



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comportamiento Agronómico de Tres Especies de Cereales de Grano Pequeño  
Bajo Estrés Hídrico en Navidad, Nuevo León.

Por:

**KARLA ANDREA FLORES PÉREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. María Alejandra Torres Tapia

Asesor Principal



---

M.C. Modesto Colín Rico

Coasesor



---

Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez

Coasesor



---

Dr. Alberto Sandoval Bange

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio 2024.

## Declaración de no plagio

**Declaro que:** El trabajo de investigación fue realizado por mi Karla Andrea Flores Pérez y no se llevaron a cabo acciones que puedan interpretarse como plagio o robo de información de alguna tesis o trabajo de investigación, respetando así los siguientes aspectos:

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

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias que conlleva el plagio declarando que este documento es de mi autoría.

**ATENTAMENTE**



---

Karla Andrea Flores Pérez

## AGRADECIMIENTOS

Gracias **DIOS**, por tu infinito amor y bondad, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo momento.

A mi **ALMA TERRA MATER**, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por compartir sus conocimientos, formarme de manera profesional, por acogerme entre sus salones, pasillos y sobre todo por convertirse en mi segundo hogar.

A la **Dra. María Alejandra Tapia Torres**, por su paciencia, y sobre todo por el apoyo brindado dentro y fuera de las instalaciones, por considerarme un miembro más de su familia, por cada palabra motivadora y sobre todo el cariño brindado.

Al **Dr. Modesto Colín** por el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo, gracias por tomarse el tiempo y dedicación, en la revisión del mismo.

Al **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez**, por convertirse en mi familia, apoyarme en todo momento, alentándome a seguir adelante, por todo su apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.

Al **Dr. José Luis Velasco López**, por su tiempo y dedicación en la revisión de este trabajo, mis más sinceras gracias.

Con un agradecimiento muy especial a mis padres, porque sin ellos y su apoyo incondicional no podría cumplir mis sueños, por aquellos días de desvelo y preocupación, días de trabajo completo, para apoyarme económicamente, pero sobre todo emocionalmente.

A toda mi familia por estar siempre presentes y al pendiente de mí.

A mis leales (**Noé, José Luis, Jaqueline, Romeo, Melvin, Salomón, Teresa, Victor**), amigo Gabriel Hdz y a mis **compañeros de manera general**, por cada risa, anécdota que vivimos durante mi estancia en la **NARRO**, por el apoyo brindado y el aliento de seguir adelante ante cualquier adversidad.

Al **Ing. Omar Alonso** por su apoyo, cariño y motivación durante esta etapa.

***"Rodéate de personas que te inspiren y te eleven..."***

## DEDICATORIAS

A mis padres **Ángel Flores Sánchez** y **Cecilia Pérez Zepeda**, ya que gracias a su esfuerzo, amor, dedicación y comprensión, hoy puedo concluir una etapa más en mi vida. Fueron, son y serán el motor para ser la persona que soy hoy en día.

A mi hermana **Wendy Yasmin**, por todo el apoyo y amor brindado.

A mis abuelos, por apoyarme, darme siempre la motivación de seguir adelante:

**Juana Sánchez y Delfino Flores.      Micaela Zepeda y Floriberto Pérez.**

Con dedicatoria especial a todos y cada uno de los integrantes de mi familia, por su apoyo incondicional al estar siempre pendiente de mí y brindarme palabras de aliento:

**Familia;** Flores, Pérez, González, Santana, Alonso, Benito.

A mi mejor amiga **Alejandra Benito**, porque a pesar de la distancia siempre ha estado presente y pendiente de mí.

En memoria de:

† **Dr. Víctor Manuel Zamora Villa**, por todo el apoyo brindado dentro y fuera de la universidad, el cariño y la asesoría realizada durante la investigación.

† **Ing. Silvestre Villa Elizondo**, por ser un buen maestro y amigo, gracias por las pláticas de preparatoria.

† **Alexandra Mayrin**, quien me enseñó que nada es imposible.

A cada uno de ustedes les mando un fuerte abrazo hasta el cielo, gracias por cada enseñanza, los recuerdo con mucho amor.

***"El liderazgo no se trata de títulos, se trata de inspirar..."***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### AGRADECIMIENTOS

### DEDICATORIAS

|  |          |
|--|----------|
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....                                   | <b>i</b> |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | iv       |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | v        |
| RESUMEN.....   | vii      |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1        |
| Objetivo general.....  | 3        |
| Objetivos específicos.....   | 3        |
| Hipótesis.....   | 4        |
| REVISIÓN DE LITERATURA.....  | 5        |
| Origen geográfico .....  | 5        |
| Avena.....   | 5        |
| Cebada.....  | 5        |
| Trigo.....   | 6        |
| Importancia a nivel mundial .....                                  | 7        |
| Importancia a nivel nacional .....                                 | 8        |
| Importancia económica y alimentaria de los cereales .....          | 9        |
| Descripción agronómica .....                                       | 10       |
| Avena.....   | 10       |
| Cebada.....  | 11       |
| Trigo.....   | 13       |
| Mejoramiento genético .....  | 13       |
| Especies cultivadas con características de <i>Stay-green</i> ..... | 14       |

|   |    |
|---|----|
| Estrés hídrico.....   | 15 |
| Valor agronómico en cereales de grano pequeño .....         | 18 |
| Altura de la Planta Completa.....                           | 19 |
| Porcentaje de Cobertura de Follaje.....                     | 19 |
| Etapa Fenológica de la Planta .....                         | 20 |
| Uso de la tecnología infrarroja .....                       | 21 |
| Índice de Vegetación Diferencial Normalizado.....           | 21 |
| Temperatura de Dosel de la Parcela.....                     | 22 |
| Contenido de Clorofila.....                                 | 22 |
| SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development, modelo 502)..... | 23 |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....                                  | 24 |
| Ubicación del Estudio .....                                 | 24 |
| Material genético .....                                     | 25 |
| Preparación y establecimiento de experimentos .....         | 26 |
| Tratamientos.....   | 27 |
| Variables evaluadas .....                                   | 27 |
| Variables agronómicas.....                                  | 28 |
| Variables con tecnología infrarroja.....                    | 30 |
| Análisis Estadístico.....                                   | 33 |
| Comparación de medias .....                                 | 33 |
| Coeficiente de variación.....                               | 34 |
| Análisis de correlaciones.....                              | 35 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                 | 36 |
| Variables agronómicas.....                                  | 36 |
| Interacción de Genotipos por Riegos .....                   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Variables con tecnología infrarroja.....  | 50 |
| Interacción de Genotipos por Riegos ..... | 55 |
| Correlaciones entre variables.....        | 60 |
| CONCLUSIONES.....                         | 65 |
| LITERATURA CITADA.....                    | 66 |
| ANEXOS.....                               | 74 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Cuadro 2.1</b> | Producción de cebada en los últimos cuatro años, en los principales productores a nivel nacional.....   | 8  |
| <b>Cuadro 2.2</b> | Distribución de municipios por intensidad de sequía al 15 de marzo del 2024.....  | 17 |
| <b>Cuadro 3.1</b> | Identificación de los materiales genéticos estudiados.....  | 25 |
| <b>Cuadro 3.2</b> | Estados de desarrollo de cereales de grano pequeño, escala de Zadoks <i>et al.</i> , (1974). .....  | 29 |
| <b>Cuadro 4.1</b> | Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de las variables agronómicas de los genotipos de cebada.....  | 37 |
| <b>Cuadro 4.2</b> | Resultados de la prueba de comparación de medias de las variables agronómicas entre número de riegos de los genotipos de cebada, en Navidad, N.L.....             | 39 |
| <b>Cuadro 4.3</b> | Prueba de medias de los Genotipos, evaluando datos de campo y laboratorio para determinar la calidad del forraje. ....  | 41 |
| <b>Cuadro 4.4</b> | Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de las variables de sensores inflarrosos de los genotipos de cebada. ....                               | 51 |
| <b>Cuadro 4.5</b> | Resultados de la prueba de comparación de medias de las variables de sensores inflarrosos entre número de riegos de los genotipos de cebada, en Navidad, N.L..... | 52 |
| <b>Cuadro 4.6</b> | Prueba de medias de los Genotipos, evaluando datos de tecnología infrarrojo para determinar su comportamiento.....  | 55 |
| <b>Cuadro 4.7</b> | Correlaciones y significancia en el Experimento uno (un riego de siembra y tres de auxilio). ....   | 61 |
| <b>Cuadro 4.8</b> | Correlaciones y significancia en el Experimento dos (un riego de siembra y dos de auxilio).....   | 62 |
| <b>Cuadro 4.9</b> | Correlaciones y significancia en el Experimento tres (un riego de siembra y uno de auxilio). ....   | 64 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figura 2.1</b>  | Principales países productores de cebada en el mundo para el año 2021, en millones de toneladas.....   | 7  |
| <b>Figura 2.2</b>  | Producción de cebada en los últimos cuatro años.....   | 8  |
| <b>Figura 3.1</b>  | Ubicación geográfica del Campo Experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Navidad, Nuevo León.....  | 24 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Densidad de siembra en parcelas de acuerdo a los riegos restringidos asignados en el Campo Experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Navidad, Nuevo León. .... | 27 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Toma de altura, con ayuda de un flexómetro.....  | 28 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Determinación de cobertura.....  | 28 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Peso fresco de forraje.....  | 30 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Peso seco de forraje.....  | 30 |
| <b>Figura 3.7</b>  | Sensor infrarrojo GreenSeeker™.....  | 31 |
| <b>Figura 3.8</b>  | Termómetro infrarrojo Fluke.....   | 31 |
| <b>Figura 3.9</b>  | Medidor de clorofila Spectrum CM.1000.....   | 32 |
| <b>Figura 3.10</b> | Medidor de clorofila SPAD 502.....   | 32 |
| <b>Figura 4.1</b>  | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Altura de Planta (AP), (cm).....   | 43 |
| <b>Figura 4.2</b>  | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Cobertura de Follaje (COB), (%).....   | 45 |
| <b>Figura 4.3</b>  | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Etapa Fenológica (EF).....   | 46 |
| <b>Figura 4.4</b>  | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Peso Fresco (PF), (tha <sup>-1</sup> ).....  | 48 |

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Figura 4.5</b> | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Peso Seco (PS), ( $\text{tha}^{-1}$ ).....                | 49 |
| <b>Figura 4.6</b> | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI). .... | 56 |
| <b>Figura 4.7</b> | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Temperatura de la planta ( $^{\circ}\text{C}$ ). ....     | 57 |
| <b>Figura 4.8</b> | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Clorofila 1 (CM 1000).....                                | 58 |
| <b>Figura 4.9</b> | Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Clorofila 2 (SPAD 502).....                               | 59 |
| <b>Figura 5.1</b> | Cobertura del follaje en las parcelas experimentales.....   | 74 |
| <b>Figura 5.2</b> | Lineas experimentales de cebada, generadas en la UAAAN.....   | 74 |
| <b>Figura 5.3</b> | Testigo de cebada, generadas por el INIFAP y la UAAAN. ....   | 74 |
| <b>Figura 5.4</b> | Testigo de avena Cuauhtémoc. ....   | 75 |
| <b>Figura 5.5</b> | Línea experimental de trigo, generada en la UAAAN.....  | 75 |
| <b>Figura 5.6</b> | Testigo de cebada, generada en la UAAAN. ....   | 75 |

## RESUMEN

En los últimos años, el cambio climático ha generado que los cultivos en el Noreste de México alteren su desarrollo, aunado a la falta de precipitación pluvial. Por ello, el propósito del proyecto fue estudiar el comportamiento agronómico y su relación con la tecnología infrarroja de tres especies de cereales de grano pequeño producidos bajo tres tratamientos de estrés hídrico, a un riego de siembra, más tres de auxilio (Riego 1, tradicional), más dos de auxilio (Riego 2) y uno de auxilio (Riego 3), en el ciclo Otoño-Invierno, 2021-2022, en Navidad, Nuevo León. Los materiales evaluados fueron: 10 líneas experimentales y tres variedades de cebada, una línea de trigo AN-263 y la avena, Cuauhtémoc; realizando un muestreo de 90 dds, determinando las variables agronómicas: Altura de la Planta (AP), Cobertura de Follaje (COB), Etapa Fenológica (EF), Peso Fresco (PF) y Peso Seco (PS) de Forraje. A la par, se registraron las variables de tecnología infrarroja: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), Temperatura de dosel (TEMP), Contenido de Clorofila (CLOR 1) por Spectrum CM-1000 y (CLOR 2) por SPAD 502. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño experimental en parcelas divididas, parcela grande fueron los riegos (RIEGO), y la parcela subdividida los genotipos (GENO) con las repeticiones (REP) y las diferencias se definieron con base en la diferencia mínima significativa (DMS) y se realizó una prueba de correlación de Pearson con las variables registradas. En el análisis de varianza, RIEGO mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), en AP, COB, EF, PF, PS, NDVI, CLOR 1 y CLOR 2; en TEMP, no hubo significancia, lo cual indicó que los riegos no afectaron la temperatura de dosel de los genotipos. En GENO, se encontraron, diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en AP, COB, EF, PF, NDVI, CLOR 2; y diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en PS, TEMP, CLOR 1. La interacción RIEGO\*GENO reflejó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en AP, y diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en COB y CLOR 2. La DMS mostró que en RIEGO, obtuvieron los valores superiores en dos y tres riegos de auxilio para AP (56.6-56.76 cm) y COB (60- 63.22 %); y con un riego de auxilio se tuvieron valores de 51.3 cm (AP) y 54 % (COB). En tres riegos de auxilio, se obtuvo 76 según escala de Zadoks en EF; 18.58  $\text{tha}^{-1}$  en PF y 3.80  $\text{tha}^{-1}$  en PS; y a un solo riego auxilio de

68.73, 10.24  $\text{tha}^{-1}$  y 2.56  $\text{tha}^{-1}$ , respectivamente. En las variables de infrarrojo, a tres riegos de auxilio se obtuvieron valores de 0.44 (NDVI) y 215.02 (CLOR 1), y a un riego de 0.33 y de 189.96, estas mismas variables. La TEMP entre riegos osciló de 23.50-25.12°C y la variable CLOR 2, indicó que a dos y tres riegos, se obtuvieron 42.49-42.66 Spad; mientras que a un riego fue el más bajo (39.35). En la comparación de medias entre genotipos, destacaron las líneas experimentales de cebada CANI-15, CANI-85, Gabyan-95 y Alician-221 con valores agronómicos de 56.55-61.44 cm (AP), 60.55-68.88% (COB), 73.55-77.77 Escala de Zadoks (EF), 17.03-20.95  $\text{tha}^{-1}$ (PF) y 3.03-3.80  $\text{tha}^{-1}$  (PS); en los infrarrojo, 0.38-0.45 (NDVI), 204-211.55 Spectrum (CLOR 1), 47.96-49.16 Spad (CLOR 2). Con tres riegos, sobresalieron CANI-129, CANI-130 y CANI-15 en EF (78-80); CANI-104, Avena Cuauhtémoc y CANI-9 en PF (16.78-20.56  $\text{tha}^{-1}$ ) y NDVI (0.29-0.45). En dos riegos, destacaron CANI-15, CANI-9, CANI-85 y CANI-104 en COB (61.66-66.66%); CANI-15, CANI-9 y CANI-10 en PF (12.89-13.96  $\text{tha}^{-1}$ ). En un solo riego, CANI-85, CANI-104 y CANI-9 en COB (73.33-78.33%), CANI-9, CANI-85 y Alician-221 en PF (13.19-27.86  $\text{tha}^{-1}$ ); En TEMP destacaron CANI-15, CANI-85 y CANI-10 con 20.86-22.26°C. Con los resultados se concluyó que los cereales de grano pequeño estudiados al ser producidos bajo un estrés hídrico, pueden presentar comportamientos agronómicos diferentes en variables convencionales y de tecnología infrarroja. A un riego de siembra y tres de auxilio, las variables EF, PF, NDVI y TEMP presentan efectos positivos en CANI-9, CANI-15, CANI-104 (PF, NDVI yTEMP); mientras CANI-129 y CANI-130, sobresalieron por ser más precoces. A un riego de siembra y dos de auxilio, tuvieron una respuesta de adaptación al encontrar en su desarrollo fisiológico de la planta en CANI-9, CANI-10 y CANI-15 para COB y rendimiento (PF y PS), por tener capacidad de adaptarse al reducir el número de riegos. Así mismo, CANI-9, CANI-85 y CANI-104, y Alician-221 presentaron mejores respuesta de COB, PF, NDVI y TEP, en condiciones de estrés hídrica muy severas con un solo riego de siembra y uno de auxilio. Existe una relación positiva en las variables agronómicas convencionales COB, EF, PF y PS, así como las de tecnología infrarroja NDVI y TEMP, siendo una herramienta efectiva en la evaluación de

adaptación, estabilidad y selección de materiales genéticos de cereales de grano pequeño producidos bajo estrés hídrico.

**Palabras clave:** *cereales, estrés hídrico, altura de planta, cobertura, rendimiento, NDVI, clorofila.*

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el estrés ambiental ha sido provocado por el crecimiento demográfico, el cambio climático, el uso agrícola, la contaminación del agua, así como por las deficiencias en la gestión del agua. En un último reporte del Monitoreo de Sequía en México, en los datos obtenidos por Aquastat (FAO, 2020), organismo encargado de analizar a 178 países, indicaron que en 2020, México ocupó el lugar número 139 en estrés hídrico, con una cifra del 44.8%; en la primera quincena de marzo del 2024 se registraron 163 municipios con una intensidad de sequía extraordinaria.

Cabe mencionar que, el principal sector consumidor de agua es el agropecuario, mismo que es utilizado para el riego de cultivos y ganadería (Adame y Cubero, 2024).

Los cereales de grano pequeño incluyen el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), trigo duro (*T. durum* Desf.), el triticale (X *Triticosecale* Wittmack), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y la avena (*Avena sativa* L.), son gramíneas anuales autóгамas, cultivadas y usadas para la alimentación tanto humana, como forraje para los animales.

Estos cereales de grano pequeños son cultivos tanto de primavera como de invierno, con comportamientos de tipo invernal pues requieren tratamientos que aceleren el proceso de maduración. A nivel mundial el 37% de la producción agrícola son cereales, destinados a la producción de proteína animal, tanto sea en grano entero o molido, o en plantas enteras cosechadas antes de la madurez y ensilado (Bertsch, 2019).

Los cereales de grano pequeño poseen tolerancia al frío, desarrollándose a temperaturas por debajo de cero grados centígrados, por ejemplo, el trigo que ha llegado hasta los -25°C, cebada a los -20°C y en avena lo más bajo es a los -15°C.

Para la producción de estos cereales, el riego suplementario puede ser necesario en regiones con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, por ello se recomienda aplicar el riego a capacidad de campo al menos dos veces; inmediatamente después de la siembra e inmediatamente antes de la floración o bien durante la etapa de embuchamiento de la espiga (Payne *et al.*, 2008).

Algunas de las consecuencias del estrés hídrico en plantas son, la disminución de crecimiento, las hojas adoptan una apariencia más erecta, presentan amarillamiento y las hojas tienden a secarse (morir).

Estos indicadores son muy comunes cuando el cultivo está sometido a las inclemencias del clima, al darse alguna precipitación, podría favorecerlo; sin embargo, al continuar en condiciones de sequía, se puede comprometer la producción.

En los últimos años el Programa de Mejoramiento de Cereales de Grano Pequeño de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha desarrollado materiales genéticos de trigo y cebada para las condiciones semidesérticas del norte del país, teniendo diferentes características agronómicas como la característica de *stay green*, permanencia del follaje verde aún en estado de madurez del grano; de adaptación a condiciones contrastantes de temperatura y; por la calidad de forraje y grano compitiendo con otras especies y variedades comerciales.

No obstante, en estos materiales experimentales no se ha generado la suficiente información sobre el comportamiento agronómico en ambientes con estrés hídrico, ni en estudios de selección utilizando tecnología infrarroja, no destructiva en estas condiciones. Por tal motivo, el presente estudio pretendió explorar la respuesta de líneas experimentales de cebada comparadas con algunas variedades y otras especies de cereales, estableciendo los siguientes objetivos general y específicos.

## **Objetivo general**

Estudiar el comportamiento agronómico y su relación con la tecnología infrarroja de tres especies de cereales de grano pequeño producidos bajo estrés hídrico en el campo experimental de Navidad Nuevo León.

## **Objetivos específicos**

- Evaluar 15 materiales genéticos de cereales de grano pequeño, sometidos a tres condiciones de riego a través de las variables agronómicas como Altura de Planta, Cobertura de Suelo y rendimiento de Forraje Fresco y Seco.
- Evaluar 15 materiales genéticos de cereales de grano pequeño sometidos a tres condiciones de riego a través de tecnología infrarroja emitiendo variables de Temperatura de dosel, Contenido de Clorofila e Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), en respuesta al desarrollo fisiológico de la planta.
- Evaluar la asociación entre las variables convencionales y de tecnología infrarroja de los 15 materiales genéticos de cereales de grano pequeño.

## Hipótesis

- Al menos un material genético de los cereales de grano pequeño estudiados, tendrá mayor respuesta en las variables agronómicas de Altura de Planta, Cobertura de Suelo y rendimiento de Forraje Fresco y Seco dado por una buena adaptación al estrés hídrico por un número determinado de riegos, en comparación al resto de los genotipos evaluados.
- Al menos un material genético de los cereales de grano pequeño estudiados, tendrá mayor respuesta en las variables de la tecnología infrarroja de Temperatura de dosel, Contenido de Clorofila e Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), en comparación al resto de los genotipos evaluados.
- Existe una correlación positiva en alguna de las variables agronómicas y las de tecnología infrarroja, permitiendo eficientar las evaluaciones de adaptación y estabilidad genética en los cereales de grano pequeño.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen geográfico

#### **Avena**

El cultivo de avena tienen su origen en Asia Central, siendo cultivada desde la edad del Hierro en Europa, en la región del Mediterráneo, pero este cultivo no tuvo importancia en épocas tempranas debido a que era considerada una mala hierba (Parsons, 2012).

El origen es algo incierto (Asia menor o SE de Europa), y de domesticación posterior a otros cereales como el trigo o la cebada. Su cultivo está muy extendido en Europa y América del Norte. En la Península Ibérica es el cereal más utilizado en las zonas con bajo riesgo de heladas intensas.

Posee mayor contenido de lisina que el sorgo y el maíz, pero su alto contenido en fibra limita su inclusión en dietas para monogástricos (Bertsch, 2019).

#### **Cebada**

La cebada (*Hordeum vulgare* L.), es uno de los cultivos fundadores de la agricultura, probablemente uno de los cereales más antiguos cultivados, el antepasado inmediato de la cebada cultivada es todavía abundante en la naturaleza. Es un cultivo que permite su desarrollo desde el nivel del mar hasta más de cuatro mil metros sobre el nivel de éste.

Poehman (1981), cita que Vavilov describe dos centros de origen, por un lado Etiopía y África del Norte, debido a que de ahí proceden muchas de las variedades cubiertas de barbas largas, por otro lado se encuentran los países de China, Japón y el Tíbet, ya que de ahí proceden las variedades desnudas, de barbas cortas o imberbes y los tipos de granos cubiertos por caperuzas.

## Trigo

El origen exacto del cultivo del trigo sigue siendo desconocido, aunque se presume que el trigo se desarrolló a partir de un tipo de hierba silvestre relacionada con el trigo en alguna ubicación del este de Asia, al Norte de Irak y Siria, así como al Sur de Turquía, en una zona identificada como el Creciente Fértil. Esta área se sitúa en la región superior del río Éufrates, destacada por poseer suelos fértiles, y es reconocida como la cuna de la civilización. Los primeros tipos de trigo utilizados por el ser humano derivaban de una especie silvestre, cuyos granos eran recolectados (Avila *et al.*, 2014).

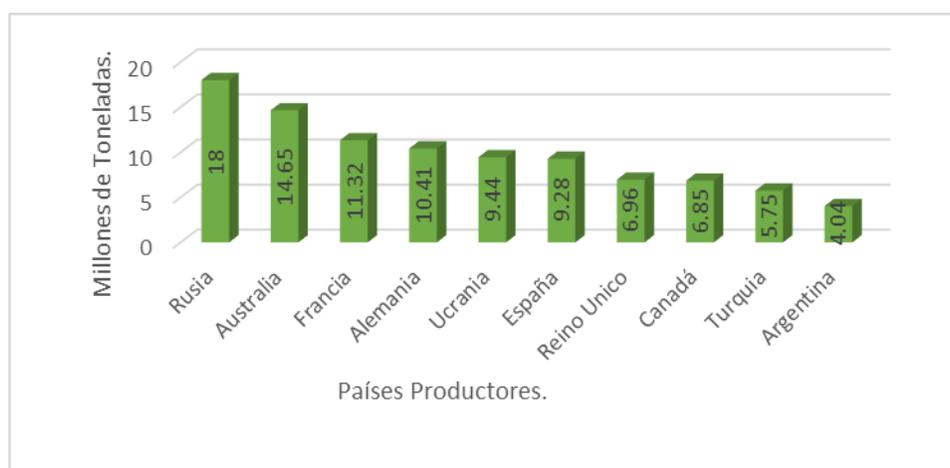
El trigo es una planta no perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, produce un conjunto de frutos modificados que se fusionan con su sola semilla, en una espiga terminal y pueden ser silvestres o cultivadas. Es el segundo cereal más importante y se producen dos tipos en México, el trigo grano cristalino y panificable. El trigo Cristalino es destinado a la alimentación pecuaria y a la exportación, en el año 2021 se produjeron 1,782,299 toneladas entre los estados productores se encuentra; Sonora, Baja California, Guanajuato, Sinaloa y Coahuila.

En el caso de los trigos panificables, estos son destinados para la elaboración de harinas para panes y galletas, se produjeron 1,501,315 toneladas, siendo los principales estados productores; Sonora, Guanajuato, Michoacán, Sinaloa y Jalisco. Su origen data de la civilización mesopotámica, entre los valles de los ríos Tigris y Éufrates en el Medio Oriente y fueron los egipcios quienes descubrieron la fermentación del trigo y lo usaron en la elaboración de alimentos (SADER,2022)

## Importancia a nivel mundial

La producción a nivel mundial en el cultivo de cebada para el año 2021, ha tenido un aumento notable donde los principales países productores fueron: Rusia, Australia, Francia, Alemania, Ucrania, España, Reino Unido, Canadá, Turquía y Argentina, con una producción máxima de 18 millones de toneladas para el país de Rusia, como lo muestra la Figura 2.1; así mismo, con una mínima de 4.04 millones de toneladas en el caso de Argentina (Statista, 2021).

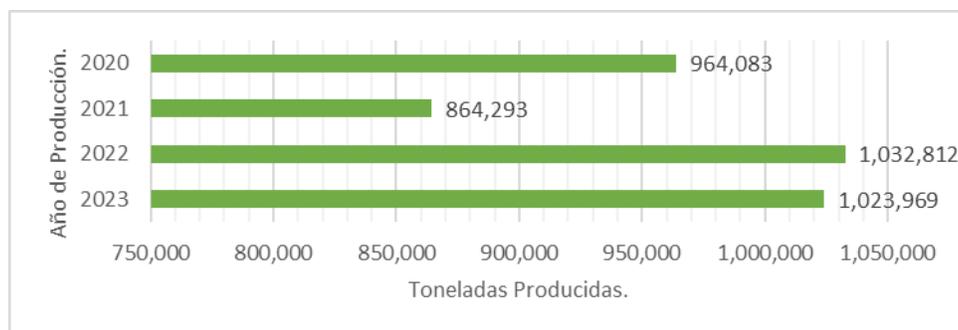
México dentro de este ranking de productividad se ubica en el lugar 31 con una producción de 864,293 toneladas.



**Figura 2.1** Principales países productores de cebada en el mundo para el año 2021, en millones de toneladas.

Fuente: Información tomada de Statista 2021.

Los lugares que ocupó México en cuanto a la producción de cebada durante los últimos cuatro años varían considerablemente ya que para el año 2020 ocupó el lugar 28 con una producción de 964,083 toneladas; sin embargo para el 2021 se obtuvo 864,293 toneladas donde se posicionó en el lugar 31, para el 2022 la producción aumentó; sin embargo se ubicó en el lugar 32 con 1,032,812 toneladas, para el año 2023 se apreció una disminución en cuanto a la productividad obteniendo 1,023,969 toneladas lo que colocó a México en el lugar 29 avanzando 3 lugares con respecto al año anterior.



**Figura 2.2** Producción de cebada en los últimos cuatro años. Recopilación de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

En México a lo largo de los últimos cuatro años la producción de cebada, nos ha permitido observar incrementos considerables en cuanto a las superficies destinadas a la siembra, misma que se ve reflejada en mejores rendimientos.

### Importancia a nivel nacional

Entre los estados que se dedican a la producción de cebada a nivel nacional se encuentran; Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y el Estado de México como las cinco principales entidades productoras como se muestra en el Cuadro 2.1, que en conjunto aportan la mayoría de la producción, la cual se concentra en la Región Centro del país, con excepción del estado de Guanajuato el cuál se encuentra en la Región Centro-Oriente (Villalobos, SIAP 2021).

**Cuadro 2.1** Producción de cebada en los últimos cuatro años, en los principales productores a nivel nacional.

| Entidad federativa | Volumen (toneladas) |         |         |         |
|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|
|                    | 2023                | 2022    | 2021    | 2020    |
| Guanajuato         | 339,782             | 325,813 | 280,972 | 349,047 |
| Hidalgo            | 191,923             | 223,595 | 220,375 | 200,237 |
| Tlaxcala           | 134,081             | 124,329 | 61,671  | 139,986 |
| Puebla             | 98,694              | 100,290 | 107,552 | 82,698  |
| México             | 53,667              | 91,398  | 47,298  | 71,531  |

Fuente: Recopilación de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

## **Importancia económica y alimentaria de los cereales**

Desde hace más de 24 siglos, numerosas culturas han estado estrechamente vinculadas con el cultivo y uso de los cereales, principalmente del trigo, centeno y cebada, en todo el mundo, el cultivo de cereales representa más de 706 millones de hectáreas; es decir, abarca el 15 % de la superficie mundial y 2,600 millones de toneladas.

En México se produce una gran variedad de cereales de la más alta calidad, actualmente ocupa el tercer lugar en producción de alimentos en Latinoamérica y el décimo segundo en el mundo, los principales granos producidos son; trigo, maíz, avena, arroz, amaranto, soya, cebada y centeno (UNAM-SIAP, 2020).

Los cereales, de acuerdo a la FAO, son la fuente de alimentos más importante del mundo, debido a que son usados para satisfacer las necesidades alimentarias de los humanos, así como la alimentación del ganado (SIAP, 2023).

Actualmente el 70% de los trigos a nivel global provienen de las investigaciones hechas en México desde el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Esta contribución es parte del legado del doctor Norman Borlaug, científico reconocido por ganar el premio Nobel de la Paz en 1970, por sus trabajos en el mejoramiento de trigo que permitieron incrementar la producción a nivel mundial de este cereal y así evitar que más de mil millones de personas murieran a causa del hambre (SADER, 2022).

El cultivo de trigo se siembra en alrededor de 124 países, convirtiéndose en el grano con mayor área sembrada año tras año, cultivándose en promedio durante los últimos 10 años en 220 millones de hectáreas, con una producción cercana a los 726 millones de toneladas, lo que nos otorga un promedio de rendimiento de 3,310 ton/ha a nivel global. La siembra de trigo en México se realiza tanto en los periodos Otoño-Invierno en el área Norte y Noroeste, así como en los periodos Primavera-Verano en la zona Central, siendo la siembra de otoño-invierno la más predominante tanto en superficie, como en producción (Avila *et al.*, 2014).

En cuanto a su composición química, la cebada es similar al trigo y superior al maíz, en los niveles de proteína, siendo el 9 y el 12-13%, es fuente de algunas vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, piridoxina) y de niacina. En el caso de la avena, esta contiene menos almidón que el maíz, el trigo y la cebada; sin embargo, tiene un alto contenido de fibra y lignina.

La cebada es uno de los granos más usados en la alimentación de vacas lecheras y bovinos de engorde, debido a su alta digestibilidad ruminal y a sus altos valores de energía metabolizante para los rumiantes.

Es frecuente el uso de ensilado de la planta entera (Bertsch, 2019). El uso de ensilados en el caso de ternario de cereales de grano pequeño de cebada, centeno y triticale, son una alternativa viable ya que se mantienen rendimientos de leche altos durante la época seca, para productores de leche en pequeña escala (Carrillo-Hernández *et al.*, 2023).

El trigo es uno de los cereales empleado para la alimentación de animales poligástricos como los rumiantes por su alto contenido proteico, siendo superior al maíz, el almidón es un polisacárido digerible. Es el cereal más importante en la alimentación de los mexicanos y actualmente en nuestro país se cosechan dos tipos de trigo grano: cristalino y panificable (SADER, 2022).

## **Descripción agronómica**

### **Avena**

La avena es un cultivo anual que alcanza alturas de 40 hasta 150 cm, presenta hojas de tres a 20 mm de ancho, lisas y con bordes ásperos, con una lígula que puede llegar a medir hasta cinco mm, su inflorescencia se dispone en una panícula, con espiguillas de 17 a 30 mm que contienen de dos a tres flores, generalmente cubiertas por glumas, las glumas exhiben entre siete y nueve nervios.

Esta planta es poco resistente al frío y no tolera heladas severas, prospera en climas frescos y húmedos, aunque también puede desarrollarse en ambientes mediterráneos con lluvias suficientes en primavera.

Esta especie muestra poca exigencia respecto al tipo de suelo, prefiriendo los terrenos profundos que retengan la humedad sin saturarse. Su siembra puede ser otoñal en áreas de inviernos templados y primaveral en lugares con heladas fuertes, el establecimiento es sencillo y la planta persiste anualmente, se recomienda sembrar entre 100-150 kg/ha en cultivos puros.

Como cereal forrajero ofrece altos rendimientos en condiciones hídricas favorables, alcanzando hasta 11 toneladas de forraje por hectárea en variedades invernales de ciclo largo y mayor productividad. Además, es altamente apetecible y nutritivo, aunque con bajo contenido proteico.

Las cosechas de grano oscilan entre 1-3 toneladas por hectárea, por mucho tiempo el grano de avena se ha suministrado a los animales en comederos, mientras que el rastrojo se deja para el pastoreo en campo. Hoy en día, cuando se utiliza la planta entera como forraje, se practica un primer pastoreo a fines del invierno, seguido de nuevas opciones de aprovechamiento, como pastoreo adicional, cuando el grano se encuentra en estado lechoso se utiliza para heno o ensilaje (Palacios, 1999).

## **Cebada**

La cebada es uno de los granos más ancestrales cultivados por el ser humano, ha prosperado en múltiples regiones del mundo gracias a su relativa capacidad para resistir la sequía en comparación a otros cereales, por lo que es fundamental garantizar un suministro de agua durante su fase de crecimiento para lograr cosechas óptimas.

Con respecto al clima, esta planta se adapta a diversos entornos, aunque prefiere climas templados con temperaturas que oscilen entre los 10°C y 20°C durante su período de desarrollo, estas condiciones son propicias para una germinación adecuada de la semilla y un crecimiento vegetativo óptimo.

No obstante, condiciones extremas de calor o frío pueden afectar negativamente tanto la germinación como el desarrollo del grano. A diferencia de otros granos, la cebada muestra cierta resistencia al frío, lo que le permite ser sembrada en otoño y pasar el invierno en estado vegetativo, reanudando su crecimiento en primavera.

La cebada presenta requisitos específicos en cuanto al tipo de suelo, prosperando mejor en suelos con textura franco, es decir, aquellos que poseen una combinación equilibrada de arena, limo y arcilla. Estas condiciones favorecen una adecuada aireación, facilitan el drenaje y promueven un sano desarrollo de las raíces.

El pH del suelo desempeña un papel crucial en el cultivo de cebada, ya que prefiere suelos ligeramente ácidos a neutros, con valores que oscilan entre 6.0 y 7.5, mantener el pH dentro de este rango garantiza la disponibilidad óptima de nutrientes esenciales y minimiza la presencia de elementos tóxicos. Aunque la cebada prospera mejor en suelos fértiles, también puede dar buenos resultados en suelos poco profundos y pedregosos, siempre y cuando reciba suficiente agua al inicio de su crecimiento.

Además, tolera la salinidad excesiva en el suelo y presenta una amplia tolerancia a los valores de pH. Por otro lado, en suelos arcillosos con drenaje deficiente durante el invierno, no se desarrolla adecuadamente debido a problemas de encharcamiento (Guerrero, 1999).

El agua es un elemento vital para el desarrollo de la cebada. Durante su etapa inicial, que va desde la siembra hasta el ahijamiento, requiere aproximadamente entre tres a cinco mm de agua diarios, consumiendo en total de 150 a 250 mm durante esta fase.

En la fase que abarca desde el encañado hasta el llenado del grano, la demanda de agua aumenta considerablemente, variando entre seis a ocho mm diarios, sumando un total de 250 a 350 mm para esta etapa, es considerada una fase crítica, ya que una cantidad insuficiente de agua puede ocasionar una disminución significativa en el tamaño y calidad del grano. Durante la etapa de llenado del grano hasta la madurez, la necesidad de agua disminuye gradualmente a medida que la planta se acerca a la cosecha, aunque aún requiere entre 100 a 150 mm de agua (Bastida, 2023).

Comparada con el trigo, la cebada muestra una mayor resistencia a la sequía, a pesar de tener un coeficiente de transpiración más elevado, además de que

presenta un periodo de espigado-madurez más corto que el trigo, lo que implica una menor necesidad de agua durante su desarrollo (Guerrero,1999).

## **Trigo**

El trigo crece en áreas subtropicales, templadas o algo frías, necesitando una cantidad moderada de agua que va desde los 229 mm hasta 762 mm de lluvia. Las variedades de invierno se siembran en regiones templadas, requiriendo una temperatura mínima de 13° C para prosperar; sin embargo, las temperaturas óptimas oscilan entre los 10°c y los 25°C.

Con respecto al tipo de suelo, prefiere suelos profundos para poder desarrollar un buen sistema radicular, también requiere de suelos densos con mucho barro y arcilla, aunque puede dar buenos resultados también en suelos más ligeros, con respecto al pH prospera mejor en suelos neutros o algo alcalinos en un rango de 6 a 7.5, ya que en suelos ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento (Avila *et al.*, 2014).

## **Mejoramiento genético**

El programa de cebada del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se planteó el objetivo de obtener variedades que satisfagan las necesidades del agricultor como la de los industriales malteros y cerveceros, mejorando la calidad y el rendimiento esto en condiciones de riego en el Bajío como para temporal en los Valles Altos del Centro de México.

Este programa ha liberado 22 variedades de cebada de las cuales 17 son malteras y cinco de ellas son de uso forrajero, de las cuales destacan para el Noroeste del país la variedad Centinela y Cerro Prieto. En el año 1989 fue liberada la variedad Esperanza, la cual presenta tolerancia a las principales enfermedades del cultivo en México, resistencia a la roya lineal amarilla, esto es demostrado gracias a sus excelentes rendimientos y con buena calidad para la industria maltera-cervecera (González *et al.*, 2021).

De acuerdo al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), en el Catalogo Naional de Variedades Vegetales se tienen 115 variedades de trigo harinero inscritas, 40 cuentan con título de obtentor vigente y dos son de dominio público (SADER, 2022).

La diversidad genética en cuanto al rendimiento, las características agronómicas y los atributos de calidad del grano demostraron ser altamente significativos en un conjunto de 120 líneas de avena provenientes de diferentes partes del mundo.

Las líneas de origen europeo exhibieron los mayores rendimientos, en cuento a los términos de la madurez y la calidad del grano, varias líneas de avena de regiones no europeas, especialmente de América del Norte, presentaron una expresión superior de estos rasgos y, por lo tanto, se recomiendan como candidatas para cruzamientos que busquen mejorar la avena europea (Buerstmayr *et al.*, 2017).

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

La característica de *Stay-green* es utilizado como un criterio de selección en las diferentes especies, es usado para determinar el incremento del rendimiento de grano en plantas sometidas a estrés producido por sequía (Chibane *et al.*, 2018).

Se observó que la disminución de la clorofila como de la actividad fotosintética resultan mucho más lentas en líneas de maíz con características *Stay-green* que las que no poseen estas características, por lo que se concluye que la característica *Stay-green* tiene un efecto mayor en el rendimiento de grano y a la biomasa (Chibane *et al.*, 2018).

Por otra parte, en trigo con atributos *Stay-green*, descubrieron que estas cepas manifiestan una declinación tardía de las hojas. Este suceso propicia una prolongación del período en el que las hojas permanecen activas, lo que resulta en una prolongación del proceso de fotosíntesis efectiva.

Esto conlleva a un incremento en la producción del grano y una mejora en la utilización eficaz del agua. Asimismo, el análisis sugiere que estas variedades pueden ser especialmente beneficiosas en áreas susceptibles a sequías

intermitentes, donde la habilidad de mantener la actividad fotosintética en momentos cruciales puede tener un impacto significativo en la producción total. (Harris y Smith, 2020).

En lo que respecta a la cebada, un estudio realizado por Jones *et al.*, (2021) reveló que las cepas con la característica *Stay-green* logran mitigar los efectos adversos de las elevadas temperaturas durante la fase de maduración del grano. Este análisis señala que dichas cepas no solo extienden el periodo de llenado del grano, sino que también mejoran su calidad al disminuir la presencia de proteínas no deseadas, las cuales suelen ser provocadas por el estrés térmico.

Un análisis reciente realizado por García *et al.*, (2023) investigó el desempeño de diferentes tipos de cebada con atributos *Stay-green* bajo condiciones de escasez de agua. Los resultados muestran que estas variedades exhiben una disminución en la velocidad de envejecimiento de las hojas y una mayor eficacia en la utilización del agua en contraste con las variedades tradicionales.

Asimismo, se registró un incremento significativo en la cantidad de grano producido, lo que sugiere que la capacidad de mantener la actividad fotosintética durante períodos de sequía podría ser crucial para asegurar una producción constante en áreas afectadas por la falta de agua.

### **Estrés hídrico**

El estrés hídrico se puede apreciar en plantas cuando estas tienen una disminución en su tamaño es decir que su crecimiento es menor, así mismo las hojas adoptan una apariencia más erecta, presentando un color amarillento, en cuanto a las hojas más viejas tienden a secarse (morir).

Estos son los indicadores que se presentan en el cultivo cuando está sometido a las inclemencias del clima, si en los siguientes días se presenta alguna precipitación, podría favorecer a nuestro cultivo; sin embargo, al continuar en condiciones de sequía en el cultivo, las pérdidas de este serán muy notables.

Al identificar el comportamiento de las plantas en cuanto a su desarrollo sometidas a condiciones de carencia de agua, nos permitirá identificar los caracteres de adaptabilidad, mismos que se podrán incorporar a nuevas variedades, esto permitirá al agricultor minimizar las pérdidas causadas por la sequía.

La relación entre la temperatura y la hidratación de la planta se intensifica cuando esta última se ve reducida. Debido a que la evaluación mediante temperatura dosel en una muestra es comparativa, las condiciones atmosféricas durante la medición deben ser bastante estables, evitando la presencia de nubes y ráfagas de viento, dado que las nubes momentáneas ejercen un efecto inmediato en la temperatura de las hojas, por lo que las mediciones se deben llevar a cabo en momentos cercanos al mediodía, cuando el déficit hídrico podría ser mayor debido a una mayor demanda atmosférica (Aguinaga, 2019).

Adame y Cubero (2024). La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) monitorean la sequía de México y realizan reportes desde enero del 2014. En estos reportes se analiza la intensidad de sequía de cada uno de los municipios catalogados de la siguiente manera:

- D0: Anormalmente Seco
- D1: Sequía Moderada
- D2: Sequía Severa
- D3: Sequía Extrema
- D4: Sequía Excepcional

Sin sequía; en el Cuadro 2.2 se observa un nivel de sequía del 83.7 %, en la primera quincena de marzo del 2024, solo 396 municipios de los 2,430 analizados se encuentran sin sequía; sin embargo 163 municipios se encuentran en D4, los cuales corresponden a los estados de Chihuahua, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Veracruz.

**Cuadro 2.2** Distribución de municipios por intensidad de sequía al 15 de marzo del 2024.

| Entidad                | No. de Municipios | Sin sequía | D0         | D1         | D2         | D3         | D4         |
|------------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1. Aguascalientes      | 11                | 0          | 2          | 3          | 3          | 3          | 0          |
| 2. Baja California     | 7                 | 7          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 3. Baja California Sur | 5                 | 5          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 4. Campeche            | 13                | 0          | 6          | 7          | 0          | 0          | 0          |
| 5. Chiapas             | 124               | 0          | 47         | 74         | 3          | 0          | 0          |
| 6. Chihuahua           | 67                | 0          | 0          | 0          | 4          | 29         | 34         |
| 7. Ciudad de México    | 16                | 0          | 0          | 0          | 16         | 0          | 0          |
| 8. Coahuila            | 38                | 7          | 12         | 13         | 5          | 1          | 0          |
| 9. Colima              | 10                | 10         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 10. Durango            | 39                | 3          | 3          | 12         | 3          | 7          | 11         |
| 11. Estado de México   | 125               | 0          | 5          | 41         | 60         | 19         | 0          |
| 12. Guanajuato         | 46                | 0          | 0          | 0          | 24         | 18         | 4          |
| 13. Guerrero           | 81                | 11         | 35         | 28         | 7          | 0          | 0          |
| 14. Hidalgo            | 84                | 0          | 0          | 8          | 23         | 24         | 29         |
| 15. Jalisco            | 125               | 43         | 26         | 28         | 22         | 6          | 0          |
| 16. Michoacán          | 113               | 6          | 5          | 12         | 29         | 61         | 0          |
| 17. Morelos            | 36                | 0          | 22         | 14         | 0          | 0          | 0          |
| 18. Nayarit            | 20                | 4          | 7          | 5          | 4          | 0          | 0          |
| 19. Nuevo León         | 51                | 7          | 16         | 24         | 2          | 2          | 0          |
| 20. Oaxaca             | 570               | 160        | 108        | 111        | 148        | 43         | 0          |
| 21. Puebla             | 217               | 21         | 50         | 60         | 63         | 23         | 0          |
| 22. Querétaro          | 18                | 0          | 0          | 0          | 0          | 11         | 7          |
| 23. Quintana Roo       | 11                | 4          | 3          | 4          | 0          | 0          | 0          |
| 24. San Luis Potosí    | 58                | 5          | 2          | 3          | 3          | 12         | 33         |
| 25. Sinaloa            | 18                | 0          | 0          | 1          | 3          | 7          | 7          |
| 26. Sonora             | 72                | 1          | 0          | 5          | 12         | 30         | 24         |
| 27. Tabasco            | 17                | 0          | 2          | 10         | 5          | 0          | 0          |
| 28. Tamaulipas         | 43                | 3          | 5          | 4          | 9          | 22         | 0          |
| 29. Tlaxcala           | 60                | 41         | 12         | 7          | 0          | 0          | 0          |
| 30. Veracruz           | 212               | 31         | 67         | 58         | 21         | 23         | 14         |
| 31. Yucatán            | 106               | 10         | 25         | 71         | 0          | 0          | 0          |
| 32. Zacatecas          | 17                | 17         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| <b>TOTAL</b>           | <b>2,430</b>      | <b>396</b> | <b>460</b> | <b>801</b> | <b>469</b> | <b>341</b> | <b>163</b> |

Fuente: Monitoreo de Sequía en México, 2024.

Tanto la cebada como el trigo sufren estrés hídrico debido a las bajas precipitaciones, esto quiere decir que las sequías condicionan el crecimiento de las plantas, así mismo, limita la absorción de los nutrientes, principalmente del nitrógeno.

Cabe señalar que una correcta humedad y preparación de los suelos son los factores claves para que el grano de los cereales germine de manera correcta, este proceso se lleva a cabo en los primeros estadios de crecimiento del cereal. Una vez que emerge el cereal necesita una mínima cantidad de agua hasta que comienza el encañado, etapa que se identifica como el estadio previo al espigado. La falta de agua retrasa el crecimiento y favorece la aparición de amarillos en las hojas más viejas, así mismo durante el proceso de ahijamiento se ve perjudicado ya que se reduce el número de ahijados y como consecuencia se ve afectada la densidad de espigas finales.

La fase de encañamiento es cuando nuestro cultivo necesita más agua, a partir de la aparición de la hoja bandera, esta es la última hoja que se despliega antes de la aparición de la espiga, en este momento la falta de agua reducirá el número de granos por espiga mismos que mostrarán una disminución en cuanto al llenado del mismo (IRTA, 2022).

### **Valor agronómico en cereales de grano pequeño**

El estudio de los recursos genéticos basado en sus características agronómicas sigue siendo una herramienta crucial para gestionar las colecciones de germoplasma de cultivos, permitiendo identificar la viabilidad genética en distintos rasgos asociados al rendimiento de grano.

Existen similitudes y diferencias fenotípicas entre los materiales, y los factores ambientales, tanto espaciales como temporales, influyen en la expresión de las características morfológicas.

Estas características han sido las más utilizadas para la identificación de especies, familias y géneros de plantas, involucrando la resistencia a enfermedades y plagas, así como el rendimiento. Los descriptores en la caracterización deben cumplir con ciertas propiedades: ser fácilmente observables, tener alta capacidad discriminante y baja influencia ambiental, como la altura de la planta, la cobertura, la etapa fenológica, el peso fresco y seco del material (Campuzano *et al.*, 2020., Velasco-Laiton, *et al.*, 2020. Hernández, 2008).

### **Altura de la Planta Completa**

Bonner (1981), Se interpreta el crecimiento de la planta como el resultado de la expansión de sus células, tejidos y órganos, cuando se habla del crecimiento vegetativo, se refiere al momento en que la planta alcanza su altura máxima. La altura de la planta se define como la longitud total desde la base hasta el extremo superior de la espiga.

Se efectuaron cuatro mediciones por planta durante el ciclo de cultivo, las mediciones se realizaron cuando el trigo alcanzó su crecimiento máximo tras la fase de espigamiento, utilizando un flexómetro de tres metros para la toma de datos (Hernández, 2012).

### **Porcentaje de Cobertura de Follaje**

En el cultivo de brócoli, se implementó una práctica denominada "Porcentaje de cobertura en campo", la cual consistía en usar un marco de madera con forma de cuadrado sobre las áreas de cultivo colocándolo en los surcos centrales, para finalmente tomar una fotografía con ayuda de un dispositivo móvil (Ramírez-Flores, 2022).

Uno de los principales propósitos del manejo agrícola es garantizar la óptima utilización de la radiación solar disponible, dado que esta constituye la principal fuente energética para la síntesis de materia seca mediante el proceso de

fotosíntesis, el índice de follaje representa una medida numérica que facilita la evaluación de la capacidad fotosintética de las plantas y contribuye a comprender las interacciones entre la acumulación de biomasa y el rendimiento en condiciones específicas del entorno ambiental de una región dada (Castellanos-Reyes *et al.*, 2017).

### **Etapas Fenológicas de la Planta**

El momento fenológico óptimo de corte para forraje en cebada es el estado de elongación del tallo sin embargo para obtener mayor rendimiento es recomendable realizar el corte en el inicio del estado masoso, en cuanto al cultivo de avena describe que se debe cosechar en estado de encañe para la producción de forraje, sin embargo para obtener mayor rendimiento es el estado de grano lechoso o masoso para mayor rendimiento, en cuanto al trigo el momento óptimo para el corte destinado al forraje es en el encañe ya que se encuentran los más altos rendimientos de hoja (Wilson, 2015).

### **Peso Fresco de Forraje**

En un estudio de rendimiento de forraje fresco, en cultivos combinados de avena y vicia se encontró que dicha combinación, favorece la producción de forraje en comparación con el cultivo exclusivo de avena, que fue de 16.58 t/ha para la proporción 50-50 de semillas de avena y vicia, superando al cultivo exclusivo de avena en un 13% (Espinoza-Montes *et al.*, 2018).

### **Peso Seco de Forraje**

En ese mismo estudio, al determinar materia seca, se demostró que la combinación de cultivos de avena con vicia beneficia la producción de materia seca, logrando 4.26 t/ha, superando al cultivo exclusivo de avena en un 6.3% (Espinoza-Montes *et al.*, 2018).

En datos registrados por Otero (2020), se reportan diferencias altamente significativas en peso seco de hoja bandera y peso verde de espiga, en los diferentes tratamientos de fertilización de nitrógeno, debido a que mayores dosis de nitrógeno promovieron mayor peso verde y seco en hoja bandera, con una dosis de 240 kg ha<sup>-1</sup>.

### **Uso de la tecnología infrarroja**

La utilización de sensores infrarrojos en la agricultura de precisión es una técnica que permite el uso eficaz de los recursos agrícolas. Esta metodología utiliza sensores para obtener información sobre el campo y, así, optimizar el rendimiento de las cosechas.

En este contexto, los sensores infrarrojos detectan datos cruciales que permiten evaluar el estado de salud de los cultivos: tras análisis y comparaciones, brindan la posibilidad de planificar intervenciones específicas.

Permiten medir diversos parámetros como la temperatura del suelo, la humedad o la presencia de plagas, lo que ayuda a optimizar el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, resultando en una mayor productividad y rentabilidad en la explotación agrícola. Uno de los principales índices empleados es el NDVI, que evalúa el vigor de la planta o el rendimiento clorofílico (Cieza *et al.*, 2020., Martínez, 2016., Gutiérrez-Soto, 2011).

### **Índice de Vegetación Diferencial Normalizado**

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se presenta como un indicador confiable del desempeño en cultivos de cereales como el trigo y la cebada, dado que el rendimiento tiende a aumentar a medida que el valor del NDVI incrementa. Este índice revela la interacción entre la fisiología de los cultivos, permitiendo la evaluación de variables como la humedad y el contenido de nitrógeno (Barallat, 2020).

## **Temperatura de Dosel de la Parcela**

La temperatura del dosel, se ha determinado con tecnología infrarroja basado en la detección de la radiación de la planta y la transforma en una señal eléctrica, que se visualiza como temperatura en grados Celsius (Blum, 2009).

La temperatura superficial guarda una relación directa con el flujo de energía neto recibido y con la humedad presente en dicha superficie, por lo tanto, se prevé que la respuesta pueda estar influenciada por esta temperatura, elevadas temperaturas promueven la actividad metabólica de las plantas y aceleran los procesos asociados al crecimiento y desarrollo (Melgoza, 2023).

## **Contenido de Clorofila**

La extracción y medición de la clorofila presente en las hojas demostró que la intensidad del color verde no solo se debe a la presencia de clorofila, sino también a otros pigmentos presentes en la hoja que colaboran con la clorofila en el proceso de fotosíntesis (Ruiz *et al.*, 2019).

Un estudio reciente realizado por Fernández *et al.*, (2023) examinó el contenido de clorofila en variedades de trigo cultivadas bajo diferentes niveles de nitrógeno. Los resultados mostraron una correlación positiva entre el contenido de clorofila y el rendimiento del grano, indicando que el mantenimiento de niveles óptimos de clorofila es importante para la productividad del cultivo. Además, se observó que las variedades de trigo con una mayor capacidad para mantener niveles elevados de clorofila bajo condiciones de estrés por déficit de nitrógeno mostraron una mayor tolerancia y un mejor rendimiento en comparación con las variedades sensibles.

En cuanto a la cebada, un estudio llevado a cabo por García *et al.*, (2021) investigó los efectos del estrés hídrico en el contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética en diferentes variedades de cebada.

Los resultados mostraron una disminución significativa en el contenido de clorofila en las hojas de las plantas sometidas a estrés hídrico, lo que se asoció con una

reducción en la tasa de fotosíntesis y una disminución en el rendimiento del grano. Estos hallazgos resaltan la importancia de mantener niveles adecuados de agua para garantizar la producción óptima de clorofila y, por lo tanto, la productividad del cultivo de cebada.

### **SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development, modelo 502).**

Ribeiro da Cunha *et al.*, (2015) mencionan que existe una relación muy estrecha entre la dosis de Nitrogeno (N), con los valores obtenidos en los índices de SPAD, debido a que se demostró que cuanto mayor sea la dosis de N en las plantas, mayor será la eficiencia fotosintética de la misma, por lo que se obtienen valores altos en el índice de SPAD.

Se utilizo el dispositivo portátil SPAD-502 de la marca Minolta para evaluar el nivel de clorofila, dado que este aparato determina la cantidad relativa de clorofila mediante un índice de verdor, analizando la luz transmitida a través de la hoja en dos rangos de longitud de onda: 650 y 940 nm, estas longitudes de onda corresponden a las regiones fotosintéticamente activas, es decir, azul y roja, respectivamente, con emisiones cercanas al infrarrojo. Utilizando estas mediciones, el SPAD se estima la cantidad proporcional de clorofila presente en la hoja (Hernández, 2012).

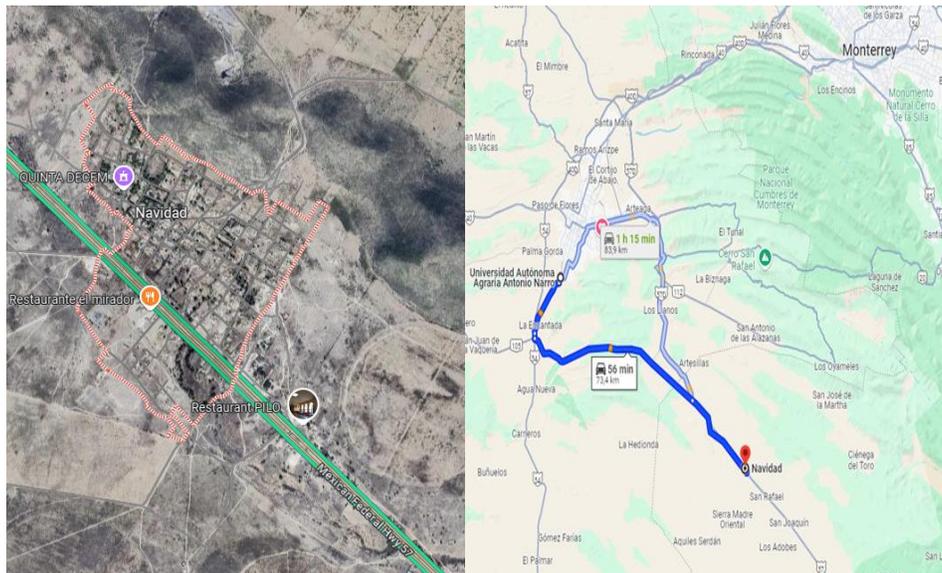
En otro estudio, se utilizó el medidor de clorofila portátil Minolta® SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development), que evalúa de manera indirecta y no destructiva el contenido de clorofila en las hojas, a través de la luz transmitida en longitudes de onda de 650 y 940 nm, además sirve como una herramienta complementaria en la toma de decisiones respecto a la fertilización con nitrógeno, dado que la clorofila, está positivamente relacionada con el contenido de N en las plantas, por lo que este pigmento proporciona información sobre el estado nutricional de los cultivos (Castellanos-Reyes *et al.*, 2017).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Estudio

El presente trabajo experimental de investigación fue realizado en el Campo Experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de Navidad, Nuevo León, Figura 3.1, que pertenece a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en la Colonia Agrícola Navidad, del municipio de Galeana, N. L., a 84 km de la ciudad de Saltillo, Coahuila. por la carretera 57 (Saltillo-San Roberto), en las coordenadas geográficas 25°04´ latitud norte, 100°37´ longitud oeste y con una altitud de 1895 msnm.

La temperatura media anual es de 14.6°C, la precipitación media anual es de 492 mm (Arriaga *et al.*, 2000).



**Figura 3.1** Ubicación geográfica del Campo Experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Navidad, Nuevo León.

## Material genético

Para este estudio, se evaluaron tres especies de cereales de grano pequeño, dentro de la especie cebada, fueron diez líneas experimentales de cebada forrajera imberbe, provenientes de la cruce entre la variedad Gabyan-95 (UAAAN), con la variedad comercial Esperanza (INIFAP), generadas por el Programa de Cereales de Grano Pequeño de la UAAAN y tres variedades de cebada Gabyan95, Esperanza y Alician-221; así como otra especie, una línea experimental de trigo AN-263 y una última de Avena la variedad Cuauhtémoc. Los materiales se describen a continuación (Cuadro 3.1)

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

| No de identificación | Nombre      | Especie/origen |
|----------------------|-------------|----------------|
| 1                    | CANI-9      | Cebada/UAAAN   |
| 2                    | CANI-10     | Cebada/UAAAN   |
| 3                    | CANI-15     | Cebada/UAAAN   |
| 4                    | CANI-82     | Cebada/UAAAN   |
| 5                    | CANI-85     | Cebada/UAAAN   |
| 6                    | CANI-99     | Cebada/UAAAN   |
| 7                    | CANI-104    | Cebada/UAAAN   |
| 8                    | CANI-108    | Cebada/UAAAN   |
| 9                    | CANI-129    | Cebada/UAAAN   |
| 10                   | CANI-130    | Cebada/UAAAN   |
| 11                   | Gagyan-95   | Cebada/UAAAN   |
| 12                   | Esperanza   | Cebada/INIFAP  |
| 13                   | Alician-221 | Cebada/UAAAN   |
| 14                   | AN-263      | Trigo/UAAAN    |
| 15                   | Cuauhtémoc  | Avena          |

CANI= Cebada Antonio Narro Imberbe

Todos los materiales utilizados fueron proporcionados por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

## Preparación y establecimiento de experimentos

La preparación del terreno, se realizó conforme a las labores tradicionales de establecimiento de los cereales de grano pequeño, incluyen varias etapas:

**Barbecho.** Se dejó la tierra de cultivo sin siembra durante dos ciclos, para una recuperación de suelo.

**Rasteo.** Se realizó la reducción de tamaño de los terrones para roturar y mullir el suelo para evitar la compactación y permitir la entrada de humedad e incorporación del fertilizante y facilitar la siembra.

**Nivelación.** Se aseguro una distribución uniforme del suelo para un buen aprovechamiento del agua de riego.

**Surcado.** Se trazaron los surcos de 3.0 m de longitud, espaciados a 0.3 m, por parcela.

La siembra se realizó conforme a las labores tradicionales usados para el establecimiento de cereales de grano pequeño en condiciones de riego, sembrando manualmente todos los materiales genéticos en un suelo húmedo, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, de acuerdo al procedimiento establecido por Zar (1996), el cual es de uso común y eficaz; a una densidad de 120 kg ha<sup>-1</sup> en parcelas de 6 surcos de 3.0 m de longitud, espaciados a 0.3 m, como lo muestra la Figura 3.2.

Así mismo, se aplicó una fertilización de 120 unidades de nitrógeno (NH<sub>3</sub>SO<sub>4</sub>), 80 unidades de fósforo (NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (MAP)) y cero unidades de potasio respectivamente.



**Figura 3.2** Densidad de siembra en parcelas de acuerdo a los riegos restringidos asignados en el Campo Experimental Navidad “Ing. Humberto Treviño Siller” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Navidad, Nuevo León.

### **Tratamientos**

El presente estudio estableció tres tratamientos, constituidos por el número de riegos aplicados mediante aspersión; teniendo como testigo al Tratamiento 1, con un riego de siembra, con una lámina de 10 cm, y durante el desarrollo del cultivo se aplicaron tres riegos de auxilio a una lámina de 8 cm, en intervalos de 20 días cada uno.

El Tratamiento 2, con un riego de siembra a una lámina de 10 cm, más dos riegos auxiliares de una lámina de 8 cm, aplicados a 30 días cada uno. Y finalmente el Tratamiento 3, que consistió en un riego de siembra a una lámina de 10 cm, más un riego auxiliar a mitad de desarrollo del cultivo a una lámina de 10 cm.

### **Variables evaluadas**

Para fines de este estudio, se consideró la evaluación del valor agronómico y sensores infrarrojos a los 90 días después de la siembra, el cual se llevó a cabo el día 18 de mayo del 2022, presentando en la mayoría de los materiales genéticos una etapa fenológica en grano masoso según la escala Zadoks *et al.*, 1974. Así mismo, se realizó un corte de forraje de medio metro lineal de plantas de los dos surcos centrales de cada parcela.

## **Variables agronómicas**

### Altura de la Planta Completa (AP)

Se realizó la toma de la altura desde el suelo hasta la punta de la espiga en la parte central de cada parcela, utilizando un flexómetro (Figura 3.3), la medición fue reportada en centímetros.



**Figura 3.3** Toma de altura, con ayuda de un flexómetro.

### Porcentaje de Cobertura de Follaje (COB)

Se determinó en base al análisis de la extensión de vegetación en cada parcela con respecto al recubrimiento del terreno (Figura 3.4), expresada en porcentaje de cobertura por apreciación visual según Cook and Box (1961).



**Figura 3.4** Determinación de cobertura.

### Etapa Fenológica de Planta (EF)

Se determinó por apreciación visual de la etapa en la que se encontraba cada parcela de acuerdo a la escala propuesta por Zadoks *et al.*, (1974), la cual se basa en las estaciones morfológicas de crecimiento de la planta en cereales de grano pequeño, como se describe en el Cuadro 3.2.

**Cuadro 3.2** Estados de desarrollo de cereales de grano pequeño, escala de Zadoks *et al.*, (1974).

| <b>Escala</b> | <b>Descripción de desarrollo</b>                          | <b>Escala</b> | <b>Descripción de desarrollo</b>          |
|---------------|---|---------------|---|
| <b>0</b>      | Germinación   | <b>55</b>     | Mitad de la inflorescencia emergida       |
| <b>9</b>      | Hoja en e extremo del coleóptilo                          | <b>6</b>      | Antesis (floración)                       |
| <b>1</b>      | Crecimiento de la plántula                                | <b>61</b>     | Comienzo de la antesis                    |
| <b>11 a19</b> | 1-9 hojas expandidas                                      | <b>65</b>     | Antesis a mitad de camino                 |
| <b>2</b>      | Macollaje   | <b>69</b>     | Antesis completa                          |
| <b>21-29</b>  | Un tallo pincipal y 1 a 9 macollos                        | <b>7</b>      | Grano lechoso                             |
| <b>3</b>      | Elongación del tallo                                      | <b>71</b>     | Grano acuoso                              |
| <b>30</b>     | 1 cm de largo en espiga+cañas                             | <b>73</b>     | Comienzo de grano lechoso                 |
| <b>31-35</b>  | 1 a 5 nudos detectables                                   | <b>75</b>     | Grano lechoso intermedio                  |
| <b>37</b>     | Hoja bandera visible                                      | <b>77</b>     | Grano lechoso avanzado                    |
| <b>39</b>     | Lígula de la hoja bandera visible                         | <b>8</b>      | Grano masoso                              |
| <b>4</b>      | Peemergencia floral (estado de vaina engrosada o bota)    | <b>83</b>     | Comienzo de grano masoso                  |
| <b>41</b>     | Comienzo del engrosamiento de la vaina de la hoja bandera | <b>85</b>     | Grano masos intermedio                    |
| <b>45</b>     | Inflorescencia en mirad de la vaina de la hoja bandera    | <b>87</b>     | Grano masoso duro                         |
| <b>49</b>     | Primeras aristas visibles                                 | <b>9</b>      | Madurez                                   |
| <b>5</b>      | Emergencia de la inflorescencia                           | <b>91</b>     | Grano duro (difícil de marcar con la uña) |
| <b>51</b>     | Primeras espiguillas visibles                             | <b>92</b>     | Grano duro (no se marca con la uña)       |

Fuente: FAO (Satorre *et al.*, 2003).

### Peso Fresco de Forraje (PF)

Se realizó un corte de 0.5 m del surco central de cada parcela, donde se evaluó el peso total de biomasa fresca dado en Kg/parcela (Figura 3.5).



**Figura 3.5** Peso fresco de forraje.

### Peso Seco de Forraje (PS)

Las muestras fueron llevadas a un secado por medio de una estufa donde se colocaron las muestras a 65°C por 5 días, como lo muestra la Figura 3.6. El peso fresco y seco se determino con una balanza con precisión de 0.0001 gramos.



**Figura 3.6** Peso seco de forraje.

### **Variables con tecnología infrarroja**

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

Se evaluó mediante un sensor portátil con fuente propia de luz infrarroja, marca GreenSeeker™ (Figura 3.7), dirigido a la parte central de cada parcela, emitiendo breves ráfagas de luz, reflejadas en una configuración electrónica de 0.00 a 0.99, registrando el valor promedio.



**Figura 3.7** Sensor infrarrojo GreenSeeker™.

#### Temperatura de Dosel de la Parcela (TEMP)

Se llevo a cabo la evaluación con un termómetro infrarrojo de la marca FLUKE (Figura 3.8) con precisión de  $\pm 0.01$  °C; que mide temperaturas desde los -30 a 500°C con óptica de 10:1, dirigiendo el aparato a mitad de cada parcela, emitiendo un láser que refleja la temperatura total de un conjunto de plantas, la cual fue registrada en en grados centígrados.



**Figura 3.8** Termómetro infrarrojo Fluke.

#### Contenido de Clorofila 1 (CLOR 1)

Se realizó la toma de clorofila a los 90 días después de la siembra, con ayuda de un medidor de clorofila de la marca Spectrum CM-1000 (Figura 3.9); el cual utiliza la tecnología láser de "apunte y dispare" para indicar instantáneamente el contenido relativo de clorofila, un indicador clave para establecer desde temprano el estado de salud de la planta, este mide la luz reflejada por el cultivo, corrigiendo

automáticamente el efecto de la ambiental, sus mediciones son de 700 nm y 840 nm de longitud de onda.



**Figura 3.9** Medidor de clorofila Spectrum CM.1000.

### Contenido de Clorofila 2 (CLOR 2)

Se determinó por cada parcela tres plantas al azar, preferentemente hoja bandera o la segunda hoja, usando un medidor de clorofila marca SPAD 502 (Soil Plant Analysis Development, modelo 502), mostrado en la Figura 3.10, colocado a mitad de la hoja y registrando el valor emitido.



**Figura 3.10** Medidor de clorofila SPAD 502.

## Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante un diseño en parcelas divididas utilizando el paquete SAS Versión 9.0 (2002), donde la parcela grande fueron los riegos (RIEGO), y la parcela subdividida de los genotipos (GENO) con las repeticiones (REP).

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + T_i + (\gamma T)_{ki} + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Obs. de la unidad experimental.

$\mu$  = Media general del ensayo.

$\gamma_k$  = Efecto de los bloques.

$T_i$  = Efecto del tratamiento T de la parcela.

$(\gamma T)_{ki}$  = Error de la parcela [ $E_{(a)}$ ].

$\beta_j$  = Efecto del tratamiento  $\beta$  de la subparcela.

$(T\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción de los tratamientos de la parcela y subparcela.

$\varepsilon_{ijk}$  = Error de la subparcela [ $E_{(b)}$ ].

## Comparación de medias

Se realizaron pruebas de comparación de medias, utilizando la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS), a  $< 0.01$  entre fuentes de variación e interacciones (Riego\*Geno, Riego\*Rep), mediante la siguiente fórmula:

$$W = (t\alpha, gle) \sqrt{\frac{2CMEE}{r}}$$

Donde:

W = Valor de DMS.

t $\alpha$  = Valor de tablas a nivel de probabilidad.

gle = Grados de libertad del error.

2CMEE = Cuadrados medios del error experimental.

r = Repeticiones

### **Coeficiente de variación**

Se calculó el coeficiente de variación para cada una de las variedades estudiadas, utilizando la siguiente fórmula.

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación.

CMEE = Cuadrado medio del error.

$\bar{X}$  = Media General.

100 = Constante para reportar el dato en porcentaje

## Análisis de correlaciones

Se procedió a establecer las correlaciones entre las diferentes variables estudiadas para conocer el grado de asociación por medio de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{t_x t_y}$$

Donde:

$r$  = Coeficiente de correlación.

$\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})$  = Suma de productos cruzados de la variable  $x$ ,  $y$ .

$t_x$  = Desviación estándar de la variable  $x$ .

$t_y$  = Desviación estándar de la variable  $y$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables agronómicas

Una vez realizado el análisis de datos registrados de las variables evaluadas para los genotipos estudiados se describen a continuación los resultados:

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ), en la fuente de variación RIEGO, para las variables Altura de Planta (AP), porcentaje de Cobertura de Follaje (COB), Etapa Fenológica (EF), Peso Fresco (PF) y Peso Seco (PS), como se muestran en el Cuadro 4.1, esto indicó que al menos uno de los riegos genera una respuesta diferente al resto, ya sea de manera positiva o negativa.

Estos comportamientos son similares a los encontrados por Smith y Jones (2018), donde la altura de planta está directamente relacionada con la cantidad y la frecuencia de los riegos, favoreciendo e influyendo positivamente en el rendimiento; efecto que se esperaba tener en este estudio.

Así mismo, al tener una diferencia significativa en estas variables, estos resultados coinciden de alguna forma con algunos registros dados por García *et al.*, (2020), en el cultivo de cebada, al afirmar que la cobertura de follaje puede ser afectada por el régimen de riego aplicado; un adecuado suministro de agua, promueve mayor desarrollo del follaje, cobertura más densa y, en consecuencia, una mayor captación de luz solar y una mejor eficiencia fotosintética.

Con respecto al análisis de varianza con relación a la fuente de variación GENOTIPO (Cuadro 4.1), indicaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en las variables Altura de Planta (AP), Cobertura de Follaje (COB), Etapa Fenológica (EF) y Peso Fresco (PF); mientras que en la variable Peso Seco (PS) se mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En la fuente de variación REPETICIÓN se puede apreciar en el mismo Cuadro 4.1, que existen diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) en las variables de AP, COB, EF y PF. Sin embargo, no hubo diferencias estadísticas en la variable de Peso Seco.

**Cuadro 4.1** Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de las variables agronómicas de los genotipos de cebada.

| Fuente de variación           | gL | Ap                | COB               | EF               | PF               | PS              |
|-------------------------------|----|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Riego                         | 2  | <b>428.71 **</b>  | <b>985.74 **</b>  | <b>629.82 **</b> | <b>790.05 **</b> | <b>17.50 **</b> |
| Genotipo                      | 14 | <b>224.15 **</b>  | <b>731.21 **</b>  | <b>78.27 **</b>  | <b>106.91 **</b> | 0.71 *          |
| Repetición                    | 2  | <b>1042.60 **</b> | <b>1075.74 **</b> | <b>63.91 **</b>  | <b>221.05 **</b> | 0.02 <b>NS</b>  |
| Riego*Geno                    | 28 | <b>71.297 **</b>  | 95.26 *           | 18.73 <b>NS</b>  | 25.58 *          | 0.55 <b>NS</b>  |
| Riego*Rep                     | 4  | <b>100.07 **</b>  | 90.74 *           | 11.25 <b>NS</b>  | 24.3 *           | 0.68 <b>NS</b>  |
| Error Exp.                    | 84 | 40.63             | 89.51             | 21.51            | 18.39            | 0.77            |
| Media                         |    | 54.89             | 59.07             | 72.88            | 14.65            | 3.23            |
| Coefficiente de variación     |    | 11.61             | 16.01             | 6.36             | 29.25            | 27.23           |
| Coefficiente de determinación |    | 0.71              | 0.69              | 0.62             | 0.73             | 0.49            |
| Desviación estándar           |    | ± 6.37            | ± 9.46            | ± 4.63           | ± 4.28           | ± 0.88          |

\*\* Altamente significativo; \* Significativo; NS = No Significativo; gl = Grados de Libertad; ALT = Altura de la planta (cm); COB = Cobertura (%); ETAPA = Etapa fenológica (Escala); PF = Peso Fresco (Kg/ha) ; PS = Peso Seco (Kg/ha).

En cuanto en el análisis de varianza de la interacción de RIEGO\*GENO, reflejó alta significancia ( $p < 0.01$ ) en la variable AP, con respecto al resto de las variables (Cuadro 4.1); en cambio, existió significancia ( $p < 0.05$ ) en la variable COB y PF. Mientras que en Etapa Fenológica y Peso Seco, no hubo diferencias significativas.

Estos resultados difieren a lo encontrado por Pérez y Hernández (2021), al mencionar que la interacción entre el riego y los genotipos, puede afectar la duración y sincronización de las diferentes etapas del ciclo de crecimiento en

cebada, trigo y avena. Esta variabilidad fenológica puede tener implicaciones importantes para la gestión del cultivo y la programación del riego.

Con respecto al análisis de varianza en la interacción RIEGO\*REP para la variable Altura de Planta, se encontró alta diferencia significativa ( $p < 0.01$ ), en comparación al resto de las variables; en cambio existió significancia ( $p < 0.05$ ) para las variables Cobertura de Follaje y Peso Fresco. Pero, en las variables Etapa Fenológica Peso Seco no existió significancia, como se muestra en el Cuadro 4.1.

En la prueba de comparación de medias entre los riegos aplicados, indicó dos grupos estadísticos en las variables AP y COB, donde al aplicar dos y tres de auxilio, resultaron con los mayores valores de estas variables desde 56.6 a 56.76 cm y de 60 a 63.22 %, respectivamente (Cuadro 4.2).

Mientras que, con un solo riego de auxilio se obtuvo una Altura de Planta de solo 51.3 cm y de Cobertura de Follaje 54 %.

Por otro lado, existieron diferencias entre los tres riegos, reflejando tres grupos estadísticos con respecto a las variables EF, PF y PS.

Demostraron que al aplicar tres riegos de auxilio, se logró un mayor valor en estas variables, obteniendo resultados en etapa de 76 según escala de Zadoks, y en Peso fresco y seco de 18.58 y 3.80  $\text{tha}^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 4.2).

Mientras que al aplicar un solo riego auxilio, se obtuvo el valor más bajo, con 68.73 según escala de Zadoks en EF, 10.24  $\text{tha}^{-1}$  en PF y por último 2.56  $\text{tha}^{-1}$  en PS.

**Cuadro 4.2** Resultados de la prueba de comparación de medias de las variables agronómicas entre número de riegos de los genotipos de cebada, en Navidad, N.L

| Riego | Altura de Planta | Cobertura de Follaje | Etapas Fenológica | Peso Fresco | Peso Seco |
|-------|------------------|----------------------|-------------------|-------------|-----------|
| 1     | 56.76 a          | 63.22 a              | 76.00 a           | 18.58 a     | 3.80 a    |
| 2     | 56.60 a          | 60.00 a              | 73.91 b           | 15.15 b     | 3.34 b    |
| 3     | 51.33 b          | 54.00 b              | 68.73 c           | 10.24 c     | 2.56 c    |

\*Medias con la misma literal forma el mismo grupo estadístico

Las pruebas de comparación de medias entre los genotipos (Cuadro 4.3), para la variable AP, mostrarán ocho grupos de significancia (ABCDEFGH); donde los valores más altos corresponden al grupo A, conformado por los genotipos 3, 5, 7, 11, 13, 14 y 15, con valores desde 56.55 cm hasta 61.44 cm, destacando los testigos de cebada Gabyan-95 (genotipo 11) y de trigo, AN-263 (genotipo 14) con las mayores Alturas de Planta de 61.44 y 60.66 cm cada uno; confirmando lo descrito por Smith y Jones (2018), al tener en promedio un posible riego adecuado y favorecer el crecimiento de la altura de la planta.

Seguidos por los genotipos 3, 4, 5, 7, 13, 14 y 15, quienes integraron el grupo B, con valores desde 55.11 cm hasta 60.66 cm, como lo muestra el mismo Cuadro 4.3.

En cambio, en el último grupo estadístico H, se ubicaron los genotipos 9, 10 y 12 con valores desde 45.44 cm hasta 48.33 cm, resultando el genotipo 9 (línea experimental de cebada CANI-129) con el valor más bajo de 45.44 cm, de igual manera encontramos al testigo Esperanza dentro esta misma agrupación (Cuadro 4.3).

En los resultados de la comparación de medias en la variable COB, arrojaron seis grupos de significancia (ABCDEF); donde los valores más altos correspondieron al grupo A, encontrando los genotipos 1, 3, 5, 6, 7, 8, 11 y 15, con porcentajes desde 60.55 hasta 68.88%, destacando el genotipo 7 (línea experimenta de cebada CANI-104) con la mayor cobertura de 68.88 %.

En este mismo grupo se logró detectar que los testigos de cebada Gabyan-95 y Avena Cuauhtémoc tuvieron los valores más bajos de dicho grupo; afirmando lo descrito por García *et al.*, (2022), quienes evaluaron el cultivo de avena en diferente condición, concluyeron que existe una influencia del riego en su fenología y cobertura de planta; esta especie es capaz de mantener un desarrollo fenológico estable incluso bajo condiciones de estrés hídrico moderado.

Sin embargo, se observó una disminución en la cobertura de planta en las parcelas de secano, mientras que las parcelas con riego completo mantuvieron una cobertura óptima a lo largo del ciclo de cultivo, caso similar al de este estudio.

Agregado a lo anterior, el grupo B fue conformado por los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 13 y 15, con valores desde 58.88% hasta 67.22%, siendo el genotipo 1 (línea experimental de cebada CANI-9) con el mayor valor (67.22 %); y nuevamente se detectaron los testigos Gabyan-95, y Avena Cuauhtémoc, incluyendo a la cebada Alician-221 en este grupo, como lo muestra el Cuadro 4.3. Ahora bien, en el grupo F, se encontró al testigo de cebada variedad Esperanza con la cobertura más pobre de 32.77% a los 90 días después de la siembra.

**Cuadro 4.3** Prueba de medias de los Genotipos, evaluando datos de campo y laboratorio para determinar la calidad del forraje.

| Genotipo        | Altura de Planta (cm) | Cobertura de Follaje (%) | Etapa Fenológica (Zadoks et al., 1974) | Peso Fresco (tha <sup>-1</sup> ) | Peso Seco (tha <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------|
| 1. CANI-9       | 54.66 cde             | 67.22 ab                 | 74.88 abc                              | 20.95 a                          | 3.40 ab                        |
| 2. CANI-10      | 53.55 def             | 60.00 bcd                | 74.00 abc                              | 14.90 bcdef                      | 3.80 a                         |
| 3. CANI-15      | 56.55 abcde           | 65.00 ab                 | 74.77 abc                              | 16.24 bcd                        | 3.20 abc                       |
| 4. CANI-82      | 55.11 bcde            | 58.88 bcde               | 74.88 abc                              | 17.05 abc                        | 3.14 abc                       |
| 5. CANI-85      | 59.77 abc             | 67.22 ab                 | 71.11 cd                               | 17.03 abc                        | 3.46 ab                        |
| 6. CANI-99      | 51.44 efg             | 64.44 ab                 | 71.00 cd                               | 13.27 cdef                       | 3.15 abc                       |
| 7. CANI-104     | 57.66 abcd            | 68.88 a                  | 72.44 bcd                              | 16.12 bcde                       | 3.35 abc                       |
| 8. CANI-108     | 53.77 def             | 61.11 abc                | 72.77 cbd                              | 14.30 bcdef                      | 3.37 abc                       |
| 9. CANI-129     | 45.44 h               | 51.66 de                 | 76.66 ab                               | 12.19 ef                         | 3.39 abc                       |
| 10. CANI-130    | 47.22 gh              | 55.00 cde                | 77.77 a                                | 12.53 def                        | 3.03 abc                       |
| 11. Gabyan-95   | 61.44 a               | 60.55 abc                | 73.33 cb                               | 17.61 ab                         | 3.04 abc                       |
| 12. Esperanza   | 48.33 fgh             | 32.77 f                  | 68.88 de                               | 5.93 g                           | 2.92 bc                        |
| 13. Alician-221 | 58.88 abcd            | 60.00 bcd                | 73.55 abc                              | 16.58 bc                         | 3.36 abc                       |
| 14. AN-263      | 60.66 ab              | 51.11 e                  | 71.33 cd                               | 12.07 f                          | 3.30abc                        |
| 15. Avena       | 58.88 abcd            | 62.22 abc                | 66.11 e                                | 13.03 cdef                       | 2.56 c                         |

\*Medias con la misma literal forma el mismo grupo estadístico

La variable de Etapa Fenológica mostró cinco grupos de significancia (ABCDE). Los valores más altos se encontraron en el grupo A, como lo muestra el Cuadro 4.3, conformado por los genotipos 1, 2, 3, 4, 9, 10 y 13, que oscilaron desde 73.55 hasta 77.77 según la escala de Zadoks (1974); destacando el genotipo 10 (línea experimental de cebada, CANI-130), encontrándose en la etapa de 77.77 según escala de Zadoks, no obstante en este mismo grupo se encuentra el testigo Alician-221 en una etapa de 73.55 a los 90 dds.

Por otra parte, en el grupo B formado por los genotipos 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11 y 13 presentaron valores desde 72.44 hasta 76.66, teniendo mayor etapa a los 90 dds el genotipo 9 (línea experimental de cebada, CANI-129) con 76.66 según escala de Zadoks. Las etapas más tardías se registraron en el último grupo E, donde los genotipos 12 y 15 se encontraron a 66.11 a 68.88, siendo el genotipo 15 (testigo de avena, Cuauhtémoc) el más tardío, como se describe en el Cuadro 4.3;

reafirmando lo señalado por García *et al.*, (2022); donde la avena puede ser afectada por la influencia del riego.

Basado en la variable PF, se identificaron siete grupos de significancia (ABCDEFG). Los pesos más altos pertenecieron al grupo A, que incluye los genotipos 1, 4, 5 y 11, con rangos entre 17.03 y 20.95  $\text{tha}^{-1}$ , destacando el genotipo 1 (línea experimental de cebada, CANI-9), con un valor de 47.70  $\text{tha}^{-1}$ , seguido del genotipo 11 (testigo de cebada, Gabyan-95) con un rendimiento de 17.61  $\text{tha}^{-1}$ , según el Cuadro 4.3.

Por lo contrario, como lo muestra el mismo Cuadro 4.3, en el grupo B se conformó por los genotipos 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11 y 13, con pesos desde 14.30 hasta 17.61  $\text{tha}^{-1}$ , siendo el más alto el genotipo 11 (testigo de cebada, Gabyan-95). Los pesos más bajos se registraron en el grupo G, siendo el genotipo 12, correspondiente al testigo Esperanza con un peso fersco de 5.93  $\text{tha}^{-1}$ .

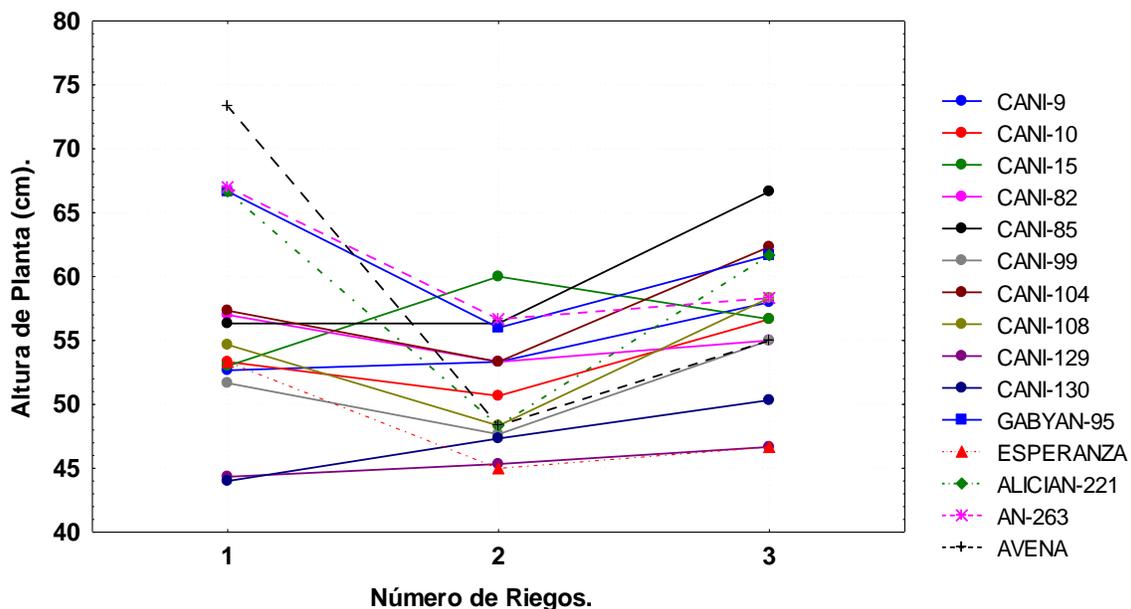
No obstante, en la variable PS, se encontraron tres grupos de significancia (ABC), donde los valores más altos correspondieron al grupo A, que incluye los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13 y 14, con pesos entre 3.03 y 3.80  $\text{tha}^{-1}$ , sobresaliendo el genotipo 2 (línea experimental de la cebada, CANI-10), con 3.30  $\text{tha}^{-1}$ ; cabe señalar que en este grupo los genotipos usados como testigo Gabyan-95, Alician-221 y la línea experimental de trigo AN-263, fomaron parte, con pesos intermedios y bajos en la misma variable, como se muestra en el Cuadro 4.3.

De igual manera, en el mismo Cuadro 4.3, se señala que en el grupo B se encontraron los genotipos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14, con Pesos Secos que oscilaron entre 2.92 y 3.46  $\text{tha}^{-1}$ , siendo el más alto el genotipo 5 (línea experimental de cebada, CANI-85), con un valor de 3.46  $\text{tha}^{-1}$ .

En cuanto a los valores más bajos observados en el grupo C, formado por los genotipos 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, obtuvieron rendimientos desde 2.56 hasta 3.39  $\text{tha}^{-1}$ , destacando entre ellos con el valor más bajo, el genotipo 15 (testigo de avena, Cuauhtémoc) con un peso promedio de 2.56  $\text{tha}^{-1}$  (Cuadro 4.3).

## Interacción de Genotipos por Riegos

En la interacción mostrada en la Figura 4.1, en la variable Altura de Planta (AP) se se observó un efecto significativo con la aplicación de diferente número de riegos de auxilio, destacando al máximo número de riegos a los testigos Avena Cuauhtémoc, trigo AN-263 y las cebadas Gabyan-95 y Alician221, alcanzando la mayor altura (de 66.66 a 73.33 cm) con respecto al resto de los genotipos evaluados; seguidas las líneas experimentales de cebada CANI-104, CANI-82, CANI-85 y CANI-108, con valores que oscilaron entre 44.00 y 57.33 cm.



**Figura 4.1** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Altura de Planta (AP), (cm).

Con la aplicación de dos riegos auxiliares (Figura 4.1), se observó una disminución en los testigos descritos anteriormente, por dar un ejemplo, Avena que había tenido una AP de 73.33 cm con tres riegos de auxilio, bajó hasta 48.33 cm con dos riegos; teniendo el mismo comportamiento los testigos AN-263 pasando de 67.0 a 56.66 cm, y Gabyan-95 que de haber obtenido 66.66 cm bajó a 56.0 cm; en cambio,

existieron efectos positivos en las líneas experimentales, destacando el genotipo CANI-15 que aumento de 53.0 a 60 cm.

Sin embargo, el genotipo CANI-85 mostró un comportamiento estable de 56.33 cm, pero al ser sometido a un solo riego auxiliar logró obtener un incremento considerable pasando de 66.66 cm, como lo describe la Figura 4.1.

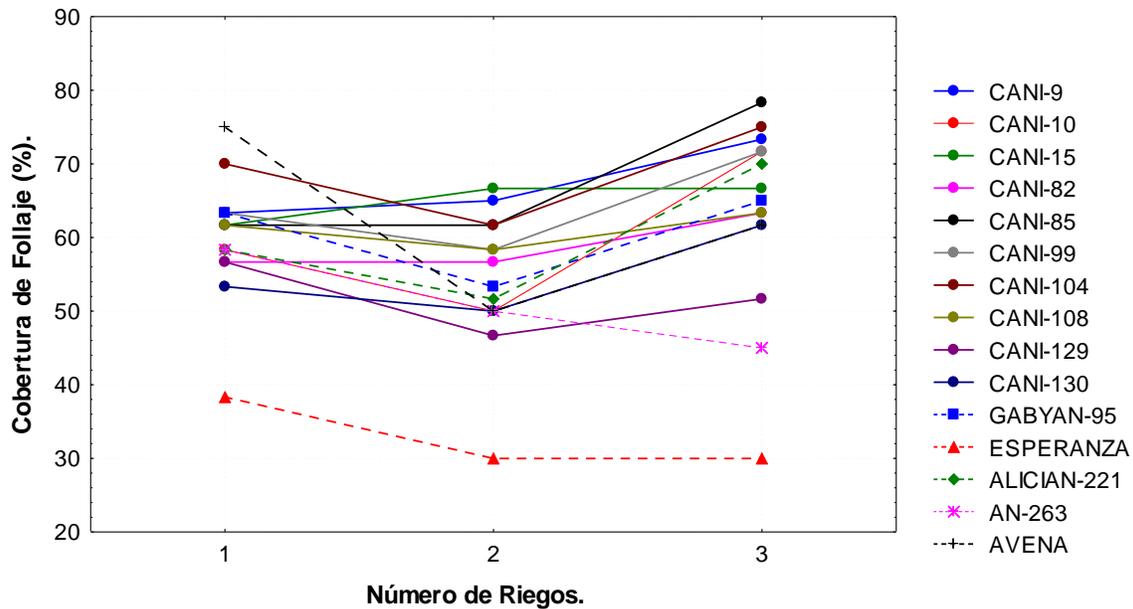
Para la aplicación más limitada a un riego auxiliar, se observó que las líneas experimentales de cebada mostraron comportamientos favorables al aumentar la Altura de la Planta; tal caso, el genotipo CANI-129 aumentó hasta 46 cm; seguido por CANI-104 a 62.33 cm. En cambio, CANI-15 presentó un desequilibrio notorio en los tres experimentos, con tres riegos obtuvo un valor bajo de 53 cm, al tener dos riegos llegó a 60 cm, pero a un solo riego volvió a descender hasta 56.66 cm.

Mientras que en Gabyan-95 nuestro testigo expresó una altura de 61.66 cm, de igual manera, Alician-221 con 61.66 cm, según se muestra en la Figura 4.1.

Por otro lado, la Figura 4.2 muestra la interacción de los genotipos con el número de riegos aplicados, en la variable Cobertura de Follaje (%). Teniendo con mayor cobertura el testigo avena Cuauhtémoc, desarrollando una COB de alrededor del 75%, seguido de CANI-104 con 70%, y las líneas experimentales CANI-9, CANI-99 y Gabyan-95 (testigo de cebada) con una cobertura de 63.33%.

Siendo que el resto de los genotipos se encontraron en un rango de Coberturas de Follaje de 53.33% a 61.66%. Sin embargo, el testigo de cebada Esperanza resultó con la cobertura más baja de 38.33%.

Con la aplicación de dos riegos auxiliares, el genotipo CANI-15 obtuvo un aumento en su Cobertura de Follaje hasta 66.66%, otro genotipo que destacó fue el CANI-9 con 65%; en cambio, el testigo avena Cuauhtémoc experimentó una disminución considerable en su COB, reduciéndose hasta un 50%; de igual forma, el genotipo CANI-99 disminuyó a 58.33%, así como, el testigo de cebada Esperanza que se afectó al grado de obtener un valor de 30%, siendo el más bajo de todos los genotipos evaluados, como se muestra en la Figura 4.2.



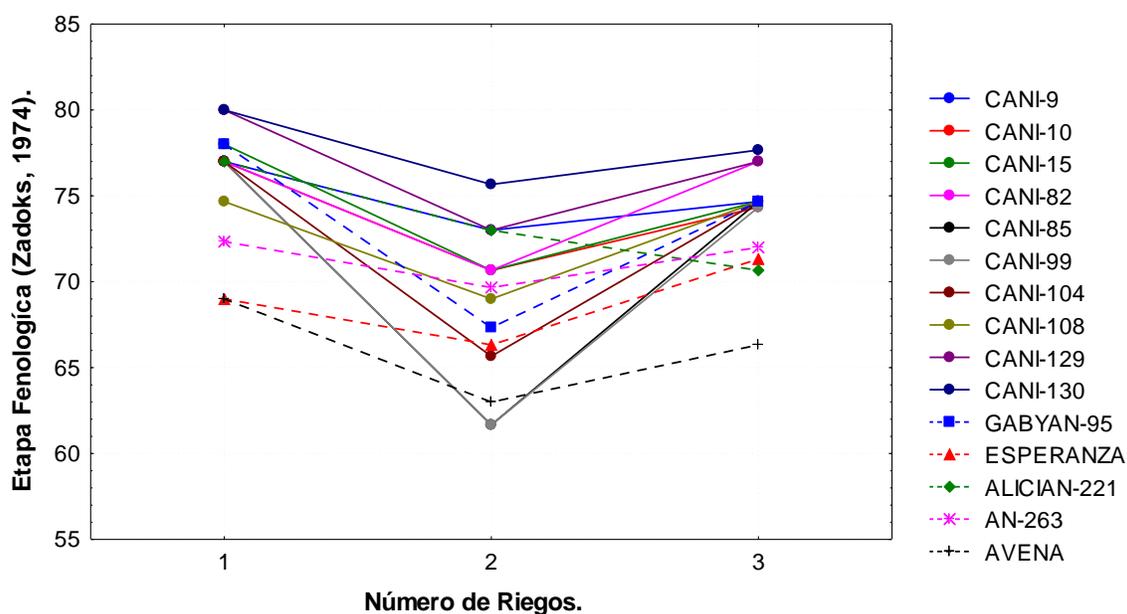
**Figura 4.2** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Cobertura de Follaje (COB), (%).

Los materiales genéticos al ser sometidos a un riego auxiliar, tuvieron comportamientos impredecibles, en el caso de CANI-85 aumentó a valor de 78.33 %, seguido de CANI-104 con 75%, reportando que fueron los de mayor Cobertura de Follaje.

El genotipo CANI-99 también mostró una respuesta favorable a un solo riego, al aumentar notablemente la Cobertura de Follaje, teniendo su mejor comportamiento hasta alcanzar el 71.66%. Inclusive, CANI-9 que incrementó su cobertura, logrando hasta el 73.33%. Cabe señalar que, avena Cuauhtémoc, por su naturaleza de desarrollo de follaje mostró valores entre 50 a 75%, teniendo a un solo riego una COB de 61.66%, como se describe en el Cuadro 4.2.

En contraste a estos resultados, el testigo Esperanza, obtuvo los valores más bajos de cobertura con 30%, era de esperarse ya que es un material genético de condiciones más húmedas, siendo una variedad de cebada maltera para condiciones de riego y considera un genotipo de ciclo tardío (Pérez, 2014).

En la interacción mostrada en la Figura 4.3, en la variable Etapa Fenológica (EF) se observó un efecto con la aplicación de tres riegos auxiliares a los 90 dds, expresando una avanzada etapa en las líneas experimentales de cebada, CANI-129 y CANI-130, con un valor de 80 según la escala de Zadoks (1974), grano masoso, y detrás de ellos, se encontraron los genotipos GABYAN-95 y CANI-15 en la etapa de 78 de la misma escala (grano lechoso avanzado); en cambio, el testigo de avena Cuauhtémoc presentó la etapa más tardía de 69 (antesis completa), reflejado en la misma Figura.



**Figura 4.3** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Etapa Fenológica (EF).

Además, en el caso de testigo de trigo AN-263, era de esperarse por el tipo de especie, que es más tardío que la cebada; sin embargo, logró acelerarse más que otros genotipos como avena Cuauhtémoc y cebada Esperanza y CANI99, esta respuesta coincide con el estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2021); quienes examinaron el comportamiento fenológico del trigo en parcelas con tres niveles de riego: secano, riego moderado y riego completo, encontrando que a riego completo existe aceleración en el desarrollo fenológico, reduciendo la duración de etapas

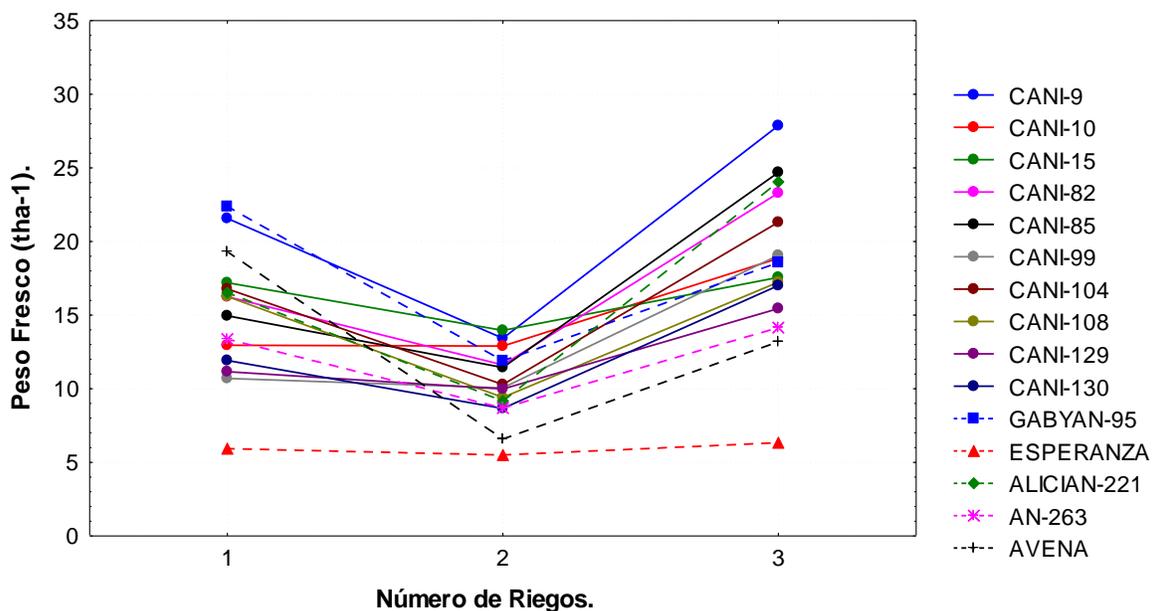
vegetativas y reproductivas, comparadas con secano y riego moderado, así como mayor cobertura de planta en las parcelas con riego completo, concluyendo que hay una influencia positiva del agua en el crecimiento y desarrollo de trigo.

Para la aplicación de dos riegos auxiliares, se encontró una respuesta variada entre los genotipos, incluyendo líneas experimentales de cebada y testigos; donde el genotipo CANI-130, presentó una Etapa Fenológica de 75.66 escala de Zadooks (grano lechoso intermedio); mientras que los genotipos CANI-9, CANI-129, Alician-221, estuvieron en la misma EF de 73 (comienzo de grano lechoso), señalado en la Figura 4.3, valores tomados a los 90 dds.

En cuanto a la aplicación más limitada, de un solo riego auxiliar, se tuvieron diferentes comportamientos, destacando el genotipo CANI-130, quien aceleró su desarrollo hasta obtener una etapa de 77.66 en estado de grano lechoso avanzado, siguiendo un estado precoz para los 90 dds (Figura 4.3).

En contraste, el testigo avena Cuauhtémoc resultó ser el más tardío al presentar la EF de 66.33 a los 90 dds, en el estado de antesis a mitad de camino.

Con respecto a la variable Peso Fresco (PF), al aplicar tres riegos la mayoría de los genotipos evaluados obtuvieron rendimientos por arriba de  $10.70 \text{ tha}^{-1}$ , destacando Gabyan-95, CANI-9 y Avena Cuauhtémoc con valores desde 19.31 hasta  $22.34 \text{ tha}^{-1}$ . Mientras que el rendimiento más bajo fue el testigo Esperanza con  $5.94 \text{ tha}^{-1}$  (Figura 4.4).



**Figura 4.4** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Peso Fresco (PF), ( $tha^{-1}$ ).

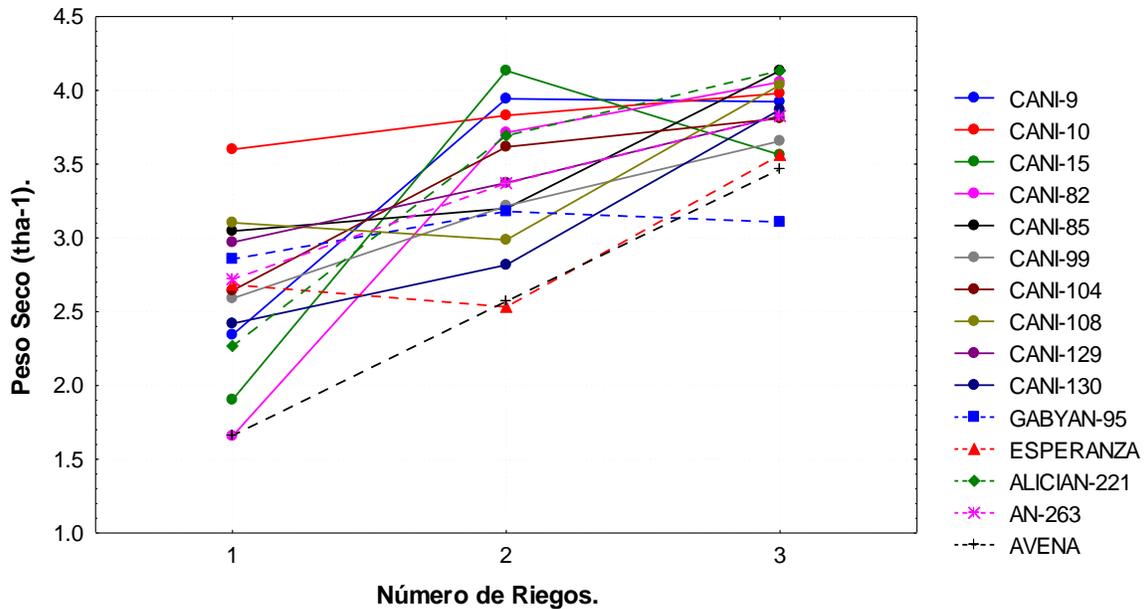
En el caso de aplicar dos riegos auxiliares, existió una variabilidad significativa en los rendimientos obtenidos; donde sobresalieron las líneas experimentales de cebada CANI-15, CANI-9 y CANI-10, donde el mayor rendimiento fue de CANI-15 con un peso de  $13.96\ tha^{-1}$ , seguido CANI-9 y CANI-10 con los valores de  $13.43$  y  $12.89\ tha^{-1}$ , respectivamente. El testigo de cebada Esperanza nuevamente tuvo el más bajo rendimiento de  $6.59\ tha^{-1}$ , como se describe en la Figura 4.4.

En contraposición, los resultados obtenidos a un solo riego de auxilio, se esperaba una aplicación menos efectiva; sin embargo, presentaron rendimientos más altos que a tres riegos de auxilio, siendo desde  $13.19$  hasta  $27.86\ tha^{-1}$ , (Figura 4.4).

La línea experimental de cebada, CANI-9 resultó con el mayor rendimiento fresco de  $27.86\ tha^{-1}$ , seguido de CANI-85 con  $24.69\ tha^{-1}$ ; mientras que el testigo de cebada, Esperanza llegó a tan solo  $2.53\ tha^{-1}$ , siendo el más bajo de los genotipos evaluados.

En la Figura 4.5 se puede observar la interacción número de riegos por genotipos, en la variable de rendimiento de Peso Seco (PS), evidenciando un efecto positivo al

aplicar tres riegos adicionales, demostrando que los genotipos CANI-10, CANI-85 y CANI-108, presentaron los mayores rendimientos desde 3.04 hasta 3.60  $\text{tha}^{-1}$ , sobresaliendo CANI-10; en cambio, el testigo de avena, Cuauhtémoc, reflejó el rendimiento más bajo de 1.60  $\text{tha}^{-1}$ .



**Figura 4.5** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Peso Seco (PS), ( $\text{tha}^{-1}$ ).

En cuanto a la aplicación de dos riegos auxiliares, se encontró que los materiales genéticos CANI-15, CANI-9 y CANI-10 nuevamente obtuvieron los rendimientos de peso seco más altos desde 2.53 hasta 4.13  $\text{tha}^{-1}$ , donde el genotipo que sobresalió CANI-15 con el mayor valor; seguido de CANI-9 (3.94  $\text{tha}^{-1}$ ) y luego CANI-10 (3.83  $\text{tha}^{-1}$ ); así mismo, el valor más bajo de peso seco resultó el testigo Alician-221 con un rendimiento de 2.53  $\text{tha}^{-1}$ , como se muestra en la Figura 4.5.

En contraste, en el experimento de un solo riego, los resultados muestran una brecha significativa entre los rendimientos más altos y los más bajos, como se puede apreciar en la misma Figura 4.5; donde resultó menos efectivo para el testigo Gabyan-95 al obtener 3.10  $\text{tha}^{-1}$ ; mientras que la línea experimental de cebada

CANI-85 y el testigo Alician-221, presentaron un mismo rendimiento de  $4.13 \text{ tha}^{-1}$ , siendo el rendimiento más alto en comparación del resto de genotipos.

Dados estos resultados a lo largo de los experimentos de riego aplicados en el estudio, se logró confirmar que los genotipos pueden mostrar diferentes niveles de productividad o rendimiento, en condiciones de manejo similares, o llegar a obtener un mayor rendimiento debido a su adaptabilidad a ciertos ambientes y su capacidad para aprovechar eficientemente los recursos disponibles (Martínez *et al.*, 2021).

### **Variables con tecnología infrarroja**

Los resultados obtenidos del análisis de varianza revelaron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) en la fuente de variación RIEGO para las variables Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Contenido de Clorofila, CLOR 1 (Spectrum CM-1000) y CLOR 2 (SPAD 502), tal como se ilustra en el Cuadro 4.4.

En la variable Temperatura (TEMP), el análisis de varianza no demostró significancia, lo cual indica que los riegos aplicados en el estudio no afectaron la temperatura de dosel de los genotipos, resultados que difieren de García y Martínez (2020), quienes encontraron un impacto significativo en la temperatura foliar en cebada, trigo y avena, que a diferentes combinaciones de riego y variedades genéticas pueden influir en la capacidad de las plantas para regular su temperatura foliar, lo que puede afectar su crecimiento y rendimiento.

Por otro lado, al analizar la varianza en relación con la fuente de variación GENOTIPO (mismo Cuadro 4.4), se identificaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en las variables Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y Contenido de Clorofila (CLOR 2), mientras que las variables Temperatura (TEMP) y Contenido de Clorofila (CLOR 1) mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En cuanto a la fuente de variación REPETICIÓN se puede apreciar en el mismo Cuadro 4.4, que existe una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) en la variable NDVI, mientras que las variables TEMP, CLOR 1 y CLOR 2 presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Finalmente, el análisis de varianza de la interacción entre RIEGO\*GENO reflejó significancia ( $p < 0.05$ ) únicamente en la variable CLOR 2; en cambio, para las variables NDVI, TEMP y CLOR 1 no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 4.4).

**Cuadro 4.4** Cuadros medios y significancia del análisis de varianza de las variables de sensores inflarrosjos de los genotipos de cebada.

| <i>Fuente de variación</i>           | <i>gL</i> | <i>NDVI</i>     | <i>TEMP</i>       | <i>CLOR 1</i>      | <i>CLOR 2</i>     |
|--------------------------------------|-----------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| <i>Riego</i>                         | 2         | <b>0.136 **</b> | 32.430 <b>NS</b>  | <b>7491.918 **</b> | <b>156.240 **</b> |
| <i>Genotipo</i>                      | 14        | <b>0.025 **</b> | 376.207 *         | 105.550 *          | <b>407.610 **</b> |
| <i>Repetición</i>                    | 2         | <b>0.018 **</b> | 189.373 *         | 74.629 *           | 13.672 *          |
| <i>Riego*Geno</i>                    | 28        | 0.004 <b>NS</b> | 226.089 <b>NS</b> | 79.704 <b>NS</b>   | 17.153 *          |
| <i>Riego*Rep</i>                     | 4         | <b>0.015 **</b> | 198.164 <b>NS</b> | <b>1152.807 **</b> | 8.391 <b>NS</b>   |
| <i>Error Exp.</i>                    | 84        | 0.005           | 244.381           | 88.359             | 15.594            |
| <i>Medía</i>                         |           | 0.38            | 24.45             | 204.25             | 41.50             |
| <i>Coefficiente de Variación</i>     |           | 20.13           | 63.915            | 4.601              | 9.514             |
| <i>Coefficiente de determinación</i> |           | 0.62            | 0.38              | 0.75               | 0.83              |
| <i>Desviación estándar</i>           |           | ± 0.07          | ± 15.63           | ± 9.39             | ± 3.94            |

\*\* Altamente significativo; \* Significativo; NS = No Significativo; gl = Grados de Libertad; NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada; TEMP = Temperatura ; CLOROFILA 1 = Contenido de Clorofila (SPECTRUM); CLOROFILA 2= Contenido de Clorofila (SPAD).

En relación al análisis de varianza de la interacción entre RIEGO\*REP para las variables Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y Contenido de Clorofila (CLOR 1), existió una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ); sin embargo, no se detectó significancia para las variables Temperatura (TEMP) y Contenido de Clorofila (CLOR 2), como se indica en el Cuadro 4.4.

En la prueba de comparación de medias entre los riegos implementados, se identificaron tres grupos estadísticos en las variables NDVI y CLOR 1; al aplicar tres riegos de auxilio, se obtuvieron los mayores valores de 0.44 y 215.02 respectivamente, formando el grupo A, (Cuadro 4.5). En contraste, al aplicar únicamente un riego de auxilio se registró un NDVI de 0.33 y una CLOR 1 de 189.96, formando el grupo C.

No obstante, no se observaron diferencias significativas entre los tres riegos en lo que respecta a la variable TEMP, indicando un único grupo estadístico (A), con valores que oscilan entre 23.50 y 25.12°C, tal como se presenta en el Cuadro 4.5.

Por otro lado, se evidenciaron diferencias entre los tres riegos en relación con la variable de contenido de clorofila con CLOR 2, señalando dos grupos estadísticos; el grupo A, conformado por el dos y tres riegos de auxilio, obteniendo valores desde 42.49 hasta 42.66 (Cuadro 4.5). En contraste, al aplicar un solo riego de auxilio, formó el grupo B, registrando un valor más bajo con 39.35.

**Cuadro 4.5** Resultados de la prueba de comparación de medias de las variables de sensores inflarrosos entre número de riegos de los genotipos de cebada, en Navidad, N.L.

| Riego | NDVI   | Temperatura<br>(°C) | Clorofila<br>CLOR 1<br>(SPECTRUM) | CLOROFILA<br>CLOR 2<br>(SPAD) |
|-------|--------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1     | 0.44 a | 25.12 a             | 215.02 a                          | 42.66 a                       |
| 2     | 0.38 b | 24.76 a             | 207.80 b                          | 42.49 a                       |
| 3     | 0.33 c | 23.50 a             | 189.96 c                          | 39.35 b                       |

\*Medias con la misma literal forma el mismo grupo estadístico

Las pruebas de comparación de medias entre los genotipos, evaluados para la variable NDVI, mostraron cinco grupos de significancia (ABCDE), como se detalla en el Cuadro 4.6, donde los valores más elevados se encontraban en el grupo A, con los genotipos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13 y 15, presentando valores que oscilaron entre 0.38 y 0.45, en este grupo, destacó el genotipo 7 (línea experimental de cebada, CANI-104), con un valor de 0.45, cabe añadir que en este mismo grupo, se encontraron los testigos, Alician-221 con un índice de 0.42; mientras que Gabyan-95 y Avena Cuauhtémoc, comparten el mismo valor de 0.39.

El grupo B incluyó a los genotipos 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 13 y 15, con valores desde 0.36 hasta 0.42, registrando a el genotipo 3 (línea experimental de cebada, CANI-15) con el mayor índice de verdor de 0.42. Mientras que, los valores más bajos, los presentaron los genotipos 9, 10, 12 y 14, formando el grupo E con índices entre 0.28 y 0.35, siendo el genotipo 10 (línea experimental de cebada, CANI-130), quien presentó el más bajo índice de 0.28 (Cuadro 4.6).

Estos resultados de NDVI en el estudio, muestran el efecto negativo provocado por los diferentes riegos causando aceleración en el desarrollo y por ende bajos índices de verdor a esta etapa de 90 dds; efecto fue demostrado por López (2021), al estudiar la interacción entre el riego y los genotipos, el verse afectada la salud y vitalidad de las plantas de cebada, trigo y avena; además mencionaron que algunas combinaciones de riego y variedades genéticas pueden promover un mayor índice de verdor, lo que indica un mejor estado de las plantas y un mayor potencial de crecimiento, caso que se presentó en el genotipo 7 (línea experimental de cebada, CANI-104).

Respecto a la variable Temperatura, se identificaron dos grupos de significancia (A, B). En el grupo A, el genotipo 12 (testigo de cebada, Esperanza) registró la más alta temperatura de 47.70 °C (Cuadro 4.6). En el grupo B, se encontraron los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 y 15, con valores entre 21.16 °C y 23.65 °C, mostrando el genotipo 15 (testigo de avena, Cuauhtémoc) la Temperatura más baja (21.16°C), posiblemente debido al alto porcentaje de Cobertura de Follaje que obtuvo a los 90 dds.

En la variable CLOR 1 (Spectrum), se detectaron dos grupos de significancia (AB), con los valores más altos en el grupo A, formado por los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12 y 15, con valores de 204 a 211.55, destacando el genotipo 1 (línea experimental de cebada, CANI-9), por presentar el mayor contenido de clorofila. En el grupo B se ubicaron los genotipos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15, con contenidos que oscilaron entre 199.66 y 208.22, donde el genotipo 9 (línea experimental de cebada, CANI-129) presentó el valor más bajo con 199.66 (Cuadro 4.6).

Finalmente, para la variable de contenido de CLOR 2 con el SPAD, se identificaron cinco grupos de significancia (ABCDE), teniendo los valores más altos el grupo A, formado por los genotipos 11, 12 y 13 con respuestas desde 47.96 hasta 49.16, sobresaliendo el genotipo 13 (testigo de cebada, Alician221) con el mayor contenido (49.16 a los 90 dds), como lo muestra el Cuadro 4.6.

El grupo B fue conformado por los genotipos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10 con contenidos de clorofila entre 41.44 y 43.94 con el SPAD, alcanzando el genotipo 3 (línea experimental de cebada, CANI-15) el valor más alto. El valor más bajo se obtuvo en el grupo E, donde el genotipo 15 (testigo de avena, Cuauhtémoc) tuvo 20.67 Spad, como se ilustra en el Cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6** Prueba de medias de los Genotipos, evaluando datos de tecnología infrarrojo para determinar su comportamiento.

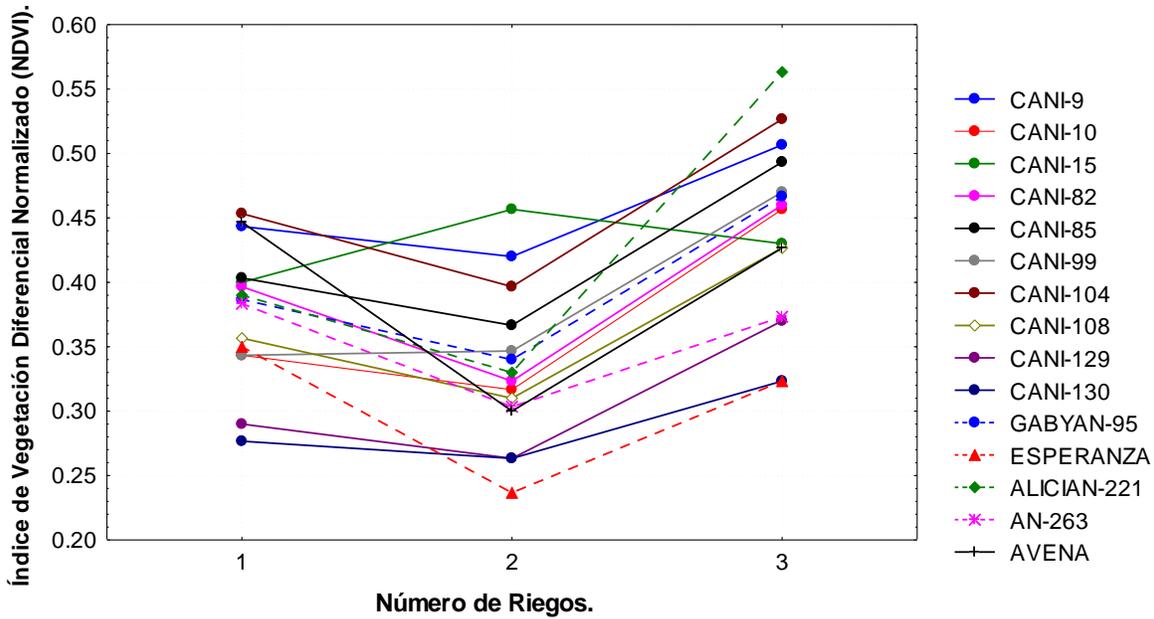
| Genotipo        | NDVI     | Temperatura | CLOROFILA | CLOROFILA |
|-----------------|----------|-------------|-----------|-----------|
|                 |          |             | CLOR 1    | CLOR 2    |
| 1. CANI-9       | 0.45 a   | 22.93 b     | 211.55 a  | 41.63 bc  |
| 2. CANI-10      | 0.37 bcd | 22.70 b     | 205.44 ab | 42.90 bc  |
| 3. CANI-15      | 0.42 ab  | 21,16 b     | 207.44 ab | 43.94 b   |
| 4. CANI-82      | 0.39 abc | 22.57 b     | 208.22 ab | 41.44 bc  |
| 5. CANI-85      | 0.42 abc | 21.75 b     | 204.55 ab | 41.54 bc  |
| 6. CANI-99      | 0.38 abc | 23.14 b     | 201.88 b  | 42.79 bc  |
| 7. CANI-104     | 0.45 a   | 23.30 b     | 206.66 ab | 41.89 bc  |
| 8. CANI-108     | 0.36 bcd | 22.32 b     | 204.00 ab | 41.60 bc  |
| 9. CANI-129     | 0.30 de  | 23.31 b     | 199.66 b  | 39.92 c   |
| 10 .CANI-130    | 0.28 e   | 23.50 b     | 200.22    | 42.53 bc  |
| 11. Gabyan-95   | 0.39 abc | 23.48 b     | 200.33 b  | 47.96 a   |
| 12. Esperanza   | 0.30 de  | 47.70 a     | 205.44 ab | 48.79 a   |
| 13. Alician-221 | 0.42 ab  | 23.65 b     | 201.88 b  | 49.16 a   |
| 14. AN-263      | 0.35 cde | 22.78 b     | 201.00 b  | 35.72 d   |
| 15. Avena       | 0.39 abc | 22.53 b     | 205.55 ab | 20.67 e   |

\*Medias con la misma literal forma el mismo grupo estadístico

### Interacción de Genotipos por Riegos

La interacción entre el número de riegos por los genotipos en la variable Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI); como se aprecia en la Figura 4.6, la línea experimental cebada, CANI-104 al aplicar tres riegos auxiliares obtuvo el mayor verdor con 0.453, y descendió al someterlo a dos riegos auxiliares dando hasta 0.396; pero al aplicar un riego auxiliar, nuevamente aumento su índice hasta un valor de 0.526.

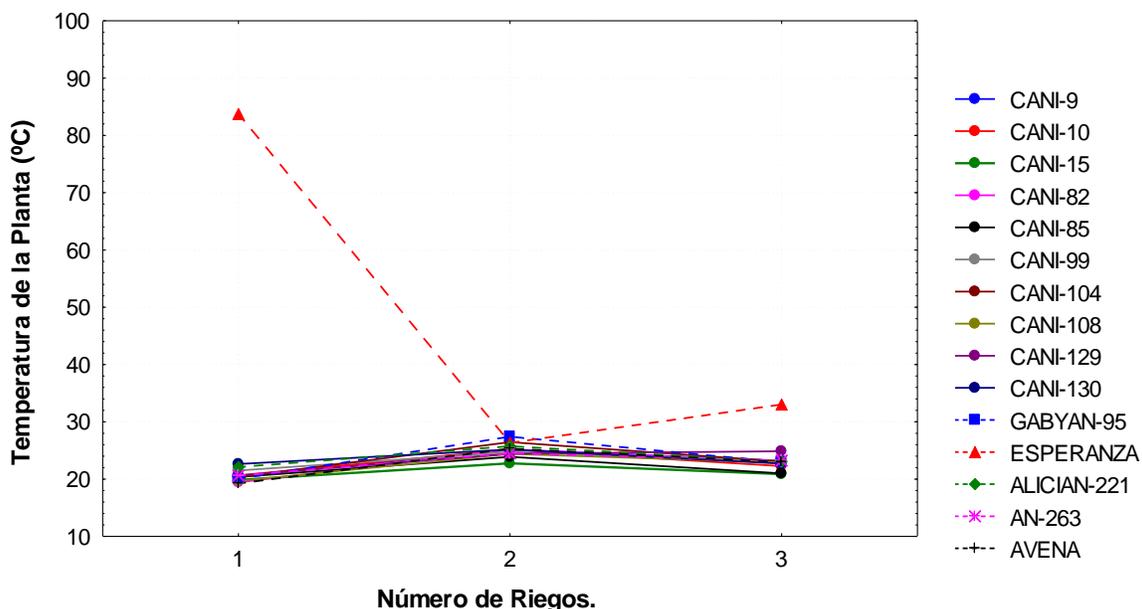
Lo mismo ocurrió en los genotipos CANI-9 y CANI-85, quienes disminuyeron a la aplicación de dos riegos auxiliares con 0.420 y 0.396, cada uno; y un solo riego auxiliar aumentaron sus índices a 0.506 y 0.493 respectivamente, como se muestra en la Figura 4.6.



**Figura 4.6** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI).

Cabe resaltar que, en la aplicación de dos riegos auxiliares, el genotipo CANI-15 mostró un comportamiento favorable con un verdor de 0.456, siendo el más alto de este tratamiento. Por otro lado, en la aplicación de un solo riego, el testigo de cebada Alician-221 mostró también una respuesta favorable en el índice de verdor con 0.563.

En la interacción Riegos con Temperatura de la Planta (TEMP), existió un efecto muy evidente en los genotipos evaluados a 90 dds, al aplicar tres riegos auxiliares el testigo de cebada Esperanza, mostró una temperatura por encima del resto de los genotipos con 83.73°C. Por otro lado el resto de los genotipos presentaron una respuesta favorable en un rango de TEMP desde 19.26°C hasta 22.63°C (Figura 4.7).

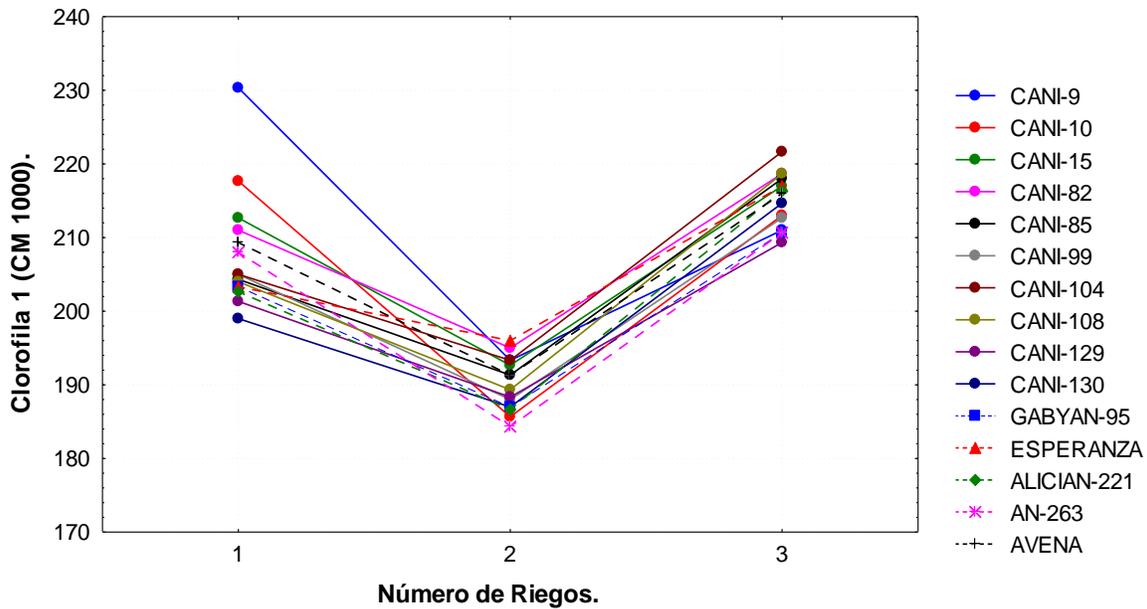


**Figura 4.7** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Temperatura de la planta (°C).

En la respuesta de los materiales genéticos al aplicar dos riegos auxiliares mostraron Temperaturas similares, que van desde 22.76 °C hasta 27.43°C. Teniendo la TEMP más alta el testigo de cebada Gabyan-95, con 27.43°C, seguido de la línea experimental de cebada CANI-104, con una respuesta de 26.46°C. En cambio, el genotipo CANI-15, obtuvo la TEMP más baja con 22.76°C (Figura 4.7).

Por su parte al aplicar un solo riego auxiliar, el testigo Esperanza, se mantuvo expresando una Temperatura superior con 33.03°C, en comparación del resto de los genotipos que registraron un rango de TEMP desde 20.86 hasta 24.86, como se puede apreciar en la Figura 4.7.

Con respecto a la interacción número de Riegos por genotipos en la variable Contenido de Clorofila (CLOR 1), existió un efecto positivo en cuanto a la aplicación de tres riegos auxiliares, sobresaliendo la línea de cebada CANI-9, con el valor más alto de 230.33; mientras que, la respuesta del resto de los genotipos fue similar con valores desde 199.00 hasta 217.66, como se muestra en la Figura 4.8.

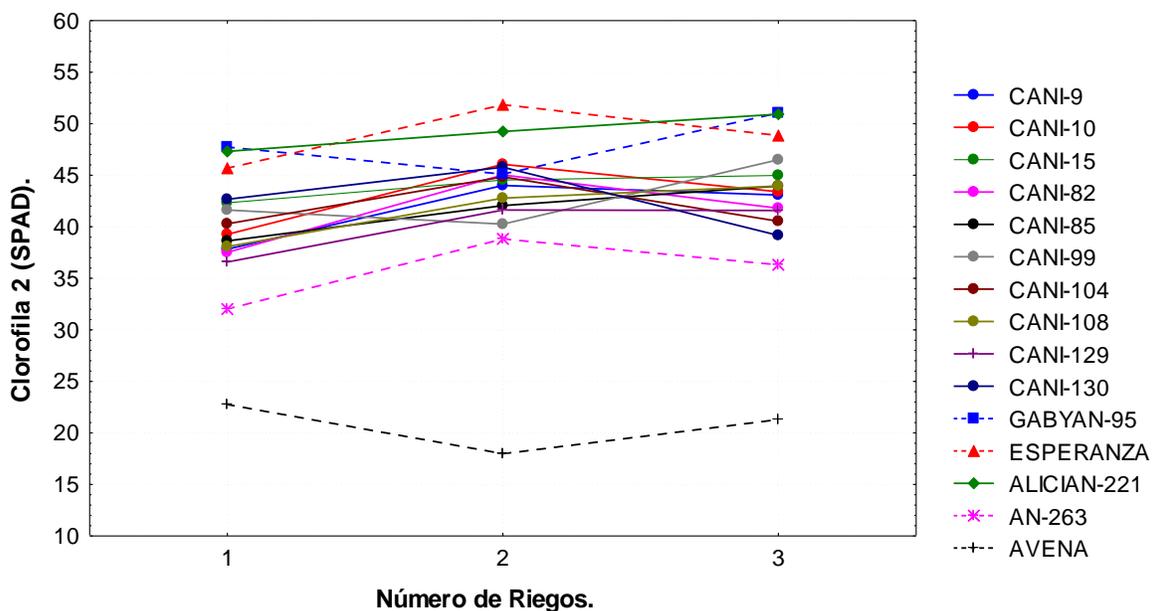


**Figura 4.8** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Clorofila 1 (CM 1000).

En cuanto a la aplicación de dos riegos auxiliares, fue el tratamiento que generó una respuesta más negativa en esta variable. Sin embargo, el testigo Esperanza destacó con el valor más alto para este tratamiento (196.00 con el Spectrum CM 1000); mientras que el testigo de trigo AN-263, fue el caso contrario, al presentar el valor más bajo de 184.33, como se puede apreciar en la Figura 4.8.

En contraste a lo anterior, al aplicar un riego auxiliar se tuvieron respuestas más favorables en los Contenidos de Clorofila (CLOR 1), presentando rangos desde 209.33 hasta 221.66, sobresaliendo la línea experimental CANI-104, con mayor contenido de clorofila de 221.66; en cambio, el genotipo CANI-129 presentó una respuesta negativa con un valor más bajo de 209.33 con el instrumento Spectrum CM 1000, comportamiento descrito en la misma Figura 4.8

Algo semejante ocurrió con la variable Contenido de Clorofila (CLOR 2), al aplicar tres riegos auxiliares, los testigos Gabyan-95 y Alician-221 mostraron una respuesta con los valores más altos de 47.73 y 47.32 Spad, respectivamente. Por otro lado, el comportamiento del testigo avena Cuauhtémoc reflejó un contenido de clorofila bajo de 22.75, como se observa en la Figura 4.9.



**Figura 4.9** Comportamiento de la interacción de genotipos con riegos en la variable Clorofila 2 (SPAD 502).

Así mismo, en la aplicación de dos riegos auxiliares se observó un efecto favorable en esta variable, sobresaliendo el testigo de cebada Esperanza, con valores superiores con respecto al resto de los tratamientos con un contenido de clorofila de 51.84 Spad. En cambio, el genotipo testigo de avena Cuauhtémoc, tuvo una respuesta negativa con un valor de 17.98, misma Figura 4.9.

Por último al someter a los materiales genéticos a un riego auxiliar, expresaron una respuesta significativa, destacando el testigo Gabyan-95 con un valor de 51.04 Spad a los 90 dds, estando por encima del resto de los genotipos. Mientras que, el testigo avena Cuauhtémoc, permaneció con los valores más bajos en todo el estudio, con 21.29 Spad, como se muestra en la Figura 4.9.

### Correlaciones entre variables

Después de haber obtenido los promedios a través de los tres experimentos de riego, se obtuvieron los coeficientes de correlación entre pares de variables del primer experimento, un riego de siembra con tres de auxilio, descritos en el siguiente Cuadro 4.7.

El análisis de correlación en este primer experimento indicó que la variable AP tuvo una asociación positiva con el NDVI y PF de 0.65 y 0.50, respectivamente; reflejando que en los primeros 90 días después de la siembra, los genotipos evaluados con tres riegos de auxilio aumentan la altura en la planta e incrementan el índice de verdor y acumulación de biomasa en la misma; en cambio, al llegar a desarrollar mayor altura de la planta, se presentan etapas fenológicas tardías a estos mismo días, por tener una asociación negativa con la EF de -0.55 (mismo Cuadro 4.7).

En el mismo análisis indicó que la variable COB, también tuvo una relación positiva con NDVI y PF (0.59 y 0.71), siendo que al desarrollar mayor cobertura de follaje en la planta, se tendrá mayor índice de verdor y por ende mayor peso fresco en la misma.

Con base en investigaciones sobre la cobertura del follaje, García *et al.*, (2020) indican que la cobertura de follaje puede ser afectada por el régimen de riego aplicado, por lo que un adecuado suministro de agua, desarrolla mayor follaje, teniendo una cobertura más densa y una mayor captación de luz solar, mismos resultados que concuerdan con los del estudio realizado.

Sin embargo, esta variable (COB), tuvo una asociación negativa con TEMP y CLOR 2 de -0.76 y -0.50, respectivamente; era de esperarse que al tener mayor follaje, se presentará menor temperatura en la planta, y por ende mayor contenido de clorofila, pero cabe aclarar que, la variable CLOR 2 fue medida en la hoja bandera de cada planta, siendo no representativo el contenido de todo el follaje, ya que se encuentra en la parte superior y más expuesta a la radiación.

Estos resultados coinciden con el reporte de Orozco (2019), donde la altura de la planta de cebada mostró una correlación positiva con NDVI y el contenido de clorofila, debido a una buena fertilización nitrogenada favoreciendo el color verde en las plantas.

**Cuadro 4.7** Correlaciones y significancia en el Experimento uno (un riego de siembra y tres de auxilio).

|        | AP     | COB    | EF       | NDVI    | TEMP     | CLOR 1  | CLOR 2   | PF       | PS      |
|--------|--------|--------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|
| AP     | 1.0000 | 0.4438 | -0.5508* | 0.6540* | -0.1340  | 0.0192  | -0.3170  | 0.5030*  | -0.2930 |
| COB    |        | 1.0000 | 0.0844   | 0.5976* | -0.7613* | 0.2247  | -0.5006* | 0.7165*  | -0.2182 |
| EF     |        |        | 1.0000   | -0.3491 | -0.5492* | -0.0375 | 0.4480   | 0.1650   | 0.1821  |
| NDVI   |        |        |          | 1.0000  | -0.1781  | 0.4652  | -0.2997  | 0.6851*  | -0.4367 |
| TEMP   |        |        |          |         | 1.0000   | -0.1746 | 0.3079   | -0.6123* | 0.0743  |
| CLOR 1 |        |        |          |         |          | 1.0000  | -0.2513  | 0.4254   | -0.1348 |
| CLOR 2 |        |        |          |         |          |         | 1.0000   | -0.1536  | 0.2582  |
| PF     |        |        |          |         |          |         |          | 1.0000   | -0.3096 |
| PS     |        |        |          |         |          |         |          |          | 1.0000  |

Valores resaltados en rojo y asterisco son significativos al 95% AP=Altura de Planta Completa, COB=Cobertura de Follaje, EF=Etapa Fenológica, NDVI=Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, TEMP=Temperatura, CLOR 1=Contenido de Clorofila (SPECTRUM), CLOR 2=Contenido de Clorofila (SPAD), PF=Peso Fresco de Forraje y PS= Peso Seco de Follaje.

Con respecto a la variable EF en los tres riegos auxiliares, se encontró una relación negativa con la TEMP de -0.54, debido a que conforme a la planta se desarrolla, puede llegar a disminuir la temperatura de dosel por la cantidad de follaje que forma.

En la variable NDVI con tres riegos auxiliares, mostró una asociación positiva con la variable PF con 0.68, esto debido a que al presentar un índice de verdor durante su desarrollo aumenta el rendimiento, reflejado en el peso de materia fresca.

Lo que reafirma, lo descrito por García *et al.*, (2020), la interacción del número de riegos afecta directamente a la cobertura y desarrollo de follaje, siendo más densa y con captación de luz, mejorando la acumulación de clorofila.

De modo similar pasa con la variable Temperatura de dosel la cual se asocia con el Peso Fresco (-0.61), quien se comportó de manera negativa, era de esperar que los materias evaluados, entre más forraje fresco presentarán, obtuvieron valores bajos de temperatura, como se aprecia en el Cuadro 4.7.

Debido a que existe un impacto significativo por el número de riegos en la temperatura, pues influye positiva o negativamente en la capacidad de la planta en regular su temperatura foliar, dato reportado por García y Martínez (2020), en genotipos de cebada, trigo y avena.

En el análisis de correlación entre las variables en el experimento 2, de un riego de siembra con dos riegos auxiliares, se encontró que la AP mostró una relación positiva con las variables de COB, PF y PS, con 0.63, 0.65 y 0.56, respectivamente (Cuadro 4.8). Al aplicar estos dos riegos de auxilio, los genotipos logran incrementar su altura a los 90 dds, y en respuesta dar un mayor rendimiento al aumentar el PF y PS.

**Cuadro 4.8** Correlaciones y significancia en el Experimento dos (un riego de siembra y dos de auxilio).

|        | AP     | COB     | EF      | NDVI    | TEMP    | CLOR 1  | CLOR 2  | PF      | PS      |
|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| AP     | 1.0000 | 0.6385* | -0.0850 | -0.0320 | -0.2613 | 0.0478  | 0.0248  | 0.6541* | 0.5624* |
| COB    |        | 1.0000  | -0.0534 | -0.1131 | -0.4159 | 0.0718  | -0.0989 | 0.7438* | 0.6246* |
| EF     |        |         | 1.0000  | 0.1218  | -0.0727 | -0.2296 | 0.4187  | 0.2265  | 0.3844  |
| NDVI   |        |         |         | 1.0000  | 0.0103  | -0.3270 | 0.1247  | 0.3164  | 0.2852  |
| TEMP   |        |         |         |         | 1.0000  | 0.0183  | 0.1650  | -0.3068 | -0.3016 |
| CLOR 1 |        |         |         |         |         | 1.0000  | 0.0653  | -0.0176 | -0.0083 |
| CLOR 2 |        |         |         |         |         |         | 1.0000  | 0.2693  | 0.3427  |
| PF     |        |         |         |         |         |         |         | 1.0000  | 0.8403* |
| PS     |        |         |         |         |         |         |         |         | 1.0000  |

Valores resaltados en rojo y asterisco son significativos al 95% AP=Altura de Planta Completa, COB=Cobertura de Follaje, EF=Etapa Fenológica, NDVI=Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, TEMP=Temperatura, CLOR 1=Contenido de Clorofila (SPECTRUM), CLOR 2=Contenido de Clorofila (SPAD), PF=Peso Fresco de Forraje y PS= Peso Seco de Follaje.

Así mismo, en la variable COB, también reflejó una asociación positiva con PF y PS, 0.74 y 0.62, era de esperarse ya que al tener un mayor recubrimiento de suelo por el aumento de follaje a los 90 dds, exista mayor producción de materia fresca y seca en estos materiales genéticos. Inclusive, el análisis de correlación indicó que estas dos variables (PF y PS), tienen una relación positiva de 0.84, lo que muestra que son estrechamente proporcionales.

Como se muestra en el Cuadro 4.9, los resultados del análisis de correlación en el experimento, un riego de siembra con uno de auxilio, describe que la variable AP, mostró una correlación positiva y significativa con las variables COB, NDVI y PF, con 0.69, 0.77, 0.64, cada una; demostrando una respuesta favorable de los genotipos a esta condición, al aumentar la altura de la planta, aumenta tanto el índice de verdor como la cobertura del follaje y reflejándose en la acumulación de materia fresca, dato registrado a los 90 dds. Inclusive, esta variable (AP) resultó con una relación negativa con TEMP (-0.62), demostrando que conforme la planta se desarrolló, existió incremento en la producción de follaje y por ende llegó a registrar bajas temperaturas del dosel en genotipos estudiados.

De la misma forma, la variable COB, mostró una correlación negativa y significativa con la variable TEMP con -0.80 (Cuadro 4.9), pero se asoció de forma positiva con NDVI (0.79) y PF (0.84); confirma el comportamiento de estos genotipos en esta condición tan severa de estrés hídrico. Así como, concuerda con lo encontrado por Orozco (2019), que menciona una correlación negativa entre la altura de planta, el NDVI, la cobertura y el contenido de clorofila, entre más alta sea esta, mayor NDVI, contenido de clorofila y cobertura, pero tendrá menor temperatura, sugiriendo que la capacidad de enfriamiento se relaciona con la morfología y el verdor de las plantas en diferentes genotipos de cereales de grano pequeño.

**Cuadro 4.9** Correlaciones y significancia en el Experimento tres (un riego de siembra y uno de auxilio).

|        | AP    | COB    | EF     | NDVI    | TEMP     | CLOR 1 | CLOR 2 | PF      | PS     |
|--------|-------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|---------|--------|
| AP     | 1.000 | 0.695* | -0.105 | 0.771 * | -0.620*  | 0.284  | 0.139  | 0.649*  | 0.185  |
| COB    |       | 1.000  | 0.213  | 0.794 * | -0.800 * | 0.205  | 0.061  | 0.840*  | 0.285  |
| EF     |       |        | 1.000  | -0.100  | -0.222   | -0.087 | 0.428  | 0.348   | 0.262  |
| NDVI   |       |        |        | 1.000   | -0.492*  | 0.246  | 0.229  | 0.796*  | 0.241  |
| TEMP   |       |        |        |         | 1.000    | -0.007 | 0.193  | -0.652* | -0.231 |
| CLOR 1 |       |        |        |         |          | 1.000  | -0.043 | 0.084   | 0.292  |
| CLOR 2 |       |        |        |         |          |        | 1.000  | 0.227   | 0.054  |
| PF     |       |        |        |         |          |        |        | 1.000   | 0.495* |
| PS     |       |        |        |         |          |        |        |         | 1.000  |

Valores resaltados en rojo y asterisco son significativos al 95% AP=Altura de Planta Completa, COB=Cobertura de Follaje, EF=Etapa Fenológica, NDVI=Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado, TEMP=Temperatura, CLOR 1=Contenido de Clorofila (SPECTRUM), CLOR 2=Contenido de Clorofila (SPAD), PF=Peso Fresco de Forraje y PS= Peso Seco de Follaje.

En el caso de la variable el NDVI reflejó una correlación negativa con TEMP (-0.49). Sin embargo, reafirmó la asociación positiva con PF de 0.79; por lo cual, nuevamente se confirma el comportamiento destacado de los materiales en esta condición de estrés hídrico, logrando producir valores altos de materia fresca.

Estos resultados, refuerzan lo descrito por López (2021), en la interacción entre la cantidad de riegos y genotipos de cebada, trigo y avena, se vieron afectados en la salud y vitalidad de las plantas, al encontrar que el índice de verdor favorece la reducción de la temperatura y aumenta la producción de materia fresca, lo que indica un mejor estado de las plantas y un mayor potencial de crecimiento.

## CONCLUSIONES

En base a los datos estudiados, analizados y obtenidos en el presente estudio, así como el considerar los objetivos e hipótesis planteados se concluye que:

Los cereales de grano pequeño estudiados al ser producidos bajo un estrés hídrico, por diferente número de riegos auxiliares, presentan diferente comportamiento agronómico tanto en variables convencionales como con tecnología infrarroja.

Los materiales genéticos estudiados a un riego de siembra y tres de auxilio presentan efectos positivos en las variables agronómicas de EF y PF, así como de tecnología infrarroja en NDVI y TEMP, destacando las líneas experimentales de cebada CANI-9, CANI-15, CANI-104 (Figura 5.2), en PF, NDVI y TEMP; mientras que CANI-129 y CANI-130, sobresalieron por ser más precoces. Pero, el testigo avena (Figura 5.4), logró tener una mejor respuesta en todas estas variables en este ambiente semiárido con el número de riegos tradicionales.

Los materiales genéticos evaluados al ser producidos con un riego de siembra y dos de auxilio, tuvieron una respuesta de adaptación al encontrar en su desarrollo fisiológico con una COB (Figura 5.1) y rendimiento en PF y PS, destacando los genotipos CANI-9, CANI-10 y CANI-15 (Figura 5.2), teniendo la mayor capacidad de adaptarse a regiones de poca precipitación o escasas de agua al reducir el número de riegos.

Inclusive, las líneas experimentales de cebada en CANI-9, CANI-85 y CANI-104 (Figura 5.2), y el testigo Alician-221 (Figura 5.6) logran presentar mayores valores en las variables agronómicas de COB y PF, así como, de infrarrojo en NDVI y TEP, en condiciones de estrés hídrica muy severas con solo el riego de siembra y uno de auxilio.

Existe una relación positiva en las variables agronómicas convencionales COB, EF, PF y PS, así como las de tecnología infrarroja NDVI y TEMP, siendo una herramienta efectiva en la evaluación de adaptación, estabilidad y selección de materiales genéticos de cereales de grano pequeño producidos bajo estrés hídrico.

## LITERATURA CITADA

- Adame L. y Cubero B. 2024. Estrés hídrico y sus principales causas en México. HR Rantings Credit Rating Agency. Sustainable Impact. 11 p.
- Aguinaga, A. A. (2019). *Mapeo de QTLs asociados a caracteres de calidad industrial con déficit hídrico en cebada cervecera* [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- Arriaga, C. L., Espinoza-Rodríguez, J. M., Aguilar-Zuñiga, C., Martínez-Romero, E., Gómez-Mendoza, L. y Loa, L. E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 611 pp.
- Avila, M. J. A., Avila, S. J. M., Rivas, S. F. J. y Martinez, H. D. 2014. El cultivo del trigo. Sistemas de producción en el Noroeste de México. Universidad de Sonora. 104 pp.
- Barallat, P. P. 2020. *Estudio técnico: teledetección aplicada en 6.43 ha de cereales de secano en Collado de Contreras (Ávila) y Yanguas de Eresma (Segovia)*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Bastida, C. O. A. 2023. Clima, suelo y agua para la producción del cultivo de la cebada. <https://blogagricultura.com/clima-suelo-cebada/>. Consultado del 5 de mayo del 2024.
- Bertsch, G. 2019. Cereales alternativos en alimentación animal. Veterinaria digital. Panamá. Consultado el 25 de mayo del 2024.
- <https://www.veterinariadigital.com/articulos/cereales-alternativos-en-alimentacion-animal/#:~:text=La%20cebada%20es%20uno%20de,energ%C3%ADa%20metabolizable%20para%20los%20rumiantes.>

- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Res.* 112 (2-3): 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
- Bonner, J. y Galston, W. A. 1981. *Principios de fisiología vegetal*. Ed. AGUILAR, Madrid. 469: 325-337.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H. and Zechner, E. 2007. Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central European growing. *Field Crops Research.* 101 (3): 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.12.011>
- Carrillo-Hernandez, S., Velarde-Guillén, J., López-González, F and Arriaga-Jordán, C. M. 2023. Mixed small grain cereal silagers in the feeding of dairy cows in small scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 26 (3). <http://doi.org/10.56369/tsaes.4837>
- Castellanos-Reyes, M. A., Valdés-Carmenate, R., López-Gómez, A. y Guridi-Izquierdo, F. 2017. Mediciones de índice de verdor relacionadas con área foliar y productividad de híbrido de maíz. Universidad de Tolima-Colombia. 38(3).
- Chibane, N., Revila, T. P., Caicedo, V. M. y Ordás, L. B. 2018. Relación entre “Stay Green” y características agronómicas y fisiológicas en maíz. *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Actas de Horticultura* 80: 395-398. <http://hdl.handle.net/10261/175096>
- Cieza, R.I., Jara, C. W., Terrones, M. R., Figueroa, C. C. Y. y Valdera, C. A. 2020. Características agronómicas, componentes de producción y rendimiento de grano de híbridos de maíz (*Zea mays*). *Manglar. Revista de investigación científica. Universidad Nacional de Tumbes. Tumbes, Perú.* 17(3). <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.038>
- Cook, CW, and Box, TW. 1961. A comparison of the loop and point methods of analyzing vegetation. *Journal of Range Manage.* 14(1): 22-27. <http://dx.doi.org/10.2307/3894826>

- Espinoza-Montes, F., Nuñez-Rojas, W., Ortiz-Guizado, I. y Choque-Quispe, D. 2018. Producción de forraje y competencia interespecífica del cultivo asociado de avena (*Avena sativa*) con vicia (*Vicia sativa*) en condiciones de secano y gran altitud. Reviste de Investigaciones Veterinarias del Perú. 29 (4). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i4.15202>
- Fernández, A., Sánchez, J., y Ruiz, P. 2023. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Crop Improvement. 15(2): 98-110.
- García, A., y Martínez, E. 2020. Interacción entre el riego y los genotipos en la temperatura foliar de cebada, trigo y avena. Journal of Agricultural Science. 18(2): 112-125.
- García, C., López, D., y Martínez, E. 2020. Influence of irrigation on leaf coverage in barley cultivation. Agricultural Water Management. 15(2): 112-125.
- García, M., López, S., y Martínez, P. 2022. Influencia del riego en la fenología y cobertura de planta de la avena. Revista de Agricultura Sostenible. 9(3): 102-115.
- García, P., Martínez, L., Rodríguez, A. and Fernández, J. 2021. Chlorophyll content and photosynthetic efficiency in barley under water stress conditions. Journal of Plant Physiology and Crop Science. 56(2): 145-158.
- García, P., Rodríguez, M., López, J. and Sánchez, L. 2023. Performance of stay-green barley genotypes under water scarcity conditions. Journal of Agricultural Science. 15(2): 234-250.
- González, F. G., Miralles, D. J. and Slafer, G. A. 2018. Wheat floret survival as related to pre-anthesis spike growth. Journal of Experimental Botany. 69(22):5431- 5439.
- Guerrero, G. A. 1999. Cultivos Herbáceos Extensivos. 6° Edición. Ediciones Mundi-Prensa. México. 143-190 pp.

- González, G. M., Zamora, D. M. R., Solano, H. S., Huerta, Z. R., Gómez, M. R. y Rojas, M.I. 2021. Mejoramiento genético de cebada en el INIFAP (1985-2020). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. México. No. 25: 15-20.
- <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2807/4542>
- Guo, P., Li, Z., Huang, P., Li, B., Fang, S., Chu, J., y Guo, H. 2018. Un sistema de triallic de locus S36 determina la variación natural en el tamaño del grano de trigo. *Nature Genetics*.50(7): 928-934.
- Harlan, J. R. 1971. Agricultural origins: Centers and noncenters. *Science*. 174(10): 468-474.
- Harris, J., y Smith, L. 2020. Evaluation of stay-green traits in wheat: Late leaf senescence and its impact on yield. *Agricultural Research Journal*. 58(4): 455-468.
- Hernández, H. E. 2008. *Descripción varietal de dos genotipos de cebada forrajera imberbe con propósito de registro*. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández, L. J. C. 2012. *Estudio del desarrollo radicular del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L. var. triunfo F2004) aplicando ácido salicílico vía foliar*. [Tesis de Maestría]. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. de México.
- IRTA. 2022. La sequía de los últimos meses podría afectar a la producción del cereal de invierno. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias.
- <https://www.irta.cat/es/la-sequera-dels-darrers-mesos-podria-afectar-la-produccio-del-cereal-dhivern/>
- Jones, M. A., Smith, L. T., y Brown, K. J. 2021. Evaluating the stay-green trait in barley for mitigating high temperature stress during grain maturation. *Journal of Crop Science*. 60(3): 456-467.

- Kipp, S., Mistele, B., y Baresel, P. 2019. Estimación no destructiva del contenido de clorofila de cebada, maíz, avena, triticale y trigo mediante espectroscopia VIS-NIR. *Computadoras y Electrónica en Agricultura*. 156: 469-479.
- López, M. 2021. Impacto del riego y los genotipos en el índice de verdor en cebada, trigo y avena. *Agricultural Water Management*. 10(3): 145-158.
- Martínez, G., García, C. and López, J. 2021. Yield variability among barley, wheat, and oat genotypes under similar management conditions. *Agricultural Production Research*. 18(1): 56-70.
- Melgoza, V. J. M. 2023. *Influencia de la densidad de siembra sobre el comportamiento productivo de la cebada ALICIAN-221 en el Valle de Navidad, Nuevo León, México*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Morrell, P. L. and Clegg, M. T. 2007. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(9): 3289-3294.
- Orozco, O. J. M. 2019. *Respuesta de variables agronómicas y tecnología de infrarrojos a la fertilización nitrogenada en dos cebadas forrajeras*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Otelo, R. O. A. 2020. Efecto de la fertilización nitrogenada en variables agronómicas de dos cebadas forrajeras en Navidad, N. L. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Palacios, V. J. C. 1999. *Plagas y enfermedades más importantes del cultivo de la avena (*Avena Fatua* L.)*. [Monografía]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Panorama Agroalimentario. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

<https://pubhtml5.com/vqdk/osny/Panorama-Agroalimentario-2020/186>

Panorama Agroalimentario. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

<https://drive.google.com/file/d/1CVdlyW9HdgB9c3luL5dxfVeTsvcB7N3M/view>

Panorama Agroalimentario. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://online.pubhtml5.com/aheiy/gryd/#p=1>

Panorama Agroalimentario. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://online.pubhtml5.com/vqdk/rvdl/>

Payne, S. T., Amri, A., Humeid, B. y Rukhkyan, N. 2008. Guías para la regeneración de germoplasma: Cereales de grano pequeño. En: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., editors. Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italy. 12 p.

Pérez, F., y Hernández, M. 2021. Efectos de la interacción entre el riego y los genotipos en las etapas fenológicas de cebada, trigo y avena. *Agronomía Aplicada*. 8(4): 201-215.

Pérez, R. J. A. 2014. *Rendimiento de grano, fenología y calidad de semilla en genotipos de cebada maltera*. [Tesis de Maestría]. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México.

Poelham, J. M. 1981. *Mejoramiento genético de las cosechas*. Editorial Limusa. México.

Ramírez-Flores, M. L., Martínez-Ruiz, A., Prado-Hernández, J. V. y Mendoza-Pérez, C. 2022. Estimación del índice del área foliar apartir del porcentaje de cobertura en el cultivo de broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*). BUAP. VII Congreso nacional de riego, drenaje y biosistemas. Artículo: COMEII-22037. Teziutlán, Puebla.

- Ribeiro da Cunha, A. Katz, I. Pádua, S. y Martínez U., R. A. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisiantus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. SciELO. 33(2): 97-105.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>
- Rodríguez, J., Pérez, A., y González, R. 2021. Comportamiento fenológico del trigo bajo diferentes regímenes de riego. Journal of Agricultural Science. 16(1): 75-88.
- Ruiz Santiago F. L., Ruiz Velázquez J. A., Hernández Becerra J. A., García Jiménez R., y Vladez Villareal A. 2019. Extracción y cuantificación de clorofila en hojas comestibles del estado de Tabasco. Investigación y Desarrollo en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Universidad Tecnológica de Tabasco. Tabasco, México.
- Satorre E. H., Benech Arnold R. L, y Slafer G. A. 2003. Producción de granos. UBA. <http://www.fao.org>
- SAS Institute Inc. 2002. Statistical Analysis System: Version 9.0. SAS Institute Inc., Cary.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2022. Cultivo de trigo en México: todo lo que debes de saber. Recuperado el 5 de mayo del 2024.  
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-trigo-en-mexico-todo-lo-que-debes-de-saber>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. La importancia de los cereales en el sector alimentario.  
<https://www.gob.mx/siap/articulos/la-importancia-de-los-cereales-en-el-sector-alimentario?idiom=es>
- Smith, A. and Jones, B. 2018. Irrigation management and its impact on barley crop variables. Journal of Agricultural Science. 10(3): 45-56.

STATISTA 2021. Ranking de los principales países productores de cebada en el mundo 2021.

<https://es.statista.com/estadisticas/1124490/principales-paises-productores-de-cebada-en-el-mundo/>

UNAM-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2020. Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Vaviolo, N. L. 1992. Origin and geography of cultivated plants. Cambridge University Press, Cambridge.

Velasco-Laiton, Y., Sana-Pulido, W. y Morillo-Coronado, A. 2020. Caracterización agromorfológica de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en el municipio de Chivtá Boyacá, Colombia. Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 18(2). [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(18\)103-116](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(18)103-116)

Villalobos, A. V. M. 2021. Panorama Agroalimentario. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP). Ciudad de México. México. 214 p.

Wilson, G. C. Y. 2015. Rendimiento y calidad de forrajes de cereales de grano pequeño. (Tesis de Doctorado). Colegio de Postgraduados.. Montecillo, Texcoco. Edo. de México.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. y Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research. (14): 415-421.

Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis. 3° Ed. Prentice-Hall. Inc. Upper Saddle River. New Jersey. 662 pp.

Zohary, D., Hopf, M., y Weiss, E. 2012. Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Oxford University Press.

## ANEXOS



**Figura 5.1** Cobertura del follaje en las parcelas experimentales.



**Figura 5.2** Líneas experimentales de cebada, generadas en la UAAAN.



**Figura 5.3** Testigo de cebada, generadas por el INIFAP y la UAAAN.



**Figura 5.4** Testigo de avena Cuauhtémoc.



**Figura 5.5** Línea experimental de trigo, generada en la UAAAN.



**Figura 5.6** Testigo de cebada, generada en la UAAAN.