



Received: Abr 08, 2026 / Accepted: Jun 08, 2026

Artículo Científico

Respuesta fisiológica de la producción de trigo harinero *Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum* frente al déficit hídrico

Physiological response of bread wheat production *triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*

R. E. Rea-Zenozain^{1,*} , J. E. Jiménez Dávalos¹ 



<https://doi.org/10.51431/par.v8i1.1115>

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la respuesta fisiológica de la producción de trigo harinero *Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum* frente al déficit hídrico. **Metodología:** Se evaluaron variables fisiológicas durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo, evaluaciones morfológicas, rendimiento y calidad del grano de cuatro genotipos (Centenario, El Nazareno, EEATH-122 y PITH 34), en dos ambientes (riego y déficit hídrico), con un diseño de bloques al azar en cada ambiente, donde cada unidad experimental constó de siete m², con un distanciamiento de 0.35 m entre surcos. Para el experimento se utilizó un sistema de riego por gravedad, monitoreado con sensores de humedad en ambos ambientes durante toda la fenología del cultivo. Al ambiente sometido a déficit hídrico, se le restringió el riego a partir del día 20 después de la siembra (DDS); mientras que, al ambiente con riego, se aplicó de acuerdo a la necesidad. El suelo fue de tipo textural arcilloso y la fertilización se aplicó previo a la siembra. **Resultados:** Se observó un efecto importante en todos los genotipos en el ambiente de déficit hídrico, donde los valores de contenido de clorofila, conductancia estomática, índice de vegetación normalizada y contenido relativo de agua en hoja fueron menores, mientras que la temperatura del dosel fue mayor con respecto al ambiente de riego. Asimismo, se observó que todos los genotipos sometidos a déficit hídrico llegaron a madurez fisiológica en un tiempo significativamente menor (10.65%), reducción hasta un 50% del rendimiento, plantas 12.22% más pequeñas, espigas 9.76% más cortas, con 11.87% menos granos y 13.08% menor porcentaje de proteína. **Conclusión:** Tras el análisis combinado no se observó interacción de los tratamientos con el ambiente, solo diferencias entre los ambientes.

Palabras clave: Déficit hídrico, etapas fenológicas, clorofila, conductancia estomática, dosel.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the physiological response of bread wheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) production under water deficit. **Methodology:** Physiological variables were evaluated during the different phenological stages of the crop, along with morphological evaluations, yield, and grain quality of four genotypes (Centenario, El Nazareno, EEATH-122, and PITH 34), in two environments (irrigated and water deficit), using a randomized block design in each environment, where each experimental unit consisted of seven m², with a spacing of 0.35 m between rows. For the experiment, a gravity irrigation system was used, monitored with moisture sensors in both environments throughout the crop phenology. In the environment subjected to water deficit, irrigation was restricted from the 20th day after sowing (DAS); whereas in the irrigated environment, it was applied according to need. The soil was clay-textured, and fertilization was applied prior to sowing. **Results:** An important effect was observed in all genotypes under water deficit conditions, where the values of chlorophyll content, stomatal conductance, normalized vegetation index, and relative leaf water content were lower, while canopy temperature was higher compared to the irrigated environment. Likewise, it was observed that all genotypes subjected to water deficit reached physiological maturity in a significantly shorter time (10.65%), with up to 50% yield reduction, plants 12.22% smaller, spikes 9.76% shorter, with 11.87% fewer grains and 13.08% lower protein content. **Conclusion:** After the combined analysis, no interaction between treatments and environment was observed, only differences between the environments.

Keywords: Water deficit, phenological stages, chlorophyll, stomatal conductance, canopy.

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

* Autor para correspondencia: Reyna Esther Rea Zenozain: 20190796@lamolina.edu.pe

Introducción

El trigo es una de las especies más antiguas cultivadas por el hombre y constituye la base de la alimentación de más del 96.4% de la población mundial (Kirigwi et al., 2004). En condiciones de secano, la pluviosidad óptima para su cultivo oscila entre 229 y 762 mm, dependiendo del suelo y la distribución de las lluvias. De acuerdo con el CIMMYT, cerca del 50% de la superficie destinada al trigo en el mundo en desarrollo se produce con menos de 600 mm de lluvia anual, enfrentando además irregularidad en el suministro de agua (Lizarraga, 2015).

Durante el cultivo, el déficit hídrico ocurre cuando la transpiración excede la absorción de agua (Levitt, 1980), afectando procesos clave como germinación, crecimiento y productividad (Bello, 2019). El agua, que constituye entre 80 y 95% de la masa de los tejidos en crecimiento, es esencial para la estructura molecular, la expansión celular y múltiples funciones fisiológicas (Kirkham, 2005; Zonia and Munnik, 2007). A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado adaptaciones para mejorar la absorción y eficiencia en el uso del agua (Nilsen & Orcutt, 1996), aunque su cuantificación en campo resulta compleja (Bello, 2019).

El estado hídrico de las plantas depende de su capacidad fisiológica y bioquímica para transportar agua y nutrientes (Lira, 1994). El potencial hídrico, indicador clave del crecimiento y productividad, se ve directamente influido por la disponibilidad de agua (Taiz & Zeiger, 2006; Fernández, 2013). Bajo déficit gradual, las plantas pueden aclimatarse reduciendo la expansión foliar y aumentando el crecimiento radicular (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008), además de cerrar estomas para limitar la pérdida de agua (Taiz & Zeiger, 2006).

Las respuestas al estrés hídrico abarcan cambios metabólicos, fisiológicos, morfológicos y genéticos (Bray, 2002). Rasgos que favorecen la absorción y eficiencia en el uso del agua, junto con la asignación de fotosintatos al rendimiento, pueden actuar sinérgicamente para maximizar la productividad (Reynolds et al., 2013). Entre los mecanismos adaptativos destaca el mantenimiento de la turgencia celular mediante ajuste osmótico, con síntesis de osmolitos como prolina, manitol o trehalosa (Langridge et al., 2006; Folkert et al., 2001). En particular, la

prolina cumple funciones de estabilización estructural y detoxificación de radicales libres durante el estrés hídrico (Ashraf & Foolad, 2007).

Metodología

Localización

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del PIPS en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La siembra se realizó el 29 de setiembre del 2021 y se realizaron los riegos a necesidad hasta el día 20 después de la siembra en ambos ambientes (déficit hídrico y riego), con el fin de garantizar una germinación y crecimiento inicial homogéneo; a partir esa fecha, sólo se regó el ambiente riego. La fertilización se realizó 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 vellosa (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*).

El diseño experimental fue bloques al azar (DEBA) en cada experimento en una serie de experimentos en dos ambientes. Donde las condiciones de riego: déficit hídrico y riego, se consideraron como ambientes y los genotipos de trigo: Centenario, INIA 418 El Nazareno, PITH 34 y EEATH 1-122 como tratamientos. La unidad experimental constó de 7m² con un distanciamiento de 0.35m entre surcos, con una densidad de siembra de 200 semillas viables/m². Para el análisis de los datos de los experimentos se utilizó un análisis combinado.

Evaluaciones

La humedad volumétrica del suelo, se midió semanalmente mediante 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 de profundidad. El contenido de clorofila se midió con un medidor Minolta SPAD-502, promediando tres mediciones en tres hojas bandera por parcela (es decir, 3x3 hojas); el horario de evaluación fue entre las 14:00 – 15:00 horas.

La conductancia estomática con un porómetro de difusión, tomando tres lecturas por unidad experimental en hojas banderas elegidas al azar entre las 11:00 y las 14:00 horas. Para la

temperatura del dosel, se tomaron tres medidas por unidad experimental con un Termómetro infrarrojo (IRT), 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). El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), se midió con un sensor portátil NDVI GreenSeeker. Las mediciones fueron tomadas en horas cercanas al medio día, desde el inicio del macollamiento hasta el llenado de grano. La duración de las etapas de desarrollo, mediante la nomenclatura de Zadoks de acuerdo a lo descrito por Fernández, (2013): 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.

El contenido relativo de agua en hojas (CRA), determinando el peso fresco, peso en turgencia completa y peso seco de tres hojas banderas completamente expandidas en cada unidad experimental. El rendimiento en grano, mediante la cosecha de 1 m² de la zona central de la parcela y mediante los componentes de rendimiento: Número de espigas (NE) por m², número de granos (NG) por espiga y peso de mil granos (PG). La biomasa a cosecha, se estimó a partir de peso seco de 50 tallos (paja y grano) de trigo cortado al ras del suelo y el número de tallos de trigo por m².

El índice de cosecha fue calculado dividiendo la producción de grano por parcela y la biomasa aérea total (secadas ambas en estufa a

65° C) multiplicados por 100. Los caracteres morfológicos, a partir de la evaluación de seis espigas por parcela a las que se les midió el largo de las espigas durante la madurez fisiológica y se midió la altura de seis plantas durante el llenado de grano. Los atributos de calidad fueron evaluados en el laboratorio de calidad del Programa de Cereales de la UNALM, los cuales determinaron el porcentaje de proteína, almidón y dureza; asimismo, se evaluó el peso hectolitro, color y textura de endospermo. El equipo utilizado fue el Sistemas Infratec 1241.

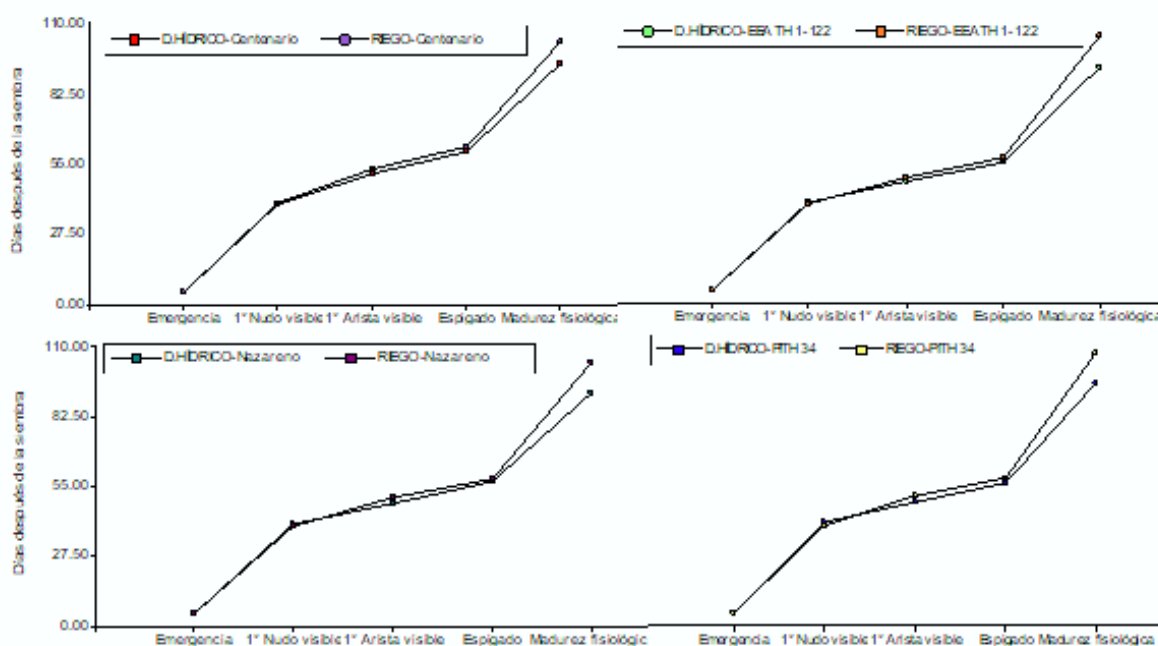
Resultados y discusión

Duración de las etapas fenológicas

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, las diferencias se evidencian desde el espigado (Z59), siendo mayor en la madurez fisiológica (Z89); estos datos concuerdan con Blum (2002), 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 presentaron similar duración de las etapas fenológicas, demostrando la adaptación del trigo, en especial el genotipo El Nazareno, recomendado para condiciones de sierra del Perú entre los 2 800 y 3 500 m de altitud, reportando el espigado (Z59) a los 77 días después de la siembra (dds), mientras que, en esta investigación, llegó a los 57.75 dds.

Figura 1

Duración de las etapas de desarrollo de cuatro genotipos de trigo bajo dos condiciones de riego



Fernández (2013), 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.

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 déficit hídrico produjo adelanto en la maduración de las plantas de trigo, siendo 10.65% menor en el ambiente de déficit hídrico con respecto al ambiente de riego; 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.

Contenido de clorofila

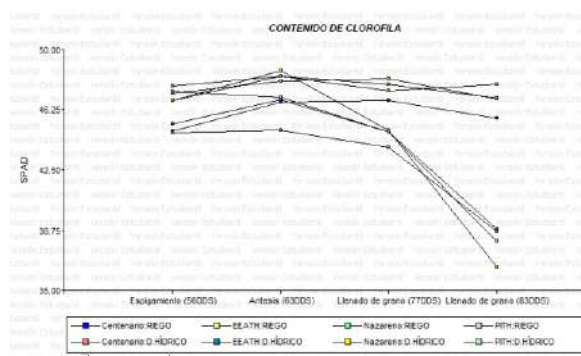
Se evidenció diferencias significativas entre los valores del contenido de clorofila a los 83 dds para los cuatro genotipos en el ambiente de riego, mientras que, en el ambiente de déficit hídrico, los valores del contenido de clorofila sólo fueron significativos a los 63 dds, siendo los genotipos Nazareno, PITH 34 y EEATH 1-124 los que presentaron mayor contenido de clorofila en comparación con el Centenario.

Se presentaron diferencias significativas entre los ambientes, siendo superior en 6.15% y 18.88% en el ambiente de riego a los 77 y 83 dds. A medida que la deficiencia hídrica se va incrementando, los valores del contenido de clorofila disminuyen, concordando con lo reportado por Yana (2018). 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 (Muhammad et al. 2012), sin embargo cuando la deficiencia hídrica se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, área foliar y fisiología. (Potters et al., 2007 y Shao et al., 2008).

Gráfico 1

Mediciones de contenido de clorofila



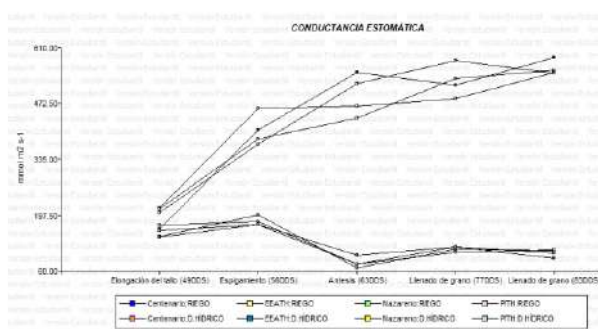
Conductancia estomática

Los valores de la conductancia estomática (Gráfico 2) 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 Riego, los valores van incrementándose a medida que avanzan las etapas fenológicas, encontrando valores más bajos durante el inicio de espigamiento y mayor durante el llenado de grano; mientras que en el ambiente Sequía, los valores más altos se encontraron durante el espigamiento – inicio de anthesis y los más bajos durante anthesis – inicio de llenado de grano. Fernández (2013) 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. Blum (2002) 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 CO₂ 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.

Gráfico 2

Mediciones de conductancia estomática



Temperatura del dosel

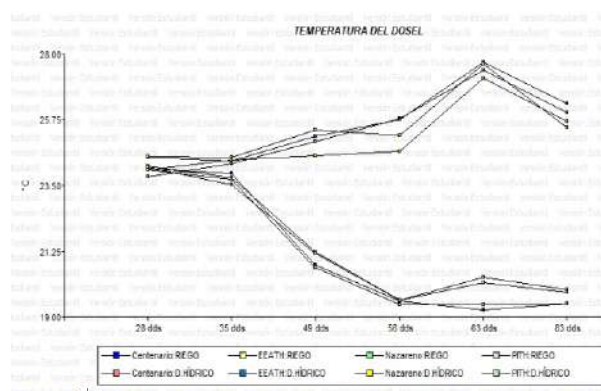
En condiciones de riego, la temperatura del dosel va disminuyendo ligeramente a medida que avanza las etapas fenológicas de la planta (Gráfico 3); mientras que, en condiciones de déficit hídrico, la temperatura sufre un pequeño incremento a medida que avanzan las etapas fenológicas siendo mayores durante la antesis – inicio de llenado de grano. Los valores se mantienen similares en todos los genotipos en cada fecha de evaluación. Estos datos concuerdan Houspanossian et al., (2008), 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.

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 & Giraudat, 1998). De esta manera, se frena el sistema de refrigeración de la planta, produciéndose así, un incremento de la temperatura del dosel.

Gráfico 3

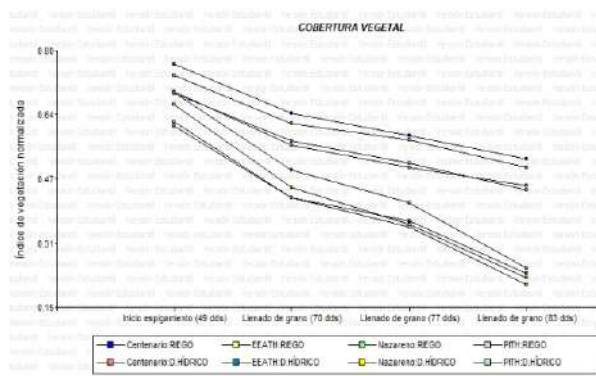
Mediciones de la temperatura del dosel



Índice de vegetación normalizada

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 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. El genotipo Centenario mostró mayores valores de NDVI (0.76, 0.64, 0.59 y 0.53) a los 49dds, 70dds, 77dds y 83dds respectivamente.

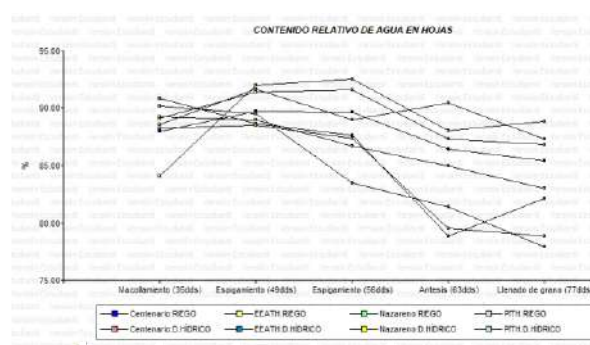
Gráfico 4*Mediciones del Índice de Vegetación Normalizada**Contenido relativo de agua - CRA*

Los valores en las mediciones fluctuaron entre 90% (plantas turgentes) y 77% en las plantas sometidas a déficit hídrico (63 y 77 dds). 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.

Pask et al., (2013), 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 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.

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el ambiente de riego a los 335 y 77 dds y a los 56 dds en el ambiente de déficit hídrico. El análisis combinado reveló diferencias significativas entre los ambientes desde la primera fecha de evaluación. A los 77 dds se observó diferencias marcadas en cada uno de los genotipos en ambos ambientes. 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.

Gráfico 5*Mediciones del Contenido Relativo de Agua en hoja.**Humedad del suelo*

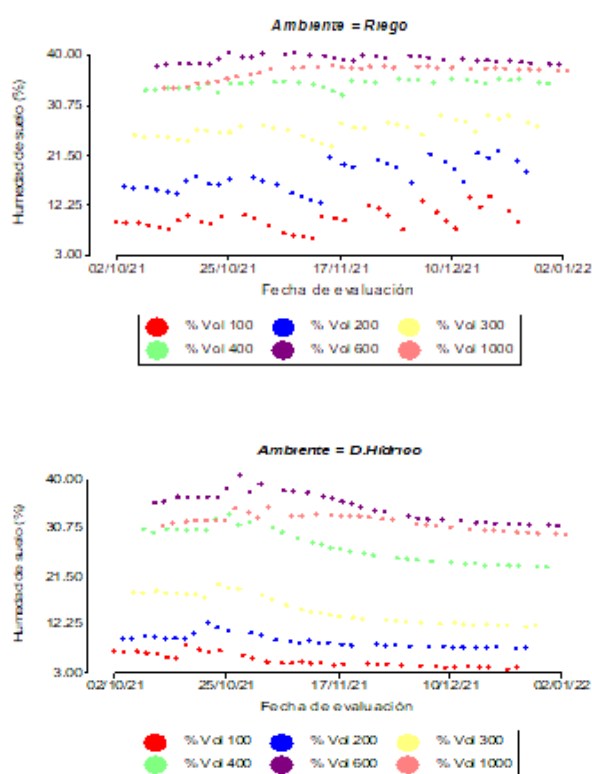
El gráfico 5 muestra las mediciones del contenido volumétrico de humedad de suelo en las diferentes profundidades desde los 7 días después de la siembra cuando las plantas se encontraban en estado fenológico de emergencia hasta la madurez fisiológica de las plantas, tanto en el ambiente de riego como 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. En el ambiente de déficit hídrico, a partir de los 40 cm de profundidad (% vol 400) no se observa una marcada diferencia entre las parcelas de riego y déficit hídrico, probablemente debido a las propiedades físicas y químicas del suelo de clase textural arcilloso (Food and Agriculture Organization [FAO], 1996).

Las características fisiológicas y de rendimiento guardan relación con los valores de humedad del suelo, debido a las plantas tienen diversos mecanismos de resistencia al estrés hídrico (Bray, 2002); que 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).

Gráfico 6

Mediciones de la humedad volumétrica del suelo



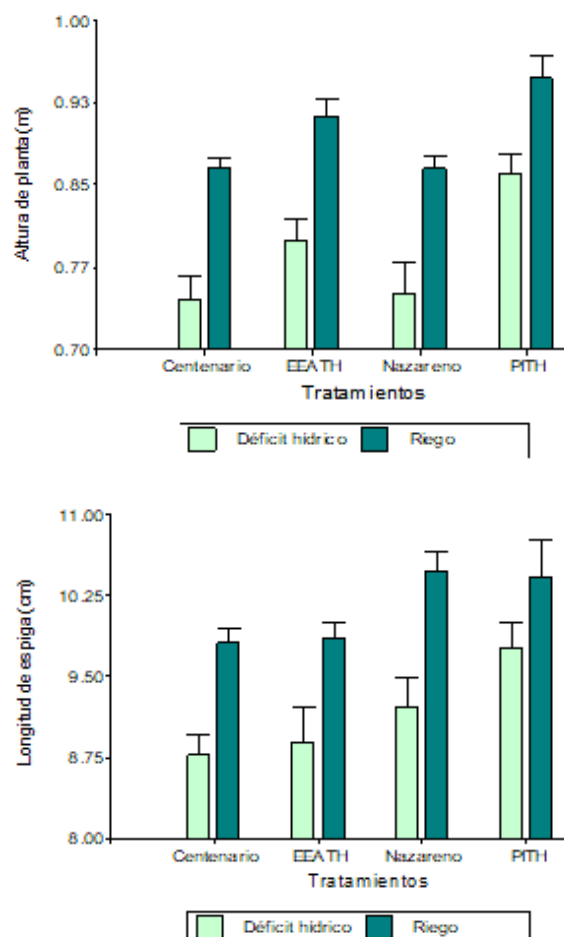
Características morfológicas

La altura de planta y el largo de espiga en los cuatro genotipos de trigo (Gráfico 7) fueron afectados por el déficit hídrico que se ve reflejado en una disminución del tamaño de la planta y en el menor tamaño de espiga. 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 1), 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%, 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% y 92% respectivamente, dejando el margen de diferencia a la influencia de factores no contemplados en el estudio.

Gráfico 7

Mediciones de la altura de planta y longitud de espiga de cuatro genotipos de trigo

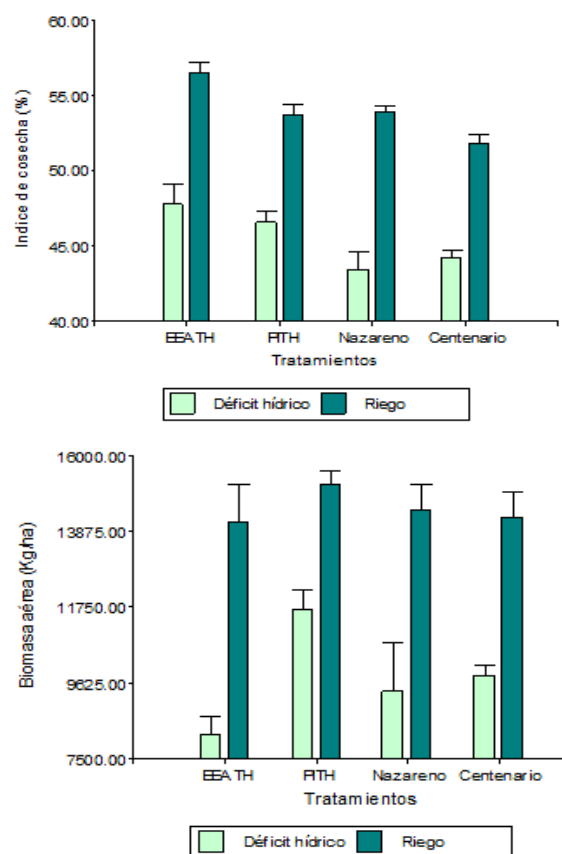


*Efecto de la deficiencia hídrica en el rendimiento y sus componentes***Tabla 1***Efecto de la deficiencia hídrica en el rendimiento y sus componentes*

	Rendimiento a 12% de humedad	Peso 1000 granos	Nº Espigas/m2	Nº Granos/espigas	Rendimiento a 12% humedad (componentes)
RIEGO	8915.04	46.06	370.80	44.46	8593.66
Centenario	8405.98	41.62	396.79	45.48	8569.30
EEATH 1-122	9092.78	46.00	374.64	47.43	9238.98
Nazareno	8871.28	48.56	358.93	38.60	7653.29
PITH 34	9290.11	48.05	352.86	46.33	8913.05
SEQUÍA	5068.31	38.52	305.00	39.18	5249.07
Centenario	4947.80	34.68	348.21	38.63	5287.98
EEATH 1-122	4451.00	38.40	255.71	41.98	4704.74
Nazareno	4682.12	37.56	280.00	37.20	4582.24
PITH 34	6192.31	43.44	336.07	38.93	6421.30
Promedio	6991.67	42.29	337.90	41.82	6921.36
BLO(AMB)	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s
AMB	**	**	**	**	**
TRA	n. s	**	n. s	**	n. s
AMB*TRA	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s

Al comparar los valores de los rendimientos estimados a partir del peso del grano del área de cosecha y el estimado a partir de los componentes se encontró una correlación de Pearson de 0.9063, lo cual indica una alta correlación, por lo que se podrían utilizar ambos métodos para estimar el rendimiento de trigo en parcelas experimentales. Tras el análisis combinado de los datos, observamos que no hay interacción significativa entre el ambiente (riego/sequía) y los tratamientos (Centenario/EEATH/Nazareno/PITH) para ninguna de las variables evaluadas.

Se observa significancia 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 Riego es superior al ambiente Déficit hídrico. Estos valores concuerdan con Fernández (2013), 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. El rendimiento en el ambiente de riego fue significativamente superior en 43.15% en comparación al ambiente de déficit hídrico.

*Índice de cosecha y Biomasa aérea***Gráfico 8***Valores del índice de cosecha y biomasa aérea de cuatro genotipos de trigo*

En el índice de cosecha (IC), se encontraron diferencias 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 la variable biomasa aérea (BA), se encontró diferencias significativas entre genotipos sólo en el ambiente de déficit hídrico ($p=0.05$), indicando una respuesta diferencial de los genotipos a la deficiencia hídrica. No se encontró interacción significativa entre los ambientes (riego/déficit hídrico) y los tratamientos (Centenario/EEATH/Nazareno/PITH) para ninguna de las variables evaluadas.

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 m^2 .

Los índices de cosecha encontrados 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.

La biomasa aérea fue inferior en 32.73% en el ambiente de déficit hídrico, observándose disminución del tamaño y cantidad de hojas y tallos y menor translocación de carbohidratos al grano en todos los genotipos. 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. Dell Amico et al. (2016), 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.

Calidad del grano (% proteína, hectolitro y dureza)

Los valores de los tratamientos sometidos a déficit hídrico presentaron 1.97% y 3.72% menos porcentaje de proteína 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. El contenido de proteína osciló entre 12 y 16.7%, el peso hectolitro entre 80.30 y 86.60 kg/hl, siendo similares a los reportados por De La Horra et al., (2012), quienes en diferentes cultivares de trigo en Argentina, reportaron valores entre 11,60 y 16,29%, y 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 cuando es superior a 82 kg/hL.

En los genotipos Nazareno y Centenario presentaron disminución en el peso hectolitro el ambiente de déficit, reflejando una menor calidad del grano. 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. Halverson & Zeleny (1988), Troccoli y di Fonzo (1999) indican que a mayor peso hectolítrico del trigo, mayor es la dureza, lo cual se observa en los genotipos Nazareno y Centenario, mientras que en PITH 34 y EEATH 1-122, a menor peso hectolítrico mayor dureza. Esto indica que, las variables dureza, el porcentaje de proteína y peso hectolítrico en estos genotipos 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).

Tabla 2

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

Ambiente	Genotipo	% Proteína	% Almidón	Peso hectolitro (Kg/Hl)	% Dureza	Color (*)	Textura de endospermo (**)
Déficit hídrico	EEATH 1-122	12.3	66.3	84.1	10.6	2	h
	PITH 34	12.0	66.9	86.6	10.4	2	nh
	Nazareno	14.5	63.7	80.3	10.5	2	nh
	Centenario	13.7	65.2	82.1	10.1	2	nh
Riego	EEATH 1-122	14.7	65.6	83.3	14.8	2	h
	PITH 34	14.2	65.7	82.4	15.5	2	nh
	Nazareno	16.7	62.9	81.9	13.9	2	nh
	Centenario	14.8	65.0	82.7	12.3	2	nh

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

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

Conclusiones

Los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) presentaron incremento en la temperatura del dosel, menor contenido de clorofila y conductancia estomática en el ambiente de sequía terminal comparado con el ambiente de riego de acuerdo a necesidad. La deficiencia hídrica acortó la fenología de los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*), por lo que llegaron a madurez fisiológica 10 días antes. La producción de los cuatro genotipos de trigo harinero (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) presentó valores inferiores bajo condiciones de déficit hídrico. No se observó interacción entre los tratamientos y el ambiente.

Referencias

- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., Rodríguez-Guerra, R., Pedroza-Flores, J., Amador-Ramírez, M. D., y 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. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000200006&lng=es&tlng=es.
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.20>

05.12.006.

- Bello, D. (2019). [Eficiencia de uso de agua en clones de papa \(Solanum tuberosum L.\) en condiciones de costa central](https://hdl.handle.net/20.500.12996/4269). [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4269>
- 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. https://oar.icrisat.org/1102/1/RA_00373.pdf
- 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. https://www.researchgate.net/profile/Ashininie-Gonfa/publication/280831210_Morphological_and_physiological_attributes_associated_to_drought_tolerance_of_Ethiopian_durum_wheat_genotypes_under_water_deficit/links/55c877a208a

- [eb975674714af/Morphological-and-physiological-attributes-associated-to-drought-tolerance-of-Ethiopian-durum-wheat-genotypes-under-water-deficit.pdf](https://doi.org/10.1093/aob/mcf104)
- 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. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf104>
- De la Horra, A. E., Seghezzo, M. L., Molfese, E., Ribotta, P. D., y 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. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200003&lng=es&tlng=es
- Dell Amico, J. M., Martín-Martin, R., Jerez-Mompie, E. I., Morales-Guevara, D., y Plana-Llerena, R. (2016). Respuesta fisiológica del trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivar INCA TH 4 al déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 94-102. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4157.2080>
- Fang, Q. X., Ma, L., Green, T. R., Yu, Q., Wang, T. D. and Ahuja, L. R. (2010). "Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options". *Agricultural Water Management*, 97, 1102-1116, ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.008>
- Fernández, M. A. (2013). 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). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4782685>
- Folkert A., E. Hoekstra, E. A. Golovina & J. Buitink. (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science*, 6, 431-438. https://www.researchgate.net/profile/Juliana-Buitink/publication/223464022_Mechanisms_of_desiccation_tolerance/links/5a589d44aca2725b780747f0/Mechanisms-of-desiccation-tolerance.pdf
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (1996). "Ecología y enseñanza rural". *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Roma. <https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s04.htm>
- 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. 15-24p.
- Houspanossian, J., Rivas, R., y 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. https://www.researchgate.net/profile/Patricia-Vazquez-21/publication/351051247_La_Humedad_del_Suelo_Cultivado_con_Maiz_y_la_Relacion_con_la_Temperatura_Radiativa_de_su_Cubierta_Vegetal/links/60816cb88ea909241e175bce/La-Humedad-del-Suelo-Cultivado-con-Maiz-y-la-Relacion-con-la-Temperatura-Radiativa-de-su-Cubierta-Vegetal.pdf
- Kirigwi, F. M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Seaves, R. G., Rajaran, S. & Paulsen, G. M. (2004). Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica*, vol. 135, no. 3, p. 361-371. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000013375.66104.04>
- Langridge P., N. Paltridge & G. Fincher. (2006). Functional Genomics of abiotic stress

- tolerance in cereals. *Brief. Funct. Genomic Proteomic* 4: 343-354. <https://doi.org/10.1093/bfgp/eli005>
- Leung, J. & J. Giraudat. (1998). Absciscic acid signal transduction. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 199-222. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.199>
- 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]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/973>
- 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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392011000200020>
- Miranda-Domínguez, L. E., C., López-Castañeda, I., Benítez-Riquelme, J. A. y 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400393&lng=es&tlng=e
- 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.
- Nilsen, E.T. & D.M. Orcutt. (1996). *Physiology of plants under stress*. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Olán, M. de la O, Espitia Rangel, E., López-Sánchez, H., Villaseñor-Mir, H. E, Peña-Bautista, R. J, y Herrera-Hernández, J. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 271-283. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200005&lng=es&tlng=e
- Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M., Chávez-Dulanto, P. N., y Reynolds, M. P. (2013). *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo*. México, D.F. 140 p. <http://hdl.handle.net/10883/3390>
- 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.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90041-5)
- 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*, 221(3), 446-458, ISSN 0032-0935, 1432-2048. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.1.45>
- Walters, C., Farrant, M. J., Pammenter, W. N., and 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. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851995342.0000>
- 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]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/33525b28-423d-468d-b1b9-7a348a8cdd92/content>
- Zamora, M., R. Bergh, A. Báez, M. Seghezzo y E. Molfese, (2002). *Fertilización nitrogenada tardía en cultivares de trigo pan y candeal para calidad*. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/fertilizacion-nitrogenada-y-tardia-en-trigo-pan-y-candeal-para-calidad.pdf>
- Zonia, L. and T. Munnik. (2007). Life under pressure: hydrostatic pressure in cell growth and function. *Trends Plant Sci.* 12(3), 90-97. [https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385\(07\)00033-7](https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385(07)00033-7)