

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA



**“RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO
HARINERO (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) FRENTE AL DÉFICIT
HÍDRICO”**

Presentada por:

REYNA ESTHER REA ZENOZAIN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2024

tesis maestría

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

4%

2

scielo.sld.cu

Fuente de Internet

3%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 3%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**“RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO
HARINERO (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) FRENTE AL DÉFICIT
HÍDRICO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

REYNA ESTHER REA ZENOZAIN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Juan Mendoza Cortez
PRESIDENTE

Ph.D. Jorge Jiménez Dávalos
ASESOR

Ph.D. Rember Pinedo Taco
MIEMBRO

Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
MIEMBRO

DEDICATORIA

A ti mamá, por tu ejemplo de perseverancia y amor incondicional.
Un beso al cielo para ti papá.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento:

A Dios nuestro señor, por su infinito amor, por conducirme por el camino del bien y por permitirme concluir con la tesis de maestría.

Al Proyecto 017-2020-FONDECYT-BMP por el financiamiento parcial de la tesis.

Al Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina por abrirme sus puertas para el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Jorge Jiménez Dávalos, por su valiosa orientación, paciencia y enseñanzas de desarrollo y ejecución de la tesis en campo, así como en la redacción y correcciones del documento final.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
	Objetivo general	3
	Objetivos específicos.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1. Origen del trigo.....	4
	2.2. Taxonomía del trigo	4
	2.3. Importancia del trigo	4
	2.4. Producción agrícola en Perú en el 2021	5
	2.5. Requerimientos del cultivo.....	7
	2.6. Crecimiento y desarrollo del trigo	7
	2.7. Componentes del rendimiento de trigo	10
	2.8. Efecto del estrés hídrico sobre los componentes del rendimiento de trigo.....	11
	2.9. Respuestas fisiológicas de las plantas al estrés hídrico	11
	2.10. Respuestas bioquímicas y celulares de las plantas al estrés hídrico	13
	2.11. Mecanismos de defensa de las plantas a la sequía	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
	3.1. Lugar de ejecución.....	17
	3.2. Materiales y equipos	17
	3.3. Diseño estadístico	18
	3.4. Variables	18
	3.5. Metodología.....	20
	3.6. Mediciones realizadas	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
	4.1. OBJETIVO 1.....	26
	Diferencias fisiológicas en los diferentes estados fenológicos del cultivo mediante mediciones en la parte vegetativa.....	26
	4.2. OBJETIVO 2.....	64
	Efecto de la deficiencia hídrica en el rendimiento y calidad de los genotipos	64
V.	CONCLUSIONES	90
VI.	RECOMENDACIONES	91
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
VIII.	ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie cultivada de trigo en el Perú en la campaña 2020 – 2021	6
Tabla 2. Importaciones de trigo (FOB vs CIF) USD\$	7
Tabla 3. Etapas de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).....	9
Tabla 4. Tabla del análisis de la varianza para del conjunto de experimentos.....	19
Tabla 5. Porcentaje de germinación de los genotipos de trigo.....	20
Tabla 6. Análisis de varianza de los días a la madurez fisiológica (MF) de los cuatro genotipos de trigo en los tratamientos de déficit hídrico y riego.....	28
Tabla 7. Prueba de comparación de medias de Tukey para los días a la madurez fisiológica en los genotipos de trigo según los ambientes evaluados.....	28
Tabla 8. Análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Contenido de clorofila (SPAD) de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego.....	30
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 56 dds en los genotipos evaluados	30
Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 63 dds en los ambientes evaluados.	31
Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 63 dds en los genotipos evaluados.....	31
Tabla 12. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 77 dds en los ambientes evaluados	32
Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 83 dds en los ambientes evaluados	34
Tabla 14. Análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Conductancia estomática de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego	35
Tabla 15. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 49 dds en los ambientes evaluados	36
Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 56 dds en los ambientes evaluados	37
Tabla 17. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 63 dds en los ambientes evaluados	38

Tabla 18. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 77 dds en los ambientes evaluados	39
Tabla 19. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 83 dds en los ambientes evaluados	40
Tabla 20. Análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Temperatura del dosel de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego.....	41
Tabla 21. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 35 dds en los ambientes evaluados	42
Tabla 22. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 49 dds en los ambientes evaluados	43
Tabla 23. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 56 dds en los ambientes evaluados	44
Tabla 24. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 63 dds en los ambientes evaluados	45
Tabla 25. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 83 dds en los ambientes evaluados	46
Tabla 26. Análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Índice de Vegetación Normalizada de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego	48
Tabla 27. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 35 dds en los ambientes evaluados	48
Tabla 28. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 49 dds en los ambientes evaluados	49
Tabla 29. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 49 dds en los genotipos evaluados	50
Tabla 30. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 70 dds en los ambientes evaluados	51
Tabla 31. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 70 dds en los genotipos evaluados.....	51
Tabla 32. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 77 dds en los ambientes evaluados	52
Tabla 33. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 77 dds en los genotipos evaluados.....	53

Tabla 34. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 83 dds en los ambientes evaluados	54
Tabla 35. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 83 dds en los genotipos evaluados.....	54
Tabla 36. Análisis de varianza del Contenido Relativo de Agua (CRA) en hoja bandera de cuatro genotipos de trigo en los ambientes de déficit hídrico y riego	56
Tabla 37. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 35 dds en los ambientes evaluados	57
Tabla 38. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 35 dds en los genotipos evaluados.....	57
Tabla 39. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 49 dds en los ambientes evaluados	58
Tabla 40. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 56 dds en los ambientes evaluados	59
Tabla 41. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 63 dds en los ambientes evaluados	60
Tabla 42. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 77 dds en los ambientes evaluados	61
Tabla 43. Análisis de varianza de las variables, Rendimiento (RDT), Peso de mil granos (PMG), Número de espigas (NE) y Número de granos por espiga (NGE) de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego	65
Tabla 44. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rendimiento de trigo en Kg/ha a 12% de humedad en los ambientes evaluados	66
Tabla 45. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Peso de mil granos de trigo en gramos los ambientes evaluados	67
Tabla 46. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Peso de mil granos de trigo en gramos los genotipos evaluados.....	67
Tabla 47. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de espigas por m ² en gramos en los ambientes evaluados	68
Tabla 48. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de granos por espiga en los ambientes evaluados	70
Tabla 49. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de granos por espiga en los genotipos evaluados	70

Tabla 50. Análisis de varianza de las variables Índice de cosecha (IC), Biomasa aérea (BA), Rastrojo (RT) de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego	72
Tabla 51. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de cosecha en los ambientes evaluados	73
Tabla 52. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de cosecha en los genotipos evaluados	73
Tabla 53. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Biomasa aérea en los ambientes evaluados	75
Tabla 54. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Biomasa aérea en los genotipos evaluados	75
Tabla 55. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rastrojo en los ambientes evaluados	76
Tabla 55. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rastrojo en los genotipos evaluados	77
Tabla 57. Análisis de varianza de las variables Altura de planta (ALT), Número de flores totales por espiga (FT), Número de flores infértiles por espiga (FI), Largo de la espiga (LE) y Largo de las aristas (LA) de cuatro genotipos de trigo (<i>Triticum aestivum</i> sp <i>aestivum</i>) en los ambientes de déficit hídrico y riego	78
Tabla 58. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Altura de plantas según los ambientes evaluados	79
Tabla 59. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Altura de plantas según los genotipos evaluados	79
Tabla 60. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de flores totales por espiga según los ambientes evaluados	80
Tabla 61. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de flores infértiles por espiga según los ambientes evaluados	80
Tabla 62. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Longitud de espigas según los ambientes evaluados	82
Tabla 63. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Longitud de espigas según los genotipos evaluados.....	83
Tabla 64. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Longitud de las aristas según los ambientes evaluados	84

Tabla 65. Características asociadas la calidad del grano de trigo en las variedades y ambientes evaluados	86
Tabla 66. Análisis de varianza del contenido de proteína (%) en los granos de los cuatro genotipos de trigo en los tratamientos déficit hídrico y riego	88
Tabla 67. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de proteína en grano de trigo según los ambientes evaluados.....	88
Tabla 68. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de proteína en grano de trigo según los genotipos evaluados	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Mapa de regiones productoras de trigo en el Perú	5
Figura 2. Producción de trigo Total (t)/ Precio en chacra (Soles/Kg)	6
Figura 3. Estadios de desarrollo del trigo (Código decimal de Zadoks).....	9
Figura 4. Diagrama esquemático del crecimiento y desarrollo del trigo	10
Figura 5. Modelo conceptual de las características genéricas asociadas a la adaptación a medioambientes con estrés de humedad y/o bajo riego y sequía	11
Figura 6. Equipo de medición de humedad de suelo - PR2	21
Figura 7. Equipo de medición de la conductancia estomática	21
Figura 8. Etapas de desarrollo según la escala de Zadoks	22
Figura 9. Hidratación de hoja bandera de trigo, pesado de hoja bandera seca.....	23
Figura 10. Medición de altura de planta (izquierda), espigas de trigo con riego para evaluaciones morfológicas (derecha)	24
Figura 11. Medición de los componentes del rendimiento (número de granos de 10 espigas elegidas al azar)	25
Figura 12. Duración de las etapas de desarrollo de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.....	27
Figura 13. Días a la Madurez fisiológica (MF) de los genotipos de trigo en los ambientes de Déficit hídrico y Riego	29
Figura 14. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra	31
Figura 15. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra	32
Figura 16. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra	33
Figura 17. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra	34
Figura 18. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra	36
Figura 19. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra	37
Figura 20. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra	38

Figura 21. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra	39
Figura 22. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra	40
Figura 23. Temperatura del dosel ($^{\circ}\text{C}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 35 días después de la siembra	42
Figura 24. Temperatura del dosel ($^{\circ}\text{C}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra	43
Figura 25. Temperatura del dosel ($^{\circ}\text{C}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra	44
Figura 26. Temperatura del dosel ($^{\circ}\text{C}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra	45
Figura 27. Temperatura del dosel ($^{\circ}\text{C}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra	47
Figura 28. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 35 días después de la siembra	49
Figura 29. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra	50
Figura 30. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 70 días después de la siembra	52
Figura 31. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra	53
Figura 32. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra	55
Figura 33. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra	58
Figura 34. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra.....	59
Figura 35. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra	60
Figura 36. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra	61
Figura 37. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra	62

Figura 38. Mediciones de la humedad del suelo (%) en los ambientes de Riego y Déficit hídrico durante la fenología del cultivo	63
Figura 39. Rendimiento del grano (Kg) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.....	66
Figura 40. Peso de 1000 granos (g) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.....	68
Figura 41. Número de espigas por metro cuadrado de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	69
Figura 42. Número de granos por espigas de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	71
Figura 43. Correlación entre el rendimiento estimado a partir del área de cosecha y el rendimiento a partir de los componentes	71
Figura 44. Índice de cosecha (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	74
Figura 45. Biomasa aérea (Kg/ha) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	76
Figura 46. Rastrojo (Kg/ha) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.....	77
Figura 47. Altura de planta (m) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	80
Figura 48. Número de flores totales por espiga de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	81
Figura 49. Número de flores infértiles por espiga de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	82
Figura 50. Longitud de espiga (cm) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	83
Figura 51. Longitud de arista (cm) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	84
Figura 52. Sistemas Infratec 1241 para determinación de proteína, humedad, grasa, fibra, almidón, amilosa, color, aceite y peso específico en grano de cereales	87
Figura 53. Contenido de proteína (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico	89

RESUMEN

En áreas agrícolas del Programa de Cereales de la Universidad Nacional Agraria La Molina se realizó un experimento en el cultivo de trigo con el objetivo de evaluar su respuesta fisiológica y la producción frente al déficit hídrico, para lo cual, se sembraron cuatro genotipos (la variedad más sembrada en costa, una variedad de sierra y dos líneas avanzadas del programa) en dos ambientes (riego y déficit hídrico), con un diseño de bloques completos al azar en cada ambiente, donde cada unidad experimental constó de cinco surcos de cuatro metros de largo, una distancia de 0.35 entre surcos y una densidad de 200 semillas viables por m². Se evaluaron variables fisiológicas, morfológicas y el rendimiento. Se realizó una fertilización de fondo antes de la siembra. Se utilizó un sistema de riego por gravedad, donde, el ambiente de déficit hídrico, recibió un último riego a los 20 días después de la siembra (DDS).

Los resultados mostraron un efecto importante en todos los genotipos en el ambiente de sequía, donde los valores de contenido de clorofila y conductancia estomática fueron menores y la temperatura del dosel fueron mayores con respecto al ambiente de riego. Asimismo, se observó que todos los genotipos en déficit hídrico llegaron a madurez fisiológica en menos días, es decir presentaron precocidad. En déficit hídrico los genotipos redujeron su rendimiento hasta en un 50%, asimismo se observó reducción en la altura de planta, largo de espiga, número de granos y peso de 1000 granos. Tras el análisis combinado no se observó interacción de los tratamientos con el ambiente, solo diferencias entre los ambientes, donde riego fue superior a déficit hídrico.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, déficit hídrico, conductancia estomática, rendimiento.

ABSTRACT

In agricultural areas of the Cereal Program of the National Agrarian University La Molina, an experiment was carried out in the cultivation of wheat with the objective of evaluating its physiological response and production in the face of water deficit, for which, four genotypes were planted (the variety more planted on the coast, a mountain variety and two advanced lines of the program) in two environments (irrigation and water deficit), with a complete randomized block design in each environment, where each experimental unit consisted of five four-meter furrows. long, a distance of 0.35 between furrows and a density of 200 viable seeds per m². Physiological, morphological and performance variables were evaluated. Background fertilization was carried out before sowing. A gravity irrigation system was used, where the water deficit environment received a last irrigation 20 days after sowing (DDS).

The results showed an important effect in all genotypes in the drought environment, where the values of chlorophyll content and stomatal conductance were lower and canopy temperature were higher with respect to the irrigation environment. Likewise, it was observed that all genotypes in water deficit reached physiological maturity in fewer days, that is, they presented precocity. In water deficit, the genotypes reduced their yield by up to 50%; a reduction was also observed in plant height, spike length, number of grains and weight of 1000 grains. After the combined analysis, no interaction of the treatments with the environment was observed, only differences between the environments, where irrigation was superior to water deficit.

Keywords: *Triticum aestivum*, water deficit, stomatal conductance, yield.

I. INTRODUCCIÓN

El trigo, representa uno de los principales alimentos básicos para las familias peruanas. Es insumo básico para la producción de harinas, destinadas a la elaboración de pan, fideos, galletas, entre otros; en el 2007 ocupó el tercer lugar entre los cereales más producidos después del maíz y el arroz (MINAGRI, 2012). El trigo suministra un poco más de proteína que el arroz y el maíz, aproximadamente 11 g por cada 100 g. El aminoácido limitante es la lisina (Latham, 2002).

El trigo forma parte del consumo básico de la población peruana, pero la producción es deficitaria. El 97% de la superficie cultivada se encuentra ubicada en la sierra y el 3% en la costa. El 90% del área sembrada en el país se realiza en secano (Muro, 2013). La población rural de la sierra depende de este grano para su alimentación y su economía (Muro, 2013).

La producción del cereal se desarrolla generalmente desde los 2000 hasta los 3000 msnm. Se cultiva en suelos pedregosos y superficiales, en laderas donde no prosperan otros cultivos. En las zonas de producción de trigo no se dispone de semillas certificadas ni asistencia técnica que garanticen calidad y productividad.

En la zona altoandina la producción de trigo como en la gran parte de los cultivos son en secano, por lo que su producción está limitada por la disponibilidad del agua de lluvia, la cual ocurre principalmente desde siembra a preantesis (Gonzales, 2012), coincidiendo la etapa de mayor demanda hídrica con el estrés hídrico, lo cual provoca que la planta ajuste su ciclo fenológico antes del estrés máximo. Parodi y Romero (1991), Parsons, (1991), indican que en general el trigo requiere de 600 a 800 mm de agua por ciclo para lograr altos rendimientos, mientras que Bast et al., (2005), Gómez (2007), indican que el consumo de agua por ciclo es de 450 a 500 mm. Asimismo se debe en cuenta que se requiere de 80 a 150 mm de precipitación durante los dos últimos meses anteriores a la cosecha (Parodi y Romero 1991).

El agua en las plantas constituye típicamente del 80 al 95% de la masa de los tejidos en crecimiento, permite el movimiento de moléculas dentro y entre las células. Tiene gran influencia en la estructura y la estabilidad de moléculas tales como proteínas, polisacáridos

(Kirkham, 2005). Influye en la expansión celular y la integridad físico-química de la pared, crecimiento y proliferación, exocitosis, endocitosis, cambios en la forma celular, señalización de hormonas, metabolismo, excitabilidad, migración celular, obtención de nutrientes, filtración de desechos, necrosis y apoptosis (Zonia y Munnik, 2007).

La disponibilidad de agua debe ser oportuna para la germinación, crecimiento y desarrollo del cultivo. Por consiguiente, la irregularidad en la cantidad y la distribución de las lluvias puede afectar la producción y productividad del cultivo (Bello, 2019), ya que la baja disponibilidad de agua en estas etapas puede manifestarse en severas pérdidas de productividad.

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua (Levitt, 1980).

A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado respuestas como la mayor capacidad de tomar agua o con un uso más eficiente de este recurso y adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones de constante déficit hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). La eficiencia de uso del agua en los cultivos es uno de los mecanismos de tolerancia a la sequía, por ende, uno de los factores más importantes en la agricultura moderna. Sin embargo, la cuantificación de la eficiencia de uso de agua en campo es complicada y requiere de equipamiento y condiciones de suelos que no son posibles controlar bajo diferentes ambientes abiertos (Bello, 2019).

De acuerdo a Lira (1994), el estado hídrico de las plantas se caracteriza por una combinación de su habilidad fisiológica y bioquímica para realizar sus funciones vitales, transportar el agua y los nutrientes requeridos para su adecuado crecimiento. Al respecto Taiz & Zeiger (2006) afirman que el potencial hídrico es útil para evaluar o determinar el estado hídrico de la planta; debido a que influyen en el crecimiento celular, la fotosíntesis y la productividad de los cultivos. Asimismo, Fernández (2018), considera que la disponibilidad de agua es un factor muy importante en la determinación del rendimiento; tanto en el total de agua consumida como en la distribución del consumo del agua a través del ciclo del cultivo.

Cuando el déficit hídrico es aplicado de forma gradual, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008). Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, los cuales son estructuras responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz

y Zeiger, 2006).

Por lo indicado, el presente trabajo de investigación planteó los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Evaluar las respuestas fisiológicas y la producción de cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) bajo déficit hídrico.

Objetivos específicos

- Determinar las diferencias fisiológicas en los diferentes estados fenológicos del cultivo mediante mediciones en la parte vegetativa.
- Evaluar el efecto de la deficiencia hídrica en el rendimiento y calidad de los genotipos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen del trigo

Según Robles (1990), citado por Villareal (2000), señala que el trigo es originario de Turquía e Irak. Existen indicios que lo sugieren en el círculo de la cultura Natufina en Palestina, que probablemente tuvo su origen en el noveno milenio a.C.; sin embargo, hay buenas razones que la llamada media luna fértil del Asia Occidental, el trigo y otras plantas silvestres empezaron a cultivarse entre los años 600 a 800 a. C. o quizás en tiempos aún más remotos.

El trigo harinero es hexaploide AABBDD = 42, resultado del cruce de trigo tetraploide con un progenitor que tenía el genomio (DD) seguido de la duplicación cromosómica. Los análisis citológicos entre diferentes *Aegilops*, revelaron que el portador del genomio (DD) era *Aegilops squarrosa* (*T. tauschii*).

2.2. Taxonomía del trigo

De acuerdo al APG IV (2016), la clasificación taxonómica del trigo es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Triticum*

Especie: *Triticum aestivum* ssp. *aestivum*

2.3. Importancia del trigo

El trigo es una de las especies más antiguas cultivadas por el hombre y constituye, según informes de la FAO (Kirigwi *et al.*, 2004), la base de la alimentación de más del 96.4 % de la población mundial. Constituye fuente de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales. Es el grano más consumido en el mundo en forma muy variada (pan de muchos tipos, galletas, pasteles, pizzas, tortillas, pastas para sopa). Su paja es una importante fuente de materia prima en la fabricación de cartón y es mejorador del suelo. El trigo se utiliza además como forraje, cuando se encuentra en encañe y hasta embuche, etapa durante la cual tiene

un alto contenido de proteína por los que se considera un alimento nutritivo para el ganado.

2.4. Producción agrícola en Perú en el 2021

De acuerdo al Sistema Integrado de Estadísticas Agraria del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, durante la campaña agosto 2020 – julio 2021 se sembraron 117'142.01 hectáreas de trigo en el Perú. La producción total fue de 198'811.14 toneladas, con un rendimiento promedio de 1.71 toneladas por hectárea. El precio en chacra fue de s/. 2.17 soles por kilogramo. El número de productores de trigo fue de 87'218 personas.

A continuación (Figura 1) se visualiza los departamentos productores de trigo en el Perú, donde la mayor intensidad de color verde indica mayor volumen de producción.



Figura 1. Mapa de regiones productoras de trigo en el Perú.

Fuente: SIEA – MIDAGRI (2022).

Tabla 1. Superficie cultivada de trigo en el Perú en la campaña 2020 – 2021.

Mes	Has sembradas	Mes	Has cosechadas
Agosto	12.00	Enero	3.00
Setiembre	996.01	Febrero	35.00
Octubre	5328.00	Marzo	102.00
Noviembre	7836.00	Abril	638.00
Diciembre	26000.00	Mayo	3390.00
Enero	35984.50	Junio	21157.00
Febrero	22292.00	Julio	47852.00
Marzo	14597.50	Agosto	29136.00
Abril	2778.00	Setiembre	10802.50
Mayo	417.00	Octubre	1999.00
Junio	784.00	Noviembre	1191.00
Julio	403.00	Diciembre	170.00
TOTAL	117428.01	TOTAL	116475.50

Fuente: SIEA – MIDAGRI (2022).

De acuerdo al sistema integrado de estadística agraria (SIEA) del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, los meses donde se realiza el mayor volumen de siembra son entre noviembre y marzo, y las cosechas entre junio y setiembre (Tabla 1).

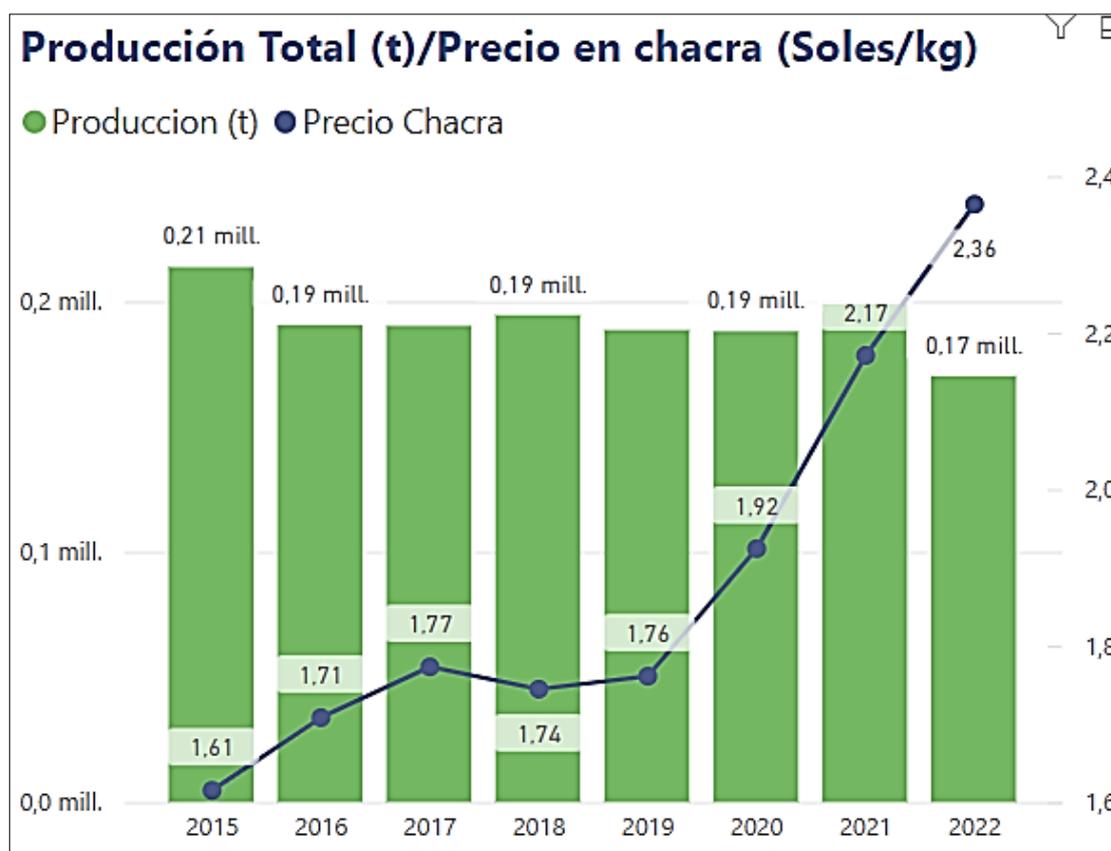


Figura 2. Producción de trigo Total (t)/ Precio en chacra (Soles/Kg)

Fuente: SIEA – MIDAGRI (2022).

En la figura 2, observamos que la producción de trigo en Perú ha venido disminuyendo en los últimos años, mientras que el precio promedio por el grano en chacra se ha incrementado debido a la oferta y demanda a nivel mundial.

En términos económicos, se ha venido incrementado los valores de las importaciones de trigo (Tabla 2), pues se incrementó el precio del producto y la cantidad demandada del producto.

Tabla 2. Importaciones de trigo (FOB vs CIF) USD\$

AÑO	VALOR FOB	VALOR CIF
2016	390'883.19	425'913.17
2017	478'573.26	524'063.16
2018	489'004.61	538'140.08
2019	463'557.69	512'579.76
2020	516'247.00	564'072.12
2021	564'920.33	617'332.48

Fuente: SIEA – MIDAGRI (2022).

2.5. Requerimientos del cultivo

El trigo puede cultivarse en diferentes climas, siendo el óptimo, los climas frescos y húmedos durante las etapas de crecimiento y los climas cálidos y secos durante la etapa de maduración. La temperatura máxima para el cultivo es de 30 – 32°C (temperatura óptima 25°C). Puede desarrollarse en una amplia gama de suelos, con pH entre 6 hasta 8.5. Presenta moderada tolerancia a la salinidad y a los suelos ácidos (Gómez, 2007).

En condiciones de secano, la pluviosidad anual más adecuada oscila entre 229- 762 mm, dependiendo del tipo y drenaje del suelo, así como la distribución de las lluvias. De acuerdo al CIMMYT, agricultores que siembran aproximadamente 50% de la superficie destinada al trigo en el mundo en desarrollo lo producen con menos de 600 mm de lluvia cada año y a menudo tienen que lidiar con el suministro irregular de agua (Lizarraga, 2015).

2.6. Crecimiento y desarrollo del trigo

Yara (2022), indica que el cultivo de trigo pasa por tres fases desde la siembra a la cosecha. Estas fases pueden ser descriptas de la siguiente manera:

a. Establecimiento

La fase de emergencia comienza con la siembra y dura hasta que empieza la elongación del tallo. Durante este tiempo se forman los brotes productivos y primarios conforme vaya

creciendo el follaje. Los componentes del rendimiento (número de espigas y granos por m²), se determinan al final de esta fase. La velocidad de desarrollo dependerá del ambiente, donde días lluviosos y fríos darán un crecimiento lento. En trigo de primavera esta fase pasará muy rápido conforme vayan alargándose los días y con el aumento de la temperatura ambiental (Yara, 2022).

b. Crecimiento

La fase de crecimiento empieza desde la visibilidad del primer nudo hasta la floración. Esta fase es crítica en el desarrollo ya que aquí se definen los factores que aportarán fotoasimilados a los componentes de rendimiento: hojas, raíces profundas, reservas de los tallos. El área foliar alcanzará la intercepción del 95% de la radiación fotosintéticamente activa (RFA). El crecimiento es muy rápido con una alta demanda diaria de nutrientes del suelo (Yara, 2022).

c. Llenado de granos

La fase de llenado se extiende hasta que los granos estén llenos y maduros. Durante este período los componentes críticos del rendimiento serán determinados, o sea granos/m² y el peso de los granos. La sanidad de la hoja bandera y su contenido de nitrógeno son importantes ya que contribuyen con hasta el 70% de los carbohidratos que terminan en el grano (Yara, 2022).

2.6.1. Etapas de desarrollo

El desarrollo del trigo es un proceso complejo en el que los diferentes órganos crecen, se desarrollan y mueren, siguiendo una secuencia que a veces se superpone. Sin embargo, es más sencillo considerar el desarrollo como una serie de fases tal como en la escala Zadoks (Zadoks y Chang, 1974). La escala de Zadoks nos permite entonces, por medio de una apreciación de la morfología exterior del cultivo, tener idea del estado de desarrollo que se sucede.

En la Tabla 3 se describe la escala de 10 fases numeradas de 0 a 9, y que se pueden subdividir en subfases con un rango de 0.1 a 0.9 y ayuda a describir con mayor exactitud la etapa fenológica en la que se encuentra nuestro cultivo. La descripción de las subfases o estadios de desarrollo del trigo lo podemos visualizar en la figura 3.

Tabla 3. Etapas de desarrollo siguiendo la escala decimal Zadoks (Z0.0 a Z9.9).

Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase	Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase
0	Germinación	0.0-0.9	5	Espigado	5.0-5.9
1	Producción de hojas TP	1.0-1.9	6	Antesis	6.0-6.9
2	Producción de macollos	2.0-2.9	7	Estado lechoso del grano	7.0-7.9
3	Producción de nudos TP (encañado)	3.0-3.9	8	Estado pastoso del grano	8.0-8.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9	9	Madurez	9.0-9.9

TP = tallo principal

Fuente: Zadoks y Chang (1974).

Z13		Z30 Z31 Z39		Z59 Z61 Z71		Z87	
Estadio	Descripción de fase	Estadio	Descripción de fase	Estadio	Descripción de estadio	Estadio	Descripción de fase
Nascencia		Encañado		Espigado		Estado pastoso	
Z10	Primera hoja a través del coleoptilo	Z30	Pseudotallo erecto	Z51	Primera espiga visible encima de ligula	Z83	Pastoso temprano
Z11	Primera hoja extendida (ligula visible)	Z31	Primer nudo perceptible	Z55	Mitad de la espiga visible	Z85	Pastoso blando
Z13	3 hojas extendidas	Z32	Segundo nudo perceptible	Z59	Toda la espiga emergida	Z87	Pastoso duro (Marca de uña se queda)
Z15	5 hojas extendidas	Z33	Tercer nudo perceptible	Antesis		Madurez	
Z19	9 o mas hojas extendidas	Z37	Hoja bandera visible	Z61	Inicio de floración	Z91	Grano duro (se divide con dificultad)
Macollaje		Z39	Hoja bandera totalmente emergida	Z65	Anteras en 50% de las espigas	Z92	Grano duro (uña no deja marca)
Z20	Tallo principal solo	Vaina engrosada		Z69	Floración terminada	Z93	Granos se sueltan durante el día
Z21	Tallo principal y 1 macollo	Z41	Vaina de la hoja bandera extendiendose	Estado lechoso			
Z23	Tallo principal y 3 macollos	Z43	Vaina visiblemente engrosada	Z71	Madurez acuosa con líquido claro		
Z25	Tallo principal y 5 macollos	Z45	Vaina de la hoja bandera engrosada	Z73	Estado lechoso temprano		
Z29	Tallo principal y 9 o mas macollos	Z47	Vaina de hoja bandera se abre	Z75	Lechoso mediano		
				Z77	Lechoso tardío		

Figura 3. Estadios de desarrollo del trigo (Código decimal de Zadoks).

Fuente: Yara (2022)

2.7. Componentes del rendimiento de trigo

El rendimiento fue descrito por Grafius (1964) como el volumen de un paralelepípedo en el cual el número de espigas por unidad de superficie, el número de granos por espiga y el peso de los granos. Al respecto, Barriga, (1974), afirma que el número de espigas, granos por espiga y peso de los granos pueden ser considerados como componentes principales del rendimiento. En tanto que la precocidad y altura de planta adulta pueden ser consideradas como componentes secundarios, debido a que ejercen su efecto sobre el rendimiento a través de los componentes principales. Estos componentes estarán condicionados por los factores genéticos, climáticos, bióticos y manejo agronómico (densidad y época de siembra, fertilización, humedad del suelo, etc.).

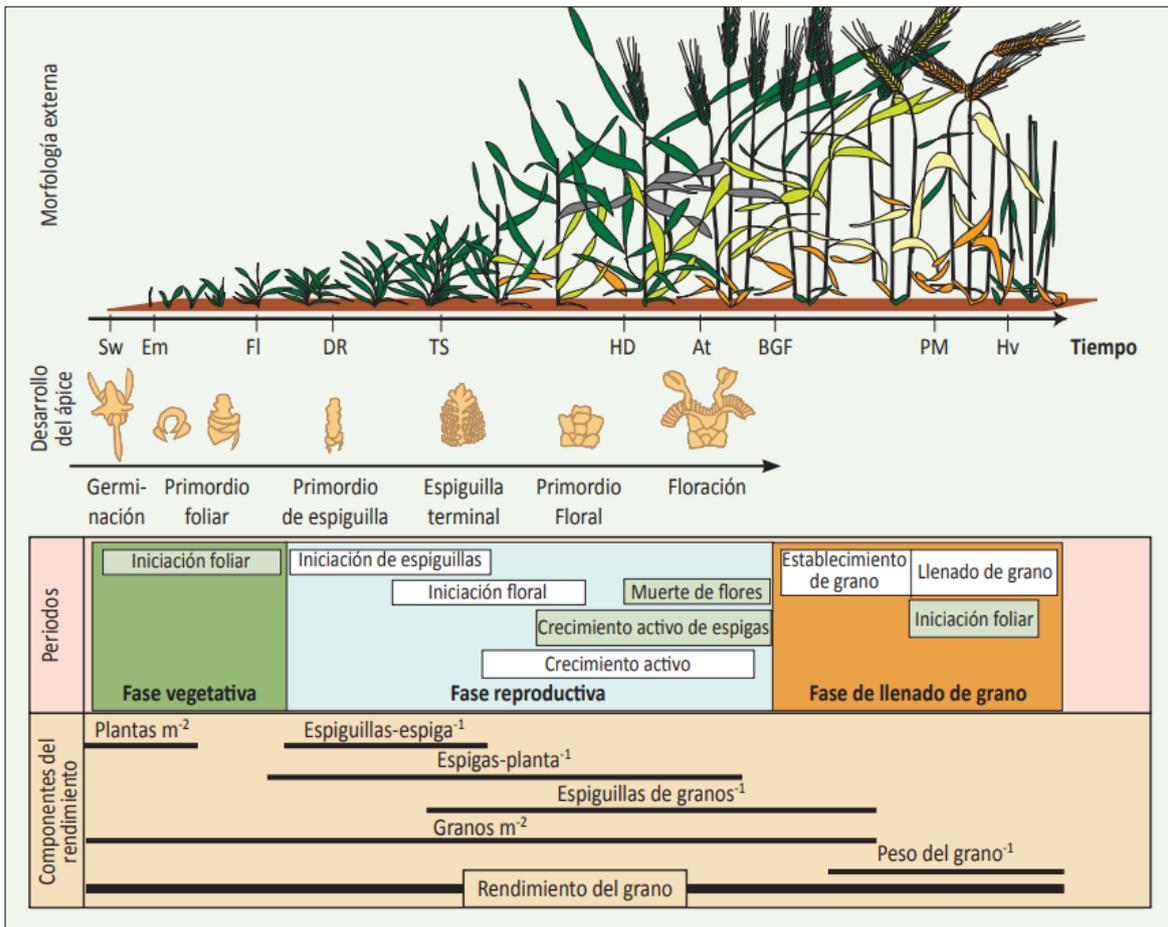


Figura 4. Diagrama esquemático del crecimiento y desarrollo del trigo.

Dónde: Siembra (Sw), emergencia (Em), iniciación floral (FI), aparición de la primera cresta doble (DR), iniciación de la espiguilla terminal (TS), espigamiento (HD), antesis (At), comienzo del período de llenado de grano (BGF), madurez fisiológica (PM) y cosecha (Hv). Fuente: Adaptado de Slafer y Rawson (1994).

La figura 4 describe la morfología externa de la planta a lo largo de su ciclo, el desarrollo del ápice dependiendo del estadio fenológico en el que se encuentre la planta, los componentes del rendimiento del trigo y el momento en el que se define cada uno de ellos.

2.8. Efecto del estrés hídrico sobre los componentes del rendimiento de trigo

Entre las variables que intervienen en el crecimiento y el desarrollo de la planta, la deficiencia de agua es una de las más importantes (Parsons, 1991, citado por Lizarraga, 2015). Todas las plantas superiores están expuestas a la desecación, al menos una vez durante el ciclo de vida. Por lo común, las plantas están expuestas a otros periodos de sequía ligera o intensa durante sus fases de crecimiento vegetativo o reproductivo. De las muchas respuestas que puede tener la planta a la deficiencia de agua, hay respuestas morfológicas como el desprendimiento de hojas, cambio en el ángulo de la hoja, ajuste osmótico, comportamiento de estomas, etc. Los cuales requieren de una sofisticación especial para su evaluación.

La deficiencia hídrica reduce la intercepción de radiación solar (Robertson y Giunta, 1994) a través de una menor expansión, una menor exposición de la superficie foliar (por enrollamiento y acartuchamiento), o por muerte de hojas (Abbate *et al.*, 1994). Además, la deficiencia de agua puede reducir el crecimiento del cultivo a través de una menor fotosíntesis foliar (Subrahmanyam *et al.*, 2006) y eficiencia de uso de la radiación (Robertson y Giunta, 1994).

Bajo condiciones de estrés hídrico durante el período de llenado, los granos son de menor tamaño, reducen el rendimiento, y resultan con defectos comerciales que se castigan durante el proceso de comercialización (granos chuzos). La fuente de asimilados para el abastecimiento del carbono necesario para el crecimiento del grano, proviene de la fotosíntesis actual, la cual depende de la actividad fotosintética del canopeo luego de la floración; esta fuente normalmente disminuye debido a la senescencia natural de las hojas durante esta etapa, y el estrés hídrico puede exacerbar este mecanismo (Blum, 1998).

2.9. Respuestas fisiológicas de las plantas al estrés hídrico

Las plantas responden de diferentes formas al estrés hídrico dependiendo de la naturaleza del déficit, desde alteraciones en las rutas metabólicas, fisiológicas y morfológicas, hasta cambios en la expresión genética (Bray, 2002). Las respuestas inmediatas al estrés hídrico contrarrestan la regulación estomática a fin de disminuir la pérdida de agua mediante la

transpiración, maximizando la absorción de CO₂ para realizar la fotosíntesis (Rozlowski et al., 1991). Las respuestas de aclimatación, influyen en la acumulación de solutos, ajuste del potencial osmótico de la planta, cambios en la elasticidad de las paredes celulares y cambios morfológicos, dando como resultado disminución de la tasa de crecimiento y la distribución de la biomasa (Chapin, 1991; Smeekens, 1998).

Reynolds et al. (2013), indican que, bajo situaciones de disponibilidad limitada de agua, los rasgos que mejoran la absorción de agua, el uso eficiente del agua y la repartición de fotosintatos hacia el rendimiento, es probable que trabajen sinérgicamente para maximizar la productividad en el entorno de destino.

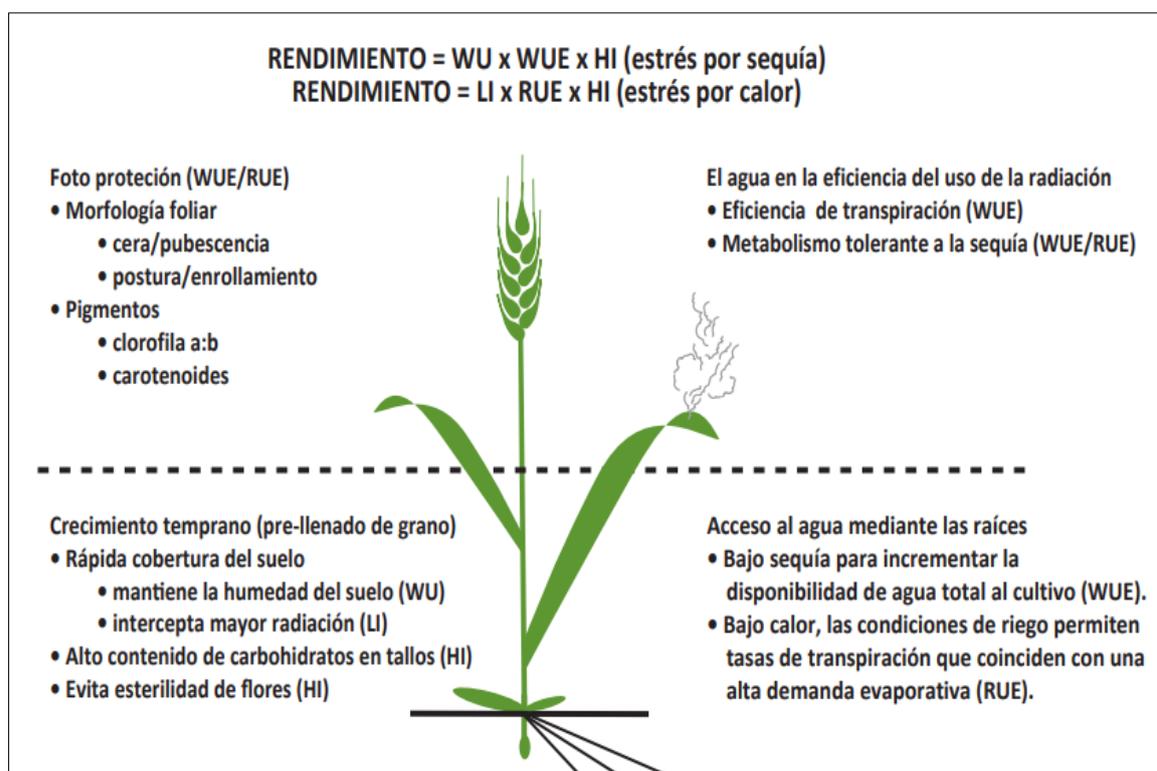


Figura 5. Modelo conceptual de las características genéricas asociadas a la adaptación a medioambientes con estrés de humedad y/o bajo riego y sequía.

Dónde: HI = Índice de cosecha; LI = Intercepción de la luz; RUE = Eficiencia en el uso de la radiación; WU = Absorción de agua; WUE = Eficiencia del uso del agua. Fuente: Reynolds et al. (2013).

2.10. Respuestas bioquímicas y celulares de las plantas al estrés hídrico

Ante condiciones de estrés hídrico, las plantas también responden a nivel celular y molecular, siendo una de las principales respuestas la modificación de la expresión genética. Bhatnagar-Mathur et al., (2008) categorizan en tres grupos la expresión de los genes inducidos por estrés:

- Genes que codifican proteínas con funciones estructurales o enzimáticas conocidas
- Proteínas con funciones aún desconocidas
- Proteínas reguladoras

Asimismo, mediante el análisis del transcriptoma, Yamaguchi-Shinozaki & Shinozaki, (2005), clasifican los productos de los genes asociados al estrés hídrico de acuerdo a su función en:

- Proteínas funcionales, involucradas en tolerancia al estrés y adaptación celular tales como: proteínas canal, enzimas que participan en la síntesis de osmolitos, proteínas tardías de la embriogénesis (LEA) proteínas y enzimas de detoxificación.
- Proteínas reguladoras que regulan la expresión de los genes y traducción de señales en respuesta al estrés, tales como factores de transcripción, quinasas y 14- 3-3 proteínas.

El déficit hídrico induce genes cuya función no sólo es proteger a las células vegetales de la deshidratación, sino que también actúan en la regulación de otros genes que se traducen en señales de respuesta al estrés hídrico (Reddy et al., 2004), lo que incluye el mantenimiento de las proteínas en su forma funcional, prolongando así la vida de la célula bajo condiciones de estrés (Folkert *et al.*, 2001).

Cushman, (2001), menciona que los osmolitos son principalmente compuestos orgánicos de bajo peso molecular que permiten el ajuste osmótico y facilitan la absorción de agua por la planta. También participan en el mantenimiento de la estructura de las proteínas bajo estrés, pues actúan cubriendo las moléculas de proteínas y manteniendo su estructura nativa (Cardozo y Quiriban, 2014).

Langridge et al., (2006), indican que un mecanismo adaptativo para la protección contra el déficit hídrico, es el mantenimiento de la turgencia celular, durante los períodos de sequía, regulando la presión osmótica de las células; pues la disminución del volumen celular,

aumenta la posibilidad de las interacciones moleculares que pueden causar la desnaturalización de las proteínas y membranas. Para ello, la célula puede secuestrar iones en los compartimentos celulares y sintetizar osmolitos especializados tales como la prolina, glutamato, glicinbetaína, manitol, trehalosa, ononitol, sorbitol, sacarosa, ectoína y polisacáridos para reajustar el potencial osmótico celular (Folkert *et al.*, 2001).

(Ashraf & Foolad, 2007), resaltan la función de la prolina durante el estrés hídrico, pues tiene un rol como soluto en el ajuste osmótico, estabiliza estructuras celulares, membranas, proteínas, actúa como detoxificador de radicales libres.

En condiciones de déficit hídrico, se da la acumulación de prolina en las hojas, causado por una combinación del aumento de la biosíntesis y una menor oxidación en mitocondrias (Raymond & Smirnoff, 2002). La síntesis de prolina se da por la vía de la ornitina y del glutamato, siendo más activa en ésta última vía en condiciones de estrés (Cardozo y Quiriban, 2014). Szabados & Savouré, (2009) indican que las enzimas relacionadas con la síntesis de prolina se encuentran principalmente en citoplasma. Mientras que las involucradas en el catabolismo se encuentran en mitocondrias. La prolina puede ser sintetizada en diferentes compartimentos subcelulares dependiendo de las condiciones ambientales.

Por otro lado, Apel & Hirt, (2004), indican que los procesos metabólicos aeróbicos de las plantas, tales como la respiración y la fotosíntesis conllevan a la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) en mitocondrias, cloroplastos y peroxisomas.

Ante ello, las plantas han desarrollado mecanismos enzimáticos de detoxificación que mantienen en equilibrio la producción y remoción de los EROs, como por ejemplo las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX), peroxidasa (POD), glutatión reductasa (GR) y monodehidroascorbato reductasa (MDAR) y mecanismos no enzimáticos, los cuales se clasifican en ácido ascórbico (AA) y pigmentos como los carotenoides flavonoides y antocianinas (Reddy *et al.*, 2004).

Sin embargo, este equilibrio se ve afectado por diversos factores de estrés abiótico como la alta luminosidad, déficit hídrico, altas y bajas temperaturas, estrés mecánico; desencadenando así un estrés oxidativo, lo cual conduce a alteraciones en la expresión de los genes que codifican los mecanismos de defensa, factores de transcripción y proteínas estructurales (Apel & Hirt, 2004; Cardozo y Quiriban, 2014).

2.11. Mecanismos de defensa de las plantas a la sequía

González (2012), define la resistencia de las plantas a la sequía como “el grado al cual una planta puede tolerar el déficit de lluvia”, lo que incluye los mecanismos por medio de los cuales las plantas soportan los periodos de sequía.

Whittaker (1979), describe los siguientes mecanismos de defensa de las plantas a la sequía: Sistemas radiculares anchos y profundos.

- Tejidos almacenadores de agua.
- Cubiertas protectoras, pelos o cubiertas cerosas.
- Reducción de la superficie foliar o caducifoliedad.
- Tallos fotosintetizadores.
- Tolerancia de los tejidos a una reducida cantidad de agua, aun en condiciones de sequedad del aire.
- Altas concentraciones osmóticas que les permiten extraer la humedad de suelos muy secos.
- Crecimiento adaptado a las estaciones en que el agua está disponible.

2.11.1. Características morfológicas y fisiológicas de defensa a la sequía

Rzedowski (1968), proporciona una lista de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas que las plantas tienen para enfrentar la aridez:

a. Adaptaciones morfológicas

- Gran desarrollo del sistema radicular, penetración rápida y profunda.
- Tamaño relativamente reducido y porte compacto de la porción aérea.
- Reducción de la superficie foliar (microfilia, afilia, tendencia al enrollamiento).
- Cutícula gruesa, con frecuencia impregnada de resinas, ceras, aceites, sílice y a menudo provista de tomento.
- Estomas situados en depresiones, hendiduras, surcos, fosas, etc.
- Almacenamiento de reservas de agua.
- Reducción del tamaño de las células.

b. Adaptaciones fisiológicas

- Pérdida del follaje o de todos los órganos aéreos durante la época de sequía.
- Capacidad para absorber rápidamente el agua disponible, propiedad ligada a la presión osmótica elevada y a un sistema de conducción muy eficiente.

- Propiedad del protoplasma para subsistir en estado de anhidrobiosis, con capacidad de recuperarse cuando vuelve a haber humedad disponible.
- Reducción del periodo vegetativo a lapsos muy cortos.
- Capacidad de regulación de la transpiración a través de un mecanismo eficiente de cierre estomatal (suculentas, por ejemplo).

2.11.2. Metabolismo fotosintético

González (2012), menciona que la adaptación de una planta a un ambiente determinado puede evaluarse con base en la eficiencia en el uso del agua de que dispone. Esta eficiencia está dada por la cantidad de moléculas de CO₂ que gana la planta con respecto a la cantidad de moléculas de agua que pierde. Cuanto mayor sea su eficiencia en el uso del agua, mayor será su adaptación a un ambiente árido. Las diferencias en el metabolismo fotosintético se reflejan en una pérdida diferencial de agua.

Etherington (1982), citado por González (2012), sugiere diferentes estrategias adaptativas que las plantas pueden adoptar para asimilar el CO₂, aun a costa de una pérdida de agua.

Estas estrategias son:

- Producir una cubierta permeable al CO₂ e impermeable al agua en las superficies expuestas a la evaporación, es decir, la posesión de un antitranspirante natural.
- Modificar la naturaleza física de las hojas de tal manera que al cerrar los estomas afecte más a la pérdida de agua que la ganancia de CO₂.
- Disminuir la relación tallo/raíz, aceptando los costos respiratorios que esto acarrearía.
- Almacenar agua en sus tejidos de manera que el CO₂ pueda ser asimilado bajo condiciones de aridez.
- Limitar la absorción de energía radiante por la hoja para reducir la evaporación por calor.
- Incrementar la eficiencia del mecanismo bioquímico de captación de CO₂, con lo que se aumentaría el cociente ganancia de carbón/pérdida de agua.
- Transferir el periodo de asimilación de CO₂ a un tiempo, cuando la humedad atmosférica es elevada y la energía radiante es mínima, es decir, el periodo nocturno.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Programa de mejoramiento PIPs Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada a 241 msnm, durante la campaña 2021-2022.

Las características físico – químicas del campo de cultivo se obtuvieron del análisis de una muestra compuesta en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Los resultados del análisis, indican que el suelo donde se estableció el experimento, presenta una textura arcillosa, pH neutro (6.75), sin peligro de sales (0.46 ds/m), nivel bajo de materia orgánica (1.75 %), nivel alto de fósforo disponible (19.73 ppm), nivel medio en potasio disponible (101 ppm), libre de carbonato de calcio (0 %) y alta capacidad de intercambio catiónico efectiva (16.8 meq/100 g suelo). En el anexo 1 se muestra el análisis de caracterización.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

- Semilla de cuatro genotipos de trigo

3.2.2. Materiales

- Fertilizantes
- Pesticidas
- Cuaderno de campo
- Segadera
- Mantas
- Wincha
- Cordel
- Bolsas de papel
- Regla
- Marcadores.

3.2.3. Equipos

- Porómetro de difusión
- Medidor de clorofila (Spad 502)
- Sensor GreenSeeker
- Termómetro
- Sensor de humedad (PR2)
- Balanza analítica
- Estufa
- Laptop
- Cámara fotográfica.

3.3. Diseño estadístico

Se realizaron dos experimentos correspondiendo a dos ambientes diferentes. En el experimento 1 las plantas estuvieron sometidas al déficit hídrico y el experimento 2 con manejo de riego normal. Los experimentos se instalaron con el diseño experimental bloques al azar (DBCA). Cada experimento tuvo 4 tratamientos (genotipos) con cuatro repeticiones.

3.4. Variables

3.4.1. Variables independientes (X)

AMBIENTES: Manejo de riego

A1 = Déficit hídrico (ausencia de riego a partir del macollamiento)

A2 = Riego (riego de acuerdo a la necesidad del cultivo)

TRATAMIENTOS POR EXPERIMENTO: Genotipos de trigo

T1 = Variedad Nazareno, procedente de Abancay (INIA Chumbibamba)

T2 = PITH 34, línea avanzada del programa de mejoramiento PIP Cereales.

T3 = EATH 1-122, línea avanzada del programa de mejoramiento PIP Cereales.

T4 = Variedad Centenario, proporcionado por el programa de mejoramiento PIP Cereales.

3.4.2. Variables dependientes (Y)

Y₁= Contenido de clorofila

Y₂= Conductancia estomática

Y₃= Temperatura del dosel

Y₄= Duración de etapas de desarrollo

Y₅= Biomasa a cosecha

Y₆= Rendimiento en grano

Y₇= Índice de cosecha

Y₇= Contenido relativo de agua

El área de la unidad experimental fue de 7m², con distanciamiento entre surcos de 0.35m, la longitud de surco de 4m, el número de surcos 5, y la densidad de siembra fue de 200 semillas viables por m². Considerando el peso de 1000 gramos, se estimó el peso de la semilla por hectárea, es decir 108.7, 126.2, 114.7 y 83.9 kg para Nazareno, PITH 34, EATH 1-122 y Centenario respectivamente.

Para el análisis de los datos, se inició con el análisis de la varianza (ANVA) y prueba de comparación de medias de Tukey en cada ambiente. Cada experimento fue establecido en un Diseño de Bloques Completos al Azar. Los datos se analizaron utilizando el software estadístico SAS v.8 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM), con un nivel de significación del 5%. Luego se utilizó un análisis combinado para los experimentos en ambos ambientes, cuyo M.A.L. se muestra a continuación:

$$\tilde{Y}_{ijk} = u + B_{k(j)} + T_i + A_k + (T.A)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

\tilde{Y}_{ijk} = Valor observado debido a la variación

u = Media general del experimento

A_k = Efecto de la k-ésimo ambiente

T_i =Efecto del i-ésimo tratamiento

B_{k(j)} =Efecto del j-ésimo bloque dentro de la k-ésimo ambiente

(T.A)_{ik} = Efecto de interacción del i-ésimo tratamiento y del k-ésimo ambiente

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental en la observación.

Tabla 4. Tabla del análisis de la varianza para del conjunto de experimentos.

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD
A	a-1
BLO(A)	(a-1)l
TRA	t-1
A*TRA	(a-1)(t-1)
EE	Por diferencia=(r-1)(t-1)a
TOTAL	atr-1

Donde:

r= Número de bloques

a= Número de ambientes

t= Número de tratamientos

En las variables que se encontró interacción de genotipo por ambiente se realizó el análisis de efectos simples, en variables que no se encontró interacción de genotipo por ambiente se realizó el análisis de efectos principales. Se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significación del 5%.

3.5. Metodología

Previo a la siembra se realizó la prueba del porcentaje de germinación de las semillas de los cuatro genotipos, los cuales se muestran en la tabla 5; luego se calculó la cantidad de semilla por cada unidad experimental y por cada surco teniendo en cuenta la viabilidad.

Tabla 5. Porcentaje de germinación de los genotipos de trigo.

Genotipo	Origen	PMG (gr)	% Germinación
INIA 418 – EL NAZARENO	KEA/TOW//LIRA	51.63	95%
PITH 34	KAMB1/MNNK1//WBLL1	59.96	95%
EEATH 1-122	BABAX/LR42//BABAX*2/4/SNI/TRAP# 1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	55.65	97%
Testigo	CENTENARIO	40.67	97%

La siembra se realizó en el mes de setiembre, con una densidad de 200 semillas viables por m² (Fernández, 2018). Los primeros 20 días después de la siembra, se realizaron los riegos en las dos parcelas (Déficit hídrico - Riego), con el fin de garantizar la germinación y crecimiento inicial homogéneo. A partir esa fecha, sólo se regó la parcela 2 (Riego).

Se realizó la fertilización de fondo con la fórmula N-P-K de 100-60-0 al momento de la siembra; el desmalezado se realizó de forma manual durante el macollamiento y el llenado de grano; asimismo se realizaron dos aplicaciones sanitarias, la primera para combatir los pulgones (*Schizaphis graminum*) y la segunda para el mildiu veloso (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*).

3.6. Mediciones realizadas

- ✓ **Humedad del suelo:** Para esta medición se utilizó un sensor de humedad PR2/6, el cual es un medidor portátil que tiene elementos de detección a los 10, 20, 30, 40, 60 y 100 cm. Este equipo mide el contenido volumétrico de agua. La instalación de los

puntos de muestreo se realizó luego de la siembra, para ello se realizaron hoyos en el campo para colocar en ellos unos tubos de plástico, en éstos es dónde se introdujo el PR2 para hacer la medición. Cuando se hacían las mediciones, se introducía el PR2 y para cada repetición se giraba el aparato 120°. Se realizaban 3 mediciones por cada punto con una frecuencia de tres veces por semana.



Figura 6. Equipo de medición de humedad de suelo - PR2.

- ✓ **Contenido de clorofila:** Las evaluaciones se realizaron con un medidor de clorofila Minolta SPAD-502 en intervalos regulares entre el inicio del espigamiento hasta mediados del llenado de grano. Para ello se tomaron tres promedios en tres hojas bandera por parcela (es decir, 3x3 hojas); el horario de evaluación fue entre las 2-3 pm. El SPAD-502 permite mediciones instantáneas del valor correspondiente al contenido en la hoja expresados en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), el cual es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja.
- ✓ **Conductancia estomática:** Esta variable se midió con un porómetro de difusión, entre las 11:00 y las 14:00 horas. Se tomaron de tres lecturas por unidad experimental en hojas banderas diferentes elegidas al azar. Las mediciones se realizaron en intervalos regulares desde el inicio de la elongación del tallo hasta llenado de grano tardío.



Figura 7. Equipo de medición de la conductancia estomática – Porómetro de difusión.

- ✓ **Temperatura del dosel:** Se realizó las mediciones con un Termómetro infrarrojo (IRT) una hora antes o dos horas después del medio día; es decir entre las 11:00 y 14:00 horas (cuando las plantas sufren un mayor estrés hídrico y la superficie de las plantas esté seca y no húmeda debido al rocío, riego o lluvia). Se tomaron tres medidas por unidad experimental de las partes más expuesta al sol, evitando el sombreado con el cuerpo del operador. Las mediciones se realizaron una vez por semana desde mediados del macollamiento hasta el llenado de grano.
- ✓ **Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI):** Para ello se utilizó Sensor portátil NDVI GreenSeeker. El NDVI se calcula a partir de mediciones de la reflectancia de la luz en las regiones del rojo e infrarrojo cercano (NIR) del espectro. Un dosel verde y sano absorberá la mayor parte de la luz roja y reflejará la mayor parte de la luz NIR, ya que la clorofila absorbe la luz azul y roja principalmente y el mesófilo refleja la luz NIR. Las mediciones fueron tomadas en horas cercanas al medio día, desde el inicio del macollamiento hasta el llenado de grano.
- ✓ **Duración de las etapas de desarrollo:** Las evaluaciones se realizaron utilizando la nomenclatura de Zadoks de acuerdo a lo descrito por Fernández, (2018): a) Z1.0, emergencia de plántulas, b) Z3.1, primer nudo visible, c) Z4.9, aristas visibles, d) Z5.9 emergencia total de espigas, e) Z8.9, madurez fisiológica (figura 8).

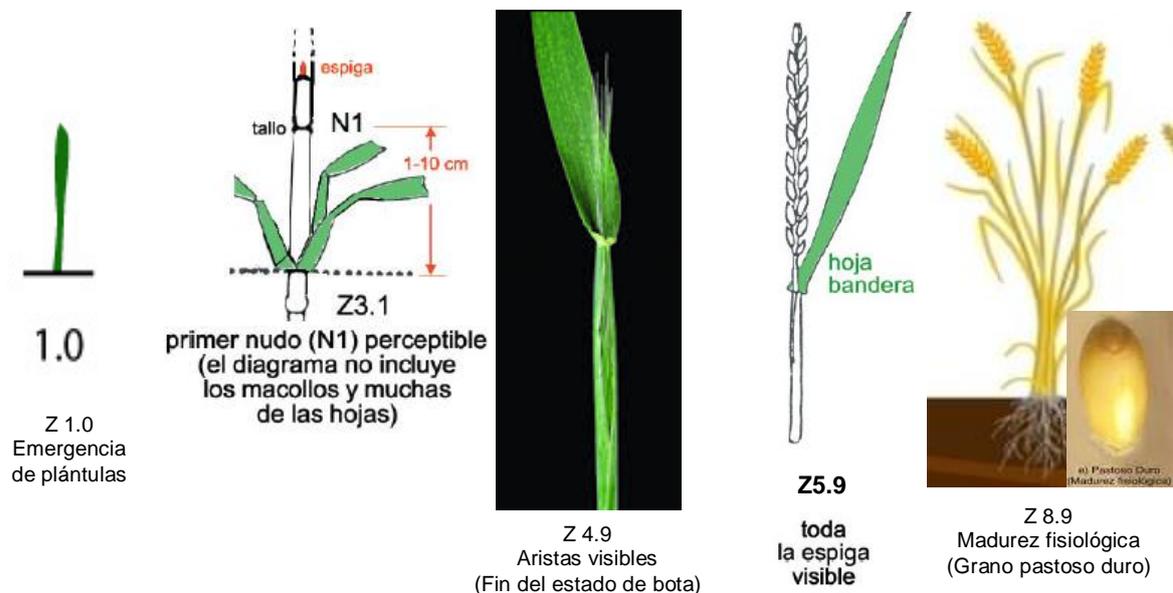


Figura 8. Etapas de desarrollo según la escala de Zadoks. Adaptado de: Rawson & Macpherson (2001).

- ✓ **Contenido relativo de agua en hojas (CRA):** Las mediciones se realizaron en diferentes etapas de desarrollo, en intervalos regulares desde el inicio de macollamiento hasta mediados del llenado de grano. Para ello se cortó 3 hojas banderas completamente expandidas provenientes de plantas escogidas al azar en cada unidad experimental. Las hojas se colocaron dentro de un tubo con tapa y se pesó para determinar el peso fresco, luego se añadió 1 cm de agua destilada a cada tubo y se almacenó en el refrigerador (a 4°C en la oscuridad) por 24 horas (para que las hojas alcancen una turgencia completa), tal como se visualiza en la figura 9. Pasado el tiempo se pesó la hoja muestreada (PT, peso en turgencia), seguidamente las hojas fueron secadas a 65°C en horno hasta alcanzar un peso constante. Finalmente se pesó las muestras de hojas (PS, peso seco). Mediante la siguiente fórmula se calculó el CRA:

$$\% \text{ CRA} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} * 100$$

Donde:

CRA = Contenido relativo de agua en hojas

PF = Peso fresco

PS = Peso seco

PT = Peso turgente



Figura 9. Hidratación de hoja bandera de trigo (izquierda), pesado de hoja bandera seca (derecha).

- ✓ **Caracteres morfológicos:** Se tomó de forma aleatoria 6 espigas por parcela y midió el largo de las espigas, largo de las aristas, se contó número de flores vanas o infértiles y el número de flores fértiles. Adicionalmente se midió la altura de planta.



Figura 10. Medición de altura de planta (izquierda), espigas de trigo con riego para evaluaciones morfológicas (derecha).

- ✓ **Biomasa a cosecha:** Fuera del área de cosecha y de los bordes de la cosecha, se cortaron a ras del suelo, con una segadera, cinco manojos de tallos. De cada manejo se seleccionó 10 tallos, es decir 50 en total. Luego se procedió a colocar todo el material en bolsas de papel rotulados y se colocó dentro del horno a 65°C hasta obtener el peso constante. Se realizó el pesado de los tallos y se trillaron las espigas y se anotaron los resultados del peso seco de los granos.
- ✓ **Índice de cosecha:** Fue calculado dividiendo la producción de grano por parcela por la biomasa aérea total (secadas ambas en estufa a 65° C) multiplicados por 100.
- ✓ **Rendimiento en grano:** Se determinó trillando 1 m² de la zona central de la parcela. Además, se recolectaron datos de los componentes de rendimiento: Número de espigas (NE) por m², número de granos (NG) por espiga y peso de mil granos (PG). Para el NE se realizó el recuento total de espigas en una superficie de 1 m², para NG se eligieron 10 espigas al azar dentro del m², se trillaron y se contarán los granos, para el PG se tomó el peso de 1000 granos.



Figura 11. Medición de los componentes del rendimiento (número de granos de 10 espigas elegidas al azar).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBJETIVO 1:

Diferencias fisiológicas en los diferentes estados fenológicos del cultivo mediante mediciones en la parte vegetativa.

4.1.1. Duración de las etapas fenológicas

Los datos de las evaluaciones fenológicas o etapas de desarrollo evidencian que, bajo condiciones de déficit hídrico, las plantas llegaron a madurez fisiológica en 11 días antes que en condiciones óptimas de riego en los cuatro genotipos estudiados (Figura13), las diferencias se evidencian desde el espigado (Z59), siendo mayor en la madurez fisiológica (Z89); estos datos concuerdan con Blum (2022), quien afirma que el déficit hídrico provoca una floración adelantada en el caso de trigo, mientras que otros cultivos como el arroz suele retrasarse.

Los cuatro genotipos estudiados presentan el mismo comportamiento en cuanto a la duración de las etapas fenológicas, esto indica la adaptación del trigo, en especial el genotipo El Nazareno, ya que de acuerdo al INIA, este genotipo es recomendable para las condiciones de sierra del Perú entre los 2 800 y 3 500 m de altitud, donde llega a la etapa de espigado (Z59) a los 77 días después de la siembra (dds). En esta investigación, llegó a esta etapa fenológica a los 57.75 dds en condiciones óptimas de riego.

Fernández (2018), en Argentina, reporta para *Triticum aestivum* L. var “Buck Guaraní”, variedad considerada dentro de los ciclos intermedios-cortos para cereales de invierno, la duración de Z10 con 18.9 dds, Z31 con 78.5 dds, Z49 con 102.5 dds, Z59 con 110.3 dds y Z89 con 144.4 dds respectivamente, siendo estos valores superiores a los encontrados en esta investigación para condiciones de riego donde la duración promedio de los genotipos fue de emergencia (Z10) con 5.0 dds, primer nudo visible (Z31) con 38.81 dds, primera arista visible (Z49) con 50.25 dds, espigado total sin floración (Z59) con 57.81 dds y madurez fisiológica (Z89) con 103.25 dds respectivamente. Se pueden atribuir estas variaciones a diversos factores como la temperatura, época de siembra y tipo de suelo, así como también a los factores genéticos propios de cada genotipo.

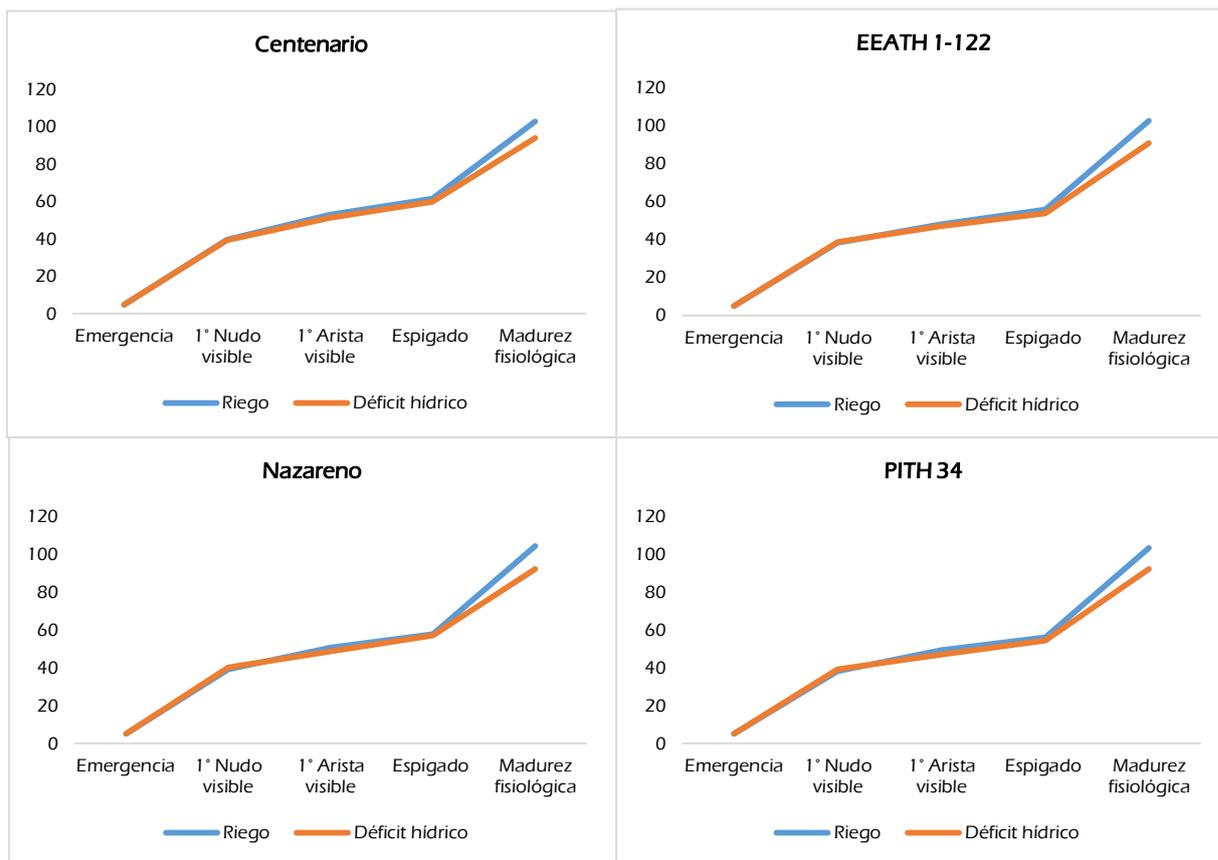


Figura 12. Duración de las etapas de desarrollo de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Déficit hídrico y Riego.

En la tabla 6 se muestra el análisis de la varianza de la cantidad de los días después de la siembra hasta la madurez fisiológica de los genotipos de trigo, donde no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cada uno de los ambientes, es decir, los cuatro genotipos llegaron a madurez fisiológica en tiempo similar en ambos ambientes, bajo riego normal y bajo déficit de riego.

En cuanto al análisis combinado, no se evidenció interacción de los tratamientos con el ambiente, lo cual indica que todos los tratamientos siguieron la misma tendencia tanto en el ambiente de riego como en el ambiente de déficit de riego. El análisis combinado muestra diferencia significativa entre los ambientes en estudio, por lo que podemos afirmar que el déficit hídrico produce adelanto en la maduración de las plantas de trigo, lo cual concuerda con Acosta et al., (2011), quienes reportaron la reducción de entre 12 y 16 días la madurez fisiológica y el llenado de grano de variedades nativas e introducidas de frijol sometidas a sequía.

Tabla 6. Análisis de varianza de los días a la Madurez fisiológica (MF) de los cuatro genotipos de trigo en los tratamientos déficit hídrico y riego.

Madurez Fisiológica (Z89)			
Análisis individual	TRA†	C.V	R2
Riego	NS	1.33	0.41
Déficit hídrico	NS	2.32	0.46
Análisis combinado			
BLO(AMB)		NS	
AMB		**	
TRA		NS	
AMB*TRA		NS	

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y Déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Teniendo en cuenta que existe diferencia significativa entre los ambientes, se realizó un análisis de comparación de medias de Tukey, por lo que en la tabla 7 se muestra el promedio de los días después de la siembra que los genotipos ocuparon para llegar a la madurez fisiológica, siendo 10.65% menor en el ambiente de déficit hídrico con respecto al ambiente de riego.

Tabla 7. Prueba de comparación de medias de Tukey para los días a la Madurez fisiológica de los genotipos de trigo según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	103.25	A
Déficit hídrico	92.25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 13 se muestra el promedio de los días después de la siembra que ocuparon de los cuatro genotipos en los dos ambientes para llegar a la madurez fisiológica. Pese a que en el análisis combinado no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, podemos mencionar que el tratamiento más precoz fue el EEATH 1-122 en el ambiente de déficit hídrico y el tratamiento más tardío fue El Nazareno en el ambiente de Riego con 91 dds y 104 dds respectivamente.

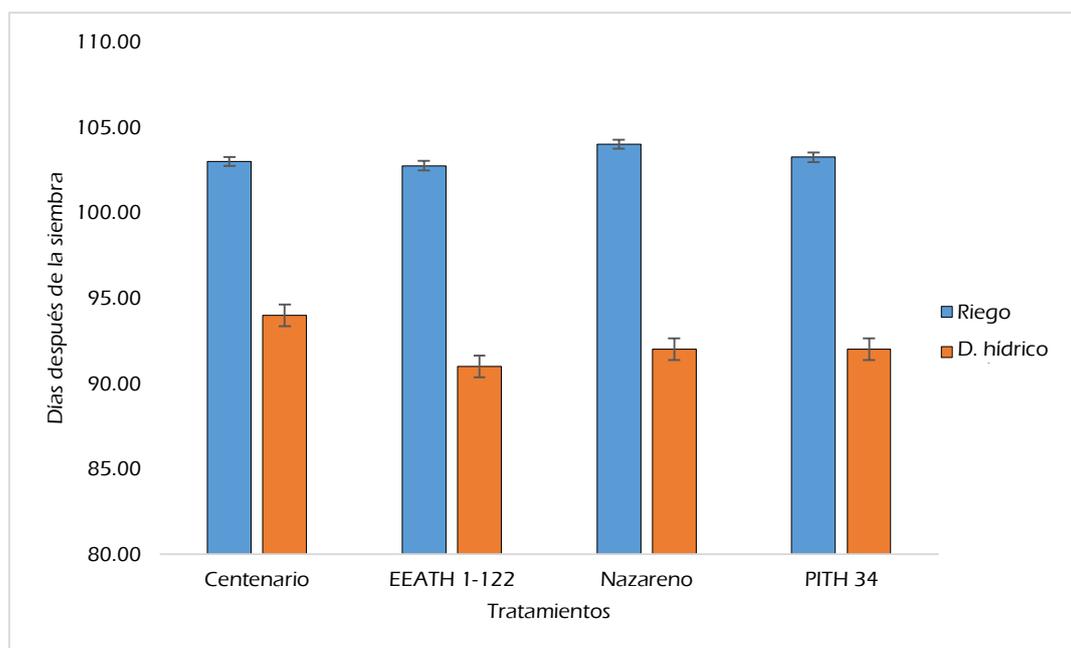


Figura 13. Días a la Madurez fisiológica (MF) de los genotipos de trigo en los ambientes de Déficit hídrico y Riego.

4.1.2. Contenido de clorofila en hojas

En cuanto a ésta variable fisiológica, el análisis individual de los tratamientos (tabla 7) evidenció diferencias significativas entre los valores del contenido de clorofila a los 83 dds para los cuatro genotipos en el ambiente de riego, mientras que, en el ambiente de déficit hídrico, los valores del contenido de clorofila sólo fueron significativos estadísticamente a los 63 dds. En el análisis combinado no se evidenció interacción entre los ambientes y los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, es decir todos respondieron de igual manera dependiendo de las condiciones del riego.

Asimismo, el análisis combinado (tabla 8) demostró diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes a los 63 dds, 77 dds y 83 dds; mientras que, para los tratamientos riego y déficit hídrico, se encontraron diferencias estadísticamente sólo a los 56 dds y 63 dds. Estos valores indican que a medida que la deficiencia hídrica se va incrementando, los valores del contenido de clorofila disminuyen, concordando con Yana (2018), quien reportó diferencia significativa en los valores de contenido de clorofila para genotipos de trigo en los tratamientos control y sequía; Muhammad et al. (2012) indicaron que el estrés hídrico dificulta la fotosíntesis debido a la reducción de la síntesis de pigmentos de clorofila, que se traduce en la disminución de reacciones de recolección de luz por la alteración de la maquinaria fotosintética, la disminución del área foliar y prematura senescencia foliar.

Tabla 8. Resumen de análisis de varianza de contenido de clorofila de cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en diferentes fechas (dds) en los ambientes de déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Fechas de evaluación											
	56 dds			63 dds			77 dds			83 dds		
	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2
Riego	NS	3.38	0.48	NS	1.77	0.62	NS	1.51	0.51	*	1.5	0.82
D. hídrico	NS	2.95	0.59	*	2.04	0.78	NS	3.78	0.39	NS	8.27	0.58
Análisis Combinado												
BLO(AMB)	NS			NS			NS			*		
AMB	NS			*			**			**		
TRA	*			**			NS			NS		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y Déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Luego de encontrar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 56 dds, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey (tabla 9), en la que se observa que los genotipos Nazareno y PITH 34 presentaron mayor contenido de clorofila en comparación con Centenario. El genotipo EEATH 1-124 presentó valor estadísticamente intermedio, pues, de acuerdo a la prueba Tukey, se parece tanto al grupo A como al grupo B.

Contenido de clorofila a los 56 DDS

Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 56 dds en los genotipos evaluados.

Tratamientos	Media	Grupo
Nazareno	47.28	A
PITH	47.11	A
EEATH	46.33	AB
Centenario	44.85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La figura 14 muestra los valores del contenido de clorofila a los 56 dds, es decir durante las etapas fenológicas de espigamiento e inicio de la antesis. El genotipo Centenario presentó menor contenido de clorofila tanto en déficit hídrico (44.80) como en riego (44.89), mientras que el Nazareno el mayor valor (47.75) en el ambiente de riego. En el caso del PITH 34, presentó mayor contenido de clorofila en déficit hídrico (47.38) en comparación a riego (46.85).

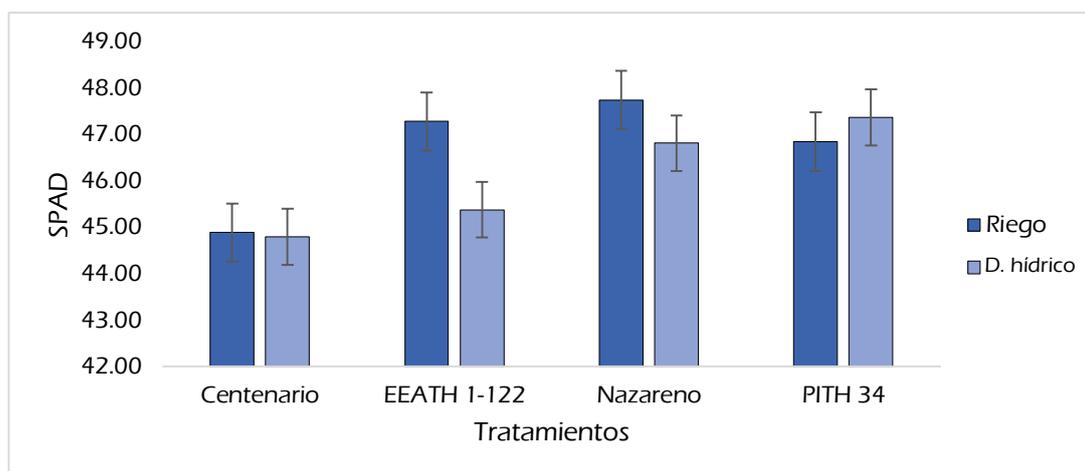


Figura 14. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra.

Contenido de clorofila a los 63 DDS

Tras encontrar diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes a los 63 dds en el análisis combinado de la varianza, se realizó la prueba de comparación de medias con un nivel de confianza del 95% (tabla 10), determinando así que los valores del contenido de clorofila fueron superiores en el ambiente riego.

Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 63 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	47.86	A
Déficit hídrico	46.89	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

De igual manera, se realizó la prueba de comparación de medias con un nivel de confianza del 95% ya que se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 63 dds (tabla 11), en la que se observa que los genotipos Nazareno, PITH 34 y EEATH 1-124 presentaron mayor contenido de clorofila en comparación con el Centenario.

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 63 dds en los genotipos evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Nazareno	48.52	A
PITH	47.68	A
EEATH	47.46	A
Centenario	45.83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La figura 15 nos muestra los valores del contenido de clorofila a los 63 dds, es decir durante las etapas fenológicas de antesis e inicio de llenado de grano. El genotipo Centenario presentó menor contenido de clorofila tanto en déficit hídrico (44.96) como en riego (46.71), mientras que el Nazareno el mayor valor (48.70) en el ambiente de déficit hídrico y (48.34) riego. Asimismo, es preciso indicar que todos los genotipos, a excepción de Nazareno, presentaron menor contenido de clorofila en el ambiente de déficit hídrico.

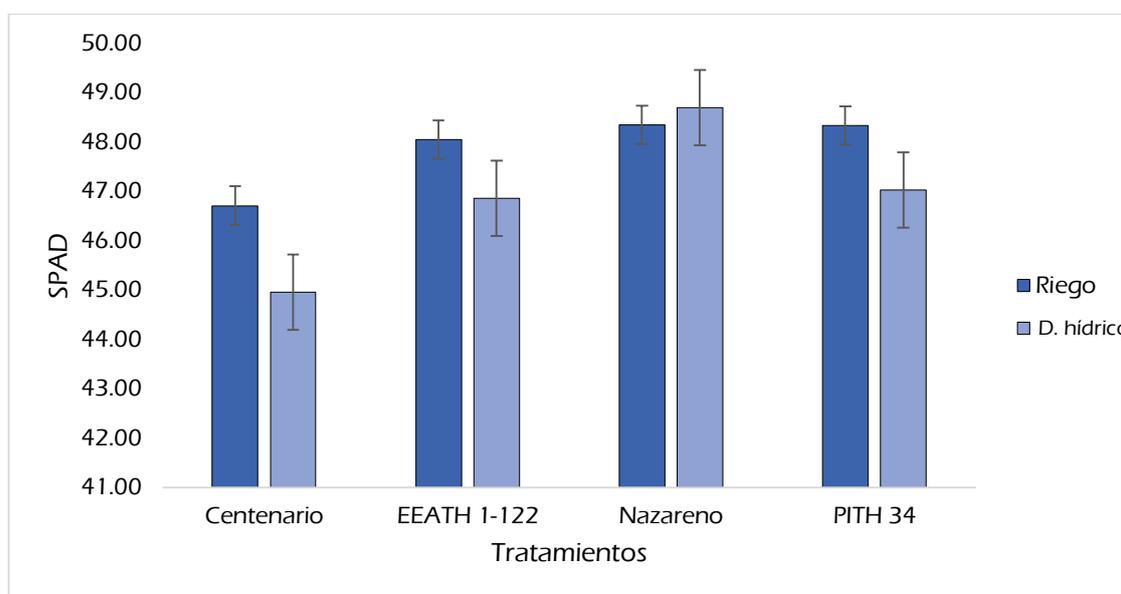


Figura 15. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra.

Contenido de clorofila a los 77 DDS

El análisis combinado de los valores de las mediciones del contenido de clorofila a los 77 dds presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, lo cual se demuestra en la tabla 12 mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95%, determinando así que los valores del contenido de clorofila fueron superiores en un 6.15% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 12. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 77 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	47.57	A
Déficit hídrico	44.64	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La figura 16 nos muestra los valores del contenido de clorofila a los 77 dds, es decir durante la etapa fenológica de llenado de grano. El genotipo Centenario presentó menor contenido de clorofila en déficit hídrico (43.90) como en riego (46.83), mientras que EEATH 1-124 presentó el mayor valor (48.19) en el ambiente de riego. Asimismo, es preciso indicar que todos los genotipos presentaron menor contenido de clorofila en el ambiente de déficit hídrico.

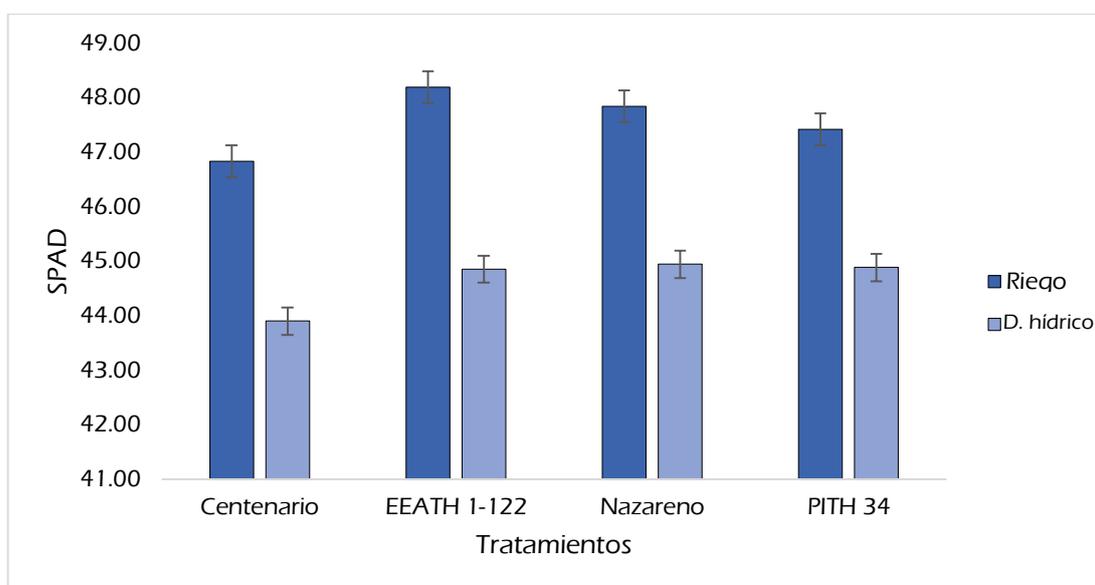


Figura 16. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra.

Contenido de clorofila a los 83 DDS

El análisis combinado de los valores de las mediciones del contenido de clorofila a los 83 dds presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, lo cual se demuestra en la tabla 13 mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95%, determinando así que los valores del contenido de clorofila fueron superiores en 18.88% en riego en comparación a déficit hídrico.

Teniendo en cuenta que, en la fecha de evaluación, la humedad en el suelo iba disminuyendo en el ambiente de déficit hídrico, encontramos que los valores del contenido de clorofila en las hojas fueron disminuyendo de manera paulatina, concordando con Potters et al., (2007) y Shao et al., (2008) quienes indican que cuando la deficiencia hídrica se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, área foliar y fisiología.

Tabla 13. Prueba de comparación de medias de Tukey para el contenido de clorofila en la hoja bandera a los 83 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	46.86	A
Déficit hídrico	38.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 17 visualizamos los valores del contenido de clorofila a los 83 dds, la cual coincidió con la etapa fenológica de llenado de grano. En esta fecha de evaluación, el genotipo Nazareno presentó menor contenido de clorofila en déficit hídrico (36.48), mientras que PITH 34 presentó el mayor valor (47.83) en el ambiente de riego. Todos los genotipos presentaron menor contenido de clorofila en el ambiente de déficit hídrico.

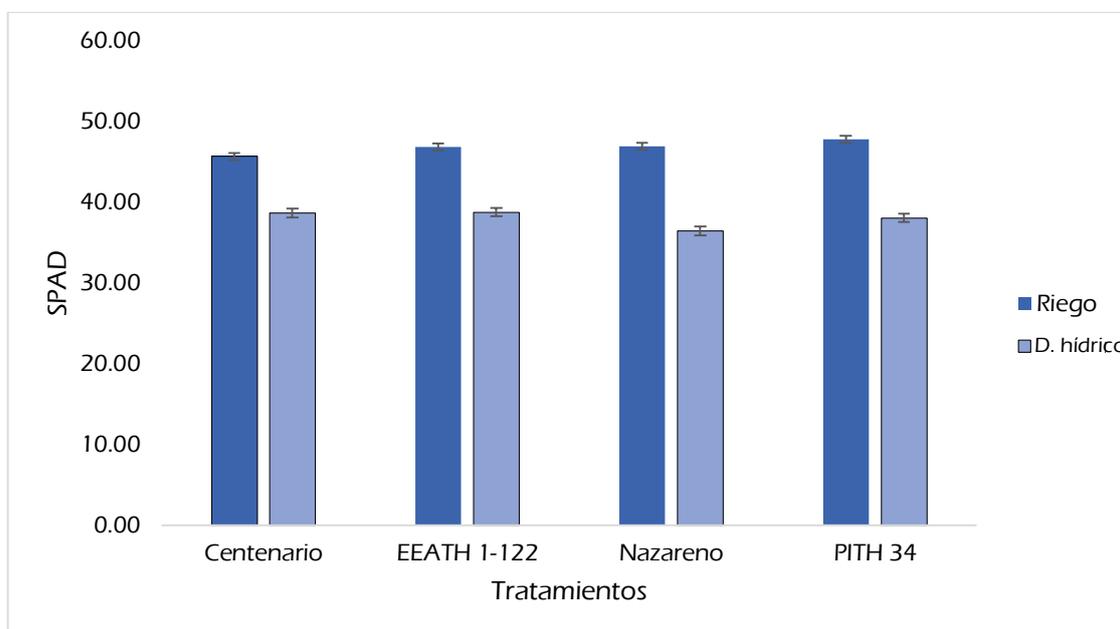


Figura 17. Contenido de clorofila en unidades SPAD de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra.

4.1.3. Conductancia estomática en hojas

La tabla 13 muestra que los valores de la conductancia estomática en los cuatro genotipos estudiados son similares en cada fecha de evaluación dependiendo del ambiente (Riego y Déficit hídrico), siendo menores en condiciones de déficit hídrico. En el ambiente de riego, los valores van incrementándose a medida que avanzan las etapas fenológicas, encontrando valores más bajos durante el inicio de espigamiento (49 dds) y mayor durante el llenado de grano (84 dds); mientras que, en el ambiente de déficit hídrico, los valores más altos se encontraron durante el espigamiento – inicio de anthesis (56 dds) y los más bajos durante

antesis – inicio de llenado de grano (63 dds). Fernández (2018) reportó que los valores de la conductancia estomática en trigo harinero fueron muy similares a los valores de la humedad del suelo, es decir a menor valor de humedad del suelo, menor valor de conductancia estomática.

En el análisis individual de la varianza (tabla 14), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cada ambiente a los 49 dds, 56 dds, 63 dds y 77 dds. Sin embargo, a los 83 dds, encontramos significancia entre los tratamientos en el ambiente de déficit hídrico, lo cual indica que al menos uno de los tratamientos presentó menor conductancia estomática, en este caso fue el genotipo EEATH 1-124, con un valor promedio de 90.92 mmol m² s⁻¹.

Tabla 14. Resumen de análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Conductancia estomática de cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en los ambientes de riego y déficit hídrico.

Análisis individual	Fechas de evaluación														
	49 dds			56 dds			63 dds			77 dds			83 dds		
	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²
Riego	NS	27.54	0.38	NS	17.88	0.51	NS	23.91	0.22	NS	12.43	0.36	NS	11.77	0.39
D. hídrico	NS	9.22	0.6	NS	24.05	0.32	NS	21.12	0.76	NS	14.58	0.71	*	8.36	0.71
Análisis Combinado															
BLO(AMB)	NS			NS			NS			NS			NS		
AMB	*			**			**			**			**		
TRA	NS			NS			NS			NS			NS		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Conductancia estomática a los 49 DDS

El análisis combinado de los valores de las mediciones de la conductancia estomática a los 49 dds presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, lo cual se demuestra en la tabla 15 mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95%, determinando así que los valores de conductancia estomática fueron superiores en un 21.05% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 15. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 49 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	196.60	A
Déficit hídrico	155.20	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 18 se visualiza los valores de la conductancia estomática a los 49 dds, la cual coincidió con las etapas fenológicas de la elongación del tallo y el inicio del espigamiento. En esta fecha de evaluación, el genotipo EEATH 1-124 presentó menor conductancia estomática en déficit hídrico (143.08), mientras que, en el ambiente de riego, este genotipo presentó el mayor valor promedio (214.67). Todos los genotipos presentaron menor contenido de conductancia estomática en el ambiente de déficit hídrico, siendo menos marcada la diferencia en el genotipo Centenario.

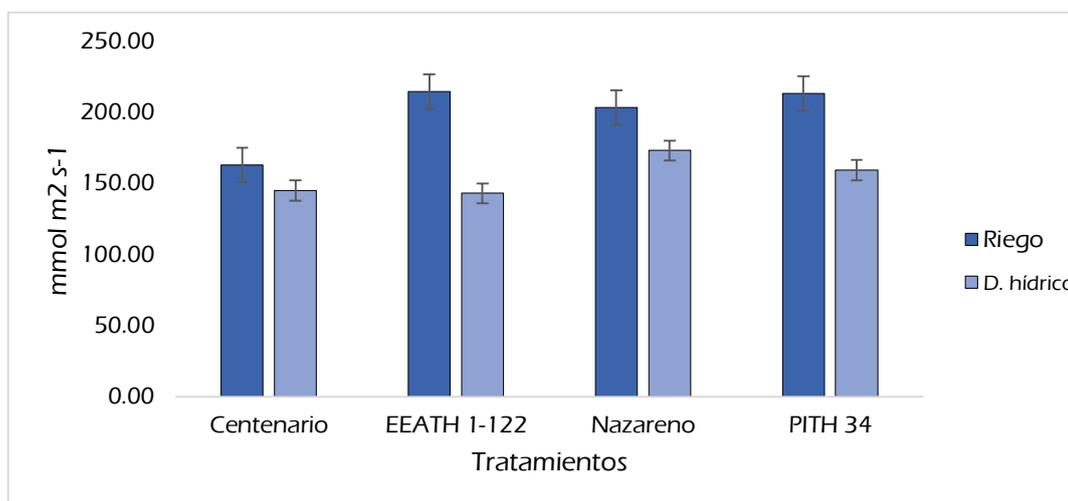


Figura 18. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra.

Conductancia estomática a los 56 DDS

En la tabla 16, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores de las mediciones de la conductancia estomática a los 56 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores de conductancia estomática fueron superiores en un 55.02% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 56 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	405.80	A
Déficit hídrico	182.50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores de la conductancia estomática a los 56 dds, es decir, durante el espigamiento e inicio de la antesis, se muestran en la figura 19. En esta fecha de evaluación, el genotipo EEATH 1-124 presentó menor conductancia estomática en déficit hídrico (174.42), mientras que, en el ambiente de riego, este genotipo presentó el mayor valor promedio (460.42). Todos los genotipos presentaron menor contenido de conductancia estomática en el ambiente de déficit hídrico, siendo menos marcada la diferencia entre ambientes en el genotipo Nazareno, pues, presentó 182.58 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ en déficit hídrico y 371.08 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ en riego.

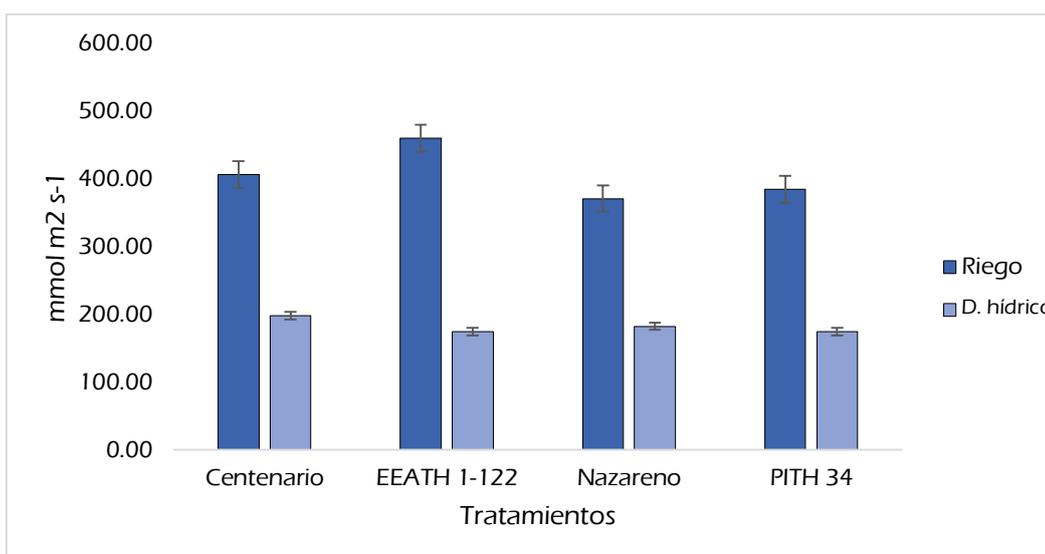


Figura 19. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra.

Conductancia estomática a los 63 DDS

El análisis combinado de los valores de las mediciones de la conductancia estomática a los 63 dds presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, lo cual se demuestra en la tabla 17 mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con nivel de confianza del 95%, determinando así que los valores del contenido de clorofila fueron superiores en 83.96% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 17. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 63 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	493.50	A
Déficit hídrico	79.13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 20 visualizamos los valores de la conductancia estomática a los 63 dds, en este momento, el cultivo se encontraba en las etapas fenológicas anthesis e inicio de llenado de grano. Los genotipos PITH 34 y Nazareno presentaron menor conductancia estomática en déficit hídrico 75.78 y 75.79 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$, mientras que, en el ambiente de riego, el genotipo Centenario presentó el mayor valor promedio (549.58 $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$). Todos los genotipos presentaron menor contenido de conductancia estomática en el ambiente de déficit hídrico, asimismo es preciso mencionar que los valores de conductancia se van incrementando en el ambiente de riego y disminuyendo en el ambiente de déficit hídrico.

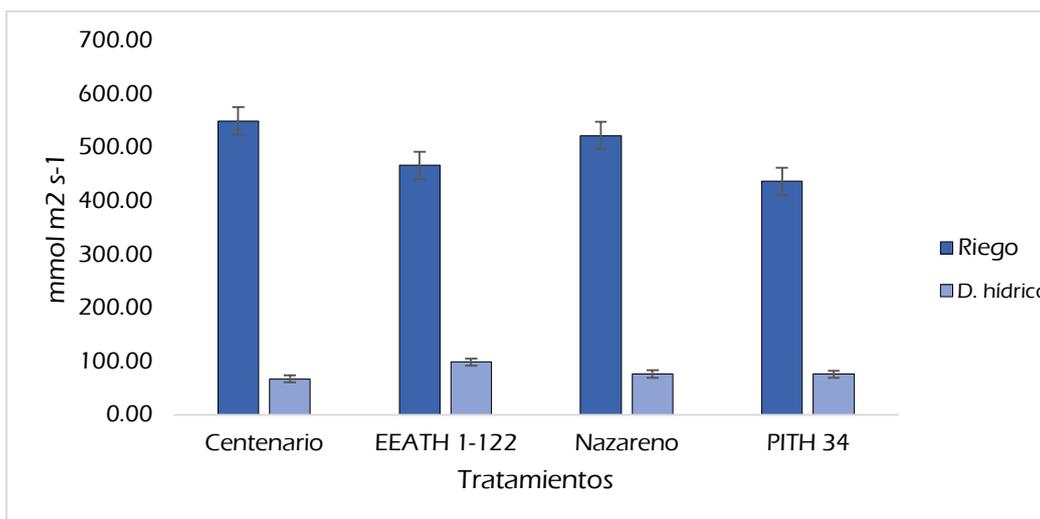


Figura 20. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra.

Conductancia estomática a los 77 DDS

En la tabla 18, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con nivel de confianza del 95% para los valores de las mediciones de la conductancia estomática a los 77 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores del contenido de clorofila fueron superiores en 78.31% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 18. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 77 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	528.90	A
Déficit hídrico	114.70	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores de la conductancia estomática a los 77 dds, es decir, durante el llenado de grano, se muestran en la figura 21. El genotipo Nazareno fue más sensible a la deficiencia hídrica, pues presentó menor conductancia estomática ($106.54 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$), mientras que, el genotipo con mayor tolerancia al déficit hídrico fue EEATH 1-124 ($119.25 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$). En el ambiente de riego, el genotipo Nazareno presentó el mayor valor promedio de conductancia estomática ($579.17 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$).

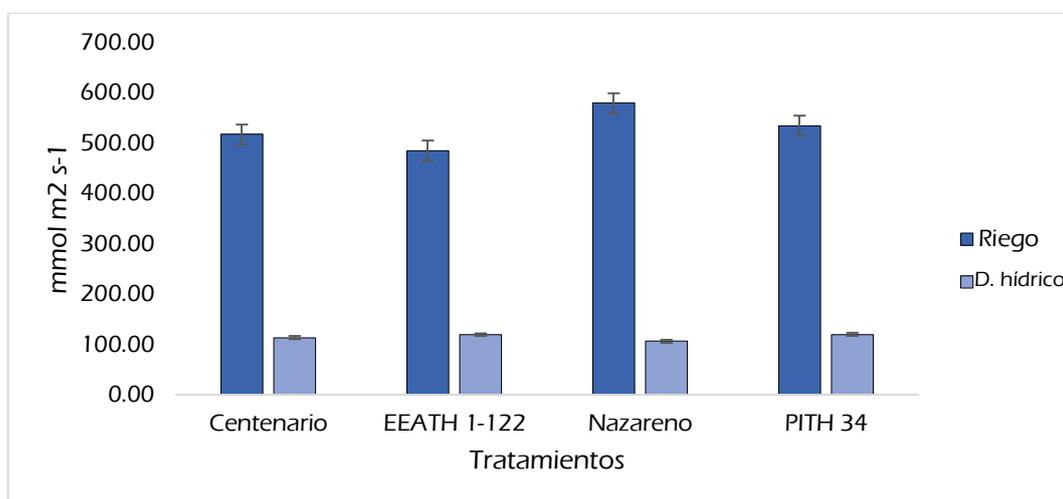


Figura 21. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra.

Conductancia estomática a los 83 DDS

El análisis combinado de los valores de las mediciones de la conductancia estomática a los 83 dds presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, lo cual se demuestra en la tabla 19 mediante la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95%, determinando así que los valores del contenido de clorofila fueron superiores en un 81.42% en riego en comparación a déficit hídrico.

Tabla 19. Prueba de comparación de medias de Tukey para la conductancia estomática en la hoja bandera a los 83 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	559.79	A
Déficit hídrico	104.25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 22 se visualiza los valores de la conductancia estomática a los 83 dds, en este momento, el cultivo se encontraba en las etapas fenológicas de fin de llenado de grano e inicio de la maduración. El genotipo EEATH 1-124 presentó menor conductancia estomática en déficit hídrico ($90.92 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$) y el genotipo con mayor valor de conductancia estomática fue Nazareno ($112.33 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$), mientras que, en el ambiente de riego, el genotipo Centenario continuó presentando el mayor valor promedio ($586.25 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$). Todos los genotipos presentaron menor contenido de conductancia estomática en el ambiente de déficit hídrico.

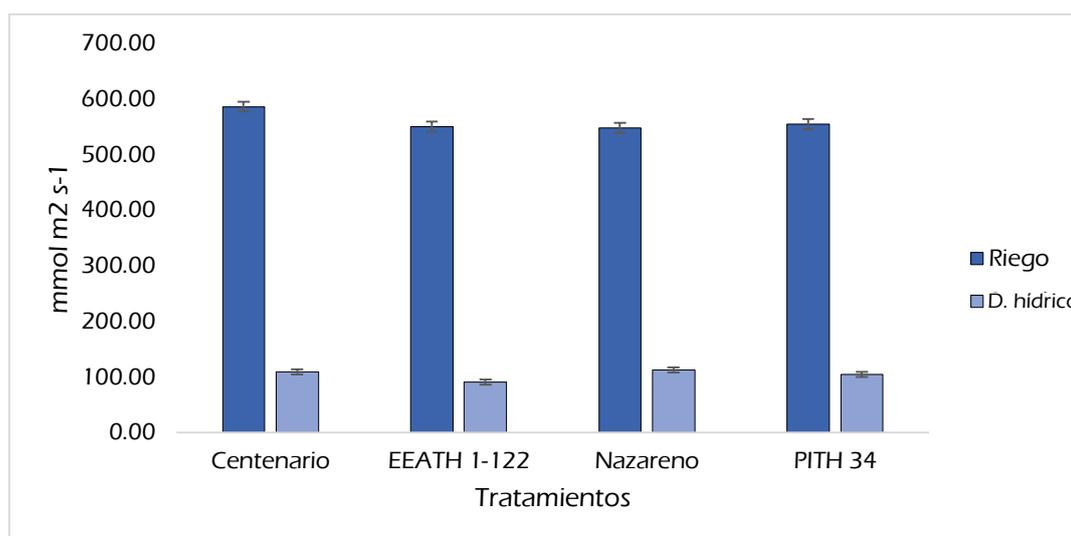


Figura 22. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra.

Al respecto, Blum (2022) explica que la turgencia de la hoja está asociada con el crecimiento y la función celular, por lo que en condiciones de déficit hídrico la turgencia se vuelve nula, las células colapsan y la hoja se marchita, aunque no está muerta. Los estomas responden (entre otros factores) a la turgencia y se cierran para reducir la transpiración. La reducción de la conductancia estomática provoca también una reducción de la fijación de CO_2 y la asimilación fotosintética y un aumento de la temperatura de la hoja. La reducción de la asimilación fotosintética también se da en otros tipos de estrés, como lo reportan Argantel et al. (2009), donde el contenido de clorofila disminuyó en la medida que se incrementaron

las concentraciones salinas en trigo sometido a estrés salino, las evaluaciones las realizó durante las etapas de plántula y floración.

Asimismo, el ácido abscísico ABA está involucrado en el proceso de adaptación de la planta frente al estrés hídrico, pues, está comprobado que, durante situaciones de estrés, los niveles de ABA se incrementan en los tejidos vegetativos provocando la activación de señalizaciones asociadas al cierre estomático (Moreno, 2009).

4.1.4. Temperatura del dosel

Con respecto a la temperatura del dosel, los valores encontrados en esta investigación muestran que, en condiciones de riego, la temperatura del dosel va disminuyendo ligeramente a medida que avanza las etapas fenológicas de la planta, es decir cuando adquiere mayor volumen el follaje; mientras que, en condiciones de déficit hídrico, la temperatura sufre un pequeño incremento a medida que avanzan las etapas fenológicas siendo mayores durante la anthesis (63 dds) – llenado de grano (83 dds), siendo inversamente proporcional al porcentaje de humedad del suelo (Figura 37). Los valores se mantienen similares en todos los genotipos en cada fecha de evaluación.

Estos datos concuerdan Houspanossian et al., (2007), quienes monitorearon los valores de humedad del suelo y la temperatura del dosel de maíz, trigo y frijol, reportando aumento de la temperatura de la planta a medida que disminuye la humedad del suelo.

Tabla 20. Resumen de análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Temperatura del dosel de cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en los ambientes de déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Fechas de evaluación														
	35 dds			49 dds			56 dds			63 dds			83 dds		
	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²
Riego	NS	1.04	0.53	NS	3.39	0.26	NS	3.03	0.14	NS	3.12	0.71	NS	3.04	0.23
D. hídrico	NS	1.91	0.59	NS	2.25	0.83	*	1.77	0.82	NS	1.7	0.43	NS	2.01	0.65
Análisis combinado															
BLO(AMB)	*			*			*			*			NS		
AMB	**			**			**			**			**		
TRA	NS			NS			NS			NS			NS		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

El análisis de varianza individual de los genotipos de trigo (tabla 20), muestra que no hubo

diferencia significativa en cada uno de los ambientes en todas las fechas de evaluación a excepción del ambiente de déficit hídrico a los 56 dds, donde el genotipo Nazareno presentó menor Temperatura del dosel (24.67°C) respecto a los otros tres genotipos.

Temperatura del dosel a los 35 DDS

Con respecto al análisis combinado (tabla 21), se encontraron diferencias significativas desde la primera fecha de evaluación, es decir a los 35 dds, cuando las plantas se encontraban en la etapa fenológica de macollamiento. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 20), observamos que en el ambiente de déficit hídrico la temperatura del dosel fue 0.62°C mayor que en el ambiente de riego.

Tabla 21. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 35 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	24.36	A
Riego	23.74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores de la temperatura del dosel a los 35 dds (figura 23), muestra que el genotipo PITH 34 presentó el mayor valor promedio de temperatura del dosel (24.48°C) en déficit hídrico, mientras que, en el ambiente de riego, este genotipo presentó el menor valor promedio (23.53°C). Todos los genotipos presentaron menor contenido de temperatura del dosel en el ambiente de riego, siendo menos marcada la diferencia entre ambientes en el genotipo Centenario, pues, presentó 24.24°C en déficit hídrico y 23.93°C en riego.

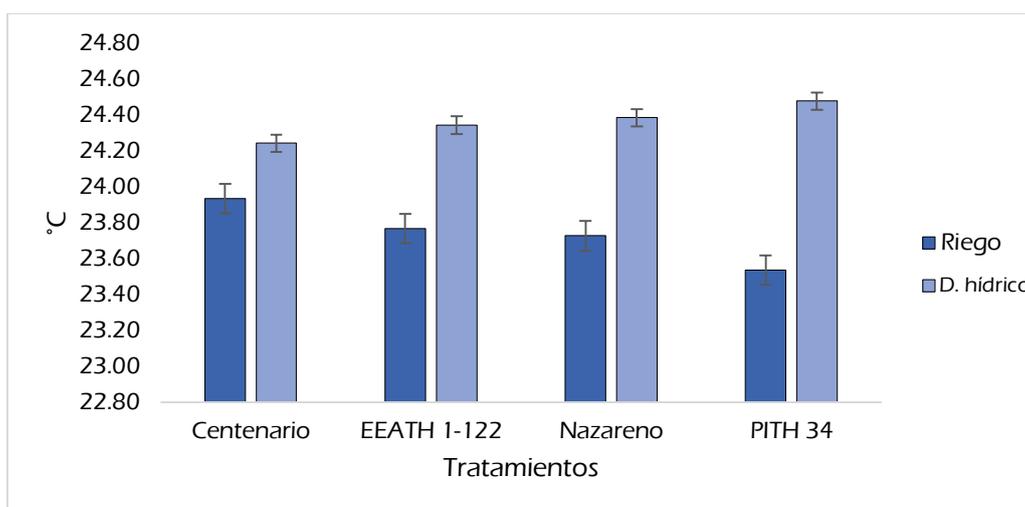


Figura 23. Temperatura del dosel (C°) en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 35 días después de la siembra.

Temperatura del dosel a los 49 DDS

En la tabla 22, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores de las mediciones de la temperatura del dosel a los 49 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores de la temperatura del dosel fueron superiores en 4.07°C en déficit hídrico en comparación al ambiente de riego.

Tabla 22. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 49 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	25.04	A
Riego	20.97	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores de la temperatura del dosel a los 49 dds, es decir, durante la elongación del tallo e inicio del espigamiento, se muestran en la figura 24. En esta fecha de evaluación, la diferencia de temperatura entre los ambientes se incrementó, siendo el genotipo PITH 34 el más sensible a la deficiencia hídrica, pues presentó mayor temperatura del dosel (25.42°C), mientras que, el genotipo con menor valor para esta variable fue Nazareno (24.54°C). Asimismo, en el ambiente de riego, el genotipo Nazareno presentó el menor valor promedio de temperatura del dosel (20.69°C).

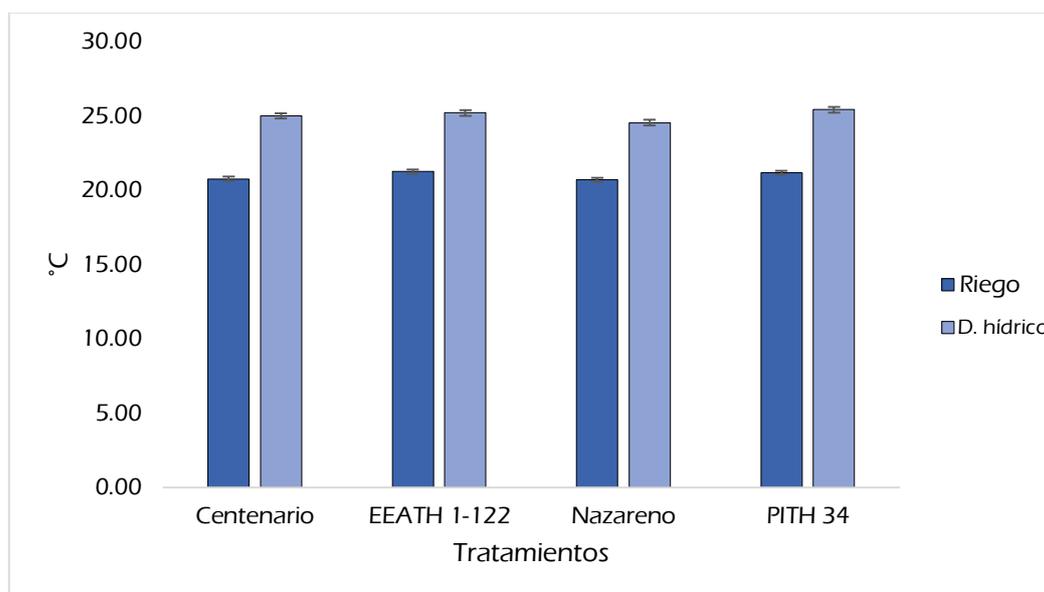


Figura 24. Temperatura del dosel (C°) en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra.

Temperatura del dosel a los 56 DDS

Los valores de la temperatura del dosel los 56 dds presentaron diferencias significativas, en este momento de evaluación, las plantas se encontraban en espigamiento e inicio de antesis. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 23), observamos que en el ambiente de déficit hídrico la temperatura del dosel fue 4.99°C mayor que en el ambiente de riego.

Tabla 23. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 56 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	25.00	A
Riego	20.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los valores de la temperatura del dosel a los 56 dds (Figura 25), nos muestra que el genotipo Centenario presentó el mayor valor promedio de temperatura del dosel (25.80°C) en condiciones de déficit hídrico, mientras que, el genotipo Nazareno presentó el menor valor promedio (19.43°C) en el ambiente de riego. En esta fecha de evaluación, fue más marcada la diferencia de la temperatura del dosel entre ambientes en todos los genotipos.

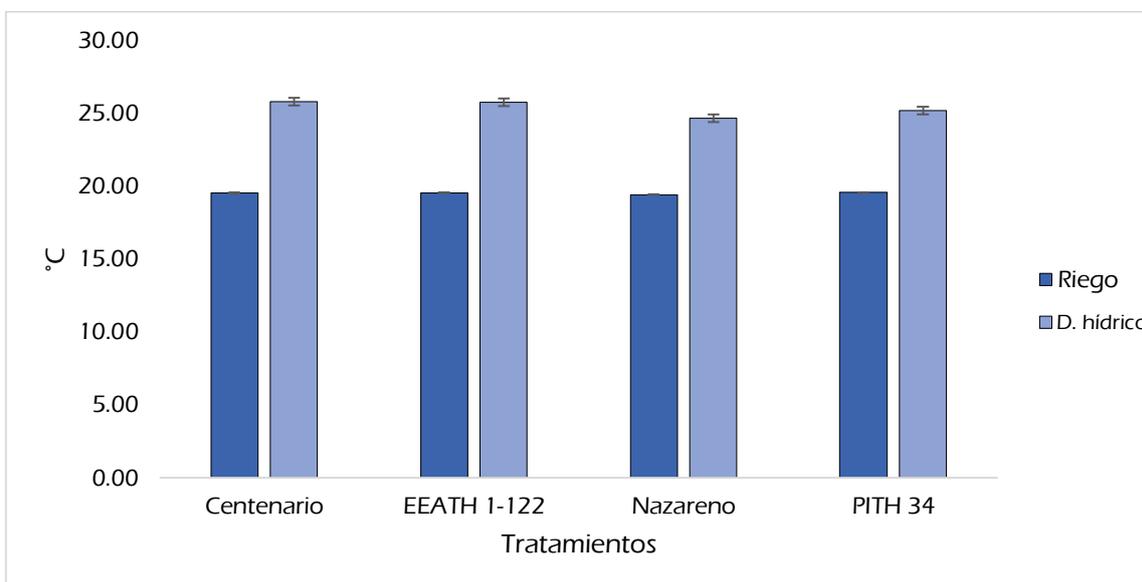


Figura 25. Temperatura del dosel (C°) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra.

Temperatura del dosel a los 63 DDS

En la tabla 24, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores de las mediciones de la temperatura del dosel a los 63 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación el valor promedio de la temperatura del dosel fueron superiores en 7.7°C en déficit hídrico en comparación al ambiente de riego.

Tabla 24. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 63 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	27.50	A
Riego	19.80	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

A los 63 dds, la mayor parte de las plantas se encontraban en antesis y algunas en inicio de llenado de grano. En esta fecha de evaluación, la diferencia de temperatura entre los ambientes se incrementó (figura 26), siendo el genotipo EEATH 1-122 el más sensible al déficit hídrico, pues presentó mayor temperatura del dosel (27.73°C), mientras que, el genotipo con mayor tolerancia fue Nazareno (27.18°C). En el ambiente de riego, el genotipo Centenario presentó el menor valor promedio de temperatura del dosel (19.23°C).

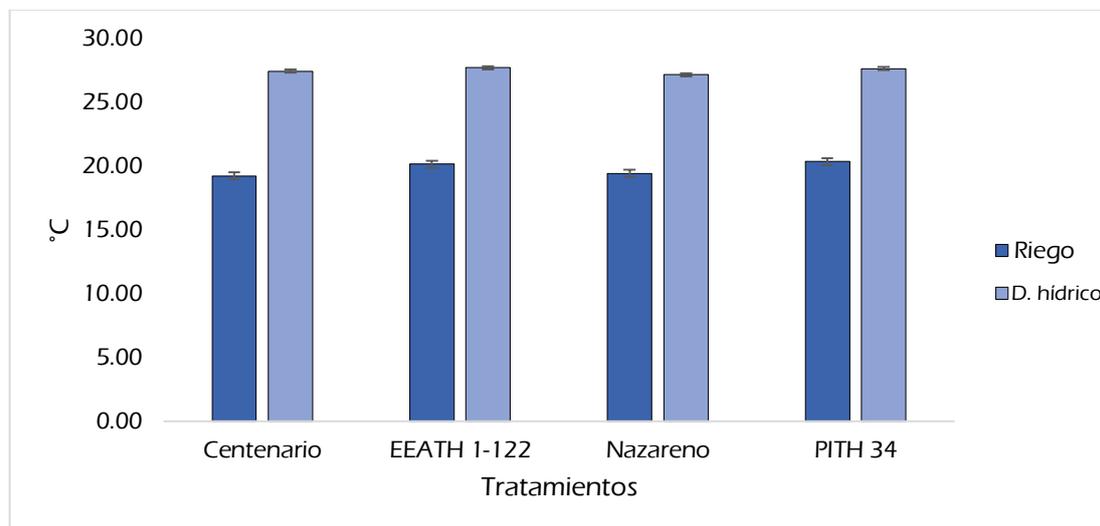


Figura 26. Temperatura del dosel (C°) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra.

Temperatura del dosel a los 83 DDS

En la tabla 25, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores de las mediciones de la temperatura del dosel a los 83 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza (tabla 19) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores de la temperatura del dosel fueron superiores en 6.22°C en déficit hídrico en comparación al ambiente de riego.

La marcada diferencia de la temperatura del dosel de los genotipos entre los ambientes, está relacionado con el contenido de ABA en la hoja, ya que, debido a la falta de agua en el suelo, esta hormona se incrementa y regulando el proceso de cierre de los estomas, para evitar la deshidratación de las células (Leung y Giraudat, 1998). De esta manera, se frena el sistema de refrigeración de la planta, produciéndose así, un incremento de la temperatura del dosel.

Tabla 25. Prueba de comparación de medias de Tukey para la temperatura del dosel a los 83 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	25.88	A
Riego	19.66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los diferentes valores de la temperatura del dosel a los 83 dds, se muestran en la figura 27, al momento de la evaluación, las plantas tanto en el ambiente de riego como déficit hídrico se encontraban en llenado de grano; sin embargo, se notaba una diferencia marcada en la coloración y textura de las hojas, pues en el ambiente sometido a déficit hídrico, las plantas empezaban a tornarse amarillentas. Esta característica va asociada a los efectos de la deficiencia hídrica con respecto al acortamiento de las etapas fenológicas, pues como mecanismo de resistencia, la planta produce ABA lo cual acelera la senescencia (Moreno, 2009).

En esta fecha de evaluación, la diferencia de temperatura del dosel fue bastante marcada entre los genotipos en cada ambiente, siendo el genotipo EEATH 1-122 el más sensible al déficit hídrico, pues presentó mayor temperatura del dosel (26.32°C), mientras que, el genotipo con mayor tolerancia fue PITH 34 (25.50°C). En el ambiente de riego, los genotipos Centenario y PITH 34 presentaron los menores valores promedios de temperatura del dosel (19.44°C).

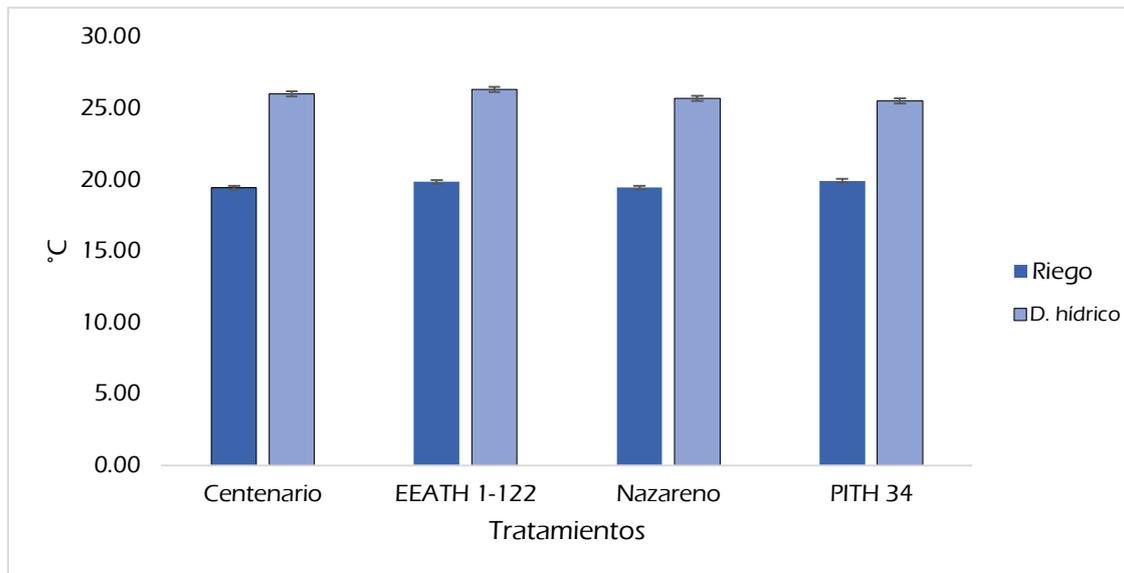


Figura 27. Temperatura del dosel (C°) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra.

4.1.5. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Los valores obtenidos en las mediciones con el Green Seeker nos muestran que, a los 35 días, el cultivo presentaba una buena cobertura, pues los valores oscilan en 0.7 y 0.8 en ambos ambientes, sin embargo, en las siguientes mediciones a partir del día 70 después de la siembra, se empieza a notar diferencias en los valores entre los ambientes, pues los valores en las parcelas con riego mantenían mayores valores de NDVI vs las parcelas en déficit hídrico.

Teniendo en cuenta lo indicado por Viney *et al.* (2005), Monteith y Unsworth (2008), los rangos de medición del NDVI que presenten valores altos de 0.7 - 0.8 son indicadores de plantas en las mejores condiciones, pues mientras más cercano es el valor a 1, representa una alta densidad de hojas verdes y saludables. Estas afirmaciones se vieron reflejadas en nuestro ensayo, pues, los valores de NDVI empezaron a disminuir cuando las plantas empezaron a sufrir los efectos del déficit hídrico.

En el análisis individual de la varianza (Tabla 26), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cada ambiente a los 35 dds, sin embargo, en las siguientes evaluaciones encontramos significancia entre los tratamientos en el ambiente de riego, lo cual indica que al menos uno de los tratamientos presentó mayor valor promedio de NDVI, en este caso fue el genotipo Centenario, con un valor promedio de 0.76, 0.64, 0.59 y 0.53 a los 49dds, 70dds, 77dds y 83dds respectivamente.

Tabla 26. Resumen de análisis de varianza de las diferentes fechas de evaluación de la variable Índice de Vegetación Normalizada de cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en los ambientes de déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Fechas de evaluación															
	35 dds			49 dds			70 dds			77 dds			83 dds			
	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	
Riego	NS	1.8	0.58	*	2.95	0.86	**	3.34	0.84	**	3.04	0.9	*	3.93	0.85	
D. hídrico	NS	3.99	0.67	NS	8.59	0.58	NS	11.77	0.63	NS	15.06	0.45	NS	18.09	0.4	
Análisis combinado																
BLO(AMB)	*			*			*			NS			NS			
AMB	**			**			**			**			**			
TRA	NS			*			*			*			*			
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS			NS			

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Índice de vegetación normalizada a los 35 DDS

Con respecto al análisis combinado (tabla 25), se encontraron diferencias significativas desde la primera fecha de evaluación, es decir a los 35 dds, cuando las plantas se encontraban en la etapa fenológica de macollamiento, y a partir de la segunda evaluación a los 49 dds, se encontraron diferencias significativas en los tratamientos. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 27), observamos que en el ambiente de déficit hídrico el índice de vegetación normalizada fue 0.042 menor que en el ambiente de riego.

Tabla 27. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 35 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.776	A
Déficit hídrico	0.734	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Al graficar los valores del índice de vegetación normalizada de cada tratamiento y ambiente (figura 28), encontramos que los genotipos PITH 34 y Centenario presentaron mayor valor promedio de NDVI (0.74) en el ambiente de déficit hídrico, mientras que, en el ambiente de riego, los genotipos con mayor NDVI fueron Centenario, Nazareno y PITH 34 (0.78). Todos los genotipos presentaron menor NDVI en el ambiente de déficit hídrico, siendo menos marcada la diferencia entre ambientes en el genotipo Centenario, pues, presentó 0.74 en déficit hídrico y 0.78 en riego.

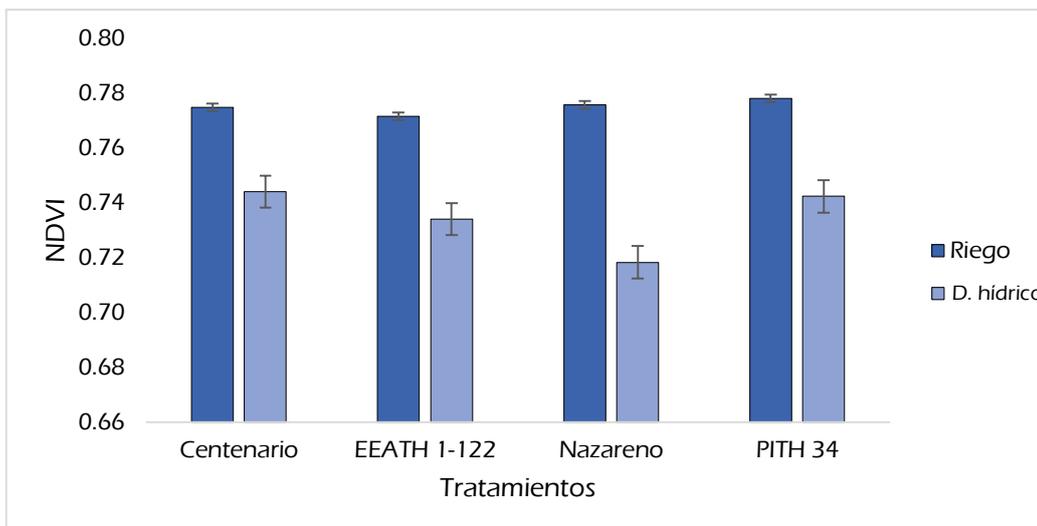


Figura 28. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 35 días después de la siembra.

Índice de Vegetación Normalizada a los 49 DDS

En la tabla 28, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores del índice de vegetación normalizada a los 49 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores del índice de vegetación normalizada fueron superiores en 0.076 en riego en comparación al ambiente sometido a déficit hídrico.

Tabla 28. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 49 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.721	A
Déficit hídrico	0.645	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Asimismo, la tabla 28, muestra la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los valores del índice de vegetación normalizada a los 49 dds entre los tratamientos, ya que, en el análisis combinado de la varianza (tabla 29), presentaron diferencias estadísticamente significativas. Para esta fecha de evaluación los valores del índice de vegetación normalizada fueron superiores en el genotipo Centenario (grupo A) y fueron inferiores en los genotipos PITH y EEATH 1-122 (grupo B), mientras que el genotipo Nazareno presentó similitud tanto al grupo A como al Grupo B.

Tabla 29. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 49 dds en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
Centenario	0.729	A
Nazareno	0.700	AB
PITH	0.658	B
EEATH	0.649	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los índices de vegetación normalizada a los 49 dds, es decir, durante la elongación del tallo e inicio de la formación de espiga, se muestran en la figura 29. En esta fecha de evaluación, la diferencia en los porcentajes entre los ambientes se incrementó, siendo el genotipo EEATH 1-122 el más sensible al déficit hídrico, pues presentó menor índice (0.61), mientras que, el genotipo con mayor tolerancia al déficit hídrico fue Centenario (0.69). En el ambiente de riego, el genotipo Centenario también presentó el mayor índice de vegetación normalizada (0.76). Visualmente en el campo, en esta fecha no se observaron diferencias muy marcadas en el color de las hojas o en la cobertura vegetal de los trigos en ambos ambientes.

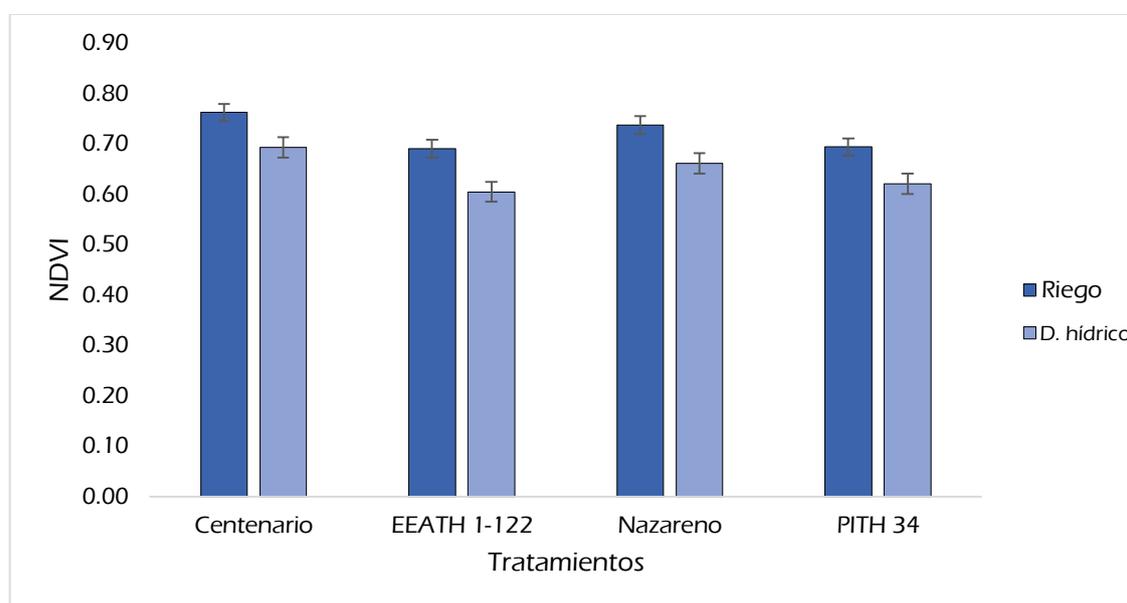


Figura 29. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra.

Índice de vegetación Normalizada a los 70 DDS

Los índices de vegetación normalizada los 70 dds presentaron diferencias significativas, en este momento de evaluación, las plantas se encontraban en llenado de grano. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 30), observamos que en el ambiente de déficit hídrico el índice de vegetación normalizada fue 0.145 menor que en el ambiente de riego.

Tabla 30. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 70 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.596	A
Déficit hídrico	0.451	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Asimismo, en la tabla 31, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95% para los valores del índice de vegetación normalizada a los 70 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. Para esta fecha de evaluación los valores del índice de vegetación normalizada continuaron siendo superiores en el genotipo Centenario (grupo A) y fueron inferiores en los genotipos PITH y EEATH 1-122 (grupo B), mientras que el genotipo Nazareno presentó similitud tanto al grupo A como al Grupo B.

Tabla 31. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 70 dds en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
Centenario	0.569	A
Nazareno	0.534	AB
EEATH	0.499	B
PITH	0.494	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 30 se puede apreciar las diferencias en el índice de vegetación normalizada de los genotipos en ambos ambientes a los 70 dds, en esta fecha de evaluación, los valores oscilaron entre 0.43 y 0.64, el genotipo Centenario fue el que presentó mayor NDVI tanto en riego como en déficit hídrico, mientras que el PITH 34 presentó los valores más bajos.

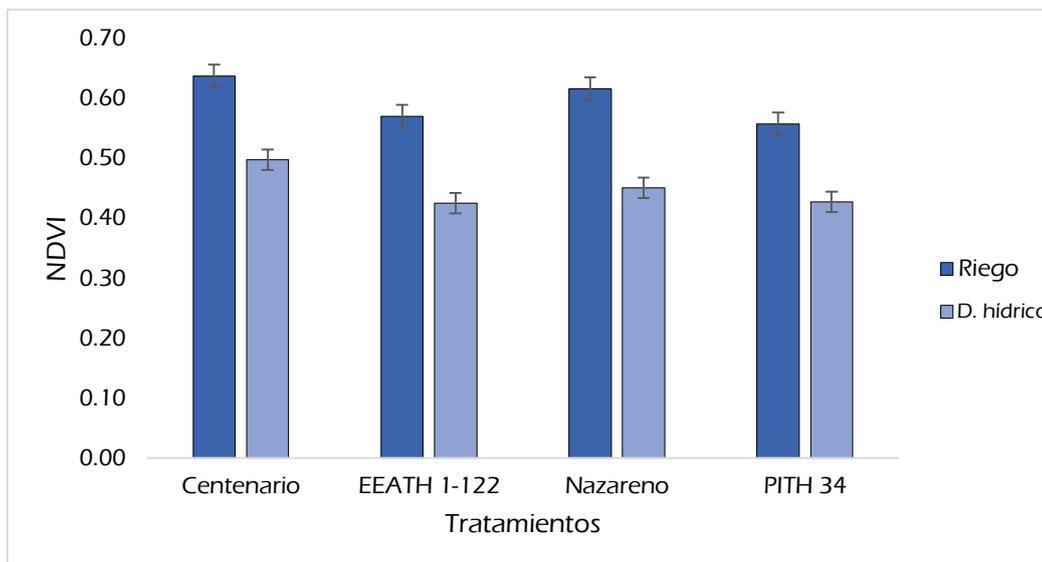


Figura 30. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 70 días después de la siembra.

Índice de Vegetación Normalizada a los 77 DDS

Con respecto al análisis combinado para la evaluación a los 77 dds, también se encontraron diferencias significativas tanto en los ambientes como en los tratamientos. En esta fecha de evaluación, las plantas estaban en llenado de grano, siendo esta etapa ligeramente avanzada en el ambiente de déficit hídrico. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 32), observamos que en el ambiente de déficit hídrico el índice de vegetación normalizada fue 0.17 menor que en el ambiente de riego.

Tabla 32. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 77 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.543	A
Déficit hídrico	0.373	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey para los tratamientos (Tabla 33), observamos que el genotipo Centenario el índice de vegetación normalizada en el genotipo Centenario (grupo A) fue superior a los genotipos EEATH 1.124 y PITH 34 (grupo B), mientras que el genotipo Nazareno obtuvo un valor intermedio (grupo AB).

Tabla 33. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 77 dds en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
Centenario	0.500	A
Nazareno	0.466	AB
EEATH	0.441	B
PITH	0.427	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 31 podemos observar de manera gráfica la diferencia entre los índices de vegetación normalizada a los 77 dds, donde el genotipo Centenario nuevamente mostró los mayores valores tanto en riego (0.59) como en déficit hídrico (0.42). El genotipo PITH 34 obtuvo el valor más bajo en esta variable evaluada (0.35) en déficit hídrico; sin embargo, el genotipo Nazareno fue quien presentó mayor rango entre los valores en riego (0.58) y déficit hídrico (0.36), por lo que podríamos decir que fue más afectado, aunque en el análisis combinado no se encontró interacción tratamiento (genotipo) por ambiente.

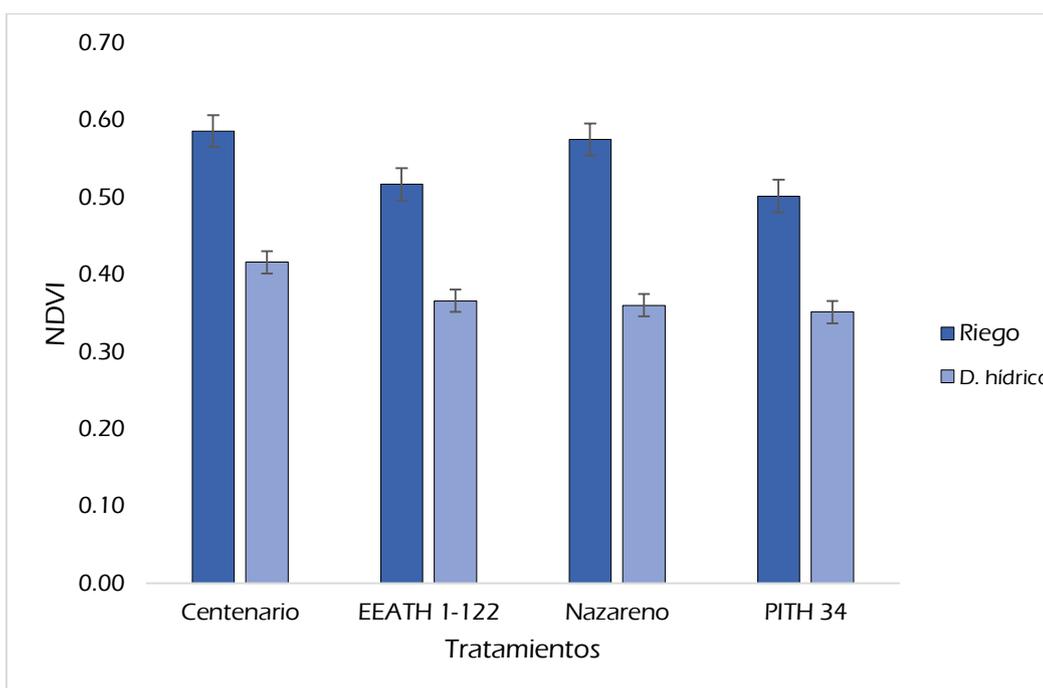


Figura 31. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra.

Índice de Vegetación Normalizada a los 83 DDS

El análisis combinado del índice de vegetación normalizada en la última fecha de evaluación a los 83 dds, mostró la existencia de diferencias significativas tanto en los ambientes como en los tratamientos. En esta fecha de evaluación, las plantas en riego se encontraban en una etapa plena del llenado de grano, mientras que las plantas en déficit hídrico mostraban un estado avanzado, pues por efecto de la falta de agua en el suelo el ciclo fenológico mostraba un acelerado marchitamiento. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 34), observamos que en el ambiente de déficit hídrico el índice de vegetación normalizada fue 0.255 menor que en el ambiente de riego.

Tabla 34. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 83 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.483	A
Déficit hídrico	0.228	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey para los tratamientos (Tabla 35), observamos que en el genotipo Centenario el índice de vegetación normalizada en el genotipo Centenario (grupo A) continuó siendo superior al genotipo PITH 34 (grupo B), mientras que el genotipo Nazareno y el EEATH 1.124 obtuvieron un valor intermedio (grupo AB), lo cual indica que son estadísticamente similar al grupo A como al grupo B.

Tabla 35. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) a los 83 dds en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
Centenario	0.386	A
Nazareno	0.363	AB
EEATH	0.341	AB
PITH	0.332	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 32 podemos observar de manera gráfica la diferencia entre los índices de vegetación normalizada a los 83 dds, donde el genotipo Centenario mantuvo los mayores valores tanto en riego (0.53) como en déficit hídrico (0.25). El genotipo PITH 34 obtuvo el valor más bajo en esta variable evaluada (0.21) en déficit hídrico. Los genotipos Nazareno y Centenario presentaron mayor rango de diferencia entre los valores en riego y déficit hídrico,

por lo que podríamos decir que fueron los más afectados, aunque en el análisis combinado no se encontraron interacción de tratamientos (genotipo) por ambiente.

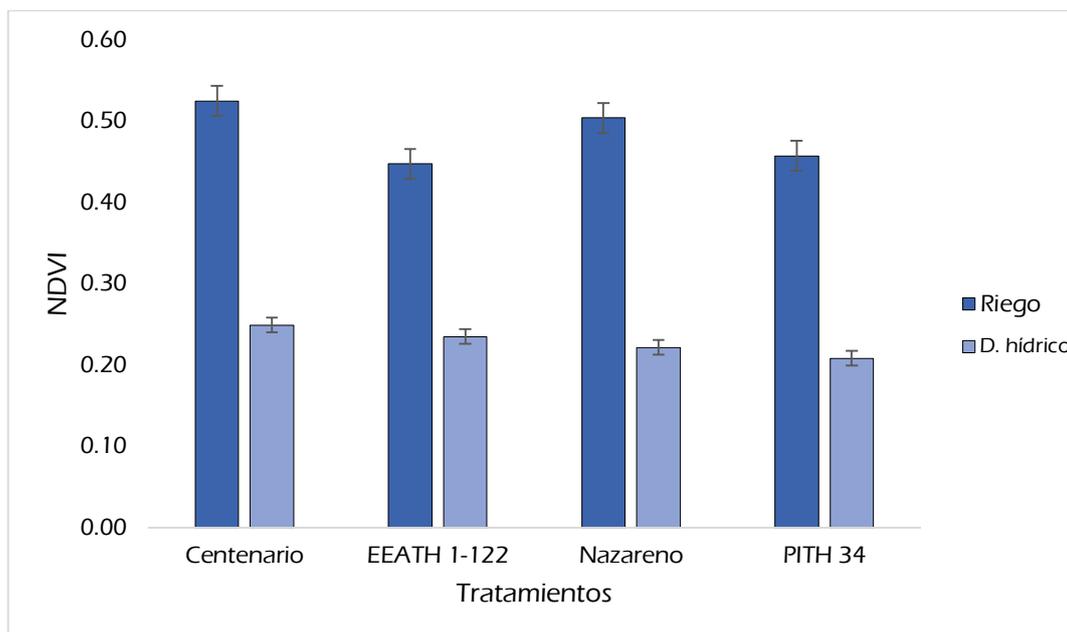


Figura 32. Índice de vegetación normalizada (NDVI) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 83 días después de la siembra.

4.1.6. Contenido relativo de agua (CRA)

Los valores de las mediciones del contenido de agua en hojas demostraron que a partir de los 35 días después de la siembra, en las plantas de riego y déficit hídrico, se empieza a observar diferencias significativas, siendo mucho más marcada la diferencia a los 63 y 77 días después de la siembra. Los valores en las mediciones fluctúan entre 90% en las primeras mediciones (plantas turgentes) y 77% en las últimas mediciones en las plantas sometidas a déficit hídrico. En ambos ambientes, los valores del porcentaje del contenido de agua disminuyen, esto debido al avance de la fenología de la planta hacia la madurez fisiológica. Los valores coinciden con los descritos por (Pask et al., 2013), quienes indican que es típico que los valores del CRA varíen entre 98% en hojas turgentes y transpirantes hasta alrededor de 40% en hojas severamente deshidratadas y senescentes; además que el CRA de una hoja en marchitez es de alrededor 60 - 70 %. Por lo que, si tomamos de referencia estos rangos, en nuestro experimento, podemos afirmar que las hojas de las plantas sometidas a déficit hídrico no llegaron al valor de marchitez. Sin embargo, otros autores como Bogale et al., (2011), quienes realizaron su evaluación durante la antesis, encontraron que el CRA de la hoja bandera del trigo de su experimento bajo un buen suministro de agua fue de 87.6 % y

bajo condiciones de deficiencia de agua fue de 55.7 %; siendo estos valores inferiores a los encontrados en nuestra investigación, esta variación probablemente por la intensidad de la deficiencia hídrica, ya que el experimento fue realizado en macetas.

En el análisis individual de la varianza (Tabla 36), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cada ambiente a los 49 dds y 63 dds; mientras que, en las evaluaciones a los 35 dds y 77 dds encontramos significancia entre los tratamientos en el ambiente de riego y a los 56 dds en el ambiente de déficit hídrico, lo cual indica que al menos uno de los tratamientos presentó mayor valor promedio en el contenido de agua en la hoja.

Tabla 36. Resumen del análisis de varianza del Contenido Relativo de Agua en hoja bandera de cuatro genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en los ambientes de déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Fechas de evaluación														
	35 dds			49 dds			56 dds			63 dds			77 dds		
	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²
Riego	*	2.18	0.68	NS	2.27	0.52	NS	4.69	0.31	NS	2.06	0.75	*	1.62	0.57
D. hídrico	NS	1.84	0.57	NS	2.61	0.13	*	2.21	0.61	NS	5.37	0.38	NS	4.38	0.46
Análisis combinado															
BLO(AMB)	NS			NS			NS			NS			NS		
AMB	*			*			*			**			**		
TRA	*			NS			NS			NS			NS		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Contenido relativo de agua a los 35 DDS

Con respecto al análisis combinado (tabla 35), se encontraron diferencias significativas entre los porcentajes de contenido de agua entre los ambientes desde la primera fecha de evaluación. Asimismo, a los 35 dds, cuando las plantas se encontraban en la etapa fenológica de macollamiento, también se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 37), observamos que en el ambiente de déficit hídrico el contenido relativo de agua en hojas fue 2.22 % mayor que en el ambiente de riego. Estos resultados se pueden atribuir a que, aún no se percibía el efecto de la escasez de agua en el ambiente de déficit hídrico (no aplicación de riego a partir del día 25 dds), teniendo en cuenta que sólo pasaron 10 días desde el último riego.

Tabla 37. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 35 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	89.62 %	A
Déficit hídrico	87.40 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Asimismo, en la tabla 38, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los porcentajes del contenido relativo de agua a los 35 dds entre los tratamientos, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. Para esta fecha de evaluación los porcentajes fueron superiores en los genotipos EEATH 1-122, Centenario y Nazareno (grupo A), mientras que el genotipo PITH 34 (grupo B) presentó mejor porcentaje.

Tabla 38. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 35 dds en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
EEATH	89.97 %	A
Centenario	89.05 %	A
Nazareno	88.88 %	A
PITH	86.14 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 33 se visualiza las diferencias en los porcentajes de contenido relativo de agua de los cuatro genotipos en ambos ambientes a los 35 dds, en esta fecha de evaluación, los valores oscilaron entre 84.03% y 90.86%. El genotipo EEATH 1-122 fue el que presentó mayor contenido relativo de agua tanto en riego como en déficit hídrico, mientras que el PITH 34 presentó los valores más bajos.

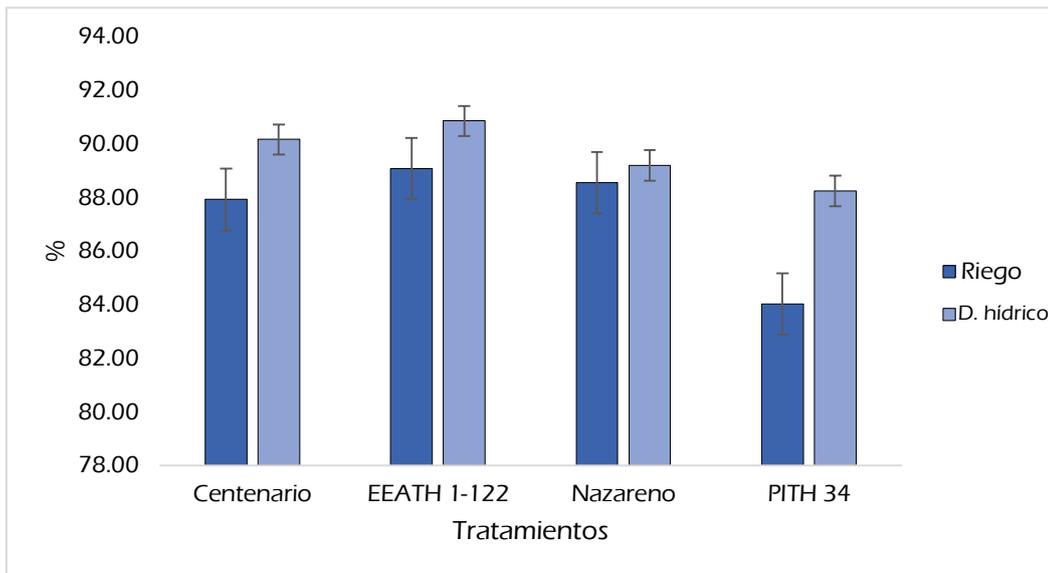


Figura 33. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 35 días después de la siembra.

Contenido relativo de agua a los 49 DDS

En la tabla 39, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los porcentajes del contenido relativo de agua en hoja a los 49 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores contenido relativo de agua fueron superiores en 2.27% en riego en comparación al ambiente de déficit hídrico.

Tabla 39. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 49 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	91.18 %	A
Déficit hídrico	88.91 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Los porcentajes del contenido de agua en hoja a los 49 dds, es decir, cuando las plantas se encontraban en las etapas fenológicas de primera arista visible y el inicio del espigamiento, se muestra en la figura 34. En esta fecha de evaluación, el genotipo PITH 34 fue el que presentó mayor rango de diferencia en sus valores entre riego (91.98%) y déficit hídrico (88.47%), mientras que en el genotipo Centenario la diferencia fue muy ligera entre los ambientes de riego (89.73%) y déficit hídrico (89.53%).

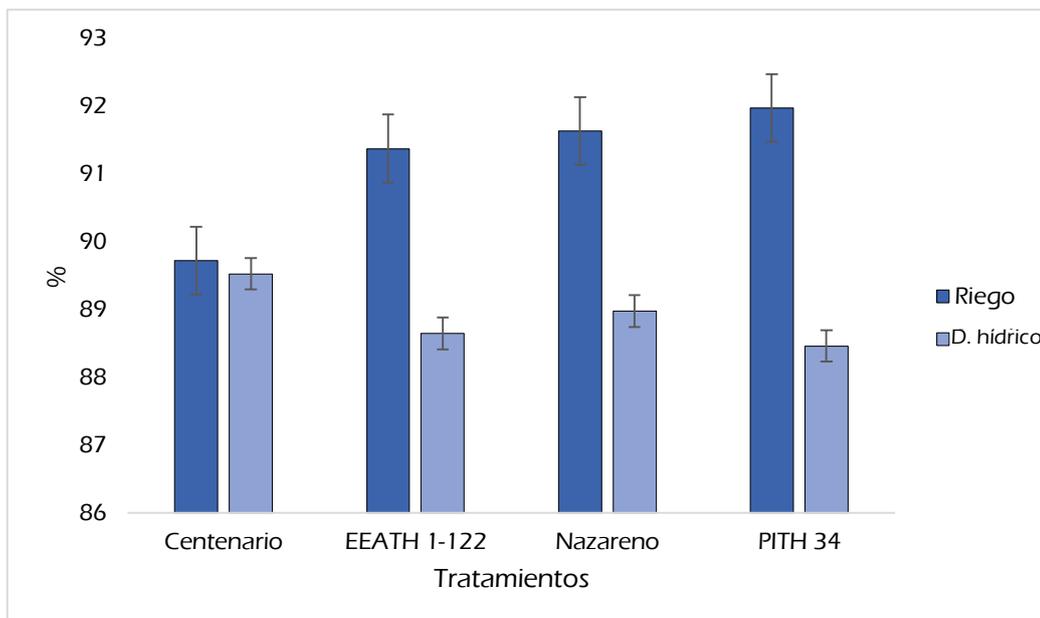


Figura 34. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 49 días después de la siembra.

Contenido relativo de agua a los 56 DDS

Los porcentajes del contenido relativo de agua en hoja a los 56 dds, cuando las plantas se encontraban en espigamiento e inicio de antesis, presentaron diferencias significativas en el análisis combinado de la varianza. Al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 40), observamos que, en el ambiente de déficit hídrico, el porcentaje fue 5% menor que en el ambiente de riego, lo cual indica que los efectos de la falta de agua se están incrementando.

Tabla 40. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 56 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	91.00 %	A
Déficit hídrico	86.00 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 35 se puede apreciar las diferencias del contenido relativo de agua en hoja, el cual está expresado en porcentaje en cada uno de los genotipos. Observamos que los porcentajes se van ampliando entre los ambientes, dependiendo de cada genotipo, donde el Centenario presentó mayor rango de diferencia (89.61% en riego y 83.47 en déficit hídrico) y el genotipo Nazareno, en esta evaluación, presentó menor rango de diferencia entre los ambientes (88.97% en riego y 86.65 en déficit hídrico).

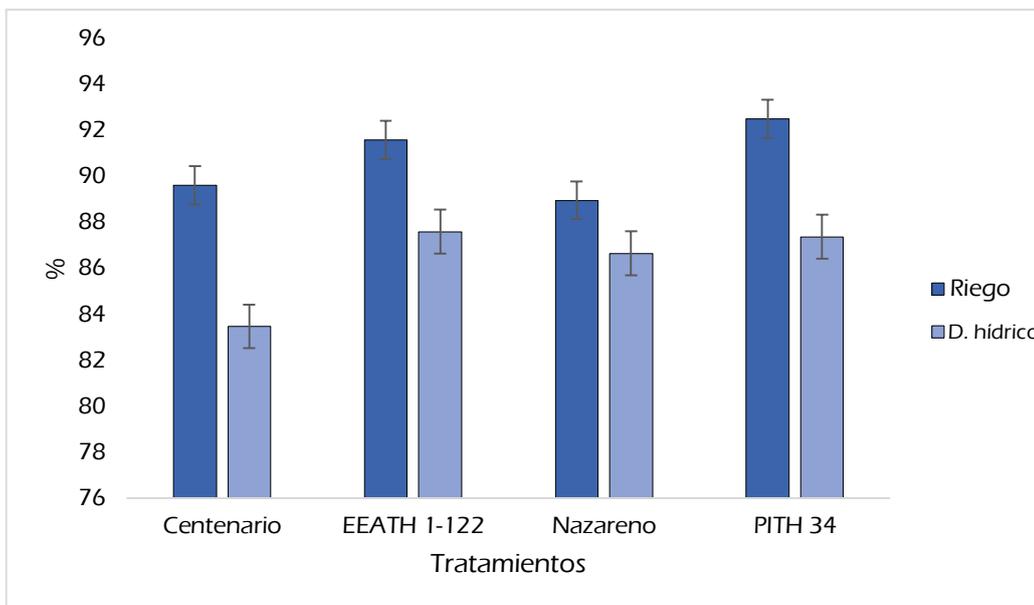


Figura 35. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 56 días después de la siembra.

Contenido relativo de agua a los 63 DDS

En la tabla 41, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los porcentajes del contenido relativo de agua en hoja a los 63 dds, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes. Para esta fecha de evaluación los valores contenido relativo de agua fueron superiores en 6.86% en riego en comparación al ambiente de déficit hídrico.

Tabla 41. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 63 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	88.03 %	A
Déficit hídrico	81.17 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 36 se puede apreciar las diferencias del contenido relativo de agua en hoja a los 63 dds, cuando las plantas se encontraban en antesis. Observamos que los porcentajes se continúan ampliando entre los ambientes, dependiendo de cada genotipo; donde el PIT 34 presentó mayor rango de diferencia (88.03% en riego y 79.50% en déficit hídrico) y el genotipo Centenario presentó menor rango de diferencia entre los ambientes (86.40% en riego y 81.36% en déficit hídrico).

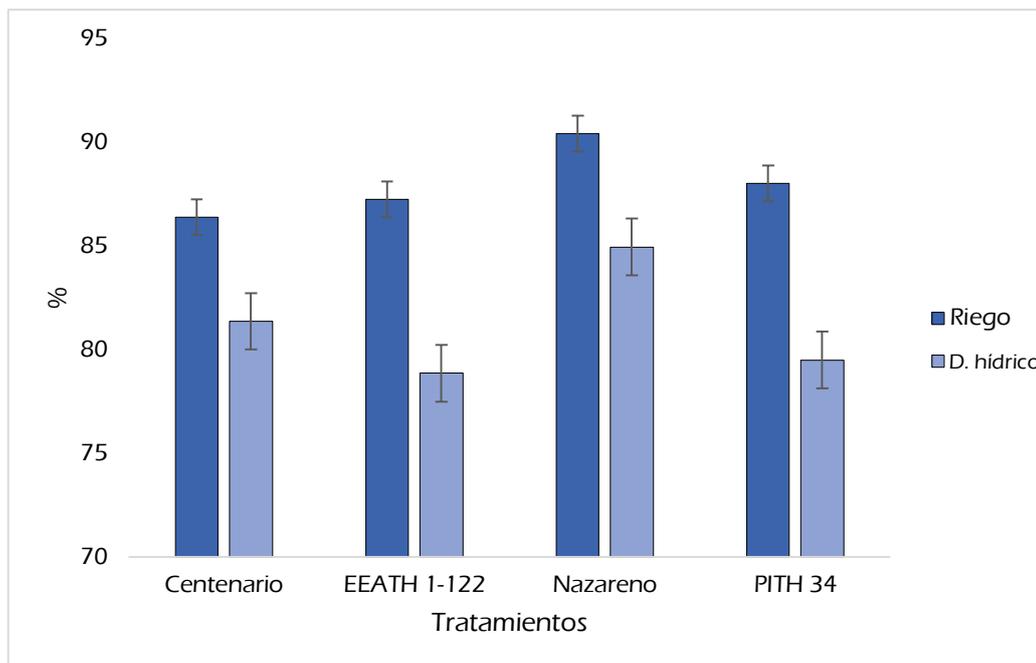


Figura 36. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 63 días después de la siembra.

Contenido relativo de agua a los 77 DDS

Teniendo en cuenta que en análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes, en la tabla 42, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% para los porcentajes del contenido relativo de agua en hoja de la última fecha de evaluación, la cual fue a los 77 dds. Para esta fecha de evaluación los valores contenido relativo de agua fueron superiores en 6.63% en riego en comparación al ambiente de déficit hídrico.

Tabla 42. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de Contenido Relativo de Agua (CRA) a los 77 dds en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	87.09 %	A
Déficit hídrico	80.46 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 37 se puede apreciar las diferencias del contenido relativo de agua en hoja en cada uno de los genotipos, donde los porcentajes se continúan ampliando entre los ambientes, dependiendo de cada genotipo. En esta fecha de evaluación las plantas se encontraban la etapa de llenado de grano y ya se observaba una marcada diferencia en la coloración y cantidad del follaje entre los ambientes. Los genotipos que presentaron mayor

contenido relativo de agua fueron Centenario (77.90 %) y PITH 34 (78.84 %) en el ambiente de déficit hídrico. Asimismo, el ambiente de riego el PITH 34 presentó mayor contenido relativo de agua en hoja.

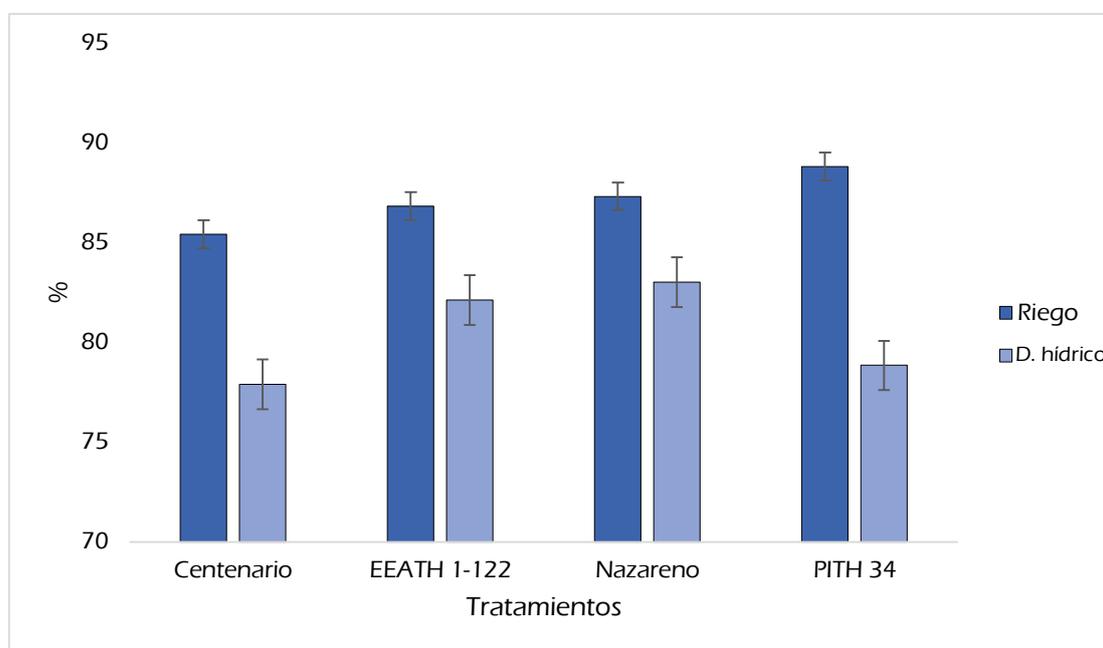


Figura 37. Contenido relativo de agua (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico a los 77 días después de la siembra.

4.1.7. Medición de la humedad del suelo (PR2)

En la figura 38 observamos las mediciones de humedad de suelo en las diferentes profundidades de medición, es decir, a los 10, 20, 30, 40, 60 y 100 cm de profundidad, la cual se expresa en porcentaje. Las mediciones iniciaron a los 7 días después de la siembra cuando las plantas se encontraban en estado fenológico de emergencia y concluyeron cuando las plantas llegaron a madurez fisiológica, tanto en el ambiente de riego como en déficit hídrico. En cada riego que se aplicaba a las parcelas, los porcentajes de humedad se incrementaban; es por ello que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, a partir del 29 de octubre (última fecha de riego) en adelante ya no se observan variaciones marcadas en los porcentajes de agua, sino que va en disminución constante.

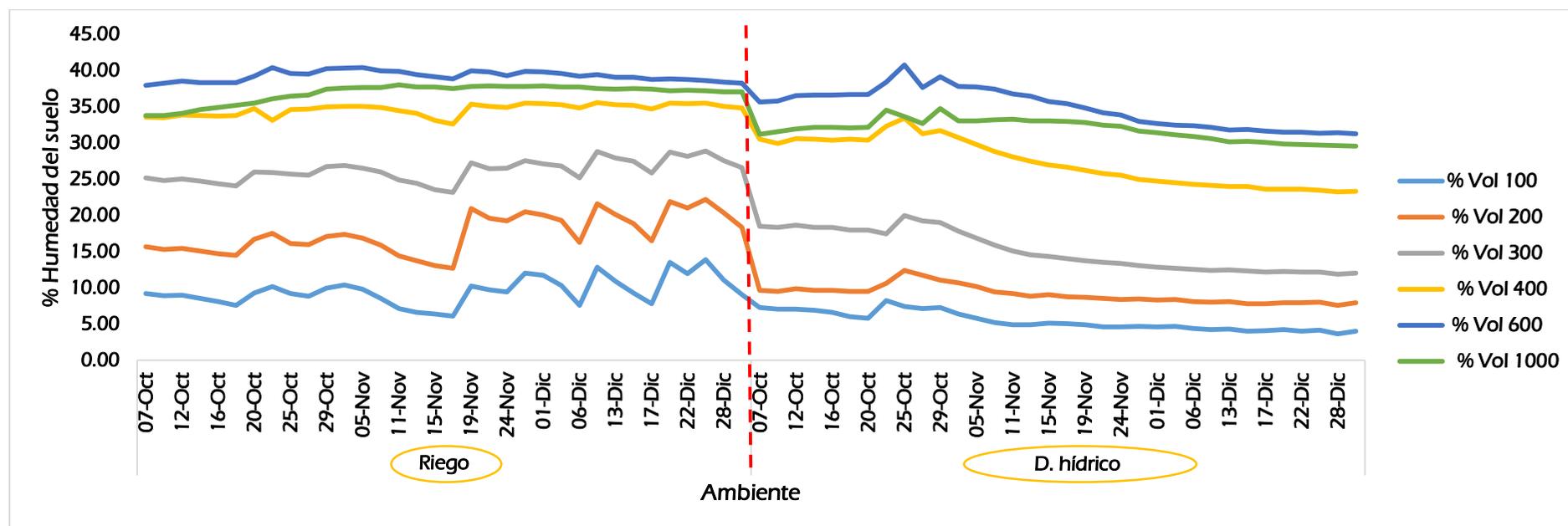


Figura 38. Fluctuación de la humedad del suelo de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Pese a la ausencia de riego en la parcela sometida a déficit hídrico, los valores de la medición del contenido de agua en el suelo, observamos que, a mayor profundidad de medición, es menor el efecto de la falta de agua de riego, pues, a partir de los 40 cm de profundidad (% vol 400), no se observa una marcada diferencia entre las parcelas de riego y déficit hídrico. Esto se debe principalmente a las propiedades del suelo, ya que al ser de clase textural arcilloso (ver anexo con análisis de suelo), son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes (FAO, 1996).

Los valores de las evaluaciones fisiológicas y de rendimiento guardan relación con los valores de humedad del suelo, pues las plantas tienen diversos mecanismos de resistencia al estrés hídrico (Bray, 2002); las cuales alteran y/o activan mecanismos de escape (acortamiento de ciclo vegetativo), evitación (cierre estomático, cambios morfológicos como disminución de área foliar) y tolerancia (síntesis de antioxidantes y proteínas de protección) (Levitt, 1980; Walters et al., 2002).

4.2. OBJETIVO 2:

Efecto de la deficiencia hídrica en el rendimiento y calidad de los genotipos.

En la Tabla 43, se presenta el análisis de variancia individual para cuatro variables; donde, para la variable rendimiento (RDT), muestra diferencias estadísticas significativas entre genotipos en el ambiente de déficit hídrico ($p=0.05$), lo que indica una respuesta diferencial de los genotipos al déficit de agua. Para la variable peso de mil granos (PMG), se muestra diferencias estadísticas significativas entre genotipos en el ambiente de déficit hídrico y riego ($p=0.05$), indicando una respuesta diferencial de los genotipos según el ambiente en el que se desarrolló. Para las variables número de espigas (NE) y Número de granos por espiga (NGE), no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre genotipos en los ambientes de riego y déficit hídrico ($p=0.05$). Los coeficientes de variación fueron inferiores al 15% y los coeficientes de determinación para el ambiente de déficit hídrico tiene una explicación de la variancia en función a los tratamientos (genotipos) en 71 %, 67%, 69% y 66% respectivamente para las variables RDT, PMG, NE y NGE; dejando la diferencia a un margen de influencia de otros factores no contemplados en el estudio.

Tabla 43. Resumen de análisis de varianza de las variables, Rendimiento (RDT) y componentes del rendimiento. Peso de mil granos (PMG), Número de espigas (NE) y Número de granos por espiga (NGE) de 4 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en el tratamiento déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Variables dependientes											
	RDT			PMG			NE			NGE		
	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2	TRA†	C.V	R2
Riego	NS	10.06	0.38	*	6.43	0.62	NS	9.47	0.48	NS	9.39	0.56
D. hídrico	*	14.97	0.71	*	8.02	0.67	NS	14.92	0.69	NS	6.5	0.66
Análisis combinado												
BLO(AMB)	NS			NS			NS			NS		
AMB	**			**			**			**		
TRA	NS			**			NS			*		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Tras el análisis combinado de los datos, observamos que no hay interacción significativa entre los ambientes (riego/déficit hídrico) y los tratamientos (Centenario/EEATH/Nazareno/PITH) para ninguna de las variables evaluadas. Se observa significancia estadística para ambientes en todas las variables evaluadas, lo cual indica que los genotipos de trigo presentan valores superiores en uno de los ambientes, en este caso el ambiente de Riego es superior al ambiente Déficit hídrico. Estos valores concuerdan con Fernández (2018), que reportó menor formación de granos, mayor número de granos vanos, menor rendimiento en plantas de trigo con una lámina de riego al 50% frente a trigo cultivado con una lámina de riego del 100%. Asimismo, Streda et al., (2012) y Tambussi et al., (2005) indican que el rendimiento del trigo se ve afectado tanto por déficit hídrico como por exceso de riego.

Rendimiento (RDT)

Teniendo en cuenta que en análisis combinado de la varianza para la variable rendimiento presentó diferencias estadísticamente altamente significativas entre los ambientes, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 44). La prueba nos indica que el ambiente de riego fue superior en 43.15% en comparación al ambiente de déficit hídrico.

Tabla 44. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rendimiento de trigo en Kg/ha a 12% de humedad en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	8915 Kg	A
Déficit hídrico	5068 Kg	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 39 se puede visualizar los valores de rendimiento promedio de cada tratamiento en cada ambiente, donde el genotipo PITH 34 fue el que obtuvo mayor rendimiento en el ambiente de riego (9290.11 Kg) y déficit hídrico (6192.31 Kg); mientras que el Centenario obtuvo menor rendimiento en riego (8405.98 Kg) y el EEATH 1-122 en déficit hídrico (4451 Kg).

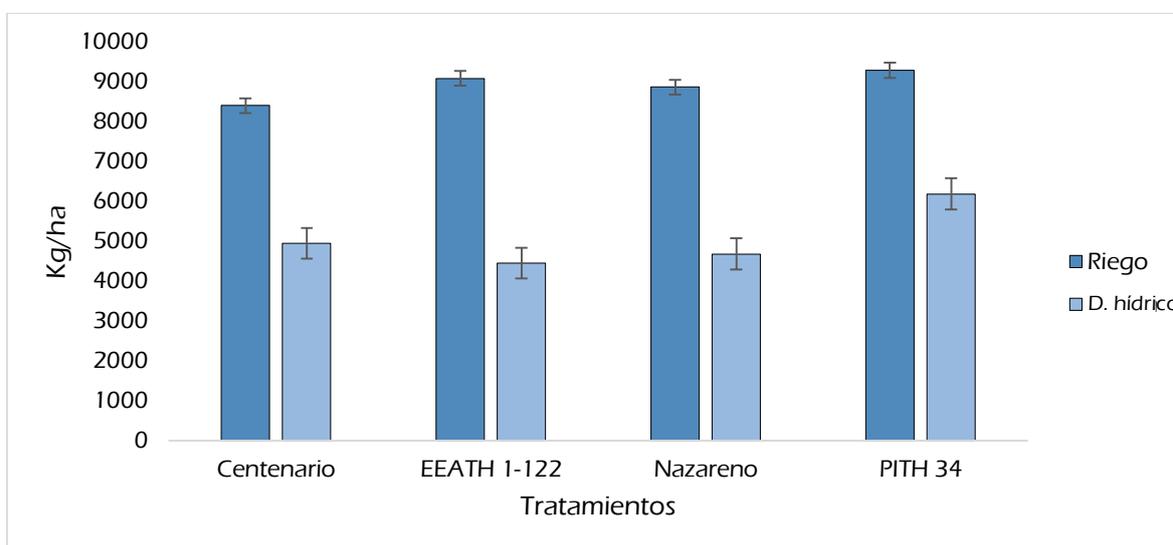


Figura 39. Rendimiento del grano (Kg) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Peso de mil granos (PMG)

Para esta variable, el análisis combinado de la varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 45). La prueba nos indica que el ambiente de déficit hídrico fue inferior en 16.36% en comparación al ambiente de riego, es decir los granos de trigo de los cuatro genotipos en el ambiente de déficit hídrico fueron más pequeños por lo que su peso fue inferior.

Tabla 45. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Peso de mil granos de trigo en gramos en los tratamientos evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	46.06 g	A
Déficit hídrico	38.52 g	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Asimismo, en la tabla 46, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% los valores de la variable peso de mil granos, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. El peso de mil granos en los genotipos PITH 34 y Nazareno (grupo A) fueron superiores al genotipo Centenario (grupo B), mientras que el genotipo EEATH 1-122 presentó un valor estadísticamente intermedio, por lo que lo clasifica en el grupo AB.

Tabla 46. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Peso de mil granos de trigo en gramos en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
PITH	45.74 g	A
Nazareno	43.06 g	A
EEATH	42.20 g	AB
Centenario	38.15 g	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 40 se visualiza los valores del peso de mil granos de trigo de cada tratamiento en cada ambiente, donde el genotipo Nazareno fue el que obtuvo mayor peso de granos en el ambiente de riego (48.56 g) y el PITH 34 en déficit hídrico (43.44 g); mientras que el Centenario obtuvo menor peso promedio en mil granos en riego (41.62 g) y en déficit hídrico (34.68 g). El genotipo que presentó mayor diferencia en el peso de los mil granos al hacer la comparación entre riego y déficit hídrico fue el Nazareno con 22.65%, lo cual indica que una mayor sensibilidad del genotipo a la falta de agua, pues este tratamiento sufrió una mayor reducción del tamaño y peso del grano.

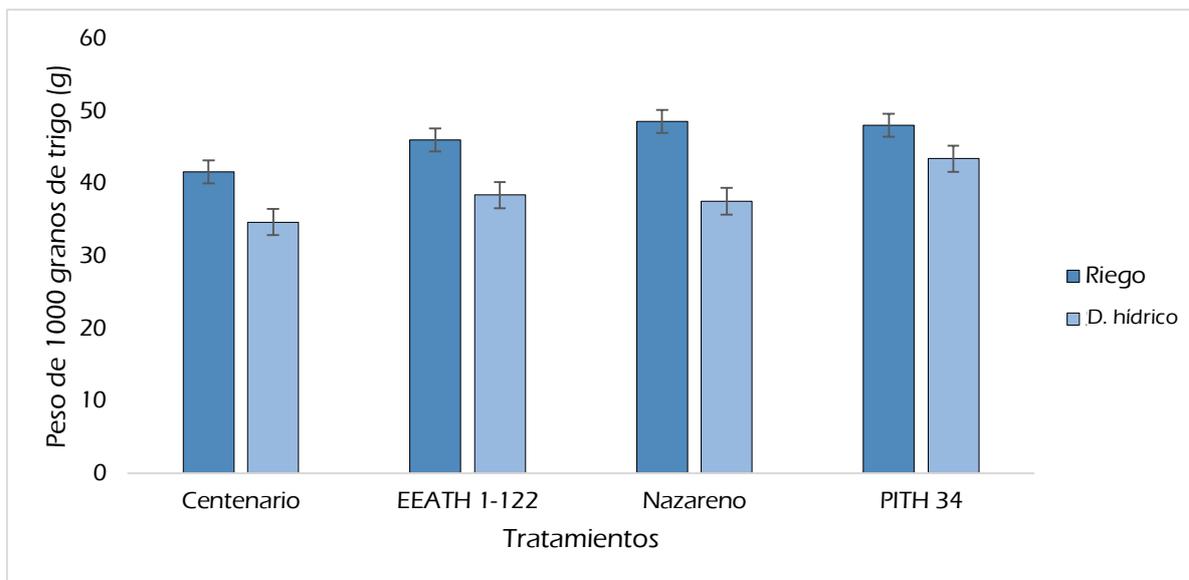


Figura 40. Peso de 1000 granos (g) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Número de espigas (NE)

Para esta variable, el análisis combinado de la varianza mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 47). La prueba nos indica que en el ambiente de déficit hídrico, el número de espigas fue inferior en un 17.75% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que los primeros efectos del déficit hídrico, incidieron en el proceso de macollamiento y en el mantenimiento de los macollos para que lleguen a formar espiga; al respecto, Rawson & Macpherson (2001), explican que el número máximo de macollos por unidad de superficie se da cuando el tallo principal llega al estado Z3.0 (Elongación del tallo) y que las condiciones de crecimiento después de Z3.0 determinan cuántos tallos o macollos sobrevivirán para producir espigas.

Tabla 47. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de espigas por m² en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	370.8	A
Déficit hídrico	305.0	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 41 se visualiza los valores del número de espigas por m² de cada tratamiento en cada ambiente, donde el genotipo Centenario fue el que obtuvo mayor número de espigas en el ambiente de riego (396.79) y en déficit hídrico (348.21); mientras que el PITH 34 obtuvo menor número de espigas en riego (352.86) y el genotipo EEATH 1-122 en déficit hídrico (255.71). El genotipo que presentó mayor diferencia en el número de espigas al hacer la comparación entre los ambientes fue el EEATH 1-122 con 31.75%, lo cual indica que una mayor sensibilidad del genotipo al déficit hídrico, pues este tratamiento sufrió una mayor reducción en el número de espigas.

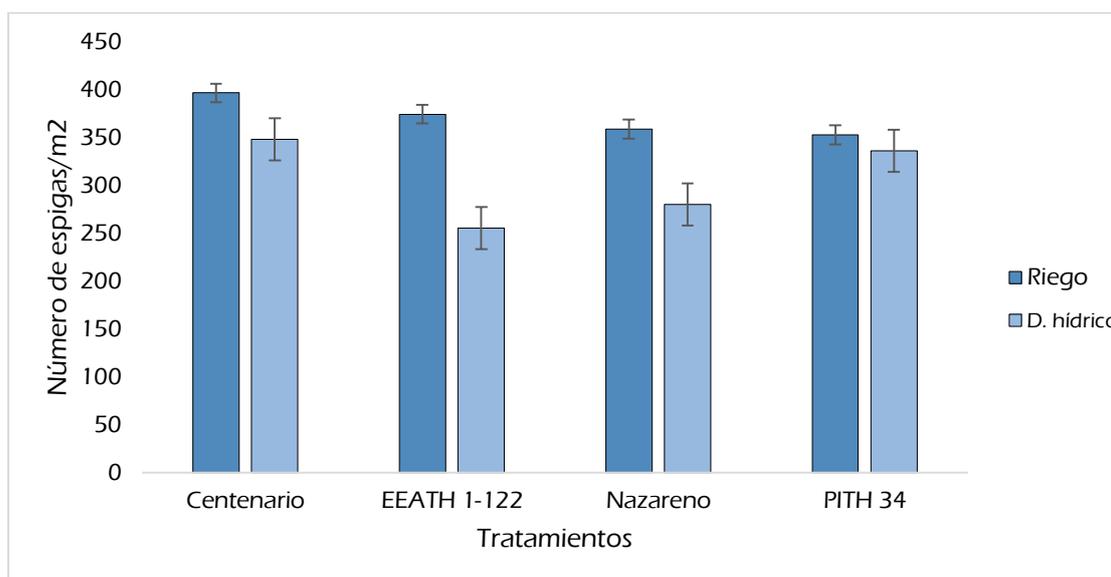


Figura 41. Número de espigas por metro cuadrado de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Número de granos por espiga (NGE)

El análisis combinado de la varianza mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos para la variable número de granos por espiga, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 48). La prueba nos indica que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, el número de granos por espigas fue inferior en 11.87% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico influyó en todos los genotipos ya que afectó el cuajado y el llenado de grano. Al respecto, Abbate et al., (1997) indican que el lapso desde 20 días prefloración y 7 a 10 días posfloración, es de suma importancia para la generación de números de granos por unidad de área y esto está ligado a la tasa de crecimiento de espigas durante este período; por lo que, si las condiciones ambientales que se presentan durante este

período crítico son adversas, incidirán de manera importante en el número final de granos establecidos.

Tabla 48. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de granos por espiga en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	44.46	A
Déficit hídrico	39.18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Asimismo, la tabla 49 muestra la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% los valores de la variable número de granos por espiga, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. El número de granos por espiga en el genotipo EEATH 1-122 (grupo A) fue superior al genotipo Nazareno (grupo B), mientras que los genotipos PITH 34 y Centenario presentaron un valor estadísticamente intermedio, por lo que los clasifica en el grupo AB.

Tabla 49. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de granos por espiga en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
EEATH	44.70	A
PITH	42.62	AB
Centenario	42.05	AB
Nazareno	37.90	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 42 se visualiza los valores promedio del número de granos por espiga de trigo de cada tratamiento en cada ambiente, donde el genotipo EEATH 1-122 fue el que obtuvo mayor número de granos en el ambiente de riego (47.43) y déficit hídrico (41.98); mientras que el Nazareno obtuvo menor promedio en el número de granos por espiga en riego (38.60) y déficit hídrico (37.20). El genotipo que presentó mayor diferencia en el número de granos al hacer la comparación entre los ambientes fue el PITH 34 con 15.97%, lo cual indica que una mayor sensibilidad del genotipo a la deficiencia hídrica, pues este tratamiento sufrió una mayor reducción en el número de granos por espiga.

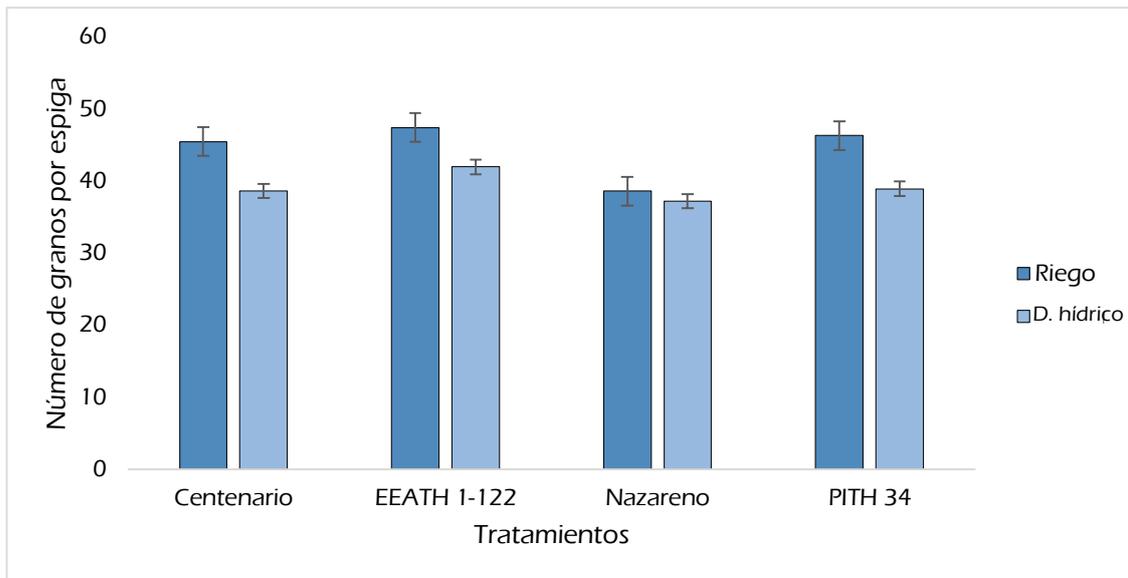


Figura 42. Número de granos por espigas de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Correlación del rendimiento según la metodología de estimación

Adicionalmente se realizó una correlación entre el rendimiento estimado a partir del área de cosecha (1m² de la zona central de cada unidad experimental) y el rendimiento a partir de los componentes (peso de mil granos, número de espigas por metro y número de granos por espiga). La figura 43 muestra una correlación de Pearson de 0.9063, lo cual indica una alta correlación positiva, por lo que se podrían utilizar cualquiera de los métodos para estimar el rendimiento de los genotipos de trigo en parcelas experimentales.

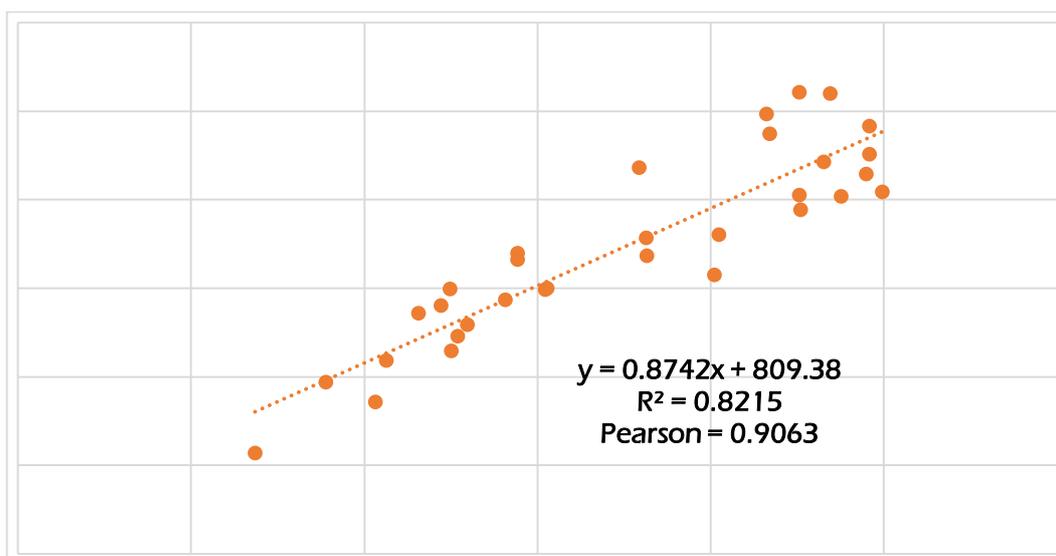


Figura 43. Correlación entre el rendimiento estimado a partir del área de cosecha y el rendimiento a partir de los componentes.

Índice de cosecha, Biomasa aérea y Rastrojo

En la Tabla 50, se presenta el análisis de variancia individual para tres variables; donde, para la variable índice de cosecha (IC), muestra diferencias estadísticas significativas entre genotipos en el ambiente de déficit hídrico y riego ($p=0.05$), lo que indica una respuesta diferencial de los genotipos según el ambiente en el que se desarrollaron. Para las variables biomasa aérea (BA) y rastrojo (RT), se muestra diferencias estadísticas significativas entre genotipos sólo en el ambiente de déficit hídrico ($p=0.05$), indicando una respuesta diferencial de los genotipos a la deficiencia hídrica. Los coeficientes de variación fueron inferiores al 15% y los coeficientes de determinación para el ambiente de déficit hídrico tiene una explicación de la variancia en función a los tratamientos (genotipos) en 74 %, 73% y 78% respectivamente para las variables IC, BA y RT; dejando la diferencia a un margen de influencia de otros factores no contemplados en el estudio.

Tabla 50. Resumen de análisis de varianza de las variables, Índice de cosecha (IC), Biomasa aérea (BA), Rastrojo (RT) de 4 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en el tratamiento déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Variables dependientes									
	IC			BA			RT			
	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	TRA†	C.V	R ²	
Riego	*	2.4	0.75	NS	10.23	0.32	NS	11.75	0.42	
D. hídrico	*	3.7	0.74	*	13.06	0.73	*	11.56	0.78	
Análisis combinado										
BLO(AMB)	NS			NS			NS			
AMB	**			**			**			
TRA	**			*			*			
AMB*TRA	NS			NS			NS			

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Tras el análisis combinado de los datos, no se encontró interacción significativa entre los ambientes (riego/déficit hídrico) y los tratamientos (Centenario/EEATH/Nazareno/PITH) para ninguna de las tres variables evaluadas. Se observa significancia estadística para los ambientes y los tratamientos en todas las variables evaluadas, lo cual indica que los genotipos de trigo presentan valores superiores por lo menos en uno de los ambientes, en este caso el ambiente de Riego es superior al ambiente Déficit hídrico. Así mismo, por lo menos uno de los tratamientos (genotipos) mostró superioridad en el índice de cosecha, biomasa aérea y rastrojo.

Índice de cosecha (IC)

El análisis combinado de la varianza mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos para la variable índice de cosecha, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 51). La prueba nos indica que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, el índice de cosecha fue inferior en 15.74% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que la deficiencia hídrica influyó en todos los genotipos ya que afectó disminuyendo el rendimiento de grano (peso y número de granos de trigo por área). Siddique et al., (1989) explican que el índice de cosecha decrece debido a la muerte de florecillas durante la emergencia de la hoja bandera, al iniciarse el estrés hídrico severo típico de ambientes con sequía terminal y que se refleja en una reducción en el número de granos por espiga y granos m².

Los índices de cosecha encontrados en nuestro experimento fueron 45.48% para el ambiente de riego y 53.98% para déficit hídrico; los cuales son superiores a los reportados por Yana (2018), quien reportó 25.26 % para su tratamiento control (riego) y 21.29 % para déficit hídrico. Estas variaciones pueden deberse principalmente al potencial genético de los genotipos sembrados y a la época de siembra.

Tabla 51. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de cosecha en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	53.98	A
D. hídrico	45.48	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 52, se visualiza la prueba de comparación de medias de Tukey para los tratamientos con un nivel de confianza del 95% los valores de la variable índice de cosecha, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. El índice de cosecha en el genotipo EEATH 1-122 (grupo A) fue superior al genotipo Nazareno (grupo BC) y al genotipo Centenario (grupo C).

Tabla 52. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Índice de cosecha.

Tratamiento	Media	Grupo
EEATH	52.15	A
PITH	50.14	AB
Nazareno	48.65	BC
Centenario	47.98	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 44 se visualiza los valores promedio de los índices de cosecha de cada tratamiento en cada ambiente, donde el genotipo EEATH 1-122 fue el que obtuvo mayor valor en el ambiente de riego (56.52 %) y déficit hídrico (47.77 %); mientras que el Centenario obtuvo menor valor promedio en el ambiente de riego (51.75 %) y el Nazareno en déficit hídrico (43.39 %). El genotipo que presentó mayor diferencia en el índice de cosecha al hacer la comparación entre los ambientes fue el Nazareno con 19.51%, lo cual indica que una mayor sensibilidad del genotipo a la deficiencia hídrica, pues este tratamiento sufrió una mayor reducción en la proporción rendimiento de grano y biomasa total.

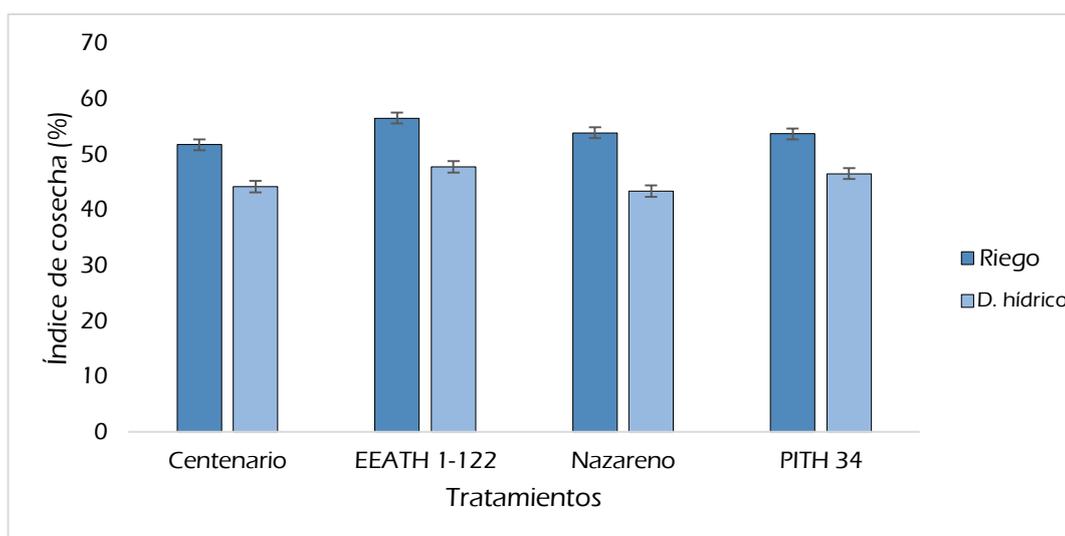


Figura 44. Índice de cosecha (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Biomasa aérea (BA)

Para la variable biomasa aérea total, el análisis combinado de la varianza mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 53). La prueba nos indica que, en el ambiente de déficit hídrico, el promedio de la biomasa aérea fue inferior en 32.73% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que la deficiencia hídrica influyó en todos los genotipos disminuyendo el tamaño y cantidad de hojas y tallos; lo cual, a su vez se refleja en menor translocación de carbohidratos al grano. A respecto, Fang et al., (2010), indican que la humedad del suelo tiene un impacto importante en la acumulación y distribución de la biomasa seca en plantas de trigo, la que contribuye con más del 70 % al rendimiento.

Los resultados de esta investigación difieren de Dell Amico et al. (2016), quienes no encontraron diferencias en la acumulación de biomasa seca en la parte aérea, en la raíz y en el área foliar, entre plantas regadas al 100% y 50% de la evapotranspiración (Eto), lo cual lo asocian a que las plantas en ambos tratamientos tuvieron suministro hídrico adecuado hasta los primeros 22 DDS lo cual fue suficiente para permitir a las plantas mantener niveles adecuados de acumulación de biomasa seca y del crecimiento foliar. Esta variación nos da entender de que, en trigo, se observa diferencias significativas en la acumulación de biomasa sólo cuando la sequía es prolongada y terminal.

Tabla 53. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Biomasa aérea en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	14540 Kg	A
Déficit hídrico	9780 Kg	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 54, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey para los tratamientos con un nivel de confianza del 95% los valores de la variable biomasa aérea, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. La biomasa aérea en el genotipo PITH 34 (grupo A) fue superior al genotipo EEATH 1-122 (grupo B), mientras que los genotipos Centenario y Nazareno se encuentran en un rango intermedio (grupo AB).

Tabla 54. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Biomasa aérea en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
PITH	13458 Kg	A
Centenario	12077 Kg	AB
Nazareno	11936 Kg	AB
EEATH	11169 Kg	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 45 observamos los valores promedio de la biomasa aérea de cada tratamiento en cada ambiente expresada en kilogramos, donde el genotipo PITH 34 fue el que obtuvo mayor valor tanto en el ambiente de riego (15222.99 Kg/ha) y déficit hídrico (11693.60 Kg/ha); mientras que el EEATH 1-122 obtuvo menor valor promedio en el ambiente de riego (14160.94 Kg/ha) y déficit hídrico (8176.06 Kg/ha). El genotipo que presentó mayor diferencia en el índice de cosecha al hacer la comparación entre los ambientes fue el EEATH 1-122 con 42.26%, lo cual indica que una mayor sensibilidad del genotipo a la deficiencia

hídrica, pues este tratamiento sufrió una mayor reducción en la formación de biomasa aérea.

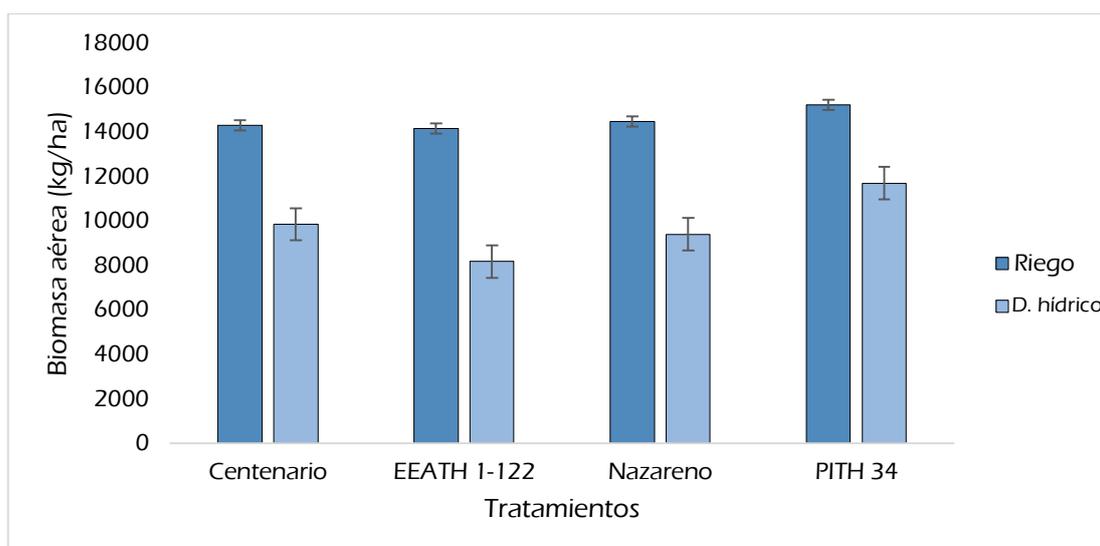


Figura 45. Biomasa aérea (Kg/ha) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Rastrojo (RT)

El análisis combinado de la varianza para la variable Rastrojo, mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 55). La prueba nos indica que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, la cantidad de rastrojo fue inferior en 16.23% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico afectó a todos los genotipos ya que disminuyó la cantidad de biomasa aérea. Esta variable está directamente relacionada con el rendimiento de grano y el índice de cosecha, pues, a menor biomasa aérea, menor rendimiento y/o menor cantidad de rastrojo.

Tabla 55. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rastrojo en los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	5625 Kg	A
Déficit hídrico	4712 Kg	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 56, se muestra la prueba de comparación de medias de Tukey para los tratamientos con un nivel de confianza del 95% los valores de la cantidad producida de rastrojo, ya que, en el análisis combinado de la varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas. La cantidad de rastrojo en los genotipos PITH 34 y

Centenario (grupo A) fueron superiores al genotipo EEATH 1-122 (grupo B), mientras que el genotipo Nazareno se encuentra en un rango intermedio (grupo AB).

Tabla 56. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Rastrojo en los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
PITH	5717.1 Kg	A
Centenario	5400.6 Kg	A
Nazareno	5159.7 Kg	AB
EEATH	4396.6 Kg	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La figura 46 muestra los valores promedio del rastrojo producido por cada tratamiento en los dos ambientes, donde el genotipo PITH 34 fue el que obtuvo mayor valor tanto en el ambiente de riego (5932.88 Kg/ha) como en déficit hídrico (5501.29 Kg/ha); mientras que el EEATH 1-122 obtuvo menor valor promedio en el ambiente de riego (5068.15 Kg/ha) y déficit hídrico (3725.06 Kg/ha). El genotipo que presentó mayor diferencia en la cantidad de rastrojo al hacer la comparación entre los ambientes fue el EEATH 1-122 con 26.5%, lo cual indica que una mayor sensibilidad de este genotipo a la deficiencia hídrica.

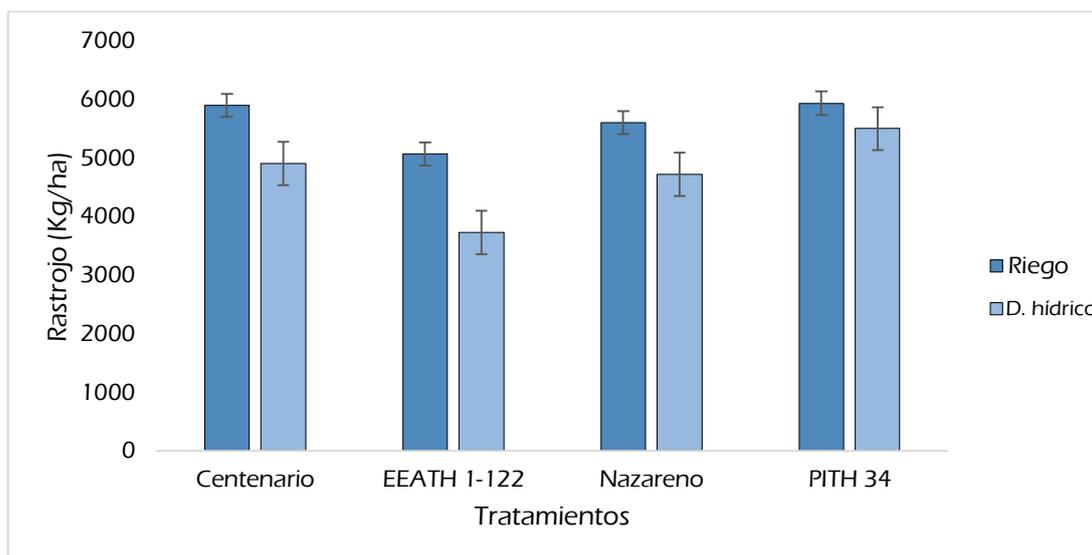


Figura 46. Rastrojo (Kg/ha) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Características morfológicas

Con respecto a los valores de las características morfológicas, la altura de planta, largo de espiga y largo de las aristas en los cuatro genotipos de trigo siguen una misma tendencia en cada ambiente, lo cual demuestra que todos los genotipos son afectados por el déficit hídrico que se ve reflejado en una disminución del tamaño de la planta, menor número de flores y menor tamaño de espiga y arista. Miranda et al., (2016) explican que el estrés hídrico también puede afectar características de la planta como la altura, la cual disminuye a consecuencia de una reducción en la acumulación de materia seca, tasa de asimilación neta, tasa relativa de crecimiento, tasa de aparición de hojas y macollos, y la tasa de expansión del área foliar. Asimismo, indica que al iniciarse una sequía terminal puede provocar la muerte de las florecillas durante la emergencia de la hoja bandera.

En el análisis individual de la varianza (tabla 57) se encontró diferencia significativa en la altura de planta entre los tratamientos en el ambiente de riego y déficit hídrico; y en la longitud de la espiga entre los tratamientos en el ambiente de déficit hídrico. Los coeficientes de variación fueron inferiores al 10% (a excepción del número de florecillas infértiles), lo cual es aceptable en este tipo de evaluaciones. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia en función de los factores en estudio del presente en 84%, 92% y 87%; respectivamente, dejando el margen de diferencia a la influencia de factores no contemplados en el estudio.

Tabla 57. Resumen de análisis de varianza de las variables, Altura de planta (ALT), Número de flores totales por espiga (FT), Número de flores infértiles por espiga (FI), Largo de la espiga (LE), y Largo de las aristas (LA) de 4 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) en el tratamiento déficit hídrico y riego.

Análisis individual	Variables dependientes														
	ALT			FT			FI			LE			LA		
	TRA	C.V	R ²	TRA	C.V	R ²	TRA	C.V	R ²	TRA	C.V	R ²	TRA	C.V	R ²
Riego	**	2.57	0.84	NS	5.47	0.36	NS	13.87	0.49	NS	4.77	0.43	NS	6.96	0.33
D. hídrico	*	2.74	0.92	NS	9.09	0.49	NS	11.88	0.77	*	2.99	0.87	NS	6.38	0.67
Análisis combinado															
BLO(AMB)	**			NS			*			*			NS		
AMB	**			**			**			**			*		
TRA	**			NS			NS			*			NS		
AMB*TRA	NS			NS			NS			NS			NS		

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

Altura de planta (ALT)

El análisis combinado de la varianza para la variable Altura de planta, mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 58). La prueba nos indica que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, la altura de planta fue inferior en 12.22% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico afectó a todos los genotipos ya que redujo el tamaño de las plantas.

Tabla 58. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Altura de plantas según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	0.90 m	A
Déficit hídrico	0.79 m	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 59, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey para para los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, ya que los valores de la altura de planta presentaron diferencias estadísticamente significativas en el análisis combinado de la varianza. La altura de planta fue superior en el genotipo PITH 34 (grupo A), seguido por el genotipo EEATH 1-122 (grupo B) y finalmente los genotipos Nazareno y Centenario (Grupo C), quienes presentaron una misma altura promedio.

Tabla 59. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Altura de las plantas según los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
PITH	0.90 m	A
EEATH	0.86 m	B
Nazareno	0.81 m	C
Centenario	0.81 m	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

La figura 47 nos muestra los valores promedio de altura de planta por cada tratamiento en los dos ambientes, donde el genotipo PITH 34 fue el que obtuvo mayor valor tanto en el ambiente de riego (0.95 m) como en déficit hídrico (0.86 m); mientras que el Centenario y Nazareno obtuvieron menor valor promedio en el ambiente de riego (0.86 m) y déficit hídrico (0.75 m). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en la altura de planta al hacer la comparación entre los ambientes fueron Centenario y Nazareno con 12.79%, lo cual indica que una mayor sensibilidad de este genotipo a la deficiencia hídrica.

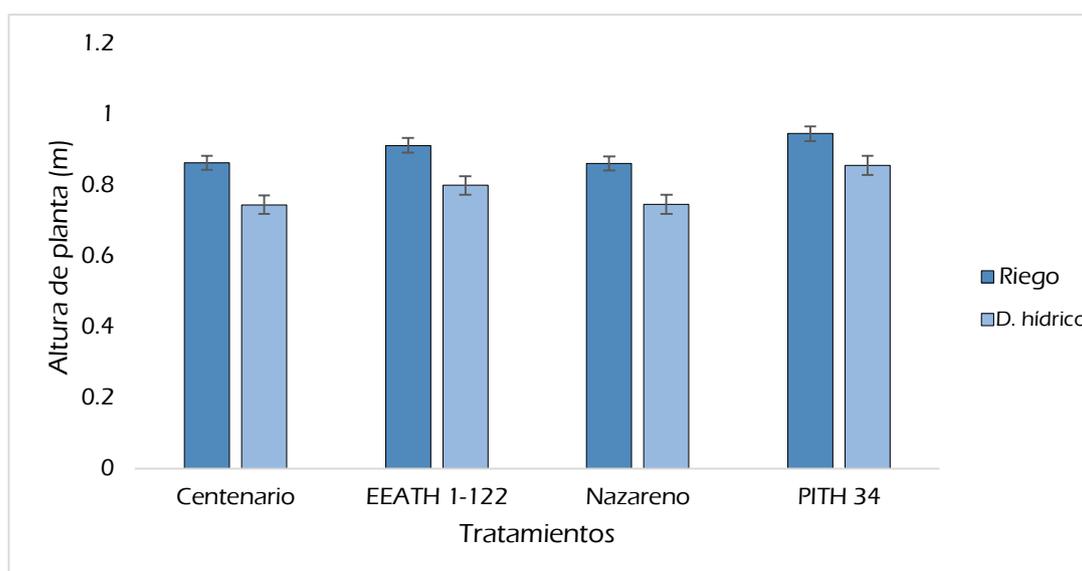


Figura 47. Altura de planta (m) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Número de florecillas totales por espiga (FT)

El análisis combinado de la varianza para la variable número de flores totales, mostró diferencias altamente significativas solo entre los ambientes, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 60). La prueba nos indica que, en el ambiente sometido a déficit hídrico, el número de florecillas totales por espiga fue inferior en 29.32% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico afectó a todos los genotipos reduciendo la cantidad de florecillas en las espigas.

Tabla 60. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de flores totales por espiga según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	74.0	A
Déficit hídrico	52.3	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 48 observamos los valores promedio del número total de florecillas por espiga en cada tratamiento en los dos ambientes, donde el genotipo PITH 34 nuevamente fue el que obtuvo mayor valor tanto en el ambiente de riego (75.21) como en déficit hídrico (57.13); mientras que el Centenario obtuvo menor valor promedio en el ambiente de riego (72.13) y el Nazareno en déficit hídrico (50.33). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en el número de florecillas totales entre los ambientes fue Nazareno con 32.89%, lo cual indica

que una mayor sensibilidad en la formación de florecillas en este genotipo en condiciones de deficiencia hídrica.

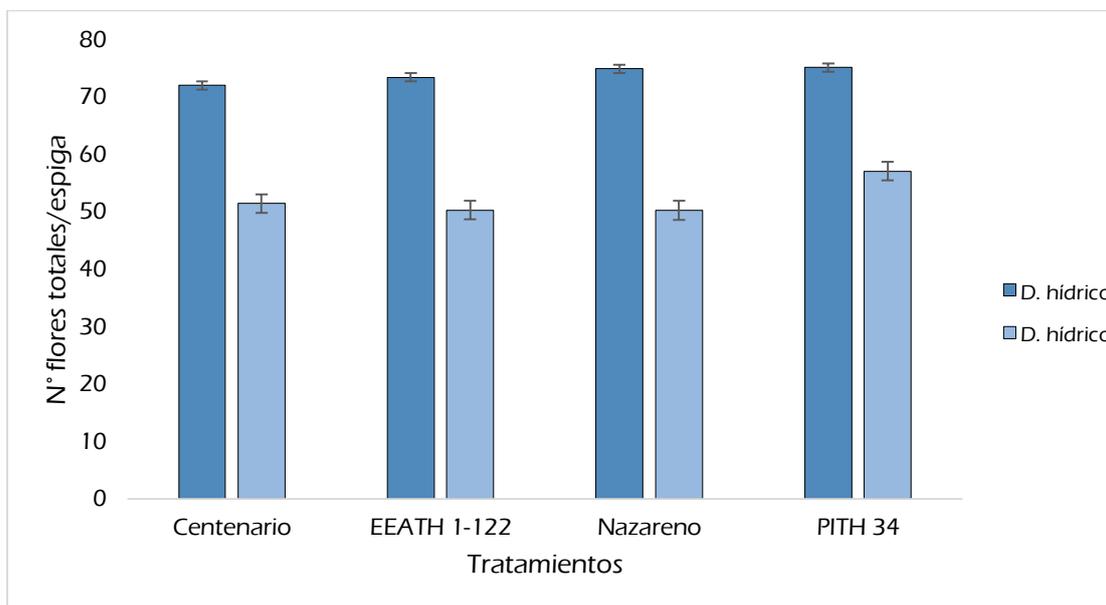


Figura 48. Número de flores totales por espiga de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Número de florecillas infértiles por espiga (FI)

De igual manera, el análisis combinado de la varianza para la variable número de florecillas infértiles por espiga, mostró diferencias altamente significativas solo entre los ambientes, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 61). La prueba nos indica que, el número de florecillas infértiles por espiga fue mayor en 29.95% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico afectó a todos los genotipos reduciendo la cantidad de florecillas cuajadas en las espigas, por lo que al momento de la evaluación se encontraban vanas.

Tabla 61. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Número de flores infértiles por espiga según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	9.68	A
Déficit hídrico	13.82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 49 se muestra los valores promedio del número total de florecillas infértiles por espiga en cada tratamiento en los ambientes de riego y déficit hídrico, donde en el genotipo Nazareno se encontró mayor número de florecillas infértiles el ambiente de riego (10.29) y

en el genotipo Centenario en déficit hídrico (15.63); mientras en el genotipo que se encontró un menor número fue EEATH 1-122 en el ambiente de riego (8.96) y déficit hídrico (12.13). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en el número de florecillas infértiles entre los ambientes fue Centenario con 37.62% y PITH 34 con 30.75%, lo cual indica una mayor sensibilidad en la fertilidad de florecillas de estos genotipos al déficit hídrico.

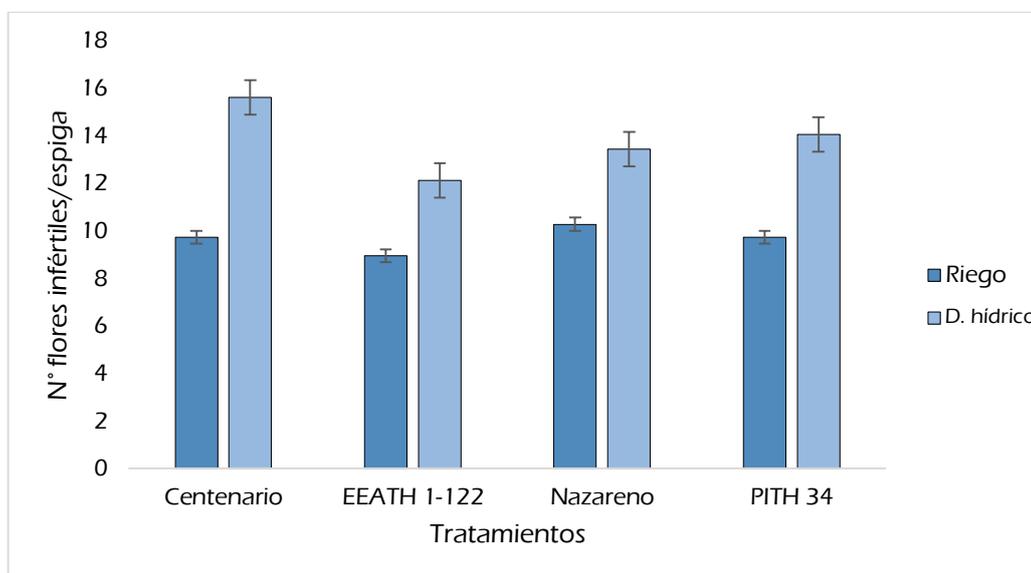


Figura 49. Número de flores infértiles por espiga de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Longitud de espiga (LE)

En cuanto a la variable longitud de espigas, el análisis combinado de la varianza mostró diferencias altamente significativas entre los ambientes y también entre tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 62 y tabla 63). La prueba nos indica que, la longitud de espigas fue 9.76% menor en el ambiente sometido a déficit hídrico; esto nos indica que el déficit hídrico redujo el tamaño de las espigas en todos los genotipos.

Tabla 62. Prueba de comparación de medias de Tukey para la Longitud de espigas según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Déficit hídrico	9.15 cm	A
Riego	10.14 cm	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 62, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey para para los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, ya que los valores de la longitud de espiga presentaron diferencias significativas en el análisis combinado de la varianza. El genotipo PITH 34 (grupo A) presentó mayor longitud de espiga que los genotipos EEATH y Centenario (grupo B), mientras que, el Nazareno presentó un valor intermedio (grupo AB).

Tabla 63. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Longitud de espigas según los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
PITH	10.08 cm	A
Nazareno	9.84 cm	AB
EEATH	9.37 cm	B
Centenario	9.29 cm	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 50 observamos los valores promedio de la longitud de la espiga en cada tratamiento en los dos ambientes, donde el genotipo Nazareno fue el que obtuvo mayor valor en el ambiente de riego (10.47 cm) y el genotipo PITH 34 en déficit hídrico (9.75 cm); mientras que el genotipo con espigas más pequeñas fue Centenario en el ambiente de riego (9.81 cm) y en déficit hídrico (8.78 cm). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en la longitud de la espiga entre los ambientes fueron Nazareno con 11.93% y Centenario con 10.49%, lo cual indica que una mayor sensibilidad en el tamaño de la espiga en estos genotipos en condiciones de deficiencia hídrica.

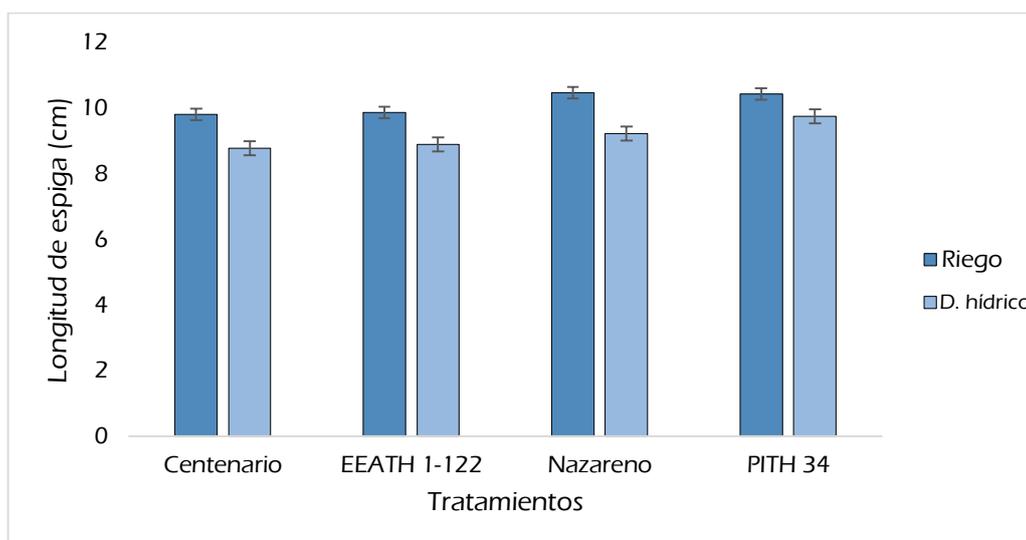


Figura 50. Longitud de espiga (cm) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Longitud de aristas (LA)

Para la variable longitud de arista de la espiga, el análisis combinado de la varianza mostró diferencia significativa solo entre los ambientes, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 64). La prueba nos indica que, la longitud de la arista de las espigas fueron 7.11% menor en el ambiente de déficit hídrico; esto nos indica que el déficit hídrico redujo el tamaño de las aristas de las espigas en todos los genotipos.

Tabla 64. Prueba de comparación de medias de Tukey para el Longitud de las aristas según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	5.90 cm	A
Déficit hídrico	5.48 cm	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 51 observamos los valores promedio de la longitud de las aristas de las espigas en los cuatro tratamientos en los ambientes de riego y déficit hídrico, donde en el genotipo Nazareno se encontró aristas de mayor tamaño el ambiente de riego (6.06 cm) y en el genotipo PITH 34 en déficit hídrico (5.78 cm). El genotipo con menor longitud de aristas fue EEATH 1-122 en el ambiente de riego (5.75 cm) y déficit hídrico (5.24 cm). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en el tamaño de las aristas entre los ambientes fue Nazareno con 9.74% y EEATH 1-122 con 8.87%.

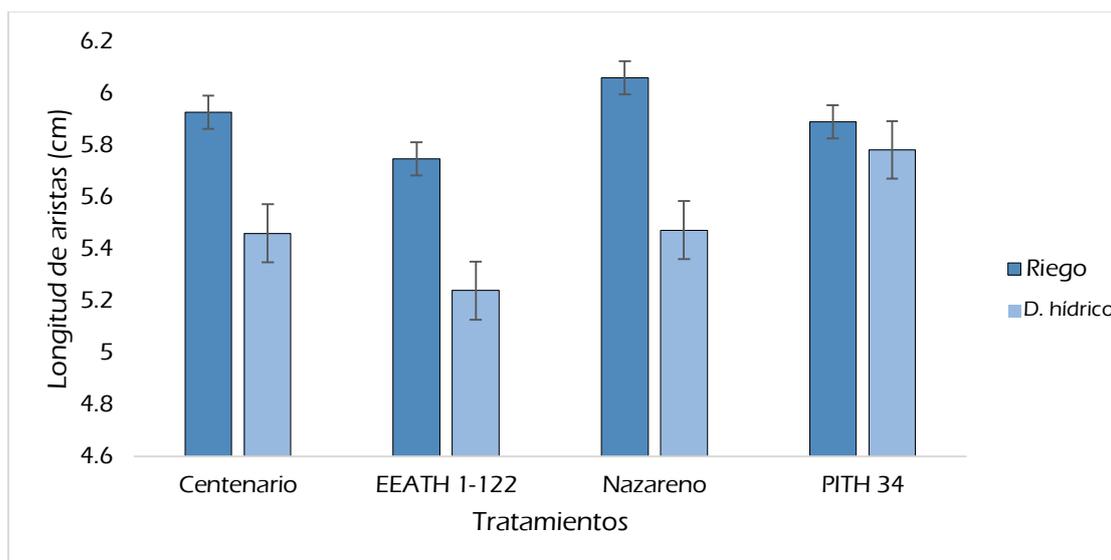


Figura 51. Longitud de arista (cm) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

Calidad del grano

Las características químicas asociadas a la calidad del grano de trigo cosechado en los ambientes de riego y déficit hídrico se muestran en la tabla 65. Los valores de los tratamientos sometidos a déficit hídrico presentaron 1.97%, 0.12%, 5.8%, 1.52% y 3.72% menos porcentaje de proteína, humedad, gluten húmedo, gluten seco y dureza en comparación a los mismos en condiciones de riego. Mientras que, el porcentaje de almidón y el peso hectolitro fueron 0.72% y 0.84% mayores en el ambiente de déficit hídrico en comparación al ambiente riego.

Tabla 65. Características asociadas la calidad del grano de trigo en las variedades y ambientes evaluados.

Ambiente	Genotipo	% Proteína	% Humedad	% Almidón	% Gluten húmedo	Zeleny ml	% Gluten seco	Peso hectolitro (Kg/Hl)	% Dureza	Color (*)	Textura de endospermo (**)
Déficit hídrico	EEATH 1-122	12.3	12.3	66.3	29.2	39.8	8.3	84.1	10.6	2	h
	PITH 34	12.0	12.4	66.9	28.7	38.5	9.4	86.6	10.4	2	nh
	Nazareno	14.5	12.3	63.7	35.8	54.8	10.6	80.3	10.5	2	nh
	Centenario	13.7	12.3	65.2	33.9	51.5	10.6	82.1	10.1	2	nh
Riego	EEATH 1-122	14.7	12.6	65.6	37.1	60.4	10.9	83.3	14.8	2	h
	PITH 34	14.2	12.5	65.7	35.4	56.8	10.6	82.4	15.5	2	nh
	Nazareno	16.7	12.3	62.9	41.5	61.6	12.4	81.9	13.9	2	nh
	Centenario	14.8	12.4	65.0	36.9	59.7	11.1	82.7	12.3	2	nh

(*) crema (1), marrón claro (2), marrón oscuro (3) y rojo (4)

(**) harinoso (h) y no harinoso (nh)



Figura 52. Sistemas Infratec 1241 para determinación de proteína, humedad, grasa, fibra, almidón, amilosa, color, aceite y peso específico en grano de cereales.

De La Horra et al., (2012), definen la calidad de los trigos y las harinas como un elemento clave para garantizar la obtención del producto esperado. Para el caso de trigo harinero, se debe combinar indicadores de calidad molinera y de calidad panadera.

En nuestro ensayo, los resultados del contenido de proteína oscilo entre 12 y 16.7%, el peso hectolitro entre 80.30 y 86.60 kg/hl, resultados que son similares a los de De La Horra et al., (2012), quienes trabajaron con diferentes cultivares de trigo en Argentina, reportando un porcentaje de proteínas totales entre 11,60 y 16,29%, mientras que los valores de peso hectolítrico entre 70.30 y 81,05 kg/hl. Madariaga y Matus, (2011), indican que la industria chilena aplica un castigo a los productores cuando el peso hectolitro es menor a 79 kg/hL y bonifica sobre 82 kg/hL.

En los genotipos Nazareno y Centenario el peso hectolitro fue ligeramente menor en el ambiente de déficit hídrico en comparación a los mismos genotipos en el ambiente de riego; esto hace referencia a una menor calidad del grano debido al déficit hídrico por la sequía inducida. Zamora et al., (2002), indican que, un peso hectolitro muy bajo significa que existe mayor cantidad de salvado que de semolina y esto se da en granos enfermos, amarengados, con alto contenido de humedad, quebrados y con baja pureza física. De igual manera, encontramos que, en estos dos genotipos, a mayor peso hectolítrico, mayor dureza, concordando con lo reportado por Halverson y Zeleny (1988), y Troccoli y di Fonzo (1999).

Por otro lado, en los genotipos PITH 34 y EEATH 1-122, los valores del peso hectolitro fueron mayores en condiciones de déficit hídrico, lo que indica que la falta de agua no desmejoró esta característica de la calidad del grano, por el contrario, fue superior. En cuanto a la relación entre la dureza y el peso hectolitro, encontramos que, en estos genotipos, a menor peso hectolitro, mayor es la dureza. Esto indica que, las variables dureza, el porcentaje de proteína y peso hectolítrico están influenciadas con el potencial genético de los genotipos, así como el ambiente donde se produce y otros factores externos no controlables (Olán et al., 2012).

Contenido de proteína

En el análisis individual de la varianza para el contenido de proteína (tabla 66), se encontró diferencia significativa entre los tratamientos en el ambiente de riego y déficit hídrico. Los coeficientes de variación fueron 4.06% y 6.45%, los cuales son aceptables para este tipo de evaluaciones. Los coeficientes de determinación proyectan una explicación de la variancia

en función de los factores en estudio del presente en 81% y 72%; respectivamente, dejando el margen de diferencia a la influencia de factores no contemplados en el estudio.

Tabla 66. Análisis de varianza del contenido de proteína (%) en los granos de los cuatro genotipos de trigo en los tratamientos déficit hídrico y riego.

Análisis individual	% Proteína		
	TRA†	C.V	R2
Riego	*	4.06	0.81
Déficit hídrico	*	6.45	0.72
Análisis combinado			
BLO(AMB)		NS	
AMB		**	
TRA		**	
AMB*TRA		NS	

BLO: Bloques, TRA: 4 genotipos, AMB: Riego y déficit hídrico, C.V.: Coeficiente de variación (%) y R²: Coeficiente de determinación. † Probabilidad > F, (*) significativo, (**) altamente significativo.

En el análisis combinado de la varianza para el % de proteína no se encontró interacción de los tratamientos con el ambiente. Se encontraron diferencias altamente significativas tanto para ambientes como para tratamientos, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95% (tabla 67). La prueba nos indica que, en el ambiente de déficit hídrico (grupo B), el % de proteína en grano fue inferior en 13.08% en comparación al ambiente de riego, lo cual indica que el déficit hídrico afectó a todos los genotipos reduciendo la cantidad de proteínas, ya que, la primera acumulación de proteínas (gliadina) va desde 5 a 10 días después de anthesis hasta 21 días después de floración (Silva et al., 2007); luego de 6 a 8 días comienza a acumularse la glutenina (Mellado, 2007), siendo significativo desde los 20 hasta 27 días después de floración (Silva et al., 2007).

Tabla 67. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de proteína en grano de trigo según los ambientes evaluados.

Ambiente	Media	Grupo
Riego	15.09 %	A
Déficit hídrico	13.13 %	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 68, visualizamos la prueba de comparación de medias de Tukey para para los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, ya que los valores del % de proteína presentaron diferencias significativas en el análisis combinado de la varianza. El genotipo Nazareno (grupo A) presentó mayor contenido de proteína que los otros genotipos; el genotipo Centenario (grupo B) fue superior al genotipo PITH 34 (grupo C) y el genotipo EEATH 1-122 (grupo BC) presentó un valor intermedio entre el Centenario y el PITH 34.

Tabla 68. Prueba de comparación de medias de Tukey para el % de proteína en grano de trigo según los genotipos evaluados.

Tratamiento	Media	Grupo
Nazareno	15.61	A
Centenario	14.21	B
EEATH 1-122	13.50	BC
PITH 34	13.11	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la figura 53 observamos los valores promedio del contenido de proteína de los cuatro tratamientos en los ambientes de riego y déficit hídrico, donde en el genotipo Nazareno se encontró los mayores valores tanto en el ambiente de riego (16.7%) y en déficit hídrico (14.5%). El genotipo con los menores valores fue PITH 34 en el ambiente de riego (14.2%) y déficit hídrico (12.0%). Los genotipos que presentaron mayor diferencia en el tamaño de las aristas entre los ambientes fue EEATH 1-122 con 2.4% y PITH 34 con 2.2% de diferencia.

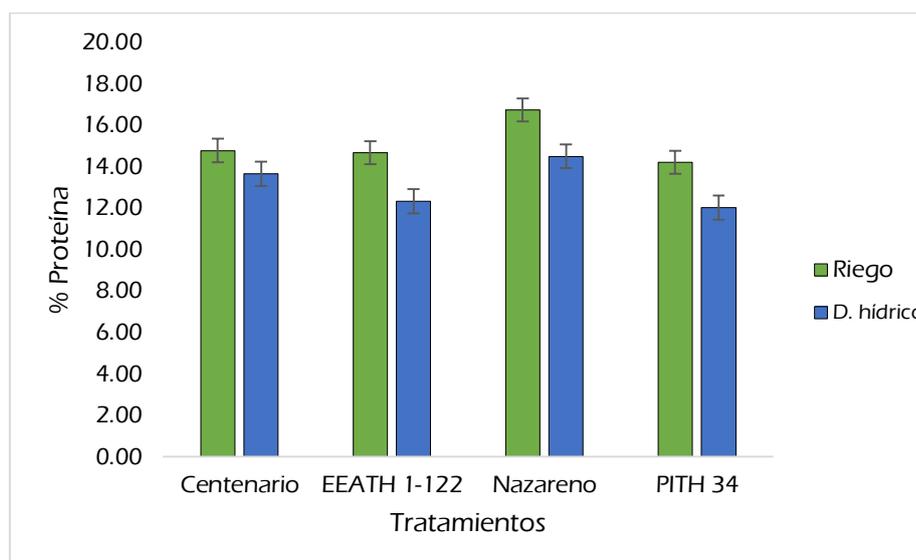


Figura 53. Contenido de proteína (%) de los cuatro genotipos de trigo en los ambientes de Riego y Déficit hídrico.

V. CONCLUSIONES

- Los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) tuvieron diferente respuesta fisiológica, incrementaron la temperatura del dosel, presentaron contenido de clorofila y conductancia estomática menor en el ambiente sometido a déficit hídrico lo que se reflejó en el menor rendimiento.
- La deficiencia hídrica acortó la fenología de los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*), llegando a la madurez fisiológica en tiempo significativo menor.
- El rendimiento fue afectado por el déficit hídrico drásticamente en los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) hasta en un 50%. A pesar de ello, este rendimiento fue superior al rendimiento promedio nacional de trigo.

VI. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados en esta investigación se recomienda:

- Continuar con las investigaciones de los genotipos mejorados PITH 34 y EEATH 1-122 en condiciones de sierra (zonas secas) y en invernadero con riego tecnificado a fin de constatar su estabilidad y potencial genético.
- Investigar dosis y momento más adecuado para la fertilización en trigo para determinar si se produce incremento en la eficiencia del uso del agua.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbate P.E., F.H. Andrade y Culot J.P. (1994). Determinación del rendimiento en trigo.
- Abbate, P.; Andrade, F. y Lázaro, L. (1997). Explorando altos rendimientos de trigo. CIMMYT-INIA. 20 pp.
- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., Rodríguez-Guerra, R., Pedroza-Flores, J., Amador-Ramírez, M. D., & Padilla-Ramírez, J. S. (2011). Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(2), 249-263.
- Angiosperm Phylogeny Group (APG IV) (2016). Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. <https://www.gbif.org/es/dataset/fa8ab13c-52ed-4754-b838-aeff74c79718>
- Apel K. & H. Hirt. (2004). Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress and Signal Transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 373-399.
- Argentel, L, López, R. C, Fonseca, I, Girón, R, Gómez, E, González, L. M, & López Aguilar, D. R. (2009). Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba-C-204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 00. Recuperado en 07 de enero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400007&lng=es&tlng=es.
- Ashraf M. & M.R. Foolad. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59: 206-216.
- Bhatnagar-Mathur P., V. Vadez & K.K. Sharma. (2008). Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant Cell Rep.* 27: 411-424.
- Barriga, P. (1974). Análisis de causa y efecto para rendimiento y componentes del rendimiento en trigo de primavera. *Agro Sur*, 2(1), 01-05.
- Bello, D., (2019). Eficiencia de uso de agua en clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones de costa central. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Blum A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation.

Euphytica, 100:77-83.

Blum, A. (2002). Drought tolerance is it a complex trait? En: Saxena, N.P. y J.C. O'Toole (eds.). Field screening for drought tolerance in crop plants with emphasis on rice. Proc. International Workshop on Field Screening for Drought Tolerance in Rice, 11- 14 Dic. 2000. ICRISAT, Patancheru y Rockefeller Foundation, New York, NY. p. 17- 22.

Bogale, A; Tesfaye, K; Geleto, T. (2011). Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES) 1(2): 22-36.

Bray, E. A. (2002). Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. Annals of Botany. 89:803-811.

Cardozo, M. C. P., & Quiriban, A. E. (2014). Las proteínas en la tolerancia al estrés hídrico en plantas. Semiárida, 24(1).

Chapin III, F. S. (1991). Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use, In: Money, H. A., W. E. Winner, and E. J. Peli, eds. Responses of plants to multiple stresses. San Diego Academic Press.

Cushman J.C. (2001). Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthetic adaptation to arid environments. Plant Physiol. 127: 1439- Las proteínas en la tolerancia al estrés hídrico en plantas 65 66 1448.

De la Horra, A. E., Seghezzo, M. L., Molfese, E., Ribotta, P. D., & León, A. E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. Agriscientia, 29(2), 81-89.

Dell Amico, J. M., Martín-Martin, R., Jerez-Mompie, E. I., Morales-Guevara, D., & Planal-Llerena, R. (2016). Respuesta fisiológica del trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivar INCA TH 4 al déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 94-102.

Dirección General de Competitividad Agraria-MINAGRI. (2012). Principales aspectos de la cadena productiva de trigo.

Domínguez, L. E. M., Castañeda, C. L., Riquelme, I. B., & Contreras, J. A. M. (2016). Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. Revista Terra Latinoamericana, 34(4), 393-

407.

Fang, Q. X.; Ma, L.; Green, T. R.; Yu, Q.; Wang, T. D. y Ahuja, L. R. (2010). "Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options". *Agricultural Water Management*, vol. 97, pp. 1102-1116, ISSN 0378- 3774.

Fernández, M. A. (2018). Estrés hídrico: sus efectos sobre el rendimiento de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), trigo fideos (*Triticum durum* Desf.) y triticale (*X Triticosecale*, Wittmack). *Semiárida*, 23(1).

Folkert A., E. Hoekstra, E.A. Golovina & J. Buitink. (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.* 6: 431-438.

Grafius, J.E. (1964). A geometry for plant breeding. *Crop Sci.* 4: 241-246.

Gómez, L. (2007). El cultivo de trigo en el Perú y sus requerimientos hídricos. Programa de Cereales y Granos Nativos. Universidad Nacional Agraria La Molina. http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cexposiciones%5CCultivo_de_trigo_y_sus_requerimientos_hibridos.pdf.

González, C. (2012). Efecto de los precultivos sobre el rendimiento y calidad de trigo (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) en un ambiente de secano mediterráneo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 30p.

Gonzales, M. F. (Ed. 1) (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional de Ecología.

Halverson, J. & Zeleny, L. (1988). Criteria of wheat quality. In: Pomeranz, Y. (ed.) *Wheat chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN. 15-24 p.

Houspanossian, J., Rivas, R., & Vazquez, P. (2008). La humedad del suelo cultivado con maíz y la relación con la temperatura radiativa de su cubierta vegetal. *Revista Ciencia*, 3(6), 65-74.

Kirkham, M.B. (2005). *Principles of soil and plant water relations*. Elsevier Academic. Press, Amsterdam, The Netherlands.

Kirigwi, F. M.; Van Ginkel, M.; Trethowan, R.; Seaves, R. G.; Rajaran, S. y Paulsen, G. M.

(2004). Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, vol. 135, no. 3, p. 361-371.

Langridge P., N. Paltridge & G. Fincher. (2006). Functional Genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Brief. Funct. Genomic Proteomic* 4: 343-354

Latham, M. C. (2002). *Nutrición humana: en el mundo en desarrollo* (Vol. 29). Roma, Italia: FAO.

Leung, J. y J. Giraudat. 1998. Abscisic acid signal transduction. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 199-222.

Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, NY.

Lira, S.R. (1994). Fisiología Vegetal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

Lizarraga, I. (2015). Rendimiento y caracterización agronómicas de 50 líneas elite de trigo de primavera (30 TH - ESWYT) procedentes del CIMMYT-México en la E.E.A “El Mantaro”, 2010-11. Tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú.

Madariaga, R. y I. Matus. (2011). Calidad de trigo candeal. pp 41-43. In Silva P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo (Ed.). Criterios técnicos para el manejo de trigo candeal. Santiago, Chile. 54p.

Mellado, M. (2007). El trigo en Chile: Cultura, Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Quilamapu. Chillán, Chile. 684p.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022). Sistema de Estadísticas Agrarias. Perfil productivo de los principales productos del sector. Disponible en: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDljNzdiOGYtYmYzZi00YjNhLTg0YWItdmNDA3OGY5YzIxNjg2IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>

Miranda-Domínguez, L.E., C. López-Castañeda, I. Benítez-Riquelme y J.A. Mejía-Contreras. (2016). Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebad y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoamericana* 34(4): 393-407.

Miroslav Trnka, Song Feng, Mikhail A. Semenov, Jørgen E. Olesen, Kurt Christian Kersebaum, Reimund P. Rötter, Daniela Semerádová, Karel Klem, Wei Huang, Margarita

Ruiz-Ramos, Petr Hlavinka, Jan Meitner, Jan Balek, Petr Havlík, Ulf Büntgen. (2019). 'Mitigation efforts will not fully alleviate the increase in water scarcity occurrence probability in wheat-producing areas'. Science Advances, vol. 5, no. 9, eaau2406.

Montheith, JL; Unsworth, MH. (2008). Principles of environmental physics. 3 ed. Academic Press, Boston, Estados Unidos. 418 p.

Moreno, F. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía colombiana, 27(2), 179-191.

Muhammad, H; Sattar, A; Ali, A; Nadeem, M. 2012. Agro-physiological performance of wheat genotypes under normal moisture and drought conditions. Iranian Journal of Plant Physiology 2(2):361-369.

Muro V. J. (2013). Principales aspectos de la cadena agroproductiva de trigo. Dirección General de Competitividad Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego. Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomia_trigo.pdf

Nilsen, E.T. y D.M. Orcutt. (1996). Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.

Olán, Micaela de la O, Espitia Rangel, Eduardo, López Sánchez, Higinio, Villaseñor Mir, Héctor E, Peña Bautista, Roberto J, & Herrera Hernández, Juan. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(2), 271-283. Recuperado en 28 de marzo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200005&lng=es&tlng=es.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación - FAO, (1996). "Ecología y enseñanza rural". Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Roma. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación - FAO, (2001). "Trigo regado". Manejo del cultivo. Roma.

Parodi, P.P.; Romero, L.M. (1991). Producción de trigo primaveral en el Perú. Lima, FAO. Manual Técnico

Parsons, M. D.: *Manuales para la educación agropecuaria*. Producción vegetal Núm. 12

- Frijol y chícharo, Ed. Tillas, México DF, México, 1991.
- Pask, A.J.D.; Pietragalla, J; Mullan, DM; Chávez-Dulanto, PN; Reynolds, MP. 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F. 140 p.
- Potters, G., T.P. Pasternak, Y. Guisez, K.J. Palme y M.A.K. Jansen. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends Plant Sci. 12(3), 99-105.
- Rawson H.M. & Macpherson H. G. (2001). Trigo regado, manejo del cultivo. Organización de las Naciones Unidas y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/x8234s/x8234s05.htm#bm05.1>
- Raymond M.J. & N. Smirnoff. (2002). Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. Ann. Bot. 89: 813-823.
- Reddy A.R., K.V. Chaitanya & M. Vivekanandan. (2004). Drought- induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161: 1189-1202.
- Reynolds M.P., Pask A.J.D., Mullan D.M. y Chávez-Dulanto P.N. (Eds.) (2013) Fitomejoramiento Fisiológico I: Enfoques Interdisciplinarios para mejorar la adaptación del cultivo. México, D.F.: CIMMYT.
- Robertson M.J. and Giunta F. (1994). Responses of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. Aust. J. Agric. Res., 45:19-35.
- Romero, M. & Gómez, L. (2003). Cultivo de cebada en el Perú: Recomendaciones para su cultivo. Serie Divulgativa, Universidad Nacional Agraria La Molina, p.29.
- Rozlowski, T. T., Kramer, P. J. Pallardy, S. G. (1991). The physiological ecology of Woody plants. San Diego Academic Press.
- Rzedowski, J. (1968). *Las principales zonas áridas de México y su vegetación*. Bios. Revista del seminario de Estudios Biológicos 1: 4-24.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel y C.X. Zhao. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. C.R. Biol. 331, 215-225.
- Siddique, K. H. M., E. J. M. Kirby, and M. W. Perry. 1989. Ear: Stem ratio in old and modern wheat varieties; Relationship with improvement in number of grains per ear and yield. Field

Crops Res. 21: 59-78.

Silva, P., J. Kolopp, y E. Acevedo. (2007). Calidad de trigo candeal, fisiología y manejo agronómico. pp. 77-86. In: E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias – Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022). Recuperado de:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDljNzdiOGYtYmYzZi00YjNhLTg0YWItNDA3OGY5YzIxNjg2IiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>

Smeekens, S. (1998). Sugar regulation of gene expresión in plants. Curr Opin. Plant Biol. 1, pp 203-204.

Subrahmanyam, D., Subash, N., Haris, A., & Sikka, A. K. (2006). Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. Photosynthetica, 44(1), 125.

Středa, T.; Dostál, V.; Horáková, V. y Chloupek, O. (2012). “Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe”. Agricultural Water Management, vol. 104, pp. 203-209, ISSN 0378-3774, DOI 10.1016/j.agwat.2011.12.018.

Szabados L. & A. Saviouré. (2009). Proline: a multifunctional amino acid. Trends Plant Sci. 15: 89-97.

Taiz, L. y E. Zeiger., (2006). Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Tambussi, E. A.; Nogués, S. y Araus, J. L. (2005) “Ear of durum wheat under water stress: water relations and photosynthetic metabolism”. Planta, vol. 221, no. 3, pp. 446-458, ISSN 0032-0935, 1432- 2048, DOI 10.1007/s00425-004-1455-7

Troccoli, A. and di Fonzo, N. (1999). Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*. Cereal Chemistry. 76(1):45-49.

Varshney, R. K.; Tuberosa, R.; Tardieu, F. (2018). Progress in understanding drought tolerance: From alleles to cropping systems. J. Exp. Bot. 69, 3175–3179.

Von Braun, J. (2018). La situación alimentaria mundial: nuevas fuerzas impulsoras y acciones necesarias (Informe sobre políticas alimentarias, Washington, DC).

Villarreal, M. (2000). “Efectos de la producción de trigo (*Triticum aestivum*) en el mundo,

México y en la región 5 Manantiales”. Monografía.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1183/EFFECTOS%20DE%20LA%20PRODUCCION%20DEL%20TRIGO%20%28Triticum%20aestivum%20L.%29%20EN%20EL%20MUNDO%2C%20MEXICO%20Y%20EN%20LA%20REGION%205%20MANANTIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Walters, C; Farrant, MJ; Pammenter, WN; Berjak, P. (2002). Desiccation stress and damage. En: Desiccation and survival in plants: Drying without dying. M. Black y H.W. Pritchard (Eds.). CABI Publishing, Wallingford, Oxon. p. 263-292.

Whittaker, R. H. (1979). *Communities and Ecosystems*. Mac Millan Publishing Company, Inc. EUA. 385 pp.

Yana A. E. (2022). “Identificación de genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* sp *aestivum*) tolerantes a sequía empleando indicadores morfológicos y fisiológicos”. Tesis maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Yara (2022). Crecimiento y desarrollo del trigo. <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/trigo/crecimiento-y-desarrollo-de-trigo/>

Yamaguchi-Shinozaki K. & K. Shinozaki. (2005). Organization of cis-acting regulatory elements in osmotic-and cold-stress-responsive promoters. *Trends Plant Sci.* 10: 88-94.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F., (1974). Un código decimal para las etapas de crecimiento de los cereales. *Weeds Res.*, 14: 415.

Zamora, M., R. Bergh, A. Báez, M. Seghezzo y E. Molfese, (2002). Fertilización nitrogenada tardía en cultivares de trigo pan y candeal para calidad.

Zonia, L. y T. Munnik. (2007). Life under pressure: hydrostatic pressure in cell growth and function. *Trends Plant Sci.* 12(3), 90-97.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo de la parcela

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : PROGRAMA DE CEREALES
 Departamento : LIMA
 Distrito : LA MOLINA
 H.R. 74268-047C-
 Referencia : 21

Provincia : LA CONVENCION
 Predio : ZONA MESADA

Fecha : 03/11/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
								%	%	%			meq/100g							
3678	Tesis trigo harinero	6.75	0.46	0.00	1.75	19.3	101	32	27	41	Ar.	16.80	11.91	4.1 7	0.29	0.14	0.00	16.51	16.51	98

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Anexo 2. Datos de la biomasa

	Índice de cosecha	Rendimiento de biomasa (Kg/ha)	Rendimiento de rastrojo (Kg/ha)
RIEGO	53.98	14540.02	5624.98
Centenario	51.75	14302.41	5896.43
EEATH 1-122	56.52	14160.94	5068.15
Nazareno	53.91	14473.74	5602.46
PITH 34	53.74	15222.99	5932.88
DÉFICIT HÍDRICO	45.48	9780.32	4712.02
Centenario	44.20	9852.49	4904.70
EEATH 1-122	47.77	8176.06	3725.06
Nazareno	43.39	9399.14	4717.02
PITH 34	46.54	11693.60	5501.29
Total general	49.73	12160.17	5168.50

Anexo 3. Datos morfológicos

	Altura de planta	N° flores totales	N° flores infértiles	Longitud de espiga	Longitud de arista
RIEGO	0.90	73.96	9.69	10.14	5.90
Centenario	0.86	72.13	9.75	9.81	5.93
EEATH	0.91	73.50	8.96	9.86	5.75
Nazareno	0.86	75.00	10.29	10.47	6.06
PITH	0.95	75.21	9.75	10.42	5.89
DÉFICIT HÍDRICO	0.79	52.33	13.83	9.16	5.49
Centenario	0.75	51.50	15.63	8.78	5.46
EEATH	0.80	50.38	12.13	8.89	5.24
Nazareno	0.75	50.33	13.46	9.22	5.47
PITH	0.86	57.13	14.08	9.75	5.78
Total general	0.84	63.15	11.76	9.65	5.70

Anexo 4. Datos de rendimiento

	Rendimiento (12% humedad)	Peso 1000 granos	N° espigas	N° granos/espigas
RIEGO	8915.04	46.06	370.80	44.46
Centenario	8405.98	41.62	396.79	45.48
EEATH 1-122	9092.78	46.00	374.64	47.43
Nazareno	8871.28	48.56	358.93	38.60
PITH 34	9290.11	48.05	352.86	46.33
DÉFICIT HÍDRICO	5068.31	38.52	305.00	39.18
Centenario	4947.80	34.68	348.21	38.63
EEATH 1-122	4451.00	38.40	255.71	41.98
Nazareno	4682.12	37.56	280.00	37.20
PITH 34	6192.31	43.44	336.07	38.93
Total general	6991.67	42.29	337.90	41.82

Anexo 5. Datos de mediciones de contenido de clorofila - SPAD

Fechas de evaluación	56 dds	63 dds	77 dds	83 dds
RIEGO	46.69	47.86	47.57	46.87
Centenario	44.89	46.71	46.83	45.73
EEATH	47.28	48.05	48.19	46.93
Nazareno	47.75	48.34	47.84	46.98
PITH	46.85	48.33	47.43	47.83
DÉFICIT HÍDRICO	46.09	46.89	44.64	38.01
Centenario	44.80	44.96	43.90	38.68
EEATH	45.38	46.86	44.85	38.81
Nazareno	46.82	48.70	44.94	36.48
PITH	47.38	47.03	44.88	38.08
Total general	46.39	47.37	46.11	42.44

Anexo 6. Datos de mediciones de la conductancia estomática

Fechas de evaluación	49 dds	56 dds	63 dds	77 dds	83 dds
RIEGO	198.63	405.75	493.52	528.85	559.79
Centenario	163.08	406.75	549.58	517.50	586.25
EEATH	214.67	460.42	466.33	484.58	550.00
Nazareno	203.25	371.08	521.67	579.17	547.92
PITH	213.50	384.75	436.50	534.17	555.00
DÉFICIT HÍDRICO	155.19	182.50	79.13	114.72	104.25
Centenario	145.08	198.17	66.84	113.25	109.17
EEATH	143.08	174.42	98.13	119.25	90.92
Nazareno	173.17	182.58	75.79	106.54	112.33
PITH	159.42	174.83	75.78	119.83	104.58
Total general	176.91	294.13	286.33	321.79	332.02

Anexo 7. Datos de mediciones de la temperatura del dosel - °C

Fechas de evaluación	35 dds	49 dds	56 dds	63 dds	83 dds
RIEGO	23.74	20.97	19.53	19.80	19.67
Centenario	23.93	20.77	19.54	19.23	19.44
EEATH	23.77	21.25	19.57	20.17	19.86
Nazareno	23.73	20.69	19.43	19.43	19.44
PITH	23.53	21.18	19.58	20.36	19.93
DÉFICIT HÍDRICO	24.36	25.04	25.36	27.50	25.88
Centenario	24.24	25.01	25.80	27.46	26.02
EEATH	24.34	25.21	25.75	27.73	26.32
Nazareno	24.38	24.54	24.67	27.18	25.70
PITH	24.48	25.42	25.21	27.66	25.50
Total general	24.05	23.01	22.44	23.65	22.78

Anexo 8. Datos de mediciones de la cobertura vegetal - NDVI

Fechas de evaluación	35 dds	49 dds	70 dds	77 dds	83 dds
RIEGO	0.78	0.72	0.60	0.54	0.48
Centenario	0.78	0.76	0.64	0.59	0.53
EEATH	0.77	0.69	0.57	0.52	0.45
Nazareno	0.78	0.74	0.62	0.58	0.50
PITH	0.78	0.69	0.56	0.50	0.46
DÉFICIT HÍDRICO	0.73	0.65	0.45	0.37	0.23
Centenario	0.74	0.69	0.50	0.42	0.25
EEATH	0.73	0.61	0.43	0.37	0.24
Nazareno	0.72	0.66	0.45	0.36	0.22
PITH	0.74	0.62	0.43	0.35	0.21
Total general	0.76	0.68	0.52	0.46	0.36

Anexo 9. Datos de mediciones del contenido relativo de agua en hojas - %

Fechas de evaluación	35 dds	49 dds	56 dds	63 dds	77 dds
RIEGO	87.40	91.18	90.67	88.03	87.09
Centenario	87.93	89.73	89.61	86.40	85.41
EEATH	89.08	91.38	91.59	87.26	86.83
Nazareno	88.55	91.64	88.97	90.43	87.31
PITH	84.03	91.98	92.52	88.03	88.81
DÉFICIT HÍDRICO	89.62	88.91	86.28	81.17	80.47
Centenario	90.17	89.53	83.47	81.36	77.90
EEATH	90.86	88.65	87.60	78.85	82.11
Nazareno	89.20	88.98	86.65	84.95	83.02
PITH	88.25	88.47	87.37	79.50	78.84
Total general	88.51	90.04	88.47	84.60	83.78

Anexo 10. Duración de las etapas de desarrollo de cuatro genotipos de trigo.

	Emergencia Z10	1° Nudo visible Z31	1° Aristas visibles Z49	Espigado total sin floración Z59	Madurez fisiológica Z89
RIEGO	5.00	38.81	50.25	57.81	103.25
Centenario	5.00	39.75	53.00	61.50	103.00
EEATH 1-122	5.00	38.50	48.25	56.00	102.75
Nazareno	5.00	39.00	50.50	57.75	104.00
PITH 34	5.00	38.00	49.25	56.00	103.25
DÉFICIT HÍDRICO	5.00	39.31	48.44	56.25	92.25
Centenario	5.00	39.25	51.25	59.75	94.00
EEATH 1-122	5.00	38.75	47.00	54.00	91.00
Nazareno	5.00	40.25	48.50	57.00	92.00
PITH 34	5.00	39.00	47.00	54.25	92.00
Promedio	5.00	39.06	49.34	57.03	97.75

Anexo 11. Fotografías de la ejecución de la investigación



Foto 01: Surcos listos para la siembra de trigo.



Foto 02: Emergencia de las plantas de trigo.



Foto 03: Plantas de trigo en estado fenológico de inicio de macollamiento – Bloque I.



Foto 04: Plantas de trigo en estado fenológico de inicio de macollamiento – Bloque IV.



Foto 05: Vista del campo de trigo en estado fenológico de macollamiento.



Foto 06: Plantas de trigo en estado fenológico de inicio de encañazón – Bloque II.



Foto 07: Plantas de trigo en estado fenológico Z 5.5 mitad de la espiga visible.



Foto 07: Plantas de trigo en estado fenológico Z 6.0 antesis (toda la espiga visible).



Foto 07: Plantas de trigo en estado fenológico Z 6.0 antesis (toda la espiga visible).



Foto 08: Plantas de trigo en estado fenológico Z 8.0 (grano pastoso).

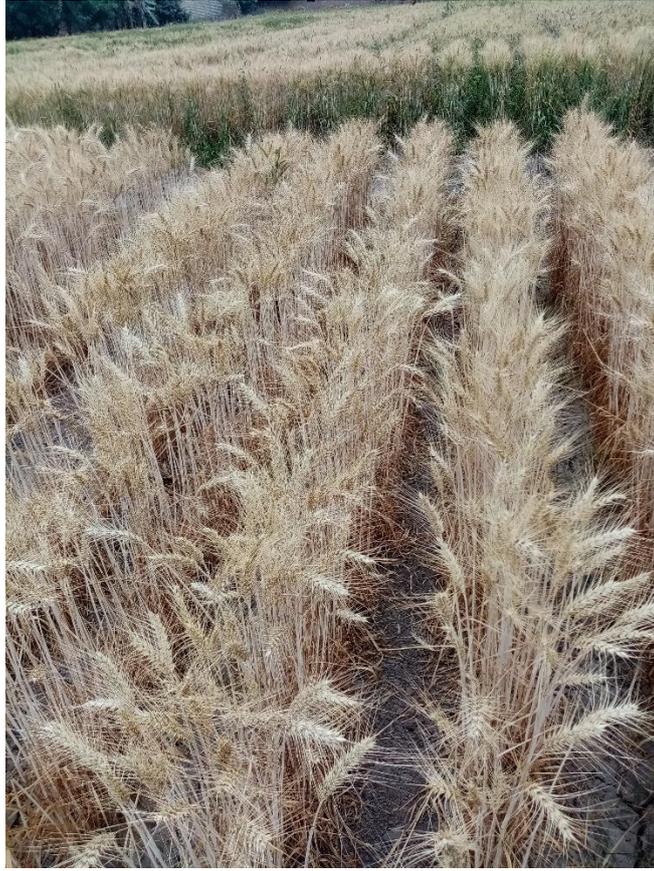


Foto 09: Plantas de trigo en estado fenológico Z 9.3 (granos se sueltan durante el día) – Parcela Déficit hídrico.



Foto 10: Plantas de trigo en estado fenológico Z 9.3 (granos se sueltan durante el día).



Foto 11: Granos de trigo en estado fenológico grano pastoso y grano maduro.

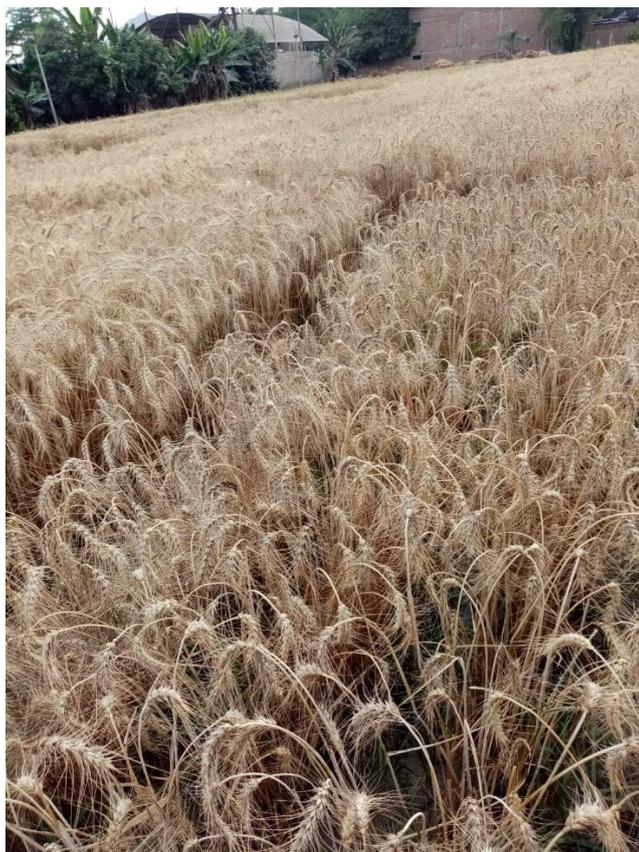


Foto 12: Plantas de trigo en estado fenológico Z 9.3 (granos se sueltan durante el día) – Parcela Riego.