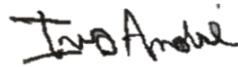


**Respuesta a la baja disponibilidad hídrica sobre el rendimiento y caracteres asociados en genotipos de triticale y trigo**

**“Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de: Ingeniero Agrónomo”**

**Autor: André, Ivo Alexis**



**Director: Ferrari, Enzo David. Auxiliar - Jefe de Trabajos Prácticos (exclusivo) en Genética y Mejoramiento Genético de Plantas y Animales, Facultad de Agronomía (UNLPam)**



**Co-Directora: Quiriban, Adriana Elizabet. Auxiliar – Ayudante de primera (exclusivo) en Química Biológica, Facultad de Agronomía (UNLPam)**



**Evaladores: Dra. Picca, Aurora; Ing. Agr. Lentz, Celeste.**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**  
**Santa Rosa (La Pampa)- Argentina 2022**

**Índice**

<a href="#"><u>RESUMEN</u></a>	3
<a href="#"><u>ABSTRACT</u></a>	3
<a href="#"><u>INTRODUCCIÓN</u></a>	4
<a href="#"><u>HIPÓTESIS</u></a>	7
<a href="#"><u>OBJETIVOS</u></a>	7
<a href="#"><u>MATERIALES Y MÉTODOS</u></a>	8
<a href="#"><u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u></a>	10
<a href="#"><u>Análisis estadístico</u></a>	11
<a href="#"><u>Correlaciones</u></a>	22
<a href="#"><u>Análisis de componentes principales</u></a>	25
<a href="#"><u>Índices de tolerancia</u></a>	26
<a href="#"><u>Conclusiones</u></a>	31
<a href="#"><u>Bibliografía</u></a>	31

## RESUMEN

La sequía es uno de los principales factores abióticos que reducen la productividad. La mejora de la tolerancia a la sequía en los cultivos es un objetivo principal de la mayoría de los programas de mejoramiento. El objetivo de este trabajo fue comparar el rendimiento y caracteres asociados en genotipos de triticale y trigo a diferentes niveles hídricos. Se evaluaron 13 líneas de triticale y dos cultivares de trigo, en un ensayo en macetas y a la intemperie generando condiciones de estrés hídrico mediante riego y suspensión del riego. Los genotipos de triticale tuvieron un mejor comportamiento ante condiciones de déficit hídrico, al presentar mayores valores de rendimiento y de los caracteres asociados. Los genotipos de triticale y trigo al ser evaluados mediante diferentes índices productivos y de tolerancia a la sequía, se logró discriminar en genotipos tolerantes a la sequía y de alto rendimiento. Las líneas experimentales de triticale 2 (10 A/17) y 5 (2 A/17) destacaron por sobre el resto, con los mejores valores en los indicadores de tolerancia a la sequía, por lo que podrían resultar promisorias para ambientes con déficit hídricos o como progenitoras en programas de mejoramiento genético.

**Palabras claves:** rendimiento, tolerancia a sequía, estrés hídrico, índices, mejoramiento.

## ABSTRACT

Drought is one of the main abiotic factors that reduce productivity. Improving drought tolerance in crops is a primary goal of most breeding programs. The objective of this work was to compare the yield and associated characters in triticale and wheat genotypes at different water levels. Thirteen triticale lines and two wheat cultivars were evaluated in a potted and outdoor trial, generating water stress conditions through irrigation and suspension of irrigation. The triticale genotypes had a better performance under water deficit conditions, presenting higher values of yield and associated characters. Triticale and wheat genotypes, when evaluated using different production and drought tolerance indices, were able to discriminate into drought-tolerant and high-yield genotypes. The experimental lines of triticale 2 (10 A/17) and 5 (2 A/17) stood out above the rest, with the best values in the drought tolerance indicators, so they could be promising for environments with water deficit or as parents in breeding programs.

**Key words:** yield, tolerance to drought, hydric stress, indices, breeding.

## INTRODUCCIÓN

El trigo, el maíz y el arroz son las especies de mayor producción global, representan el 42.5 % del suministro de calorías alimentarias del mundo y son la verdadera base de la alimentación humana (SISA, 2021). El mundo se enfrenta a la amenaza del cambio de los patrones climáticos, y dado que los principales países productores de trigo están situados en las zonas menos favorables, la sequía se está convirtiendo en un serio inconveniente para la producción de trigo (Khatiwada et al., 2020). La productividad y el crecimiento de las plantas están restringidos de manera intermitente por diversos factores ambientales, tanto bióticos como abióticos. De todos estos factores, la disponibilidad de agua es el más limitante en la producción agrícola a nivel mundial, ya que más del 30% del planeta son áreas de baja precipitación, es decir con 200 a 400 mm en promedio de precipitación por año (Iturriaga, 2007). La sequía, o de forma general, la limitada disponibilidad de agua, es el factor principal que reduce la producción de las cosechas (Golbashy et al., 2010). El estrés por sequía a su vez, es la principal causa abiótica de la reducción del rendimiento en el trigo (Budak et al., 2013; Tabassam et al., 2014), debido a que se cultiva en condiciones de secano en regiones áridas y semiáridas de la mayor parte del mundo (Boyer, 1982). Para 2025, es probable que alrededor de 1.800 millones de personas sufran una escasez absoluta de agua, y alrededor del 65% de la población mundial tendrá que sobrevivir en un entorno de estrés hídrico (Nezhadahmadi et al., 2013).

Alrededor del 32% del trigo está expuesto a diferentes niveles de estrés por sequía durante su período de crecimiento en los países en desarrollo (Keyvan, 2010). La producción de trigo (*Triticum* spp. Linneo) se estima en el mundo en 760.1 millones de toneladas (FAO, 2020); y es la columna vertebral de varias industrias basadas en la alimentación y en los piensos (Khatiwada et al., 2020). El grano del trigo se utiliza para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios. El trigo harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca de 90 %, mientras que el trigo duro (*T. durum*) representa cerca de 9 % total del área triguera mundial, pero solamente aporta el 5 % de la producción mundial (SISA, 2021). El consumo per cápita de harina de trigo en Argentina en los últimos años es de 88 Kg año<sup>-1</sup> (Paolilli et al., 2020). La producción argentina de trigo recuperó importancia en superficie y rendimiento medio en las últimas campañas; el promedio de rendimiento superó los 3000 kg ha<sup>-1</sup>. Las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe en conjunto producen el 70 % del trigo del país, con un aporte de la provincia de La Pampa entre un 3 % (Figueroa et al., 2022). El trigo se presenta como el principal cereal de invierno en La Pampa al superar las 300.000 ha sembradas y es el cultivo invernal de mayor importancia en la región semiárida pampeana, pese a que los rendimientos de trigo pan muestran gran variabilidad interanual en la zona (989 a 2664 Kg ha<sup>-1</sup>) (Fernández et al.,

2019). La mejora de la producción es una necesidad para la sostenibilidad de la creciente población (Khatiwada et al., 2020).

El triticale (*x Triticosecale Wittmack*) surge como una alternativa, es un híbrido intergenérico poliploide producido al duplicar el número de cromosomas del híbrido estéril que resulta de cruzar trigo (*Triticum spp.*) por centeno (*Secale cereale*); fue desarrollado para combinar en una planta los atributos deseables de ambos padres: la calidad del trigo en productos alimenticios y la tolerancia a ambientes desfavorables del centeno (McGoverin et al., 2011). El triticale presenta buen desempeño granífero y forrajero en áreas con limitaciones, compite en producción con los cultivos tradicionales (Perlo Gallio et al., 2022) y presenta múltiples usos en alimentación humana y animal (Peña, 2004). El cultivo ha tenido mayor desarrollo para alimento animal, dado la buena calidad del grano y los favorables rendimientos de materia seca comparados con otros cultivos de grano fino (Myer & Lozano del Río, 2004). El triticale se utiliza como alimento para el ganado de engorde y leche, por su contenido nutricional en forraje y grano se encuentra dentro de los estándares para considerarlo de alta calidad al cumplir con los parámetros en contenido de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, energía neta de lactancia, digestibilidad de materia seca, gustosidad y proteína cruda (Gelelcha et al., 2007; Frías et al., 2016); además de presentar mayor tolerancia a suelos salinos, altas temperaturas y mayor competitividad en ambientes desfavorables que los cultivos tradicionales como, trigo, avena, cebada y rye grass (Hewstone et al., 1977), por lo que es un cultivo con potencial para reemplazar a otros cereales en la alimentación del ganado.

Los triticales graníferos tienen, comparando con el trigo, buen potencial de rendimiento en ambientes sujetos a déficit hídrico y/o nutricional. Los progresos logrados en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se debieron principalmente al aumento del índice de cosecha, del número de granos m<sup>2</sup>, del número de espigas m<sup>2</sup>, del peso hectolítrico y a la disminución de la altura de planta (Mergoum & Macpherson 2004). En Argentina la selección de genotipos de triticale con aptitud granífera para molienda de grano se incorporó en forma relativamente reciente en programas de mejoramiento de las Universidades Nacionales de La Pampa y Río Cuarto (Castro et al., 2011; Castaño et al., 2015; Ferreira et al., 2015; Ferrari et al., 2018).

El estrés por sequía crea efectos perjudiciales en las plantas, debido a que éstas adoptan nuevos procesos fisicoquímicos para superar el estrés. La morfología, la fisiología, la bioquímica y el crecimiento de las plantas se ven alterados, lo que en última instancia provoca una pérdida de rendimiento. El grado de pérdida de rendimiento difiere entre los genotipos y las etapas de desarrollo del cultivo, y se caracteriza por varios factores del suelo, la planta y el medio ambiente; la sequía es el estrés ambiental más importante que afecta a la agricultura, por lo cual se han realizado muchos esfuerzos para mejorar la productividad de los cultivos bajo condiciones de limitación de agua (Cattivelli et al., 2008). Debido a la alianza del rendimiento con la composición genética del cultivo, el estrés por sequía y sus efectos no son una preocupación exclusiva de los agrónomos, sino también de los fitomejoradores (Khatiwada et al., 2020). Una situación de estrés

hídrico desencadena una amplia gama de respuestas en las plantas, las cuales son variables en función de la especie, genotipo y estado de desarrollo y de la escala temporal y espacial en que se manifieste la misma (Passioura, 1996). El principal efecto de la sequía es el debilitamiento de la germinación, lo que da lugar a un mal establecimiento del cultivo (Kaya et al., 2006). En diferentes etapas de desarrollo, la sequía puede disminuir la expansión y la división celular, alterar la apertura y el cierre de los estomas, la formación de pigmentos, la absorción de agua y nutrientes, la estructura de las proteínas, la producción de antioxidantes, la composición hormonal, el grosor de la cutícula, el contenido de clorofila, etc.; y afectar de manera negativa los componentes del rendimiento, es decir, la altura de la planta, el número de plantas por unidad de superficie, el número de espigas por planta y el número de granos por espigas por planta (Mehraban et al., 2019; Nezhadahmadi et al., 2013).

Los daños mayores ocasionados por el estrés se producen en la fase crítica que comprende el periodo entre las fases fenológicas del encañado ( $Z_{31}$ ) (Zadoks et al. 1974) y la antesis ( $Z_{65}$ ). En esta fase se determinan los componentes de rendimiento: el número final de espigas por planta, el número de espiguillas y flores por espiguilla que darán lugar a los granos. La ocurrencia de cualquier factor de estrés en este período, entre ellos el estrés hídrico, resulta irreversible, afectando el rendimiento final del grano de trigo (De San Celedonio et al., 2014; Marti et al., 2015). En trigo la fase más crítica es el periodo que ocurre 20 días antes y 10 días después de antesis, debido a que en este periodo se determina el rendimiento potencial de los granos (Reynolds et al., 2012). La respuesta de los genotipos al estrés hídrico antes del espigado es variable (Castro et al., 2011; De San Celedonio et al., 2014). El número de granos puede disminuir bruscamente cuando el estrés ocurre en el período de crecimiento de la espiga y antesis (Hochman 1982). Schulze (1986) señala que las estrategias de las plantas para controlar el agua y resistir la sequía son numerosas. En general, genotipos nativos de climas con marcada estacionalidad son capaces de aclimatarse a las condiciones medioambientales fluctuantes, mejorando su eficiencia en esas condiciones (Pereira, 1993; Pereira & Chávez, 1995).

Una de las posibles vías para asegurar la necesidad de alimento futuro ante un incremento poblacional a nivel mundial involucra un mejor uso de agua a través del desarrollo de variedades con baja necesidad de agua y mayor tolerancia a la sequía (Abd El-Mohsen et al., 2015). La tolerancia a la sequía se define como la capacidad de una planta a vivir, crecer y reproducirse satisfactoriamente con suministro de agua limitado. Las estrategias de tolerancia pueden clasificarse en mecanismos de resistencia y mecanismos de escape (hábito de crecimiento, enraizamiento, ciclo, etc.). La capacidad de una planta para tolerar la sequía depende de los mecanismos de adaptación presentes en el genoma y de qué tan eficientemente pueden ser activados (Kantar et al., 2011).

Diferentes índices de selección se emplean en la selección de variedades tolerantes a la sequía; que consisten en la evaluación de genotipos en condiciones sin limitaciones de humedad (riego) y con suspensión de riego (condición artificial de sequía), y permiten identificar genotipos tolerantes a sequía (Serna et al., 2000; Farshadfar & Elyasi, 2012;

Abd El-Mohsen et al., 2015). Muchos estudios han utilizado la identificación de cultivares tolerantes y susceptibles basados en medidas fisiológicas relacionadas con la respuesta a este parámetro, es decir, la utilización de rasgos y caracteres secundarios de tolerancia al déficit hídrico que podrían ser considerados como subyacentes a mecanismos que aumenten la productividad en ambientes de sequía (Prieto et al., 2003; Ashraf & Harris, 2004; Farooq et al., 2009, Sadras & Richards, 2014). Los fisiólogos han propuesto el uso de caracteres morfológicos y fisiológicos relacionados con la resistencia a la sequía como criterio de selección (El Hani, 1999); Por ejemplo, el tamaño de la espiga (longitud y anchura) es un parámetro que reviste cierta importancia, ya que en condiciones de estrés terminal la espiga parece ser la mayor fuente de asimilados para el llenado de grano (Blum, 1986). La aclimatación a la sequía, suele asociarse también con un aumento de la concentración de solutos, entre ellos el potasio (Gupta et al., 1989). Passioura (1981) considera poco probable que un carácter simple de una planta tenga suficiente efecto para causar un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento. Sin embargo, los efectos ambientales sobre el rendimiento son generalmente mayores que los efectos morfológicos o fisiológicos (Loss & Siddique, 1994). La dificultad en la identificación de un parámetro fisiológico, como un indicador fiable de rendimiento en las condiciones secas, ha sugerido que la determinación del rendimiento sobre un rango de ambientes debe usarse como el indicador principal para la tolerancia a la sequía (Voltas et al., 2005).

El mejoramiento de cultivares tolerantes a sequía debe disponer de información básica sobre la variabilidad de las respuestas genotípicas ante estrés hídrico y sobre el control genético de esa variabilidad (Abd El-Mohsen et al., 2015). Boicet-Fabre et al. (2018) recomiendan utilizar varios tipos de índices de tolerancia a la sequía y procedimientos estadísticos para interpretar los resultados y determinar variedades tolerantes a sequía, y generar distintos niveles de eficiencia en la selección de genotipos tolerantes. Entre los estadísticos se destacan los análisis multivariados como componentes principales, análisis de correlación, análisis de clúster, y también estadística descriptiva como el método de medias y el de ranking.

## **HIPÓTESIS**

Bajo condiciones de limitación hídrica durante el periodo previo a floración existe variabilidad genética entre genotipos de triticale para tolerancia a la sequía; y esta tolerancia es superior a la del trigo.

## **OBJETIVOS**

- Comparar el comportamiento del rendimiento y caracteres asociados entre genotipos de triticale y trigo a diferente nivel hídrico.

- Evaluar e identificar genotipos de triticale y trigo mediante diferentes índices de tolerancia a la sequía.
- Discriminar genotipos tolerantes a la sequía y alto rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en Santa Rosa, La Pampa, Argentina (36°62'S y 64°87'O) durante el año 2020. Los genotipos evaluados fueron 13 líneas experimentales (F<sub>8</sub>) de triticale y dos cultivares de trigo (Tabla 1); la línea de triticale 46 A/17 (11) se excluyó del ensayo por presentar baja germinación. Las líneas experimentales de triticale se caracterizan por haber sido seleccionadas por su aptitud granífera (Paccapelo et al., 2017; Ferrari et al., 2018). El cultivar de trigo ACA 601 (15) fue inscripto en 2003 y se encuentra en el puesto 146 de cultivares más sembrados en Argentina (SISA, 2021), se caracteriza por ser un trigo de calidad tipo I, de buen rendimiento, alta estabilidad y tolerante a estrés en la región semiárida (Fernández et al., 2019); mientras que el cultivar Ñandubay (16) es el 5° cultivar más sembrado en Argentina, fue inscripto en 2018, es de grupo de calidad II, y se caracteriza por su potencial de rendimiento, buena calidad de molienda y panadera (SISA, 2022; Don Mario, 2022).

**Tabla 1:** Denominación y procedencia de las líneas experimentales de triticale y cultivares de trigo utilizados en este estudio.

Genotipo	Denominación	Procedencia	
1 (Triticale)	15 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
2 (Triticale)	10 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
3 (Triticale)	33 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
4 (Triticale)	47 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
5 (Triticale)	2 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
6 (Triticale)	45 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
7 (Triticale)	36 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
8 (Triticale)	63 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
9 (Triticale)	27 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
10 (Triticale)	18 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
11 (Triticale)	46 A/17	UNLPam	Universidad Nacional de La Pampa
12 (Triticale)	CIMMIT820	CIMMYT	Universidad Nacional de La Pampa
13 (Triticale)	CIMMIT830	CIMMYT	Universidad Nacional de La Pampa
14 (Triticale)	CIMMIT835	CIMMYT	Universidad Nacional de La Pampa
15 (Trigo)	ACA 601	ACA	Asociación De Cooperativas Argentinas
16 (Trigo)	Ñandubay	Don Mario	Asociados Don Mario S.A.

Los genotipos se sembraron en maceta bajo un diseño en bloques completamente aleatorizado, con tres repeticiones el día 4/08/2020. Las macetas de 10 l se llenaron de

tierra proveniente de la capa arable de un suelo que se clasificó como Paleustol petrocálcico (Soil Survey Staff, 2014) con proporciones de 10% de arcilla, 25% de limo y 65% de arena (textura franco arenoso) y valores promedio de pH = 6.1, nitratos = 16.4 mg kg<sup>-1</sup>, fósforo = 10.8 mg kg<sup>-1</sup> y 1.5% de materia orgánica. En cada maceta se sembraron ocho semillas que posterior a la germinación se ralearon para obtener cuatro plantas equidistantes por macetas. El ensayo se mantuvo a la intemperie y se aplicaron riegos complementarios de 800 ml de agua cada 48 a 76 hs dependiendo de demanda hídrica y comenzaron el 16/9 hasta el fin del ciclo. En este experimento se generaron dos condiciones hídricas (CH) que comenzaron desde la etapa de macollaje y finalizaron en floración. Estas condiciones hídricas fueron: **sin estrés hídrico**, que consistió en mantener los riegos de 800 ml de agua suplementaria por maceta y **con estrés hídrico** al que se redujo el riego a 400 ml de agua suplementaria por maceta. Los días 14/9 y 1/10 se fertilizaron todas las macetas con urea a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup>.

En floración se registraron los días transcurridos desde germinación a floración (DaF) y se cosecharon dos plantas por maceta, se llevaron a estufa de conducción forzada durante 48 hs para obtener el peso seco de biomasa aérea en floración (BeF) y el peso de la espiga (PEF). A madurez fisiológica se cosecharon las dos plantas restantes, se llevaron a estufa de conducción forzada durante 48 hs y se determinaron los caracteres biomasa aérea (BeMF), peso seco de la espiga a cosecha (PE), número de espigas (NE), número de granos (NG), longitud de la espiga (LE), número de espiguillas por espiga (NEE), peso de mil granos (PMG), rendimiento de granos (Rend) e índice de cosecha (IC). Con los caracteres número de granos y peso de la espiga se determinó el coeficiente de fertilidad en floración (CFEf = número de granos / peso seco de la espiga en floración) y el coeficiente de fertilidad en cosecha (CFEc = número de granos / peso del *chaff* de la espiga en madurez fisiológica).

La tolerancia a la sequía del rendimiento de grano en los genotipos se calculó mediante nueve índices de tolerancia a la sequía (Tabla 2), y se determinó la pérdida de rendimiento (PR)

donde Rs: rendimiento sin estrés hídrico y Rc: rendimiento con estrés hídrico.

Para poder discriminar entre las especies y genotipos, se generó un ranking a partir de los valores de sus índices de tolerancia a la sequía (según criterio de clasificación, Tabla 2), PR y los valores de rendimiento de grano bajo las dos condiciones hídricas; en los cuales se les asignó un número entre 1 y 15, en que el valor de 1 corresponde al mejor representante de ese indicador y 15 al peor, luego se promediaron estos valores y de esta manera quedaron clasificados los genotipos en un ranking, donde los de menor valor promedio ocuparan los primeros puestos del ranking y viceversa.

Los valores de los caracteres, en los casos convenientes, se expresaron en función del promedio de macollos o sobre el total por planta. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de la varianza y comparación de medias con la prueba de significancia mínima LSD, y comparaciones mediante contrastes ortogonales entre las líneas experimentales de triticale y los cultivares de trigo; el análisis se realizó con modelos lineales generalizados mixtos. Con los índices de tolerancia se realizó un análisis mediante

componentes principales que se graficó en un biplot. Todos los análisis se desarrollaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

**Tabla 2:** Fórmulas matemáticas y criterio de selección para índices de tolerancia a la sequía.

<b>Fórmula</b>	<b>Índice</b>	<b>Criterio de selección</b>	<b>Referencia</b>
	Tolerancia	Valor mínimo	Rosielle and Hamblin (1981)
	Productividad media	Valor máximo	Rosielle and Hamblin (1981)
	Productividad media geométrica	Valor máximo	Fernandez (1992)
	Media harmónica	Valor máximo	Bidinger et al. (1987)
	Índice de susceptibilidad a sequía	Valor mínimo	Fischer and Maurer (1978)
	Índice de tolerancia a la sequía	Valor máximo	Fernandez (1992)
	Índice de rendimiento	Valor máximo	Gavuzzi et al. (1997)
	Índice de estabilidad del rendimiento	Valor máximo	Bousslama and Schapaugh (1984)
	Índice relativo de sequía	Valor máximo	Fischer and Wood (1979)

: Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones de estrés; : Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones sin estrés; : Rendimiento del genotipo en condiciones de estrés; : Rendimiento del genotipo en condiciones sin estrés.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones durante el periodo del ensayo tuvieron un comportamiento por debajo del promedio histórico, con un total de 272.9 mm en el ciclo. La mayor cantidad de precipitaciones resultó en el mes de septiembre, muy próximo al inicio de la fertilización nitrogenada, esto pudo lixiviar la fertilización aplicada (14/09) y por tal

motivo se decidió aplicar otra dosis de fertilización a los 17 días (Figura 1). Cabe destacar que las precipitaciones ocurridas durante el ciclo siempre resultaron insuficientes para el desarrollo del cultivo y no limitaron la aplicación de riego complementario.

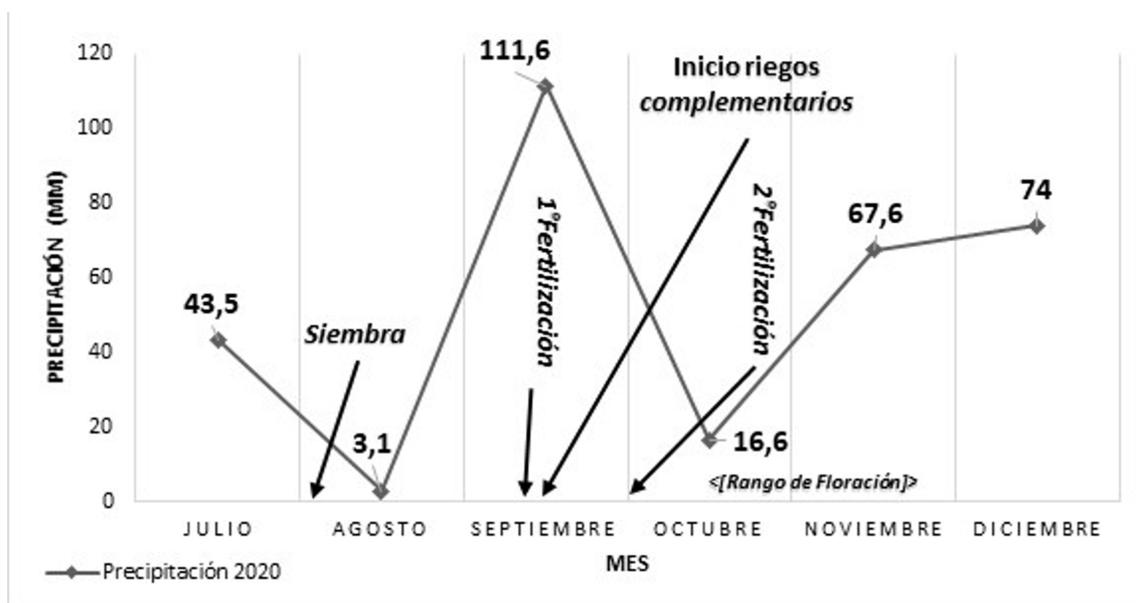


Figura 1: Precipitaciones durante el ciclo del cultivo 2020 en Santa Rosa, La Pampa, Argentina. Fuente: Elaboración propia a partir de datos procedentes de Méndez et al. (2021).

### Análisis estadístico

El análisis de la varianza para los caracteres evaluados en el estadio de floración se presenta en la (Tabla 3). El carácter días a floración (DaF) presentó interacción entre los factores Genotipo x Condición Hídrica (G x CH) con una significancia estadística de  $p = 0.002$ ; y no se diferenciaron las líneas experimentales de triticales respecto de los cultivares de trigo. El peso de la espiga en floración (PEF) arrojó diferencias entre genotipos y los triticales se diferenciaron de los trigos. La biomasa aérea en floración (BeF) y el PEF se diferenciaron entre genotipos y condición hídrica, pero no entre los triticales y trigos.

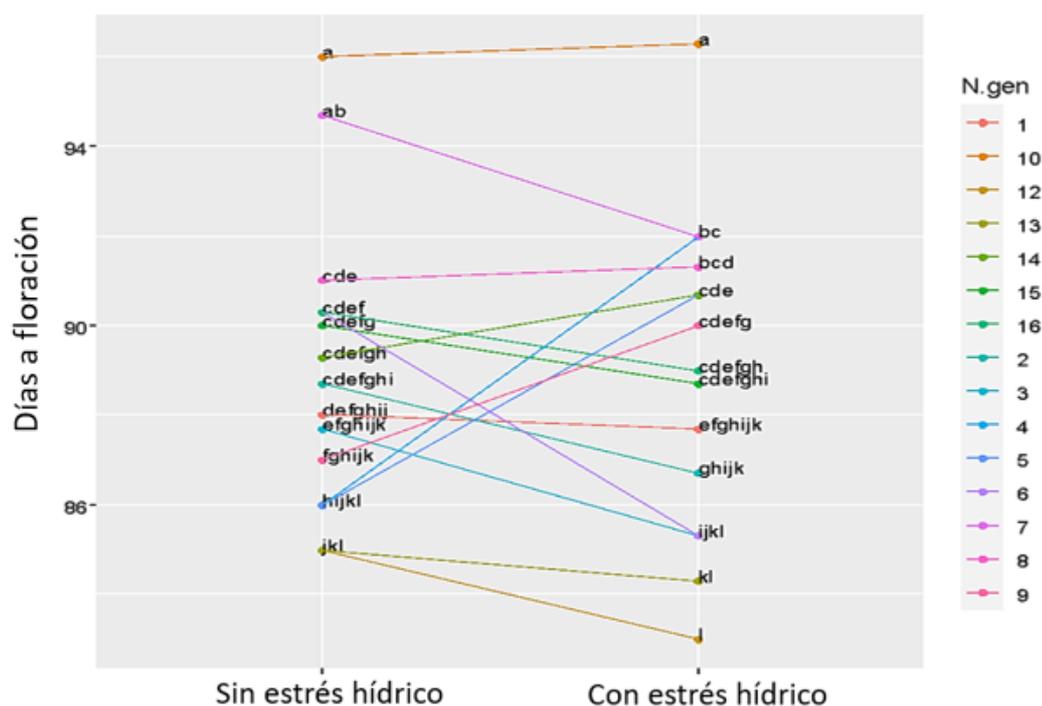
**Tabla 3:** Significancia estadística de genotipos de triticales y trigo evaluados bajo dos condiciones hídricas para los caracteres en floración.

Días a floración (DaF)	Biomasa aérea en floración (BeF) (g)	Peso de espiga en floración (PEF) (g)
	Por planta	Por planta

<b>Genotipo (G)</b>	<0.0001	0.013	0.0044
<b>Triticale vs Trigo</b>	0.3212 <sup>ns</sup>	0.6309 <sup>ns</sup>	0.9461 <sup>ns</sup>
<b>Condición Hídrica (CH)</b>	0.7652 <sup>ns</sup>	<0.0001	<0.0001
<b>G x CH</b>	0.0025	0.6762 <sup>ns</sup>	0.5957 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = diferencia no significativa.

Los días a floración (DaF) resultaron en promedio 88.9 días, con valores mínimos de 83 días y máximos de 99 días; resultados similares fueron reportados en triticale cultivados en invernáculo por Ferrari et al. (2018a). Los triticales no presentaron una clara tendencia del ciclo entre las dos condiciones hídricas (Figura 2); se destacó el genotipo 10 con el ciclo más las largo en ambas condiciones hídricas (96.1 días en promedio) y el genotipo 12 con el ciclo más corto en ambas condiciones hídricas (84.0 días en promedio). Los 2 cultivares de trigo promediaron los 89.5 días y disminuyeron el ciclo a floración en 1.3 días en la condición hídrica con estrés. La interacción entre el factor genotipo y condición hídrica no permitió determinar una tendencia clara en cuanto al efecto de déficit hídrico sobre los genotipos. Buenrostro-Rodríguez et al. (2022) también reportaron interacción G x CH en genotipos de trigo, con una disminución del ciclo en 1.5 días, similar a la reportada en este estudio. Una gran variación genotípica en los días hasta la antesis podría ser utilizado con éxito para mejorar la adaptabilidad a entornos específicos (Brouwer, 1977; Giunta et al., 2001).



**Figura 2:** Días a floración y significancia estadística de la interacción Genotipo x Condición Hídrica en genotipos de triticale y trigo bajo dos condiciones hídricas. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

La biomasa en floración (BeF) presentó una diferencia del 34.5 % entre la condición sin déficit hídrico respecto de la condición con déficit hídrico, esto demostró un claro efecto de la condición hídrica sobre la biomasa (Tabla 4). Las líneas de triticale 4, 10 y 7 se destacaron con 9.99 g en promedio de BeF (16.4 % más que el resto de los genotipos); mientras que las líneas 13, 9 y 12 presentaron menores BeF (6.42 g en promedio). Sutton & Dubbelde (1980) reportaron en trigo y triticale que las plantas no estresadas generaron mayor biomasa y a su vez esta varió entre genotipos; y a diferencia de este trabajo los triticales generaron mayor BeF que los trigos.

El peso de la espiga en floración (PEF) resultó en promedio 2.07 g, la condición sin estrés hídrico superó en un 31.7 % a la condición con estrés hídrico (Tabla 4). Balbi et al. (2013) también reportaron en trigo diferencias en el PEF ante diferentes condiciones limitantes de radiación. Las líneas triticales 14, 10 y 4 se caracterizaron por presentar altos valores de PEF (2.65 g en promedio); mientras que el menor valor de PEF fue para el genotipo 13 (1.37 g).

**Tabla 4:** Genotipos de triticale y trigo bajo dos condiciones hídricas para los caracteres en floración.

Fuente de variación		Días a floración (DF)	Biomasa aérea en floración (g) (BeF)	Peso de espiga en floración (g) (PEF)
			Por planta	Por planta
Genotipo (G)	1 (Triticale)	87.8 de	8.12 bcde	1.96 bcde
	2 (Triticale)	87.7 de	7.45 cde	1.88 cde
	3 (Triticale)	86.5 ef	8.35 abcde	2.13 abcd
	4 (Triticale)	89.0 cd	10.80 a	2.55 abc
	5 (Triticale)	88.3 de	8.95 abc	2.34 abc
	6 (Triticale)	87.8 de	8.53 abcd	1.94 cde
	7 (Triticale)	93.3 b	9.15 abc	2.30 abc
	8 (Triticale)	91.2 bc	9.14 abc	2.00 abcde
	9 (Triticale)	88.5 de	6.33 de	1.53 de
	10 (Triticale)	96.2 a	10.04 ab	2.69 ab
	12 (Triticale)	84.0 g	6.98 cde	1.54 de
	13 (Triticale)	84.7 fg	5.97 e	1.37 e
	14 (Triticale)	90.0 cd	8.57 abcd	2.73 a
	15 (Trigo)	89.3 cd	8.52 abcd	2.16 abcd
	16 (Trigo)	89.7 cd	7.50 cde	1.96 bcde
		DMS	2.43	2.50
Condición	Sin estrés	89.0 a	10.02 a	2.46 a

<b>Hídrica (CH)</b>	hídrico			
	Con estrés hídrico	88.9 a	6.56 b	1.68 b
	DMS	0.89	0.91	0.26

Letras distintas en la misma fila, de cada fuente de variación, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

El análisis de la varianza para los caracteres evaluados en madurez fisiológica se presenta en la (Tabla 5). Todos los caracteres evaluados en la tabla 5 excepto IC presentaron diferencias entre los trigos y los triticales. El carácter biomasa en madurez fisiológica (BeMF), peso de la espiga (PE), número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos (NG) y peso de mil granos (PMG) presentaron significancia estadística para los factores Genotipo (G) y Condición Hídrica (CH). Número de espigas (NE) e índice de cosecha (IC) mostró diferencias entre Genotipos. El peso de mil granos (PMG) tuvo significancia para la interacción (G X CH).

La biomasa aérea en madurez fisiológica (BeMF) fue afectada por la condición hídrica, dando mayores pesos para el tratamiento sin estrés hídrico, con un 16.5% más de biomasa en promedio respecto del tratamiento con estrés hídrico (Tabla 6). La reposición del riego después de la floración permitió que las diferencias entre el efecto del estrés hídrico respecto del tratamiento sin estrés hídrico de la biomasa se atenuarán (34.5 % de BAF vs 16.5 % de BeMF) Buenrostro-Rodríguez et al. (2022) también reportan el efecto del riego como la componente de mayor impacto en la expresión de la biomasa. La producción de biomasa es directamente proporcional a la fotosíntesis, por lo que la senescencia de las hojas se acelera con la falta de agua (Senapati et al., 2019); la producción de asimilados es menor bajo sequía (Abdoli & Saeidi, 2013), por lo que el rendimiento de biomasa se reduce bajo el estrés por sequía (Alexieva et al., 2001; Taheri et al., 2011). Las líneas de triticales promediaron los 18.9 gr y superaron en un 29 % a los cultivares de trigo (13.3 gr); entre las tres líneas de mayor BeMF se destacaron la 9, 13 y 2 con 21.7 gr en promedio. Resultados de estudios similares dieron una diferencia desde un 18% BeMF en genotipos de triticales respecto de trigos (Domínguez et al., 2016), hasta de un 30 % (Quiroz-Mercado, 2015). El triticales granífero es un cereal adaptado a zonas de alta variabilidad hídrica, puesto que requiere alrededor de un 30% menos de agua para lograr igual cantidad de biomasa que el trigo (Hede, 2000).

	BeMF (g)	PE (g)	IC	NEE	NG	PMG (g)	NE	LE (cm)
	Por planta	Por planta	Por planta	Promedio por tallo	Promedio por tallo		Por planta	Promedio por tallo
Genotipo (G)	<0.01	0.0003	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Trigo vs triticales	<0.01	<0.01	<0.50 <sup>ns</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Condición Hídrica (CH)	<0.01	0.002	0.09 <sup>ns</sup>	<0.01	<0.01	0.001	0.44 <sup>ns</sup>	<0.01
G x CH	0.21 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	0.04	0.59 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>

**Tabla 5:** Significancia estadística de genotipos de triticale y trigo evaluados bajo dos condiciones hídricas para los caracteres en madurez fisiológica y cosecha.

<sup>ns</sup> = diferencia no significativa.

El peso de la espiga (PE) presentó un aumento del 13.3 % de la condición sin estrés hídrico respecto de la condición con estrés hídrico. Según Giunta et al. (1993) este estrés no permite llegar al llenado de grano adecuado, por lo que los rendimientos de espiga son bajos. Los resultados obtenidos difieren de los reportados por Ambrosino (2011) en siembras en macetas de genotipos triticale y tricepiro, en que el estrés hídrico no generó cambios de PE respecto de la condición sin déficit. Cantarero (2018) en una experimentación de trigos en diferentes localidades, reportó que la deficiencia hídrica redujo significativamente el PE, 19 % en una localidad y 34 % en otra. Donde el efecto nivel hídrico fue el componente de varianza que explicó la mayor proporción de la variabilidad total del PE (38,7%), seguido por el efecto del cultivar (26,1%) y la localidad (14,8%). Los triticales se destacaron por sobre los trigos, con un 29.8 % más de PE. En la tesis de Bortolotti & Fuhr (2012) realizada en parcelas los triticales presentaron mayor peso de la espiga con 3.12 g en promedio para 2 variedades de triticale y 2.45 g para el promedio de 5 variedades de trigo, dando 21,4% más de peso de la espiga a favor de los triticales. Entre los triticales se destacaron las líneas 2, 13 y 3 que promediaron los 12.9 gr.

El índice de cosecha (IC) resultó en promedio 42.87 %. Las líneas de triticale promediaron 42.9 % y no se diferenciaron del 42.4 % que promediaron los cultivares de trigo (Tabla 6). Martínez Cruz et al. (2020) encontró diferencias de IC en trigo harinero ante la aplicación de una lámina de riego completa, no encontrando diferencias entre los IC de las láminas disminuidas. Sin embargo, Thapa et al. (2019) mencionaron que menores regímenes hídricos no afectaron el índice de cosecha lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio. El índice de cosecha sólo disminuye significativamente con la sequía intensa (Giunta et al., 1993). El índice de cosecha es la relación entre el rendimiento de grano y el rendimiento biológico que determina la capacidad de las plantas para translocar materias fisiológicas a los granos (Moayedi et al., 2010). Algunos cultivos como los cereales, acumulan reservas en los tallos antes de la anthesis, los cuales pueden ser utilizados para el llenado de los granos en adición a los asimilados presentes, contribuyendo de esa manera a un mejor índice de cosecha bajo condiciones de estrés (Blum et al. 1994, Gent 1994). El secado controlado del suelo puede promover la removilización de reservas de carbono durante el llenado del grano de trigo y mejorar el índice de cosecha; especialmente cuando el cultivo está creciendo en condiciones de alta disponibilidad de nitrógeno (Yang et al., 2001). Entre los genotipos de mayor IC se destacan las líneas de triticale 3, 5 y 2 (46.9 % en promedio); mientras que los menores

IC promediaron 39.4 % y estuvieron representados por las líneas de triticales 10 y 4 y el cultivar de trigo 16.

El número de espiguillas por espiga (NEE) resultó en promedio 20.7, con valores mínimos de 11.3 y máximos de 31.6. La condición sin déficit hídrico promedió en 21.5 NEE y se diferenció de los 19.8 que presentó la condición con déficit (Tabla 5); Ambrosino (2011) también reportó diferencias entre condiciones hídricas, aunque con valores superiores de NEE (25 y 23), en genotipos de triticales y tricepiro. El número de espiguillas por espiga es uno de los principales factores que determinan el rendimiento total de la planta y se ve muy afectado por la sequía (Nawaz et al., 2012). De acuerdo con Ghulam et al. (1999) el estrés por sequía, ya sea en la fase vegetativa o en la reproductiva, muestra un efecto de silenciamiento en el número de espiguillas por espiga. El NEE de las líneas de triticales promedió los 21.8 y se diferenció de manera notoria de los 14.1 que reportaron los cultivares de trigo. La línea 2, 7 y 10 promediaron 24.1 NEE y se destacaron por presentar mayor NEE; resultados similares fueron reportados en genotipos de triticales cultivados en maceta (Ferrari et al., 2018a).

El análisis del número de granos (NG) arrojó diferencias ante las condiciones hídricas, la condición sin estrés presentó un 8.9 % más granos frente a la condición con estrés (Tabla 6); estos resultados concuerdan con los reportados por Giunta et al. (1993); Kilic & Yagbasanlar (2010) y Ambrosino (2011). El estrés por sequía aumenta las espiguillas infértiles por espiga en el trigo (Akram et al., 2004); durante la fase de desarrollo del polen produce gametas estériles, por lo que la fecundación se ve perturbada (Manjarrez-Sandoval et al., 1989). Los trigos presentaron menor NG (29.0) que los triticales (44.1), con una diferencia del 34.1% entre especies; resultados de un estudio similar concuerdan con que el triticales produjo un 25 % superior en NG que el trigo (Domínguez et al., 2016), y un estudio realizado a campo de Quiroz-Mercado (2015) arrojó una diferencia del 28.8 %. El triticales posee la mayor capacidad de sostener granos por espiga, que es uno de los componentes más importantes en la generación de rendimiento de grano y en la selección de variedades para ambientes semiáridos (Fernández, 2013). Las líneas de triticales que se destacaron fueron la 3, y 2 que promediaron 50.4 granos por espiga y superaron al promedio de triticales en un 12.5 %.

El peso de mil granos (PMG) resultó en promedio 34.8 g, la interacción entre el factor genotipo y condición hídrica no permitió determinar un comportamiento claro de los genotipos ante el déficit hídrico. El rendimiento y sus componentes en trigo y el triticales se ven afectados de forma diferente por el estrés hídrico en relación con su momento e intensidad. Mientras que una sequía intensa afecta principalmente al número de granos por unidad de superficie a través de una disminución general de la fertilidad, una sequía leve sólo provoca una disminución del peso medio del grano (Giunta et al., 1993). Los triticales no presentaron una clara tendencia del ciclo entre las dos condiciones hídricas (Figura 3); y se destacó la línea de triticales 7 con el PMG más alto en ambas condiciones hídricas (42.5 g en promedio) y el cultivar de trigo 16 con el PMG más bajo en ambas condiciones hídricas (21.8 g en promedio). Los 2 cultivares de trigo promediaron 25.7 g y la tendencia fue una disminución del PMG en la condición con

estrés hídrico (4.3 g). Los triticales produjeron 29.3 % más PMG en relación a los trigos; este resultado supera al 7% reportado por Quiroz-Mercado (2015). En general, se puede apreciar una tendencia de aumento del 7.6 % del PMG en la condición sin limitante hídrica; Quiroz-Mercado (2015) no reportó diferencias entre regímenes hídricos.



Figura 3: Peso de mil granos (PMG) y significancia estadística de la interacción Genotipo x Condición Hídrica en genotipos de triticale y trigo bajo dos condiciones hídricas. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

El número de espigas fértiles (NE) reveló que este carácter no fue afectado por las condiciones hídricas impuestas, al igual que lo reportado por Quiroz-Mercado (2015). Los cultivares de trigo presentaron mayor NE por planta con 7.4 espigas en promedio y se diferenciaron de las 5.2 del triticale (Tabla 5). La línea de triticale 13 y los cultivares de trigo 15 y 16 presentaron el mayor NE (7.6 en promedio); mientras que las líneas 7, 10 y 4 fueron las de menor NE (3.9 en promedio). Minetti & Rivas, (2017) comunicaron que los trigos incrementaron la cantidad de NE ante condiciones favorables de fertilidad, disminuyendo una cierta proporción el número de granos por espiga, mientras que los triticales no respondieron al aumento de fertilidad.

Los resultados de longitud de espiga (LE) presentaron mayores valores para el tratamiento sin déficit hídrico con un 9 % superior a la condición con déficit hídrico. La longitud de la espiga, aunque se ve vagamente afectada por el estrés de la sequía en comparación con otros caracteres que atribuyen el rendimiento (Kilic & Yagbasanlar,

2010), la falta de régimen de humedad antes de la floración causa una disminución de la longitud de la espiga, el efecto de la sequía sobre la longitud de la espiga es más pronunciado después de la 6ª semana de emergencia que después de la siembra inmediata (Nawaz et al., 2012). La longitud de la espiga responde más adversamente a la sequía terminal, seguida por la sequía después de la etapa de desbrote, la sequía prefloral y finalmente la sequía postfloral (Mirbahar et al., 2009). Los triticales se diferenciaron de los trigos al presentar mayor LE, con una superioridad del 22%. El mayor valor de LE lo obtuvo la línea de triticales 10 con 10.9 cm en promedio por tallo y los menores valores para los cultivares de trigo 16 y 15 con un promedio de 6,85. La LE se reduce en todos los cultivares de trigo en cierta medida dependiendo del momento de la aplicación de la sequía (Saleem, 2003).

**Tabla 6:** Genotipos de triticales y trigo bajo dos condiciones hídricas para los caracteres en madurez fisiológica y cosecha.

Fuente de variación		BeMF (g)	PE (g)	IC	NEE	NG	PMG (g)	NE	LE (cm)
		Por planta	Por planta	Por planta	Promedio por tallo	Promedio por tallo	-	Por pl.	Promedio por tallo
Genotipo (G)	1 (Tt)	19.08 abcde	11.65 abc	42.16 bcd	22.16 bc	42.79 bcdef	36.48 b	4.9 c	9.20 cd
	2 (Tt)	21.17ab	13.11 a	45.89 abc	24.46 a	49.72 a	37.25 b	5.1 c	9.16 cd
	3 (Tt)	20 abc	12.76 a	46.67 a	22.41 bc	51.22 a	36.7 b	4.8 c	9.99 b
	4 (Tt)	16.25 cdef	9.39 cde	36.59 e	23.55 ab	40.82 defg	36.7 b	4.2 cd	10.02 ab
	5 (Tt)	19.44 abcd	12.13 ab	46.61ab	21.01 cd	47.42 abcd	37.67 b	5.0 c	9.18 cd
	6 (Tt)	15.74 defg	10.82 abcd	44.23 abcd	19.65 df	45.35 abcde	36.77 b	4.9 c	8.69 d
	7 (Tt)	15.44 efg	9.40 bcde	43.98 abcd	24.04 ab	50.46 a	42.50 a	3.1 d	10.19 ab
	8 (Tt)	18.97 abcde	10.93 abcd	41.48 cd	21.49 cd	45.08 abcde	35.19 bc	4.9 c	9.63 bc
	9 (Tt)	22.32 a	12.67 a	41.87 cd	20.92 cd	42.47 cdef	36.68 b	5.5 bc	8.67 d
	10 (Tt)	18.38 bcdef	10.82 abcd	40.87 de	23.83 ab	48.99 abc	35.12 bc	4.5 c	10.93 a
	12 (Tt)	20.42 ab	12.45 a	44.87 abcd	17.61 f	36.01 fgh	35.24 bc	6.8 ab	7.78 e
	13 (Tt)	21.64 ab	12.83 a	41.09 d	18.74 ef	34.3 gh	31.02 cd	8.2 a	7.55 ef
	14 (Tt)	17.97 bcdef	10.46 abcd	41.85 cd	23.59 abc	39.20 efg	34.71 bc	5.5 bc	9.81 bc
	15 (Tg)	14.58 fg	8.81 de	44.03 abcd	13.23 g	26.48 i	29.52 d	7.7 a	6.99 fg
	16 (Tg)	12.01 g	7.32 e	40.85 de	14.79 g	31.69 hi	21.86 e	7.1 a	6.71 g
		DMS	3.88	2.73	4.45	1.92	7.21	4.34	1.40
Condición	Sin	19.87 a	11.83	43.56 a	21.54 a	44.10 a	36.17	5.38	9.33 a

hídrica (CH)	estrés hídrico		a				a	a	
	Con estrés hídrico	16.58 b	10.25 b	42.18 a	19.86 b	40.16 b	33.62 b	5.58 a	8.60 b
DMS	1.41	0.99	1.62	0.70	2.63	1.58	0.51	0.28	

Letras distintas en la misma fila, de cada fuente de variación, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

El carácter rendimiento de granos presentó significancia estadística  $p \leq 0.05$  para los factores Genotipo, Trigo vs Triticale y Condición Hídrica; y no arrojó diferencias para el factor Genotipo x Condición Hídrica (Tabla 7).

**Tabla 7:** Significancia estadística en genotipos de triticale y trigo evaluados bajo dos condiciones hídricas para el carácter rendimiento de granos.

	Rendimiento de grano (Rend)
<b>Genotipo (G)</b>	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Trigo vs Triticale</b>	<b>0.0001</b>
<b>Condición Hídrica (CH)</b>	<b>0.0017</b>
<b>G x CH</b>	0.8881

El rendimiento de grano (Rend) ante la condición hídrica limitante arrojó una disminución del 15 % respecto a la condición sin estrés hídrico (Tabla 8). El estrés por sequía interfiere con los procesos de crecimiento y fotosíntesis de las plantas, lo que se considera la causa principal de la reducción del rendimiento del grano (Almeselmani et al., 2011). Los triticales se diferenciaron de los trigos, con un 31,7 % más de rendimiento que el promedio de los trigos. En coincidencia con Quiroz-Mercado (2015) en que la comparación entre tratamientos de riego y secano post-antesis arrojó que las diferencias en rendimiento y biomasa aérea fueron por el efecto del riego, y en el que el triticale superó al trigo en 29% en rendimiento. El triticale es más resistente a la sequía que el trigo (Morgan, 1992; Oettler, 2005); Giunta et al. (1993) reportaron una reducción significativa del rendimiento en trigo candeal respecto al triticale ante estrés hídrico. Fernández (2013) determinó, ante un estrés hídrico en encañazón, que el rendimiento de triticale presentó una reducción del 22.4%, en trigo candeal del 32.2 % y trigo pan del 35.3%.

Los mayores rendimientos se obtuvieron en las líneas 2, 3 y 12 de triticale, mientras que los rendimientos más bajos se observaron en los 2 cultivares de trigo 16 y 15 (Tabla 8). Para Estrada-Campuzano et al. (2008) el rendimiento de grano de triticale es superior al de trigo debido a una mayor materia seca en antesis y en madurez, asociada con una mayor eficiencia en el uso de la radiación, probablemente debido a una mejor distribución de luz dentro del canopeo.

**Tabla 8:** Genotipos de triticale y trigo bajo dos condiciones hídricas para el carácter rendimiento.

Fuente de variación		<b>Rendimiento (Rend) (g)</b>
		Por planta
<b>Genotipo (G)</b>	1 (Triticale)	8.05 abcde
	2 (Triticale)	9.74 a
	3 (Triticale)	9.37 ab
	4 (Triticale)	6.48 de
	5 (Triticale)	8.88 abc
	6 (Triticale)	7.94 abcd
	7 (Triticale)	6.76 de
	8 (Triticale)	7.85 bcd
	9 (Triticale)	8.98 abc
	10 (Triticale)	7.59 bcd
	12 (Triticale)	9.2 abc
	13 (Triticale)	8.95 abc
	14 (Triticale)	7.37 cd
	15 (Trigo)	6.24 de
	16 (Trigo)	5.02 e
		DMS
<b>Condición hídrica (CH)</b>	Sin estrés hídrico	8.44 a
	Con estrés hídrico	7.34 b
	DMS	0.67

Letras distintas en la misma fila, de cada fuente de variación, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

El carácter coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf) presentó diferencias para el factor Genotipo y Condición Hídrica; y los trigos no se diferenciaron de los triticales. Para el carácter coeficiente de fertilidad de la espiga en cosecha (CFEc) hubo significancia estadística para los factores Genotipo, Trigo vs Triticale y Condición Hídrica (Tabla 9).

**Tabla 9:** Significancia estadística del coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf) y en cosecha (CFEc) de genotipos de triticale y trigo evaluados bajo dos condiciones hídricas.

	Coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf)	Coeficiente de fertilidad de la espiga en cosecha (CFEc)
	Por planta	Por planta
Genotipo (G)	0.0115	<0.0001
Trigo vs Triticale	0.3925 <sup>ns</sup>	<0.0001
Condición hídrica (CH)	0.0023	0.0001
G x CH	0.8872 <sup>ns</sup>	0.4008 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = no significativo.

El coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf), ante condiciones de estrés, incrementó un 44 % (Tabla 10). Gazaba (2018) observó diferencias de 56% en CFEf a favor del ambiente que recibió la mitad de las precipitaciones respecto de otro ambiente. La línea 13 de triticale resultó la de mayor valor de CFEf con 215.7 granos g chaff<sup>1</sup>; y el menor valor fue para línea 14 de triticale con 81.4; estos resultados revelan una gran variabilidad entre los genotipos. Según Gazaba (2018) el CFEf puede variar su estabilidad según los genotipos y los ambientes analizados.

El CFec se vio afectado por la condición hídrica al incrementar un 9 % ante la condición con déficit hídrico (Tabla 10). Gazaba (2018) determinó que el ambiente con menor régimen hídrico obtuvo mayores CFec respecto del ambiente con mayor régimen hídrico, y que los CFec generaron en promedio menores valores que los CFEf. Los genotipos de trigo presentaron un 28 % de CFec mayor respecto de los triticales, y los valores estuvieron dentro del rango de los reportados por Pretini et al. (2018). Las líneas de triticale 1, 4 y 7 presentaron los menores CFec con un promedio de 59.6 granos g chaff-1. Gazaba (2018) también encontró significancia para genotipos y ambientes, y al igual que este trabajo no encontró interacciones G x A.

Tabla 10: Coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf) y en cosecha (CFEc) de genotipos de triticale y trigo bajo dos condiciones.

Fuente de variación		CFEf (granos g chaff <sup>1</sup> )	CFEc (granos g chaff <sup>1</sup> )
		Por planta	Por planta
<b>Genotipo (G)</b>	1 (Triticale)	128.8 bcdef	59.3 f
	2 (Triticale)	161.9 abcde	73.5 bc
	3 (Triticale)	128.4 bcdef	72.3 bcd
	4 (Triticale)	68.2 f	59.8 f
	5 (Triticale)	112.5 cdef	73.0 bcd
	6 (Triticale)	141.2 abcdef	72.6 bcd
	7 (Triticale)	86.0 def	59.8 f
	8 (Triticale)	164.2 abcd	72.0 bcd
	9 (Triticale)	203.8 ab	63.8 ef
	10 (Triticale)	88.3 def	65.5 def
	12 (Triticale)	173.3 abc	75.0 bc
	13 (Triticale)	215.7 a	70.3 bcde
	14 (Triticale)	81.4 ef	68.2 cde
	15 (Trigo)	104.6 cdef	78.0 b
	16 (Trigo)	127.2 bcdef	95.1 a
		DMS	82.1
<b>Condición hídrica (CH)</b>	Sin estrés hídrico	108.4 b	67.5 b
	Con estrés hídrico	156.2 a	73.5 a
	DMS	29.9	2.86

Letras distintas en la misma fila, de cada fuente de variación, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

### Correlaciones

Las correlaciones entre los caracteres bajo las dos condiciones hídricas (Tabla 11) no presentaron diferencias de amplia magnitud, de signo o de significancia, por lo que se decidió realizar la interpretación en base al promedio de las dos condiciones hídricas (Tabla 12). El rendimiento de grano (Rend) de los genotipos evaluados presentó una alta correlación positiva con la biomasa en madurez fisiológica (BeMF) ( $r = 0.93$ ;  $p < 0.01$ ). Una mayor capacidad de removilización de fotoasimilados del tallo al grano contribuye a un mayor rendimiento del grano y sus componentes (López-Castañeda & Richards, 1994; López-Castañeda et al., 2011). Quiroz-Mercado (2015) en un estudio en

trigo, cebada y triticale, reportó que el rendimiento de granos estuvo correlacionado de manera positiva con la biomasa aérea ( $r = 0.94$ ) independientemente de la especie y el régimen hídrico; en el mismo sentido Giunta et al. (1999) obtuvo una correlación promedio de  $r = 0.88$  en triticales, y Velasco López et al. (2021) de 0.76 en triticale. Según García (2011), la biomasa en madurez fisiológica producida en el ciclo está estrechamente relacionada con el rendimiento y componentes de rendimiento. El Rend también se correlacionó con el peso de la espiga (PE) ( $r = 0.99$ ;  $p < 0.01$ ); Coldeira & Ruggiero (2011) de maera contraria reportaron un valor de correlación de solo 0.22 para trigo pan entre estos caracteres. La biomasa en madurez fisiológica (BeMF) se correlaciona con el PE con un coeficiente promedio de  $r = 0.96$  ( $p < 0.01$ ).

La biomasa en floración (BeF) estuvo correlacionada con el peso de la espiga en floración (PEF) con un valor de  $r = 0.90$  ( $p < 0.01$ ); Millares & González (2010) obtuvieron una correlación entre peso de la espiga en antesis y biomasa en antesis de 0.44 para trigos de ciclo largo y 0.73 para trigos de ciclo corto. El PEF se correlacionó negativamente con el coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf) ( $r = -0.71$ ;  $p < 0.01$ ); Terrile et al. (2017) obtuvieron un valor similar de correlación de -0.73 en un estudio realizado en trigos.

El número de espiguillas por espiga (NEE) presentó una alta correlación con a la longitud de espiga (LE) ( $r = 0.88$ ;  $p < 0.01$ ); Ferrari et al. (2018) reportó un valor similar de  $r = 0.87$  en triticale, mientras que Gulmezoglu et al. (2010) encontraron una correlación de 0.72 en los triticales y 0.75 en trigo pan. El NEE también se correlacionó con el número de granos (NG) ( $r = 0.75$ ;  $p < 0.01$ ); resultados similares de  $r = 0.74$  en triticale y  $r = 0.76$  en trigo pan fueron reportados por Gulmezoglu et al. (2010). El NG presentó una correlación positiva con la longitud de espigas (LE) ( $r = 0.72$ ;  $p < 0.01$ ); Gulmezoglu et al. (2010) encontraron una correlación de 0.53 en los triticales y 0.65 en el trigo pan.

El número de espigas (NE) se correlacionó en forma positiva con el coeficiente de fertilidad de la espiga a cosecha (CFEc) ( $r = 0.90$ ;  $p < 0.01$ ); (Terrile et al., 2017) encontraron en trigo evaluados en parcelas valores de (0.83).

**Tabla 11:** Coeficiente de correlación de Pearson para caracteres asociados al rendimiento de grano en genotipos de triticale y trigo bajo dos niveles hídricos.

Variables		Condición Hídrica: Con Estrés													
		Rend	BeMF	BeF	PEF	PE	IC	NEE	NG	PMG	DaF	NE	LE	CFEc	CFEf
Condición Hídrica: Sin Estrés	Rend	-	0.95	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	0.99	0.38	0.23	0.41	0.27	-0.18 <sup>ns</sup>	0.43	0.13 <sup>ns</sup>	0.32	0.43
	BeMF	0.92	-	-0.04 <sup>ns</sup>	-0.09 <sup>ns</sup>	0.96	0.08 <sup>ns</sup>	0.25	0.33	0.14 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	0.48	0.15 <sup>ns</sup>	0.34	0.42
	BeF	-	-0.10 <sup>ns</sup>	-	0.87	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	0.30	0.10	0.13 <sup>ns</sup>	0.23	-0.16 <sup>ns</sup>	0.24	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.67
	PEF	0.14 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	0.90	-	-0.13 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	0.35	0.15 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	0.32	-0.24 <sup>ns</sup>	0.27	-0.24 <sup>ns</sup>	-0.71
	PE	0.98	0.95	-0.13 <sup>ns</sup>	-0.20 <sup>ns</sup>	-	0.29	0.23	0.38	0.18 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>	0.48	0.14 <sup>ns</sup>	0.34	0.44
	IC	0.46	0.10 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	0.35	-	-0.01	0.31	0.43	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>
	NEE	0.29	0.29	0.10 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0.31	0.05 <sup>ns</sup>	-	0.72	0.44	0.40	-0.53	0.87	-0.57	-0.24 <sup>ns</sup>
	NG	0.36	0.24	0.00 <sup>ns</sup>	-0.13 <sup>ns</sup>	0.31	0.33	0.76	-	0.33	0.21	-0.47	0.71	-0.41	-0.04 <sup>ns</sup>
	PMG	0.33	0.16 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.23	0.40	0.38	0.35	-	0.25	-0.47	0.42	-0.52	-0.15 <sup>ns</sup>
	DaF	-0.31	-0.30	0.38	0.34	-0.30	-0.13 <sup>ns</sup>	0.21	0.15 <sup>ns</sup>	-0.02 <sup>ns</sup>	-	-0.42	0.48	-0.38	-0.29
	NE	0.44	0.51	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	0.49	0.00 <sup>ns</sup>	-0.48	-	-0.41	-0.27	-	-0.56	0.91	0.44
	LE	0.19	0.17 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.21	0.05 <sup>ns</sup>	0.87	0.70	0.34	0.33	-0.48	-	-0.57	-0.25
	CFEc	0.34	0.34	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	0.34	0.13 <sup>ns</sup>	-0.54	-	-0.46	-0.23	0.90	-0.55	-	0.40
	CFEf	0.51	0.53	-0.69	-0.76	0.54	0.11 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	-0.19	-0.36	0.43	-0.08 <sup>ns</sup>	0.36

**Rend:** rendimiento de grano; **BeF:** biomasa en floración; **BeMF:** biomasa en madurez fisiológica; **PEF:** peso de la espiga en floración; **PE:** peso de la espiga; **IC:** índice de cosecha; **NE:** número de espigas fértiles; **NEE:** número de espiguillas por espiga; **LE:** longitud de espiga; **NG:** números de granos; **CFEf:** Coeficiente de fertilidad en floración; **CFEc:** Coeficiente de fertilidad en cosecha; **PMG:** peso de mil granos; **DaF:** días a floración. **Negrita:** presentan significancia  $p \leq 0.05$ . **ns** = no significativo.

**Tabla 12:** Coeficientes de correlación de Pearson promedios para caracteres asociados al rendimiento de grano en genotipos de triticale y trigo bajo dos niveles hídricos.

		Probabilidades promedio													
Variables	Rend	BeMF	BeF	PEF	PE	IC	NEE	NG	PMG	DaF	NE	LE	CFEc	CFEf	
Rend	-														
BeMF	0.93	-													
BeF	0.00 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	-												
PEF	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.03 <sup>ns</sup>	0.90	-											
PE	0.99	0.96	0.01 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-										
IC	0.39	0.05 <sup>ns</sup>	-0.17	-0.14 <sup>ns</sup>	0.29	-									
NEE	0.29	0.31	0.25	0.24	0.30	-0.00 <sup>ns</sup>	-								
NG	0.40	0.32	0.12 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.37	0.29	0.75	-							

PMG	0.32	0.19	0.17	0.17	0.24	0.39	0.43	0.36						
DaF	-0.24	-0.20	0.28	0.31	-0.24	-0.16	0.30	0.18	0.12 <sup>ns</sup>	-				
NE	0.41	0.46	-0.16	-0.19	0.46	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.50	-0.49	-0.45	-0.35	-			
LE	0.20	0.21	0.28	0.26	0.22	-0.01 <sup>ns</sup>	0.88	0.72	0.41	0.40	-0.52	-		
CFEc	0.28	0.28	-0.20	-0.23	0.29	0.10 <sup>ns</sup>	-0.57	-0.42	-0.51	-0.31	0.90	-0.57	-	
CFEf	0.38	0.36	-0.66	-0.71	0.40	0.14	-0.18	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.20	-0.31	0.43	-0.22	0.41	-

**Rend:** rendimiento de grano; **BeF:** biomasa en floración; **BeMF:** biomasa en madurez fisiológica; **PEF:** peso de la espiga en floración; **PE:** peso de la espiga; **IC:** índice de cosecha; **NE:** número de espigas fértiles; **NEE:** número de espiguillas por espiga; **LE:** longitud de espiga; **NG:** números de granos; **CFEf:** Coeficiente de fertilidad en floración; **CFEc:** Coeficiente de fertilidad en cosecha; **PMG:** peso de mil granos; **DaF:** días a floración. **Negrita:** significancia  $p \leq 0.05$ ; **ns** = no significativo.

### Análisis de componentes principales

Los dos primeros componentes explicaron el 81.7 % de la variabilidad total, y por el elevado porcentaje se consideran adecuados para representar de manera confiable las relaciones entre los efectos y las variables analizadas (Paccapelo y Lorda, 1988; Castro et al., 2011). La primera componente principal (CP1) explicó el 44.7 % y está representada en mayor medida y en forma negativa por los caracteres número de espiguillas por espiga (NEE), número de granos (NG), peso de mil granos (PMG) y longitud de espiga (LE); y de forma positiva número de espigas (NE) junto al el coeficiente de fertilidad de la espiga en cosecha (CFEc). La segunda componente principal (CP2) explicó el 37.0 % y está comprendida en forma positiva por el índice de cosecha (IC), peso de la espiga (PE), rendimiento de granos (Rend), biomasa en madurez fisiológica (BeMF) y coeficiente de fertilidad de la espiga en floración (CFEf); y de forma negativa con días a floración (DaF), peso de la espiga en floración (PEF) y biomasa en floración (BeF). En el cuadrante negativo para la (CP1) y positivo para la (CP2) se encuentran asociaciones, disponen en la misma dirección, entre variables con similar magnitud como BeMF con Rend y PE; peso de mil granos (PMG) con el NG y el NEE. En este cuadrante también se observa un grupo asociado con las variables productivas representado por los genotipos de triticales 2, 3, 9, 5, 1 y 6.

En el cuadrante negativo para ambas componentes se encuentran asociaciones entre caracteres evaluados en floración, BeF, peso de la espiga en floración (PEF) y DaF. Asociado a las variables de la etapa de floración de este cuadrante se encuentra el grupo de triticales comprendido por las líneas 8, 14, 4, 10 y 7. En el cuadrante positivo para ambas componentes se encuentran dos de las tres líneas procedentes del CIMMYT (12 y 13) asociadas a los coeficientes de fertilidad de la espiga (CFEf y CFEc) y al NE. En la región positiva para la CP1 y negativa para la CP2 se asociaron los cultivares de trigo 15 y 16 los cuales solo están relacionados con el CFEc.

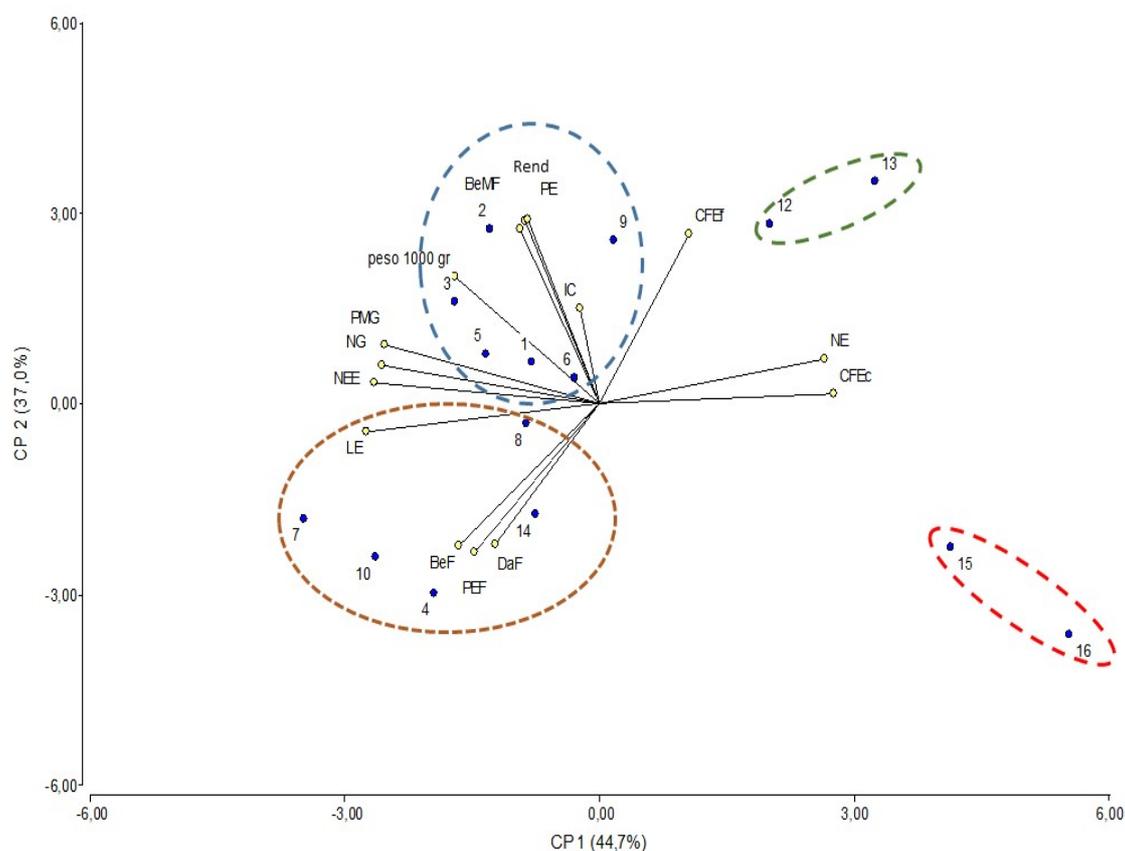


Figura 4: Gráfico biplot de componentes principales para los caracteres estudiados. CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2; Rend: rendimiento de grano; BeF: biomasa en floración; BeMF: biomasa en madurez fisiológica; PEF: peso de la espiga en floración; PE: peso de la espiga; IC: índice de cosecha; NE: número de espigas fértiles; NEE: número de espiguillas por espiga; LE: longitud de espiga; NG: números de granos; CFEf: Coeficiente de fertilidad en floración; CFEc: Coeficiente de fertilidad en cosecha; PMG: peso de mil granos; DaF: días a floración.

### Índices de tolerancia

Todos los genotipos expuestos a condiciones de estrés hídrico evidenciaron pérdida de rendimiento (PR) respecto de la condición sin estrés, con valores máximos de 39.5% y mínimos de 1.32% (Tabla 13). Los genotipos de triticale 2, 5 y 10 se destacaron por promediar solo 2.11% de PR. La menor tolerancia al estrés (TOL), definida como las diferencias en el rendimiento entre los ambientes estresados y regados (Rosielle & Hamblin, 1981), la presentaron los genotipos 2, 5 y 15. La productividad media (*mean productivity*, MP), la productividad media geométrica (*geometric mean productivity*, GMP), la media armónica (*Harmonic mean*, HM) y el índice de tolerancia al estrés (*stress tolerance index*, STI) coincidieron al clasificar a los genotipos 2, 3 y 12 como los más tolerantes a la sequía. El índice de susceptibilidad al estrés (*stress susceptibility index*, SSI), el índice de estabilidad del rendimiento (*yield stability index*, YSI) y el índice relativo de estrés (*relative stress index*, RSI) categorizaron a los genotipos 2, 5 y 10 como los de menor susceptibilidad al estrés. Los genotipos 2, 5 y 12 fueron

calificados por el índice de rendimiento (*Yield Index*, YI) como los tres genotipos más tolerantes a la sequía.

El índice GMP es empleado por mejoradores interesados en el desempeño relativo de estrés por sequía variable en severidad en el campo a través de los años, debido a que el estrés por sequía puede variar en severidad en ambientes a campo a lo largo de los años (Fernández, 1992). Según Rosielle & Hamblin (1981) los índices MP y TOL permiten una adecuada comparación entre cultivos. Fischer & Maurer (1978) sugirieron al índice SSI para la medición de la estabilidad del rendimiento porque permite apreciar los cambios en los rendimientos potenciales y reales en ambientes variables; además, el índice considera que los genotipos con valores de SSI menores a uno se los puede denominar como genotipos tolerantes, mientras que a los genotipos con valores mayores a uno se los puede considerar genotipos susceptibles (Guttieri et al., 2001; Bahar et al., 2011; Meena et al., 2015). El índice STI se definió como una herramienta útil para determinar el alto rendimiento y el potencial de tolerancia al estrés de los genotipos (Fernández, 1992); se puede utilizar para identificar genotipos que producen alto rendimiento en condiciones de estrés y no estrés, y es similar al SSI con la excepción que se basa en el porcentaje de rendimiento del cultivo obtenido bajo estrés en lugar de la reducción obtenida respecto al cultivo bajo condiciones óptimas (Ober et al., 2004; Ali et al., 2019).

De acuerdo con la teoría de Fernández (1992), los genotipos se clasificaron en cuatro grupos en función de su rendimiento en condiciones de estrés y no estrés, es decir, genotipos que producen un alto rendimiento tanto en condiciones de estrés hídrico como de no estrés, genotipos con alto rendimiento en condiciones de no estrés o en condiciones de estrés y genotipos con bajo rendimiento tanto en condiciones de estrés como de no estrés. Según Ashraf (2015) que se basó en los resultados de Zahravi (2009), respecto a la clasificación utilizada para organizar los genotipos, se pueden dividir los genotipos en tres grupos: tolerantes, semi-tolerantes y sensibles. Mohammadi (2020) y Ahakpaz et al. (2020) consideraron a los genotipos con el índice de puntuación múltiple o ranking permite una simple y fácil visualización, en el cual el valor más cercano a 1 dentro de los genotipos evaluados será la mejor combinación de alta productividad y alta tolerancia bajo condiciones moderadas de estrés hídrico.

Tabla 13: Rendimiento de grano e índices de tolerancia a la sequía en genotipos de triticale y trigo.

Genotipo	Yp	Ys	PR	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
1 (Triticale)	8.7	7.3	15.1	1.3	8.0	8.0	8.0	1.4	0.2	0.5	0.8	1.0
2 (Triticale)	9.8	9.6	1.32	0.1	9.7	9.7	9.7	0.1	0.3	0.6	1.0	1.1
3 (Triticale)	10.6	8.1	23.6	2.5	9.4	9.3	9.2	2.1	0.3	0.5	0.8	0.9
4 (Triticale)	8.0	4.8	39.5	3.2	6.5	6.3	6.1	3.6	0.1	0.3	0.6	0.7
5 (Triticale)	8.9	8.8	1.78	0.2	8.9	8.9	8.9	0.2	0.3	0.6	1.0	1.1
6 (Triticale)	8.1	7.7	4.31	0.4	7.9	7.9	7.9	0.4	0.2	0.5	1.0	1.1
7 (Triticale)	7.2	6.2	14.1	1.0	6.8	6.7	6.7	1.3	0.2	0.4	0.9	1.0
8 (Triticale)	8.1	7.5	7.01	0.6	7.8	7.8	7.8	0.6	0.2	0.5	0.9	1.0
9 (Triticale)	9.8	8.1	17.5	1.7	9.0	8.9	8.9	1.6	0.3	0.5	0.8	0.9
10 (Triticale)	7.7	7.4	3.24	0.3	7.6	7.6	7.6	0.3	0.2	0.5	1.0	1.1
12 (Triticale)	9.4	8.9	5.70	0.5	9.2	9.2	9.2	0.5	0.3	0.6	0.9	1.1
13 (Triticale)	10.1	7.7	22.9	2.3	9.0	8.9	8.8	2.1	0.3	0.5	0.8	0.9
14 (Triticale)	7.6	7.0	7.95	0.6	7.4	7.4	7.4	0.7	0.2	0.5	0.9	1.0
15 (Trigo)	6.3	6.1	3.77	0.2	6.2	6.2	6.2	0.3	0.1	0.4	1.0	1.1
16 (Trigo)	5.8	4.1	28.2	1.7	5.0	4.9	4.9	2.5	0.1	0.3	0.7	0.8
Promedio	8.4	7.3	13.1	1.1	7.9	7.9	7.8	1.2	0.2	0.5	0.9	1.0

Yp: Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones sin estrés.; Ys: Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones de estrés; PR%: Pérdida de rendimiento porcentual; MP: Productividad media; GMP: Productividad media geométrica; HM: Media armónica; TOL: Tolerancia; SSI: Índice de susceptibilidad a la sequía; STI: Índice de tolerancia a la sequía; YI: Índice de rendimiento; YSI: Índice de estabilidad de rendimiento; RSI: Índice relativo de sequía.

La línea de triticale 2 se destacó entre todos los genotipos, al posicionarse 1<sup>ra</sup> en el ranking (Tabla 14), y se clasificó como tolerante y de alto rendimiento. La línea 5 presentó similares valores de STI, YI, YSI y RSI que la línea 2; también se destacó por presentar los menores valores de TOL y SSI, y fue la segunda menor PR (1.78%) por lo que se posicionó como 2<sup>da</sup> en el ranking y se la clasificó como tolerante de mediano a alto rendimiento. La línea 12 se ubicó en el puesto tres, y se clasificó como tolerante de alto rendimiento. La línea 3 quedó ubicada en la posición cuarta del ranking y se destacó por presentar el mayor rendimiento en la condición sin estrés, a pesar de tener una PR elevada (23.6 %), compensó y generó producciones medias superiores al promedio, pero en función de sus índices se la clasificó como no tolerante a la sequía, pero de alto rendimiento, pudiendo ser adecuada para zonas con bajo estrés hídrico. La línea 9 se posicionó 5<sup>ta</sup>, tuvo un comportamiento similar a la línea 3, pero se clasificó como semitolerante de mediana a alta producción.

Entre los genotipos de trigo, el cultivar 15 se posicionó 12 en el ranking (Tabla 14); se comportó como tolerante al estrés hídrico, con una PR muy baja (3.77 %), pero su producción resultó muy limitada al generar rendimientos inferiores al promedio. El cultivar 16 quedó relegado a la última posición del ranking (15), el rendimiento estuvo muy afectado ante el estrés hídrico al generar la segunda mayor PR (28.2 %) y se

clasificó como de bajo rendimiento y no tolerante a la sequía. La tolerancia a la sequía del cultivar 15 (ACA 601) también fue reportada por Fernández et al. (2019).

Tabla 14: Ranking de genotipos de triticale y trigo según rendimiento de grano e índices de tolerancia a la sequía.

Genotipo	Yp	Ys	MP	GMP	HM	TOL	SSI	STI	YI	YSI	RSI	Promedio	Desvío	Ranking
1	7	10	7	7	7	10	10	7	10	10	10	8.6	1.6	10
2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
3	1	4	2	2	2	14	13	2	4	13	13	6.4	5.5	4
4	10	14	13	13	14	15	15	13	14	15	15	13.7	1.5	14
5	6	3	6	5	5	2	2	5	3	2	2	3.7	1.7	2
6	9	7	8	8	8	5	5	8	7	5	5	6.8	1.5	6
7	13	12	12	12	12	9	9	12	12	9	9	11.0	1.6	13
8	8	8	9	9	9	7	7	9	8	7	7	8.0	0.9	9
9	3	4	4	4	4	12	11	4	4	11	11	6.5	3.8	5
10	11	9	10	10	10	4	3	10	9	3	3	7.5	3.4	7
12	5	2	3	3	3	6	6	3	2	6	6	4.1	1.7	3
13	2	6	5	6	6	13	12	6	6	12	12	7.8	3.7	8
14	12	11	11	11	11	8	8	11	11	8	8	10.0	1.6	11
15	14	13	14	14	13	3	4	14	13	4	4	10.0	5.0	12
16	15	15	15	15	15	11	14	15	15	14	14	14.4	1.2	15

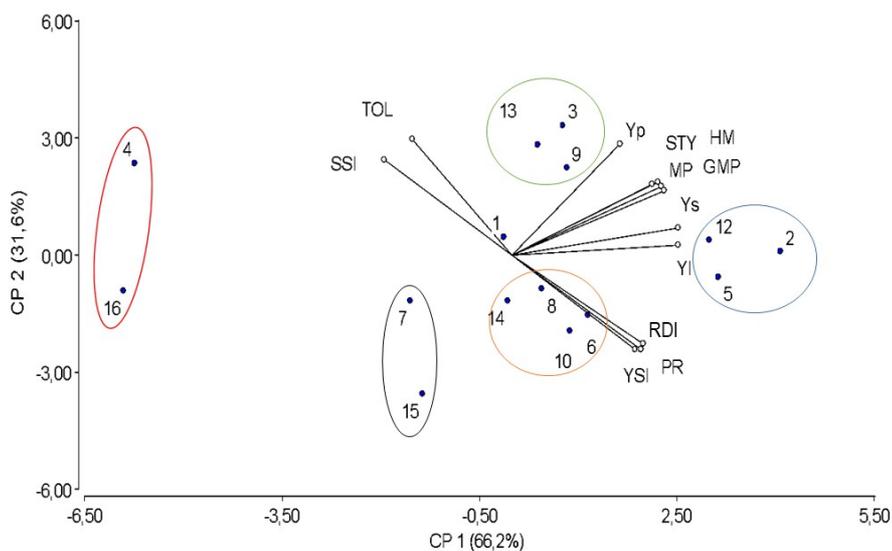
**Yp:**

Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones sin estrés.; **Ys:** Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones de estrés; **MP:** Productividad media; **GMP:** Productividad media geométrica; **HM:** Media armónica; **TOL:** Tolerancia; **SSI:** Índice de susceptibilidad a la sequía; **STI:** Índice de tolerancia a la sequía; **YI:** Índice de rendimiento; **YSI:** Índice de estabilidad de rendimiento; **RSI:** Índice relativo de sequía.

El análisis de componentes principales, en función de los índices de tolerancia a la sequía, explicó en las dos primeras componentes el 97.8% de la variabilidad total. El componente principal 1(CP1) fue explicado por los índices YI y rendimiento en condiciones de estrés (Ys), y describió el 66.2 % de la variación (Figura 5).

Los genotipos de triticale 13, 3 y 9 estuvieron asociados al rendimiento promedio sin estrés (Yp), lo que denota la capacidad de estos genotipos para generar buenos rendimientos o rendimientos superiores al promedio en condiciones sin estrés, por lo que se los puede considerar como de alta productividad. Por contraparte, el grupo de los triticales 2, 12 y 5 estuvieron asociados al Ys y al YI, lo que indicaría que presentan una buena aptitud para producir aún en condiciones de estrés, debido a que pueden generar un rendimiento superior al promedio bajo condiciones limitantes, y denotan su excelente comportamiento como tolerantes a sequía. Otra asociación apreciable resultó entre los triticales 14, 8, 10 y 6, con YSI, RSI y PR; este grupo presentó la cualidad de generar PR inferiores al promedio, pero con la particularidad de obtener rendimientos inferiores al promedio, tanto en condiciones de estrés como de no estrés, lo que los califica como poco productivos pero tolerantes. La línea de triticale 7 junto al cultivar de trigo 15 no se asociaron a indicadores productivos o de tolerancia, lo cual les confiere características de baja productividad y poca tolerancia. En el extremo más distantes de cualquier indicador se posicionó la línea 4 y el cultivar 16 de trigo, quienes presentaron los menores Ys, las mayores pérdidas porcentuales PR y los mayores valores de TOL y SSI, lo que indicaría su falta de adaptación a condiciones de estrés, clasificándolos como no tolerantes y de baja producción.

Figura 5: Biplot de rendimiento de grano e índices de tolerancia a la sequía en genotipos de triticale y trigo.



Yp: Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones sin estrés.; Ys: Rendimiento promedio de todos los genotipos en condiciones de estrés; PR%: Pérdida de rendimiento porcentual; MP: Productividad media; GMP: Productividad media geométrica; HM: Media armónica; TOL: Tolerancia; SSI: Índice de susceptibilidad a la sequía; STI: Índice de tolerancia a la sequía; YI: Índice de rendimiento; YSI: Índice de estabilidad de rendimiento; RSI: Índice relativo de sequía.

## Conclusiones

En relación a los resultados de este trabajo, la hipótesis planteada es aceptada, porque bajo condiciones de limitación hídrica existió variabilidad genética sobre el rendimiento y caracteres asociados entre genotipos de triticales, y entre triticales y trigo. En general, los genotipos de triticales tuvieron un mejor comportamiento ante la deficiencia hídrica, mostrando mayores valores de rendimiento y sus caracteres asociados. Las líneas de triticales se diferenciaron de los cultivares de trigos con mayores valores de Rend, BeMF, PE, NEE, NG, PMG y LE; a su vez dichos caracteres tuvieron la particularidad de encontrarse correlacionados fuertemente entre sí. Al evaluar los genotipos de triticales y trigo mediante diferentes índices productivos y de tolerancia a la sequía, se pudo discriminar en genotipos tolerantes a la sequía y de alto rendimiento, en que la línea 2 (10 A/17) y 5 (2 A/17) de triticales destacaron por sobre el resto, con los mejores valores en los indicadores de tolerancia a la sequía. La línea 2 y 5 podrían resultar promisorias para ambientes con déficit hídricos o como progenitoras en programas de mejoramiento genético; sin embargo, se recomienda generar una próxima etapa de evaluación a campo para reafirmar su comportamiento y estabilidad a lo largo de los años y ambientes.

## Bibliografía

- Abdoli, M., & Saeidi, M. (2013). Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phenological traits and gas exchange of bread wheat cultivar. *Albanian J. Agric. Sci*, 12, 255-265.
- Ahakpaz, F., Majidi Heravan, E., Roostaei, M., Bihamta, M. R., & Mohammadi, S. (2020). Evaluation of rain-fed wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 9(1), 28-40.
- Akram, Z., Ajma, S. U. K., & Munir, M. (2004). Gene action study of some agronomic traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Arid Agriculture (Pakistan)* 7(2), 39-43.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24(12), 1337-1344.
- Ali, E., Iqbal, A., Hussain, S., Shah, J. M., Said, F., & Imtiaz, M. (2019). Selection Criteria to Assess Drought Stress Tolerance in Wheat Genotypes Using Physiological and Biochemical Parameters. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(4), 751-762.
- Almeselmani, M., Abdullah, F., Hareri, F., Naaesan, M., Ammar, M. A., & ZuherKanbar, O. (2011). Effect of drought on different physiological characters and yield component in different varieties of Syrian durum wheat. *Journal of Agricultural Science*, 3(3), 127.
- Ambrosino, M. L. (2011). Evaluación de genotipos de triticales en respuesta al déficit hídrico en pre y post antesis. Tesis de grado. *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa*. 1-67.
- Ashraf A, El-Mohsen A, Abd El-Shafi MA, Gheith EMS & Suleiman HS. (2015). Using Different Statistical Procedures for Evaluating Drought Tolerance

- Indices of Bread Wheat Genotypes. *Advance in Agriculture and Biology*, 4 (1), 19-30.
- Ashraf, M. P. J. C., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166(1), 3-16.
  - Bahar, B., Yildirim, M., & Yucel, C. (2011). Heat and drought resistance criteria in spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Morpho-physiological parameters for heat tolerance. *Scientific Research and Essays*, 6(10), 2212-2220.
  - Balbi, C., Rodríguez, E & Neiff, N. (2013). Tasa de crecimiento de espigas de trigo (*Triticum aestivum*) en diferentes niveles de radiación incidente en Corrientes. *Agrotecnia*. 21. 11-17.
  - Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V., & Rao, G. D. P. (1987). Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(1), 49-59.
  - Blum, A. (1986). The effect of heat stress on wheat leaf and ear photosynthesis. *Journal of experimental botany*, 37(1), 111-118.
  - Blum, A., Sinmena, B., Mayer, J., Golan, G., & Shpiler, L. (1994). Stem reserve mobilisation supports wheat-grain filling under heat stress. *Functional Plant Biology*, 21(6), 771-781.
  - Boicet-Fabre, T., Baldaquín-Hernández, M., Boudet-Antomarchi, A. D., Merino-Hernández, Y., Alarcón-Zayas, A., & Almarales-Frías, W. (2018). Evaluación de diferentes índices de tolerancia a la sequía basado en análisis multivariados. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 61-67.
  - Bortolotti, G. A., & Fuhr, I. A. (2012). Efecto de la fertilidad y el genotipo sobre el llenado de los granos de diferentes variedades de trigo (*Triticum durum* y *T. aestivum*). Tesis de grado. *Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*. 1- 25.
  - Bouslama, M., & Schapaugh Jr, W. T. (1984). Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop science*, 24(5), 933-937.
  - Boyer, John S. (1982). Plant productivity and environment. *Science* 1982. 218(4571). 443-448.
  - Brouwer, J. B. (1977). Developmental responses of different hexaploid triticales to temperature and photoperiod. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 17(88), 826-831.
  - Budak, H., Kantar, M., & Yucebilgili Kurtoglu, K. (2013). Drought tolerance in modern and wild wheat. *The Scientific World Journal*, 2013.
  - Buenrostro-Rodríguez, J. F., Covarrubias-Prieto, J., Solís-Moya, E., Ledesma-Ramírez, L., Cervantes-Ortiz, F., Mandujano-Bueno, A., ... & Gámez-Vázquez, A. J. (2022). Impactos del ambiente y riego restringido en el rendimiento de grano de trigo en Guanajuato, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 65-65.
  - Cantarero, M. G. (2018). Deficiencia hídrica durante el periodo de crecimiento de las espigas en trigo y estrategias de tolerancia al estrés en diferentes cultivares. Tesis doctoral. *Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba*, 1-126.

- Castaño, M., Ferrari, E., Ribotta, P. D., Ferreira, V., Grassi, E., Ferreira, A., ... & Paccapelo, H. A. (2015). Aptitude of whole flour from different triticale ( $\times$  Triticosecale Wittmack) genotypes for elaboration of cookies. *Semiárida-Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 25(1), 25-39.
- Castro, N., Rufach, H., Capellino, F., Domínguez, R., & Paccapelo, H. (2011). Evaluation of forage and grain yield of triticale and tricepiros. *RIA, Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37(3), 281-289.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Marè, C., & Stanca, A. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field crops research*, 105(1-2), 1-14.
- Coldeira, A. S., & Ruggiero, A. C. (2011). Parámetros morfológicos de la planta de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en floración relacionados al rendimiento de grano. Tesis de grado. *Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*. 1-23.
- De San Celedonio, R. P., Abeledo, L. G., & Miralles, D. J. (2014). Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant and Soil*, 378(1), 265-277.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. InfoStat version 2020. *InfoStat Transfer Center, FCA, National University of Córdoba, Argentina*.
- 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.
- Don Mario. 2022. <https://www.donmario.com/uruguay/trigo/dm-nandubay/>
- El Hani, S. (1999). Formación del rendimiento e identificación de parámetros fisiológicos de resistencia a la sequía en trigo duro (*Triticum Durum* Desf.): bajo condiciones mediterráneas. Tesis doctoral. *Univesidad de Granda, Facultad de ciencias*. 1-176.
- Estrada-Campuzano, G., Miralles, D. J., & Slafer, G. A. (2008). Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 597-605.
- FAO. 2020. Los mercados mundiales de cereales se encaminan a una producción récord en 2021/22, pero se prevé un aumento solo marginal de las reservas. FAO. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *In Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.
- Farshadfar, E., & Elyasi, P. (2012). Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology*, 2(3), 577-584.
- Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Aug. 13-16, Shanhua, Taiwan*, 257-270.

- Fernández, M. A. (2013). Water stress effects on grain yield and water-use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and triticale (*X Triticosecale*, Wittmack). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*, 23(1), 7-23.
- Fernández, M. Á., Zingaretti, O., & Riestra, D. A. (2019). La estabilidad de rendimiento en grano de cereales invernales en la región subhúmeda seca pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*, 29(1), 19-32.
- Ferrari, E. D., Ferreira, V. A., Grassi, E. M., Picca, A. M. T., & Paccapelo, H. A. (2018). Genetic parameters estimation in quantitative traits of a cross of triticale (*x Triticosecale* W.). *Open Agriculture*, 3(1), 25-31.
- Ferrari, E., Picca, A., Domínguez, R., & Paccapelo, H. (2018). Heterosis and combining ability for yield and other agronomic traits in Triticale. *Open Agriculture*, 3(1), 38-45.
- Ferreira, V., Grassi, E., Ferreira, A., di Santo, H., Castillo, E., & Paccapelo, H. (2015). Interacción genotipo-ambiente y estabilidad en la producción de forraje de triticales y tricepiros. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 26(2), 27-51.
- Figueruelo, A. M., Porta Siota, F., Dillchneider Loza, A., & Funaro, D. O. (2022). Variación del rendimiento según distintas fechas de siembra en variedades de trigo en La Pampa. *Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. Notas Agrícolas Pampeanas* 5,15-16.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912.
- Fischer, R. A., & Wood, J. T. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars. III.\* Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6), 1001-1020.
- Fraś, A., Gołębiewska, K., Gołębiewski, D., Mańkowski, D. R., Boros, D., & Szecówka, P. (2016). Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *Journal of Cereal Science*, 71, 66-72.
- García, G. A., González, F. G., Slafer, G. A., & Miralles, D. J. (2011). Identificación de atributos ecofisiológicos favorables para incrementar el rendimiento potencial en trigo utilizando una población de líneas doble haploide. *Limitaciones para la productividad de trigo y cebada*, 117.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R. G., Ricciardi, G. L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), 523-531.
- Gazaba, L. (2018). Coeficiente de fertilidad de la espiga en trigo (*Triticum aestivum* L): Determinación de la heredabilidad en poblaciones de haploides duplicados adaptadas al norte de Buenos Aires. Tesis de magíster, *Facultad de ciencias agrarias de la Universidad nacional de rosario*. 1-54.
- Gelelcha, S., Fantahun, B., Yaie, B., & Girma, B. (2007). Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) a new addition to the Ethiopian cereals. In *Afr. Crop Sci. Conf. Proceed* 8(1). 1991-1995.

- Gent, M. P. (1994). Photosynthate reserves during grain filling in winter wheat. *Agronomy Journal*, 86(1), 159-167.
- Ghulam, Q., Muhammad, S., & Cheema, M. A. (1999). Effect of Water Stress on Growth and Yield Performance of Four Wheat Cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2(1), 236-239.
- Giunta, F., Motzo, R., & Deidda, M. (1993). Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 33(4), 399-409.
- Giunta, F., Motzo, R., & Deidda, M. (1999). Grain yield analysis of a triticale ( $\times$  Triticosecale Wittmack) collection grown in a Mediterranean environment. *Field crops research*, 63(3), 199-210.
- Giunta, F., Motzo, R., & Viridis, A. (2001). Development of durum wheat and triticale cultivars as affected by thermo-photoperiodic conditions. *Australian journal of agricultural research*, 52(3), 387-396.
- Golbashy, M., Ebrahimi, M., Khavari Khorasani, S., & Choukan, R. (2010). Comparison of commercial and new corn hybrids (*Zea mays* L.) under drought stress and normal irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3(1), 47-57.
- Gulmezoglu, N., Alpu, O., & Ozer, E. (2010). Comparative performance of triticale and wheat grains by using path analysis. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(4), 443-453.
- Gupta, A. S., Berkowitz, G. A., & Pier, P. A. (1989). Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat: role of potassium status and irrigation history. *Plant Physiology*, 89(4), 1358-1365.
- Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K., & Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop science*, 41(2), 327-335.
- Hede, A. R. (2000). A new approach to triticale improvement. *CIMMYT Wheat Program*, 21.
- Hewstone, M. (1977). Preliminary studies on triticale yield in the south zone (Chile). *Publicacion Miscelanea-Estacion Experimental Carillanca (Chile)*.5, 20-25.
- Hochman, Z. V. I. (1982). Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Research*, 5, 55-67.
- Iturriaga, G., & de Morelos, C. (2007). Genes para combatir la sequía en los cultivos. *Academia de Ciencias de Morelos, AC, Morelos, México*. 34.
- Kantar, M., Lucas, S. J., & Budak, H. (2011). miRNA expression patterns of *Triticum dicoccoides* in response to shock drought stress. *Planta*, 233(3), 471-484.
- Kaya, Y., Akcura, M., Ayranci, R., & Taner, S. (2006). Pattern analysis of multi-environment trials in bread wheat. *Commun. Biometry Crop Sci*, 1(1), 63-71.
- Keyvan, S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *J. Anim. Plant Sci*, 8(3), 1051-1060.

- Khatiwada, A., Neupane, I., Sharma, B., Bhetwal, N., Pandey, B. 2020. Effects of Drought Stress on Yield and Yield Attributing Characters of Wheat. *Agriways* 8 (2), 115-121.
- Kilic, H., & Yağbasanlar, T. (2010). The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 164-170.
- López-Castañeda, C. (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3), 907-918.
- López-Castañeda, C., & Richards, R. A. (1994). Variation in temperate cereals in rainfed environments III. Water use and water-use efficiency. *Field Crops Research*, 39(2-3), 85-98.
- Loss, S. P., & Siddique, K. H. M. (1994). Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Advances in agronomy*, 52, 229-276.
- Manjarrez-Sandoval, P., González-hernández, V. A., Mendoza-Onofre, L. E., & Engleman, E. M. (1989). Drought stress effects on the grain yield and panicle development of sorghum. *Canadian Journal of Plant Science*, 69(3), 631-641.
- Marti, J., Savin, R., & Slafer, G. A. (2015). Wheat yield as affected by length of exposure to waterlogging during stem elongation. *Journal of agronomy and crop science*, 201(6), 473-486.
- Martínez Cruz, E., Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., & Hortelano SantaRosa, R. (2020). La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1349-1360.
- McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Foxa, G. and Manley, M. 2011. A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J Sci Food Agric*, (91), 1155–1165.
- Meena, R. P., Tripathi, S. C., Chander, S., Chookar, R. S., Verma, M. A., & Sharma, R. K. (2015). Identifying drought tolerant wheat varieties using different indices. *SAARC Journal of Agriculture*, 13(1), 148-161.
- Mehraban, A., Tobe, A., Gholipouri, A., Amiri, E., Ghafari, A., & Rostaii, M. (2019). The effects of drought stress on yield, yield components, and yield stability at different growth stages in bread wheat cultivar (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(2).
- Méndez, M., Bongianino, S., Vergara, G., & G. Casagrande. (2021). Precipitaciones y temperaturas mensuales del 2020 en el este de La Pampa. *Notas agrícolas pampeanas* (3), 4-5.
- Mergoum, M., & Macpherson, H. G. (2004). Triticale improvement and production. *Food & Agriculture Org.* 179, 156.
- Minetti, L., & Rivas, D. M. (2017). Efecto de la captación de la radiación durante el período crítico sobre el rendimiento de grano de trigo y triticale en la región semiárida pampeana. Tesis de grado. *Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*. 1-33
- Miralles, D. J., & González, F. G. (2010). El trigo en Argentina: Perspectivas ecofisiológicas del pasado, presente y futuro para aumentar el rendimiento. In

*XVII Congreso de AAPRESID, La era del Ecoprogreso. Rosario, Santa fe, Argentina.* 1-11.

- Mirbahar, A. A., Markhand, G. S., Mahar, A. R., Abro, S. A., & Kanhar, N. A. (2009). Effect of water stress on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Pak. J. Bot*, 41(3), 1303-1310.
- Moayedi, A. A., Boyce, A. N., & Barakbah, S. S. (2010). The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), 106-113.
- Mohammadi, R. (2020). The use of a combination scoring index to improve durum productivity under drought stress. *Experimental Agriculture*, 56(2), 161-170.
- Morgan, J. M. (1992). Osmotic components and properties associated with genotypic differences in osmoregulation in wheat. *Functional Plant Biology*, 19(1), 67-76.
- Myer, R., & Lozano del Rio, A. J. (2004). Triticale as animal feed. *Triticale improvement and production. FAO Plant production and protection paper*, (179), 49-58.
- Nawaz, F., Ahmad, R., Waraich, E. A., Naeem, M. S., & Shabbir, R. N. (2012). Nutrient uptake, physiological responses, and yield attributes of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to early and late drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6), 961-974.
- Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H., & Faruq, G. (2013). Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*. 1-12.
- Ober, E. S., Clark, C. J., Le Bloa, M., Royal, A., Jaggard, K. W., & Pidgeon, J. D. (2004). Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet: agronomic traits of diverse genotypes under droughted and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 90(2-3), 213-234.
- Oettler, G., Tams, S. H., Utz, H. F., Bauer, E., & Melchinger, A. E. (2005). Prospects for hybrid breeding in winter triticale: I. Heterosis and combining ability for agronomic traits in European elite germplasm. *Crop science*, 45(4), 1476-1482.
- Paccapelo, H. A., & Lorda, H. O. (1988). Determinación de los efectos relativos directos e indirectos de los componentes sobre el rendimiento de trigo. *Semiárida*, 3(2), 15-29.
- Paccapelo, H., Ferreira, V., Picca, A., Ferrari, E., Domínguez, R., Grassi, E., ... & Castillo, E. (2017). Triticale (x Triticosecale Wittmack): Rendimiento y sus componentes en un ambiente semiárido de la Argentina. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 33(1), 45-58.
- Paolilli, M. C., Cabrini, S. M., Fillat, F. A., & Pagliaricci, L. O. (2021). La cadena de trigo en Argentina, EEA Pergamino, INTA. Informe técnico (2), 1-9.
- Passioura, J. B. (1981). The interaction between the physiology and the breeding of wheat. *Wheat Science; Today and Tomorrow*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 191-201.
- Passioura, J. B. (1996). Drought and drought tolerance. *Plant growth regulation*, 20(2), 79-83.

- Peña, R. J. (2004). Food uses of triticale. *Triticale improvement and production*, 37-48.
- Pereira, J. S. (1993). Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. *Water deficits: plant response from cell to community. BIOS Scientific Publ (Environmental Plant Biology Series). Oxford. UK.* 237–251.
- Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (1995). Plant responses to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystems. In *Global change and Mediterranean-type ecosystems. Springer, New York, NY.* 140-160
- Perlo Gallio, A., Porta Siota, F., Figueruelo, A. M., Funaro, D. O., Fontana, L. M. C., Kent, F., & Dillchneider Loza, A. (2022). *Evaluación de cultivares de triticale para diferentes usos en EEA “Ing. Agr. Guillermo Covas” Anguil. Año 2021. EEA Anguil, INTA.* 1-8.
- Prieto, D. R., Angueira, M. C., Puig, O., Angella, G. A., Sanchez, M. C., Peterlín, O. A., & Jañez, H. A. (2003). Ensayo. rotaciones de cultivos en siembra directa para el mejoramiento del manejo de nutrientes y agua en los sistemas de producción mixtos en el este de Santiago del Estero. *Hoja de divulgación. EEA Santiago del Estero. Marzo 2003.*
- Pretini, N., Terrile, I. I., Donaire, G. M., & Gonzalez, F. G. (2018). Relación entre el coeficiente de fertilidad de la espiga de trigo y el peso de los granos. *RTA*, 10 (37): 1-4.
- Quiroz-Mercado, J. (2015). Rendimiento y producción de biomasa de trigo, cebada y triticale bajo riego y secano durante el llenado de grano en el sur de Chile. Tesis de magíster. *Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile.* 1-86.
- Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., ... & Slafer, G. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant, cell & environment*, 35(10), 1799-1823.
- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non stress environment 1. *Crop science*, 21(6), 943-946.
- Sadras, V. O., & Richards, R. A. (2014). Improvement of crop yield in dry environments: benchmarks, levels of organisation and the role of nitrogen. *Journal of experimental botany*, 65(8), 1981-1995.
- Saleem, M. (2003). Response of durum and bread wheat genotypes to drought stress: biomass and yield components. *Asian Journal of Plant Sciences*. 290-293.
- Schulze, E. D. (1986). Whole-plant responses to drought. *Functional Plant Biology*, 13(1), 127-141.
- Senapati, N., Stratonovitch, P., Paul, M. J., & Semenov, M. A. (2019). Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. *Journal of Experimental Botany*, 70(9), 2549-2560.
- Serna, R. R., Vallejo, P. R., Gallegos, J. A. A., González, F. C., & Kelly, J. D. (2000). Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia*, 34(2), 153-165.
- SISA. (2021). Sistema de información simplificado agrícola. En: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa\\_if\\_trigo2021.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_if_trigo2021.pdf)

- SISA. (2022). Sistema de información simplificado agrícola. En: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if\\_sisa\\_trigo\\_21-22\\_vf.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if_sisa_trigo_21-22_vf.pdf)
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. *United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA*.
- Sutton, B. G., & Dubbelde, E. A. (1980). Effects of water deficit on yield of wheat and triticale. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 20(106), 594-598.
- Tabassam, M., Hussain, M., Sami, A., Shabbir, I., Bhutta, A. N., Mubusher, M., & Ahmad, S. (2014). Impact of drought on the growth and yield of wheat. *Sci. Agric*, 7(1), 11-18.
- Taheri, S., Saba, J., Shekari, F., & Abdullah, T. L. (2011). Effects of drought stress condition on the yield of spring wheat (*Triticum aestivum*) lines. *African Journal of Biotechnology*, 10(80), 18339-18348.
- Terrile, I. I., Miralles, D. J., & González, F. G. (2017). Fruiting efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L): Trait response to different growing conditions and its relation to spike dry weight at anthesis and grain weight at harvest. *Field Crops Research*, 201, 86-96.
- Thapa, S., Xue, Q., Jessup, K. E., Rudd, J. C., Liu, S., Marek, T. H., ... & Baker, S. (2019). Yield determination in winter wheat under different water regimes. *Field Crops Research*, 233, 80-87.
- Velasco López, J. L., Soto Ortiz, R., Ail Catzim, C. E., Grimaldo Juárez, O., Avilés Marín, S. M., & Lozano del Río, A. J. (2020). Rendimiento de biomasa y grano en variedades de triticale en el valle de Mexicali. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(5), 1097-1109.
- Voltas, J., Lopez-Corcoles, H., & Borrás, G. (2005). Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. *European Journal of Agronomy*, 22(3), 309-324.
- Yang, Z. M., Nian, H., Sivaguru, M., Tanakamaru, S., & Matsumoto, H. (2001). Characterization of aluminium induced citrate secretion in aluminium tolerant soybean (*Glycine max*) plants. *Physiologia Plantarum*, 113(1), 64-71.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6), 415-421.
- Zahravi, M. (2009). Evaluation of genotypes of wild barley (*Hordeum spontaneum*) based on drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, (Iran). (4), 533-549.