), quien tuvo 57.8  $\mu\text{m}$  en el primer muestreo, y 53.9  $\mu\text{m}$  a los 90 días. Mientras que las líneas CANI-

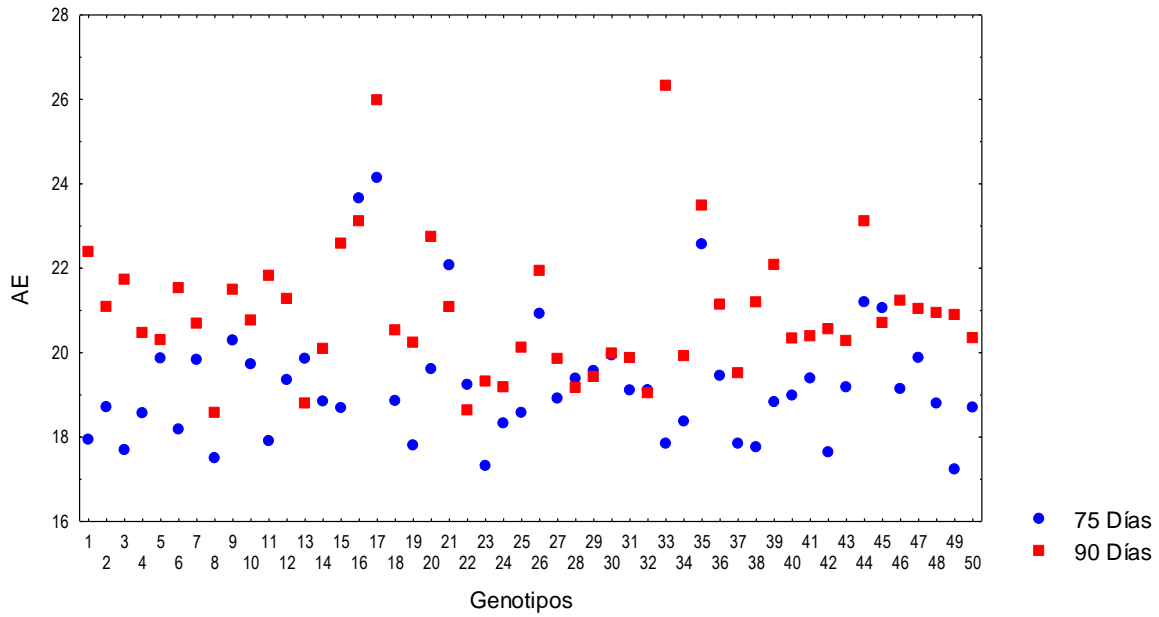
1-14, CANI-69-14 y CANI-70-14 (1, 21 y 22) se mantuvo la longitud de sus estomas en ambos muestreos.

En la interacción genotipo-ambiente en la variable AE, nuevamente la línea 17 (CANI-56-14) sobresalió al resto de los genotipos, a 75 días obtuvo 24.1  $\mu\text{m}$  de ancho en el envés de las hojas y a los 90 días fue de 25.9  $\mu\text{m}$  (Figura 4.12), seguido de la línea 33 (CANI-100-14) quien obtuvo un valor bajo en ancho del envés a 75 días y, a los 90 días incrementó hasta 26.3  $\mu\text{m}$ . En las líneas 28, 29 y 32 (CANI-83-14, CANI-85-14 y CANI-99-14) no se encontraron diferencias en ambos muestreos.



**Figura 4.11 Interacción genotipo- ambiente en la variable LE**





**Figura 4.12 Interacción genotipo- ambiente en la variable AE**

## Correlaciones entre las variables

Con los promedios obtenidos a través de las repeticiones en el estudio realizado, se determinaron los coeficientes de correlación de cada variable en cada muestreo, resultando correlaciones positivas y negativas entre las variables, descritas a continuación.

### Correlaciones entre variables en el primer muestreo

Se encontró que la variable densidad estomática de haz (DEH), mantuvo una relación negativa y significativa con el índice estomático del haz (IEH), largo y ancho de estomas en el haz (LH y AH), sugiriendo que, entre mayor densidad estomática de haz de la hoja, se obtendrán bajos valores en el índice estomático en haz, así como en la morfología de los estomas del haz en el largo y ancho (Cuadro 4.13).

Probablemente una densidad estomática alta provocaría un exceso de transpiración, mientras que el índice estomático es una variable muy sensible a condiciones ambientales estresantes (luz, agua, nutrientes) y tiende a bajar (Kürschner *et al.* 1998); así una mayor densidad estomática en el haz tiende a asociarse negativamente con el largo y ancho de estomas en el haz (disminuyéndolas) y presentará células oclusivas más pequeñas.

**Cuadro 4.13 Correlaciones entre variables para el primer muestreo a los 75 días**

	TEMP	NDVI	ALTURA	ICC	DEH	IEH	LH	AH	DEE	IEE	LE	AE
TEMP	1.00	-.18	.25	-.07	-.07	.08	.08	-.05	.01	.09	.04	.03
NDVI		1.00	-.06	.16	-.04	-.03	-.08	.06	.03	-.09	.01	.11
ALTURA			1.00	-.21	-.15	.13	.03	.03	.05	.09	-.01	-.04
ICC				1.00	.02	-.04	-.13	.01	.04	-.00	.00	.05
DEH					1.00	<b>-.71</b>	<b>-.43</b>	<b>-.37</b>	.13	.03	-.22	-.34
IEH						1.00	.13	.03	-.01	-.09	.14	.14
LH							1.00	<b>.55</b>	-.02	-.10	<b>.61</b>	<b>.43</b>
AH								1.00	-.05	-.12	.41	<b>.48</b>
DEE									1.00	<b>-.65</b>	-.07	-.18
IEE										1.00	-.02	-.09
LE											1.00	.41
AE												1.00

En la variable largo de estoma del haz de la hoja (LH), se encontró una correlación positiva y significativa con el ancho de estomas del haz (AH), así como con el largo y ancho de estoma en envés (LE y AE), lo que indica que entre mayor longitud del estoma en el haz, se obtendrá mayor ancho del estoma del haz, así como también un mayor largo y ancho de estomas en el envés.

A una mayor longitud de haz se establece que las variables AH, LE y AE tendrán longitudes y anchos similares entre sí, por lo que los estomas tendrán un proceso de aclimatación al estrés hídrico. Ya que el estoma regula el intercambio gaseoso y mantendrá un nivel hídrico adecuado en la planta.

El largo y ancho del estoma va a tener una labor importante en la planta, ya que este entrara en un proceso de aclimatación al estrés hídrico, al existir una relación inversa entre el tamaño del estoma y la resistencia a la sequía.

En la densidad estomática del envés (DEE) la correlación se manifestó de forma negativa con el índice estomático de envés (IEE), lo que indica que, a una mayor densidad estomática del envés en la planta, el índice estomático tendera a ser menor en el envés.

El índice estomático parece ser la variable más sensible al cambio en las condiciones ambientales, posiblemente relacionadas con la resistencia estomática, lo que evitaría el exceso de transpiración y permitiría una mejor adaptación de la planta a ambientes de mayor demanda hídrica (Strasburger *et al.*, 1986; Aasaman *et al.*, 2001).

En este grupo de genotipos no se encontró asociación entre las variables medidas con el infrarrojo y variables estomáticas.

### **Correlaciones entre variables en el segundo muestreo**

Para el segundo muestreo las correlaciones tuvieron variaciones con respecto a la primera, la variable temperatura (TEMP) tuvo una correlación negativa y significativa con el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) (Cuadro 4.14); ya que los mayores valores de NDVI se obtienen en etapas tempranas con mayor turgencia de la hoja que mantiene fresca a la planta y que conforme avanza

la etapa de la planta el NDVI tiende a disminuir, coincidiendo con Muriano *et al.* (2016), cita que el NDVI si tiende a cambiar significativamente de acuerdo con el estado fenológico de la planta, ya que este índice mide el verdor que presentan los cultivos.

**Cuadro 4.14. Correlaciones entre variables para el segundo muestreo a los 90 días**

	TEMP	NDVI	ALTURA	ICC	DEH	IEH	LH	AH	DEE	IEE	LE	AE
TEMP	1.00	<b>-.38</b>	-.21	.03	-.03	-.08	.05	.05	.01	-.02	.05	-.04
NDVI		1.00	.22	-.00	-.18	.22	.02	.03	-.07	.05	.06	.03
ALTURA			1.00	.13	-.19	.16	.13	.09	-.02	.08	.04	.06
ICC				1.00	-.07	.05	.02	.02	.08	.00	-.14	.07
DEH					1.00	<b>-.68</b>	-.02	-.10	.29	-.16	.08	-.01
IEH						1.00	-.35	-.24	-.18	.31	-.26	-.27
LH							1.00	.33	.01	-.09	<b>.44</b>	.23
AH								1.00	-.01	-.16	.35	.28
DEE									1.00	<b>-.74</b>	-.12	-.03
IEE										1.00	-.15	-.28
LE											1.00	.35
AE												1.00

Con respecto a la variable densidad de estomas de haz (DEH), se encontró una correlación negativa y significativa con el índice estomático de haz (IEH) y de igual manera la densidad estomática de envés (DEE) se relacionó negativa y significativamente con el índice estomático del envés (IEE), lo que reafirma que a mayor densidad estomática, se mostrará un índice estomático bajo en el haz y envés y coincidiendo con Trewavas (2003), al mencionar que los principales y de mayor importancia órganos de la planta, son las hojas por ser los más sensibles en responder a las condiciones del ambiente razón por la cual refleja alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos del estrés, siendo el índice estomático variable dentro de la misma hoja y más sensible al cambio en las condiciones ambientales.

En el caso de la longitud de haz (LH), se tuvo una correlación positiva y significativa con la longitud de envés (LE), tendiendo ambas variables a presentar similares longitudes tanto en haz como envés; provocando que los estomas tengan un proceso de aclimatación al estrés hídrico, ya que el complejo

estomático regula el intercambio gaseoso y mantendrá un nivel hídrico adecuado en la planta.

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, se pudieron formular las siguientes conclusiones:

- Existe variabilidad genética dentro de los cereales de grano pequeño estudiados, debido a las diferencias estadísticas que presentaron en cada variable; lo cual permitirá hacer una selección de los genotipos en la variable deseada.
- Entre los genotipos estudiados, destacaron las líneas de cebada CANI-82-14 y CANI-16-14 por su mayor DEH; así también CANI-30-14 y CANI-15-14 con su alto IEH.
- La tecnología infrarroja mediante el NDVI, TEMP e ICC, no presentó asociación con las variables del estudio estomático de la hoja en haz y envés (DEH, IEH, LH, AH, DEE, IEE, LE y AE).
- Las variables del estudio estomático de la hoja del haz y envés mostraron asociación entre ellas, estableciendo que a mayor DE habrá menor IE, tanto en haz como en envés de la hoja, mientras que la longitud de los estomas fue similar en ambos lados de la hoja.
- Con los análisis realizados no se pudo establecer la existencia de diferencias entre las cebadas y los testigos de otra especie.

## VI. LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos J A, R Rosales-Serna, R Navarrete-Maya, E López-Salinas (2000) Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agric. Téc. Méx.* 26:79-98.
- Agraria, H., B. Hever y N. Zieslin. 1995. Effects of grafting on transpiration, CO<sub>2</sub> fixation and growth of rose plants (*Rosa x hybrida* cvs. Ilseta and Mercedes). *J. of Hort. Sci.* 70 (4): 651-656.
- AGROFORO. 2003. Perfil de la cebada. en línea. Disponible en <http://www.agroforo.com/Servicios/Perfiles%20de%20cultivos/Cebada/cebada1.htm>
- Alvarez B. y César A. 2006. Análisis económico de un sistema productivo bajo riego por goteo. Argentina, Gobierno de la provincia de Catamarca. 28 p.
- APHA, American Public Health Association, American Waterworks, Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Standard Methods for Examination of Water and Sewage and Wastewater. 20a ed. New York; 1998.
- Arriaga, L., Espinoza J.M., Aguilar C., Martínez E., Gómez L.y Loa E. (Coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Assmann, S.M., L. Simoncini, y J.I. Schroeder (1985). Blue light activates electrogenic ion pumping in guard cell protoplasts of *Vicia faba*. *Nature* 318 (6043): 285 – 287.
- Assmann, S.M., y K. Shimazaki (1999). The Multisensory guard cell. stomatal responses to blue light and abscisic acid. *Plant Physiology* 119 (3): 809-816.
- Beratto E. 2001. Cebada y Avena. 11 ed. Chile, Sociedad Química y Minera de Chile S.A. p 577-591.
- Bidwell, R.G.S. 2002. Fisiología Vegetal. México. 784 p
- Blum, A. 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ear of wheat and barley varieties. *J. Exp. Bot.* 36: 432-440.
- Cañizares A., Sanabria M.E., Rodríguez D. A. y, Perozo Y. 2003. Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de limas Tahatí (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista científica UDO Agrícola* 3:59-64.
- Castañeda S. M. 2004. Crecimiento de cebada y trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* (27):167-175.
- Castillo F. 2001. Agrometeorología. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 517 p.
- Cerana, M.M.; S.P. Gil; A.L. Pascualides; E.M. Tablada and L A Gonzalez. 1996.

- Genotype and row-spacing effects on the leaf epidermis of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriscientia* XIII . 59-63.
- 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.
- Contreras, L. E., Jaimez, Ordaz. J., Hernández, M. T., Añorve, M. J. y Beltrán, H. R. 2008. Composición química de cebadas cultivadas bajo diferentes condiciones de labranza en tres localidades del estado de Hidalgo, México. *Bioagro* 20 (3): 201-208.
- Doraiswamy, P. C., S. Moulin, P.W. Cook, and A. Stern. 2003. Crop yield assesment from remote sensing. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 69(6):665-674.
- Evans, L.T. 1993. Adaptation and the ecology of yield. En: *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press, New York, NY. 116 pp.
- Fairbanks, D. y K. Mcwire, 2004. Patterns of floristic richness in vegetation communities of California: Regional scale analysis with multi-temporal NDVI. *Global Ecology and Biogeography*. 13(3): 221-235.
- Freeman K.W., Girma K., Arnall D.B., Mullen R.W., Martin K.L., Teal R.K. and Raun W.R. 2007. By-Plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agron. J.* 99:530–536.
- Gilabert, M.A., J. González-Piqueras y J. García-Haro, 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8: 35-45.
- Gracia C. 2008. Ecología Forestal: Estructura, funcionamiento y producción de las masas forestales. Pag 95.
- Gregor J., B. Marsálek. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: A comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Res.* 2004; 38:517-522.
- Ramírez G.F., Roblero T.V., Foroughbakhch P. R., Benavides M.A. y, Alvarado M.A., 2013. Variabilidad de polen, densidad y tamaño de estomas en autotetraploides y diploides de *Physalis ixocarpa*. *Botanical Sciences* 91 (1):11-18.
- Robles, S. R, 1990. Producción de granos y forrajes. 5ta Edición. Editorial Limusa. México. Pág. 267-284.
- Slafer, G. A.; E. H. Satorre y F. H. Andrade. 1994. Increase in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes, en slafer, G. A. (ed.). *Genetic improvement of field crops*, Marcel Dekker, Inc., Nueva York.



- Teal, R. K. B. Tubana, Girma, K.; Freeman, K. W.; Arnall, D. B.; Walsh, O.; and Raun, W. R. 2006. In-season prediction of corn yield potential using normalized difference vegetation index. *Agron. J.* 98: 1488-1494.
- Zadoks J. C., Chang T. T. y, Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, Volume 14. 415-421.
- Zar J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. 3<sup>o</sup> Ed. Prentice-Hall. Inc. Upper Saddle River. New Yersey. 662 pp.
- Zeiger, E., y P.K. Hepler. 1977. Light and stomatal function: blue light stimulates swelling of guard cell protoplasts. *Science* 196 (4292): 887-889.