



Universidad Tecnológica Nacional

“Efectos del cambio climático en trigo de invierno:
impacto del déficit hídrico y la secuencia de rotación
sobre la fisiología y rendimiento de *Triticum aestivum*”

Alumno: Anaclara Visconti Buttiero

Tutor: Dr. Lic. Mónica B. Ruiz

Co-Tutor: Dr. Agr. Nora Honsdorf

Co-tutor: Dr. Ing. Jorge Elía

2023

Agradecimientos

A la Dra. Mónica Ruiz por su guía, saberes y compañía durante este trayecto, también a la distancia. Por ser un ejemplo y motivación para este trabajo.

A la Dra. Nora Honsdorf por sus conocimientos, orientación y por hacerme sentir en casa en CAU. Gracias por acompañar desde el primer paso en Kiel hasta el último día.

Al Dr. Jorge Elía por todos sus conocimientos, guía y apoyo.

Al Prof. Dr. Henning Cage y la Dra. Insa Khuling.

A la Universidad Christian Albrechts, Kiel. A todo el personal del Instituto de Producción Vegetal y fitomejoramiento. A Doris y Anjoulie.

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, especialmente a la Ing. Marita Benavente

A la Universidad Tecnológica Nacional Villa María, a todo el personal y compañeros. A Celeste Acornero de biblioteca, y particularmente al Ing. Martín Córdoba.

A Jimena Trotteyn, Fabio Vázquez, Andrea Abarca, Eduardo Pucheta, Emilio Paroldi.

A mis amigos.

A mi familia.

El mundo es eso,
un montón de gente, un mar de fueguitos.
cada persona brilla con luz propia entre todas las demás.

No hay dos fuegos iguales.
Hay fuegos grandes y fuegos chicos
Y fuegos de todos los colores.

Hay gente de fuego sereno que ni se entera del viento,
y gente de fuego loco que llena el aire de chispas.
Algunos fuegos, fuegos bobos, no alumbran ni quemar;
pero otros, otros arden la vida con tantas ganas
que no se puede mirarlos sin parpadear,
y quien se acerca, se enciende.

E. Galeano

Resumen

El trigo (*Triticum* spp.) ocupa el tercer lugar en el suministro mundial de alimentos, Argentina es undécimo en el ranking mundial de productores. En la campaña 2020/21, la producción triguera cayó un 10,7% respecto de la campaña anterior, principalmente como consecuencia de la sequía, coincidiendo con el estado de emergencia hídrica a nivel nacional. Además, se conoce que los patógenos del suelo saprófitos como *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (*Ggt*), pueden colaborar con la disminución del rendimiento. Sabiendo que las condiciones hídricas y que el tipo de cultivo precedente podría influir en el rendimiento de la campaña, bajo la hipótesis: el trigo de invierno (*Triticum aestivum*) presenta diferencias que desfavorecen el desarrollo fisiológico y el rendimiento cuando está expuesto a situaciones de estrés hídrico y en repetidas posiciones en el sistema de rotación de cultivos. Este estudio pretende evaluar los efectos combinados del estrés hídrico, de la secuencia de rotación del cultivo y su combinación, sobre variables de rendimiento, morfológicas y fisiológicas del cultivo de *Triticum aestivum*, en un contexto de déficit hídrico y de uso no sustentable del suelo. El estudio se llevó a cabo en la estación experimental Hohenschule de la Universidad de Kiel, Alemania, los resultados son parte del proyecto RhizoWheat del Prof. Dr Henning Kage. Se estudiaron variables de rendimiento (rendimiento de grano, peso de mil granos, índice de cosecha y número de espigas), variables morfológicas (biomasa seca total, de espigas y de broza en distintas etapas fenológicas) y variables fisiológicas (índice de área foliar, índice de área verde, eficiencia en el uso de la radiación, radiación total absorbida, conductancia estomática), además de la infección por patógeno *Ggt*. Los resultados muestran que la mayoría de los parámetros evaluados en este trabajo difieren en primer lugar por el tipo de tratamiento de irrigación, en segundo lugar por el tratamiento de rotación del cultivo y en tercer lugar por la

interacción de ambos. Además, en casi todos los ensayos los mayores valores le corresponden al trigo irrigado con un cultivo precedente distinto a trigo, mientras que los menores valores son en trigo en sequía con un cultivo precedente de trigo de primavera. Se destaca que no se apreciaron diferencias significativas para los parámetros de índice de cosecha y peso de mil granos. El patógeno *Ggt* se hizo presente en todos los cultivos, fue el trigo irrigado con cultivo precedente de trigo primavera el más perjudicado. La variación en las mediciones da cuenta de la respuesta de adaptación a las situaciones de estrés por parte del cultivo de trigo.

Palabras claves: *Triticum aestivum* – cambio climático – déficit hídrico – pietín – rotación de cultivos

Índice

Resumen	3
Introducción	7
El trigo y su producción en Argentina.....	7
Cambio climático y sequía	10
Cultivo de trigo en condiciones de sequía	11
Efecto de un sistema de cultivo sin rotación: Enfermedad de “pietín”	13
Hipótesis y objetivos	15
Objetivo general:	15
Objetivos específicos:	15
Hipótesis:.....	16
Actividades y metodología.....	16
Sitio de estudio	16
Clasificación de etapas de desarrollo según la escala de Zadoks.....	18
Variables de rendimiento del cultivo	19
Peso de mil granos: TKW	19
Índice de cosecha	19
Número de espigas	19
Rendimiento de grano	20
Parámetros morfológicos.....	20
Biomasa seca total	20
Biomasa seca de espigas y broza.....	20
Variables fisiológicas.....	20
Mediciones del índice de área foliar	20
Área verde foliar.....	21
Medición de radiación absorbida	22
Medición de uso eficiente de la radiación (LUE).....	22
Mediciones de conductancia estomática	22
Evaluación de fitopatogenicidad por <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> (Ggt)	22
Análisis de datos.....	23
Resultados	25
Variables de rendimiento del cultivo	25
Peso de mil granos: TKW	25
Índice de cosecha	26
Número de espigas EC 59 y EC 73	26
Número de espigas EC 92	26
Rendimiento	27

Parámetros morfológicos.....	28
Biomasa seca total EC59 y EC73.....	29
Biomasa seca de espigas y broza.....	31
VARIABLES FISIOLÓGICAS.....	36
Mediciones de índice de área foliar.....	37
Área verde foliar.....	39
Medición de radiación absorbida	40
Radiación total absorbida	41
Uso eficiente de la radiación	42
Conductancia estomática.....	43
Infección por <i>Gaeumannomyces graminis var. tritici</i> (Ggt)	45
Evaluación de fitopatogenicidad por <i>Gaeumannomyces graminis var. tritici</i> (Ggt)	45
Discusión	47
Conclusiones	53
Bibliografía.....	55
ANEXO I: Análisis de la varianza	62

Introducción

El trigo y su producción en Argentina

El trigo es un cereal cultivado principalmente por su grano, muy utilizado en la alimentación humana y animal, y de la que existen numerosas variedades. Al igual que otros cereales su grano contiene almidón, lípidos, gluten, celulosa y distintas proteínas; todos estos elementos son básicos para la alimentación (Corral Torres, 2014). *Triticum* spp., nombre específico asignado al trigo, ocupa el tercer lugar en el suministro mundial de alimentos, sus productos cubren el 18% de las calorías del mundo y el 20% de la demanda mundial de proteínas (FAO, 2019).

El trigo harinero (*Triticum aestivum*) es el cereal más conocido, pertenece a familia Poaceae (Gramíneas), subfamilia Pooideae (Cronquist 1988). Ha sido el alimento básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia occidental y el norte de África durante más de 8.000 años. Se cultiva en diversas condiciones climáticas, desde zonas desérticas como gran parte de los EE.UU., Australia, Asia Occidental y África del Norte, hasta zonas con precipitaciones adecuadas para el cultivo durante toda la temporada como los países de Europa occidental (OMM, 2006)

En Argentina, la principal zona productora de este cereal es la región pampeana, donde la producción se obtiene casi exclusivamente en condiciones de secano y por ello los rendimientos tienen una fuerte dependencia de la disponibilidad de agua de lluvia (Hurtado *et al.*, 2009; Ojeda, 2015).

Para el año 2020, el principal productor mundial fue la Unión Europea (18,7%), seguido de China (18,0%), India (13,7%), Rusia (9,8%) y Estados

Unidos (7,0%), Argentina ascendió al puesto once del ranking mundial (2,4%). Anteriormente, en la década 2000-2009 Argentina ocupaba el puesto número 13º con alrededor del 2% de la producción mundial del periodo (Klein, 2019; FAOSTAT 2019; Paolilli *et al.*, 2021).

El trigo y sus subproductos son de gran importancia para la economía del país, el INTA 2021 (Paolilli *et al.*, 2021) ha informado que el mercado interno consume más del 85% de la producción de la harina de trigo, y que el excedente se destina a la exportación. En el mercado interno del país, es la industria de la panificación la que consume casi el 70% de la harina y abarca tanto la panificación artesanal como la industrial, siendo la primera la más significativa. El 30% restante se distribuye entre la industria de pastas frescas y secas, la de galletitas y bizcochos y como harina fraccionada para el consumidor final (Paolilli *et al.*, 2021).

Del trigo exportado para 2020 el principal destino del grano fue Brasil (42%), seguido por Indonesia con el 22%, Bangladesh con el 6%, Kenya con el 5%, Tailandia con el 5%. Además, Chile, Bolivia, Perú, Egipto, Etiopía, Colombia y Sudáfrica, han sido destinos del trigo en las últimas décadas, pero variando su posición (International Grains Council, 2020).

El promedio histórico de superficie destinada a este cultivo en nuestro país (1969-2017) ha sido de aproximadamente 5 millones de ha, con fluctuaciones que van desde 3 a 7 millones (MAGyP, 2017). Estas variaciones han sido explicadas por los efectos relacionados a la disponibilidad de recursos (principalmente agua) y a políticas internas (nivel de retención, precio de comercio, entre otros).

El último informe técnico publicado por INTA y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, evaluó la evolución de la superficie cosechada y el rendimiento del cultivo de trigo en Argentina durante las últimas dos décadas. De los datos mostrados, es importante recalcar que desde la campaña 2008/09 y hasta la campaña 2015/16 se observó una reducción de la superficie destinada a este cultivo y consecuentemente de la producción, lo que coincidió con problemas climáticos (sequías) y mayores restricciones a las exportaciones (suba de derechos de exportación y licencias no automáticas) (Klein, 2019).

Asimismo, para la campaña 2012/2013 se observa otra caída en ambos parámetros, causada por la disminución de los precios internacionales y una fuerte sequía resultó en la cosecha más baja de los últimos 33 años (8,0 millones de toneladas) (Paolilli *et al.*, 2021). En la campaña 2020/21, la producción triguera cayó un 10,7% (2,1 millones de toneladas) respecto de la campaña anterior, se atribuye esta caída principalmente a la sequía, que por un lado limitó el área sembrada, y por el otro disminuyó el rendimiento promedio por hectárea (Paolilli *et al.*, 2021).

De manera paralela, muchas veces la pérdida de rendimiento suele explicarse también por la presencia de infecciones en el suelo. Entre ellas, la infección por patógenos saprófitos como *Gaeumannomyces graminis var. tritici* (Ggt), causante de la enfermedad de "Pietín". Esta enfermedad se presenta con mayor grado cuando en el sistema de rotación se cultivan campañas sucesivas de trigo, de cereales u otros cultivos sensibles a la infección (Hornby, 1981; Shipton, 1981; Durán *et al.*, 2018).

Cambio climático y sequía

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Feo *et al.*, 2009).

En las últimas décadas América Latina ha evidenciado cambios en los patrones de precipitación, aumento de la temperatura, olas de calor, cambios en el uso del suelo, aumento en la desertificación del suelo, entre otros (Honty, 2007; Conde Alvarez y Saldaña, 2007; Altieri Y Nichols, 2008; Ortiz, 2012; IPCC, 2014; Uquillas Romo, 2019). Este cambio en la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos incluye períodos de sequía (Landa *et al.*, 2008).

El término sequía puede hacer referencia a la sequía meteorológica (precipitación bastante inferior al promedio), hidrológica (caudales fluviales bajos y niveles bajos en ríos, lagos y aguas subterráneas), agrícola (humedad del suelo baja) o medioambiental (combinación de las anteriores) (Bates *et al.*, 2008).

La disponibilidad del agua es el factor que más afecta el crecimiento y el rendimiento de las plantas, principalmente en regiones áridas y semiáridas, donde las plantas suelen experimentar períodos de déficit hídrico. Las respuestas de las plantas al déficit hídrico son influidas por el periodo, intensidad, duración y frecuencia del estrés, y las interacciones entre plantas, suelo y atmósfera (Khayatnezhad *et al.*, 2010; Saint Pierre *et al.*, 2012).

El estrés por sequía, es una condición en la que un suministro limitado de agua evita que el crecimiento o el rendimiento de una planta alcance su potencial genético, mientras pone en marcha los mecanismos vegetales de aptitud homeostática para compensar este déficit (Bürling *et al.*, 2013). Se ha descrito que los trigos duro y harinero son de los cultivos con la mayor influencia del creciente estrés hídrico y la escasez de agua (Karrou y Oweis, 2012; Ayed *et al.*, 2017)

En relación a la situación hídrica en Argentina, en 2021, se publicó el Decreto 482/2021 en el Boletín Oficial de la República Argentina declarando el “Estado de Emergencia Hídrica”, este se extendió en 2022 por el Decreto 118/2022, dentro de las consideraciones se menciona:

- “Que el déficit de precipitaciones en las cuencas brasileñas del río Paraná, del río Paraguay y del río Iguazú es uno de los factores determinantes para la bajante histórica actual, considerada la más importante en nuestro país en los últimos SETENTA Y SIETE (77) años.”
- “Que, asimismo, resulta pertinente que distintos Ministerios y Organismos Nacionales adopten las medidas conducentes, en el ámbito de sus competencias, a los fines de afrontar el “Estado de Emergencia Hídrica” que se declara por el presente decreto”

Cultivo de trigo en condiciones de sequía

Se estima que el rendimiento potencial de los cultivos se reduce en más del 70% debido a las limitaciones ambientales, de este 70% el estrés hídrico constituye hasta un 45% (Medrano y Flexas, 2004), así el déficit hídrico es el factor ambiental que más limita la producción vegetal. Existen estudios que

evidencian el impacto negativo de la sequía en el rendimiento de los cultivos causados por sequía, principalmente por estrés hídrico, pero también suelen asociar su efecto al consecuente estrés por calor (Asseng *et al.*, 2011).

La importante disminución en el rendimiento está dada porque el déficit hídrico afecta tanto el crecimiento como el desarrollo de la mayoría de las especies vegetales. Así, se menciona que ante estas condiciones, se reduce la interceptación de radiación solar (Robertson y Giunta, 1994) por una menor expansión y exposición de la superficie foliar, o por muerte de hojas (Siebert *et al.*, 2014; Rezaei. *et al.*, 2015). Afectando la fotosíntesis (Subrahmanyam *et al.*, 2006) y eficiencia de uso de la radiación (Robertson y Giunta, 1994; Abbate *et al.*, 1995 y 1997; Cantarero, 2018).

Además, entre otros aspectos negativos, se ha descrito la existencia de polen estéril, de granos expulsados antes de tiempo, de senescencia temprana, de reducción de la floración y fructificación, disminuyendo así el número de semillas y granos (Acevedo *et al.*, 2002; Boyer y Westgate 2004; Siebert *et al.*, 2014; Rezaei *et al.*, 2015; Cantarero, 2018). Morfológicamente algunas manifestaciones visuales de estrés, pueden ser deformaciones, amarillamiento de las hojas, manchas, necrosis y menor tamaño de la planta, entre otros (Benavides *et al.*, 2002).

Las plantas como organismos inmóviles no pueden eludir las condiciones ambientales desfavorables, por ello a lo largo de la evolución, han logrado diferentes mecanismos de respuesta y adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones ambientales adversas como el déficit hídrico o suelos con escasez de nutrientes (por ejemplo como consecuencia de monocultivos, etc). (Moreno, 2009; Siavichay, 2011; Neciosup Gallardo y

Vega Figueroa, 2020). Estas adaptaciones involucran tanto la protección a nivel celular como la respuesta en crecimiento a lo largo del desarrollo del cultivo (Chaves *et al.*, 2003; Moreno, 2009).

De esta manera, la aclimatación de las plantas, definida como las modulaciones adquiridas inducidas por la sequía en la función y estructura de los órganos de las plantas. Se presenta como respuestas rápidas, funcionales y reversibles. Entre ellas se menciona el cierre estomático, la reducción de la tasa de fotosíntesis, el cambio en el ángulo de inclinación de las hojas, lo que incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea, la disminución en la síntesis de proteínas, cambios en la transpiración, en la respiración, en la fotosíntesis y en la distribución de nutrientes, entre otros (Bradshaw, 1965 mencionado por Gianoli 2014; Poorter y Nagel, 2000; Heater *et al.*, 2004; Shao *et al.*, 2008; Neciosup Gallardo, J. A. y Vega Figueroa, 2020).

Efecto de un sistema de cultivo sin rotación: Enfermedad de “pietín”

En la búsqueda de una agricultura en la que se explote al máximo el rendimiento de algunos cultivos y por la ventaja económica relativamente alta del trigo en comparación con otros cultivos, se han aplicado prácticas de manejo de intensificación de uso de suelo no sustentables, entre ellas se menciona la falta de rotación adecuada, aumentando la proporción de trigo cultivado luego de otra campaña de trigo.

Aunque estas técnicas parecen exitosas, traen consigo consecuencias ambientales negativas que se manifiestan, entre otras, como mayor

susceptibilidad a la sequía y a infecciones por patógenos saprófitos, como *Gaeumannomyces graminis var tritici*. Las que con el paso del tiempo afectarán la productividad y sustentabilidad del suelo, afectando la posibilidad de obtener cultivos sanos y de alto rendimiento. (Wick, 1997; Yakovchenko *et al.*, 1996; Acevedo y Silva, 2003; West y Marland, 2002; Sieling *et al.*, 2005; Shertzer, 2013).

La infección por el patógeno *Ggt*, es la enfermedad más importante para trigo en la región productora de Argentina (Carrasco *et al.*, 2009; Prioletta, 2015). Afecta al cultivo principalmente a través de la pudrición de la raíz y de la corona. En inglés, se la denomina "take all", que significa "toma todo" por las epifitas graves causadas en Australia, y las pérdidas económicas de importancia mundial (Simón y Golik, 2020).

Estos microorganismos sobreviven después de la cosecha de un cultivo susceptible a la infección. Lo hacen de forma saprofita, en los residuos de los cultivos infectados, como raíces muertas o coronas, y en gramíneas cultivadas nativas o invasoras como *Bromus spp.*, *Agropyron spp.* y *Agrostis spp.*, *Cynodon spp.*, *Festuca spp.*, *Lolium spp.*, *Dactylis spp.*, *Poa spp.*, *Hordeum spp.*, *Echinochloa spp.*, entre otros (Carrasco *et al.*, 2009; Prioletta, 2015; Simón y Golik, 2020).

Como características generales puede observarse que las plantas afectadas poseen menor cantidad de macollos, menor altura y espiguillas totalmente vanas. Los entrenudos basales presentan color pardo oscuro, brillante, con manchas de color marrón oscuro con costras de micelio aterciopelado (Carrasco *et al.*, 2009; Simón y Golik, 2020). Las infecciones radicales se producen desde el inicio del cultivo y progresan hacia la zona de la corona

(Carrasco *et al.*, 2009; Simón y Golik, 2020). Las raíces principales y secundarias se vuelven totalmente grises y no funcionales. Puede observarse una podredumbre seca asociada con la formación de filamentos de color castaño oscuro que constituyen el cuerpo del hongo. Con la descomposición de las raíces, la corona y el culmo basal, se ve afectado su funcionamiento, así hay una menor absorción de agua y nutrientes, incluyendo nitrógeno (Carrasco *et al.*, 2009; Paulitz *et al.*, 2010; Macdonal y Gutteridge, 2012; González-Castillo *et al.*, 2018; Simón y Golik, 2020).

Hipótesis y objetivos

De los antecedentes enunciados se desprenden los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar los efectos combinados del estrés hídrico y la secuencia de rotación del cultivo sobre variables ecofisiológicas y de rendimiento del cultivo de *Triticum aestivum*, en un contexto de cambio climático y de uso no sustentable del suelo.

Objetivos específicos:

- ✓ Cuantificar variables fisiológicas asociados a la estrategia de uso eficiente de recursos durante el desarrollo del cultivo (conductancia estomática, índice de área foliar, índice de área verde, eficiencia en el uso de la radiación y radiación total absorbida) en distintas condiciones hídricas y de rotación.

- ✓ Evaluar y comparar componentes de rendimiento y morfológicos (biomasa seca en distintas fases fenológicas, número de espigas, peso seco de órganos

vegetales, índice de cosecha y peso de mil granos) en diferentes combinaciones de oferta hídrica y secuencia de cultivo.

✓ Cuantificar y caracterizar el grado de infección por patógeno *Gaeumannomyces graminis var. Tritici* (Ggt) en función de la irrigación y la secuencia del cultivo en el sistema de rotación.

✓ Con base en la información generada proponer pautas de manejo del cultivo que apunten a la sostenibilidad ambiental en un contexto de cambio climático y uso no sustentable del suelo.

Hipótesis:

De los antecedentes obtenidos se plantea la siguiente hipótesis:

El trigo de invierno (*Triticum aestivum*) presenta diferencias que desfavorecen el desarrollo fisiológico y el rendimiento cuando está expuesto a situaciones de estrés hídrico y en repetidas posiciones en el sistema de rotación de cultivos.

Actividades y metodología

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en la estación de campo experimental Hohenschulen de la Christian - Albrechts - Universität, Kiel, Alemania. El diseño experimental consistió en doce parcelas, distribuidas en una cuadrícula de 3 x 4. El área total de cada parcela fue de 3,00 m x 7,20 m (21,6 m²).

Los tratamientos a evaluar en este estudio fueron el resultado de la combinación de los siguientes factores de estrés: a) tipo de irrigación: riego óptimo (Irrigado) y sequía (Sequía), b) cultivo precedente al trigo: haba (T1) y trigo de primavera (T2).

Se aplicó haba (*Vicia Faba*) como pre-cultivo (T1) a seis parcelas, y trigo de primavera (T2) a las seis restantes. Para cada tratamiento de pre cultivo (T1 y T2), se aplicó aleatoriamente el tratamiento de riego. La figura 1 muestra la distribución de las parcelas y tratamientos en el campo experimental. Así, se obtuvieron 4 tratamientos, con tres repeticiones cada uno.

Los tratamientos a evaluar fueron:

- Seq.T1: Sequía y cultivo precedente haba
- Seq.T2: Sequía y cultivo precedente trigo de primavera
- Irri.T1: Irrigación y cultivo precedente haba
- Irri.T2: Irrigación y cultivo precedente trigo de primavera

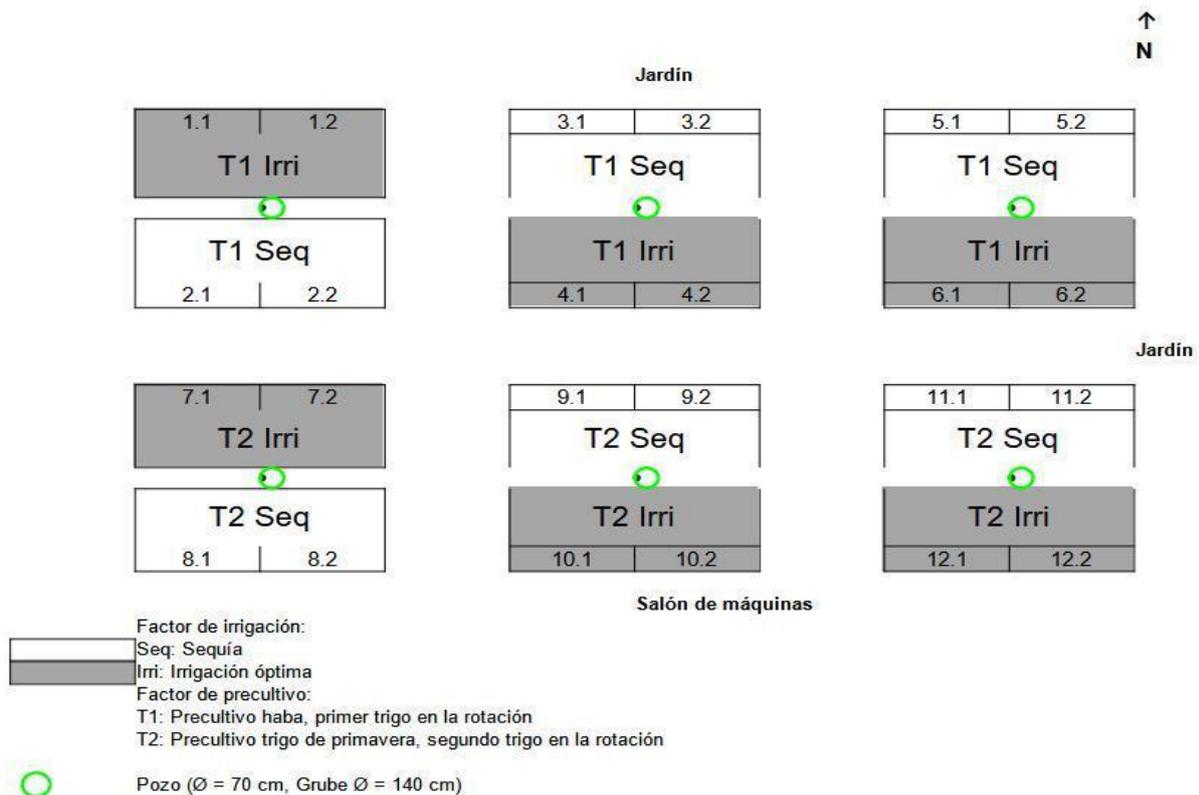


Figura 1: Plano de distribución de parcelas y tratamientos

Clasificación de etapas de desarrollo según la escala de Zadoks

Para describir los estadios de desarrollo morfológico externo del cultivo de trigo se utilizará la escala de Zadoks (Satorre *et al.*, 2003). Esta consiste en 10 estados principales para todo el ciclo del cultivo (0, 1, 2..., 9) y, en 10 estados secundarios (0, 1, 2..., 9). Cada estado individual se indica con el prefijo DC (código decimal) seguido por un número de dos dígitos formado por la unión del estado principal y el secundario (Abadía *et al.*, 2017). Para aplicar esta escala se observaron plantas individuales hasta que el 50% de ellas alcanzó cierto estado, y allí se generalizó al resto del cultivo. En este trabajo se consideran las etapas EC32, EC59, EC73, EC92. EC32 corresponde

a la elongación del tallo con dos nudos detectables, EC59 a la emergencia completa de la espiga, EC73 a la aparición de un grano lechoso temprano, por último, EC92 aplica a un estado de madurez del grano duro que no puede marcarse con la uña (Abadía *et al.*, 2017).

Variables de rendimiento del cultivo

Peso de mil granos: TKW

Para cuantificar el rendimiento del trigo se midió “Peso de mil granos”, conocido como TKW por sus siglas en inglés “Thousand Kernel Weight”. El peso de 1000 granos es el peso en gramos de 1000 semillas de una muestra de grano. Para ello, se cosechó 1 m² de cada parcela en EC92, se tomaron los granos enteros, con cuidado de eliminar los granos rotos y cascarillas, no se descartaron los granos pequeños. Se contaron 200 granos, y se pesaron, este resultado se multiplicó por 5.

Índice de cosecha

HI, por sus siglas en inglés “Harvest Index”, muestra la partición de foto asimilados hacia los granos. Para ello se dividió el rendimiento del grano en la biomasa, según:

$$\text{HI (Índice de Cosecha)} = \frac{\text{rendimiento del grano}}{(\text{biomasa seca de broza} + \text{biomasa seca de espiguilla})}$$

Número de espigas

Se cosechó material vegetal de 0,25 m² de cada parcela, en tres cosechas durante las etapas de desarrollo del trigo EC59, EC73 y EC92 según la escala de Zadocks, que corresponden a elongación del tallo con 2 entrenudos detectables, emergencia completa de la inflorescencia, y comienzo del grano lechoso, respectivamente. Se separó el material vegetal de manera manual (espigas y tallos), se contó el número de espigas.

Rendimiento de grano

A partir de la materia cosechada en EC 92, se trillaron las espigas y de los granos obtenidos se pesó la biomasa seca para obtener rendimiento por unidad de superficie (m^2).

Parámetros morfológicos

Biomasa seca total

Se pesó la materia seca (g/m^2) a partir del material fresco de cosecha, que se obtuvo desde el ras del suelo, después de dejarlo secar a $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante al menos 48 hs. Se registró el peso para biomasa seca total en los estados EC32, EC59 y EC73.

Biomasa seca de espigas y broza

Se pesó la materia seca (g/m^2) a partir del material fresco de cosecha, después de dejarlo secar a $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante al menos 48 hs. se pesó la biomasa seca de broza y espigas en los estados EC 59, EC79, EC 92

Variables fisiológicas

Mediciones del índice de área foliar

LAI, por sus siglas en inglés "Leaf Area Index". Se utilizó un método de medición no invasivo con el instrumento analizador del dosel de la planta LAI- 2000. Se realizaron lecturas simultáneas del dosel inferior y superior, una vez por semana, en cielo nublado y poco viento, durante el final de la mañana y el comienzo de la tarde. Se obtuvieron cinco lecturas de cada parcela. Además, se utilizaron tapas de 90 ° grados para ambos sensores. Las lecturas de LAI se tomaron de acuerdo al manual de instrucciones de cultivos (LI-COR, 1992).

Área verde foliar

La obtención del Área Verde Foliar, GAI por sus siglas en inglés “Green Area Index” para trigo se realizó a través de la interpolación de datos multiespectrales de imágenes obtenidas de distintos días durante los meses de desarrollo del cultivo, se llevó a cabo a través del modelo VIQUO desarrollado y calibrado por Bukowiecki *et al.*, 2020.

Según Bukowiecki *et al.*, 2020 para el modelo se tomaron imágenes de las parcelas con un vehículo aéreo no tripulado, dron, que sobrevuela los cultivos portando una cámara multiespectral “Parrot Sequoia” (Parrot Drones SAS, France, Paris). El dron utilizado es eBee, desarrollado por senseFly. Para el control del vuelo se utiliza el software eMotion3 de senseFly.

El sensor multiespectral de la cámara toma imágenes simultáneas en cuatro bandas de reflexión; verde (550 nm), rojo (660 nm), borde rojo (RE, 735 nm) e infrarrojo cercano (NIR, 790 nm). Las bandas de reflexión tienen un ancho de banda de 40 nm, RE será solo de 10 nm. Antes de cada vuelo, se realizan las imágenes del objetivo en escala de grises para la calibración radiométrica. La resolución elegida fue de 8 x 8 cm píxel⁻¹. Todas las imágenes son preprocesadas posterior al vuelo en eMotion 3 y luego importadas y procesadas usando Pix4Dmapper software (Pix4D SA., Suiza).

Los resultados dan cuatro mapas de reflexión, uno para cada banda de onda. La extracción de los datos de reflectancia se realizó en QGIS. versión 3.8.0 (QGIS Development Team, 2018). Así, se utilizó el modelo VIQUO calibrado, este es un índice de vegetación (VI) que combina todas las bandas espectrales como cocientes basados en NIR.

Medición de radiación absorbida

Para calcular la radiación absorbida, se obtuvo primeramente la radiación fotosintéticamente activa desde datos meteorológicos que se tomaron con un sensor en el área de estudio durante los meses de desarrollo del cultivo.

Luego se calculó la radiación absorbida por día y metro cuadrado, a partir de los valores de índice de área verde foliar (GAI), de la radiación fotosintéticamente activa y de un coeficiente de extinción (0.7). Según la siguiente fórmula, a través del programa estadístico R studio:

$$\text{Radiación Absorbida} = (1 - \exp(-0.7 * \text{Green Area Index})) * \text{Radiación fotosintéticamente activa}$$

Medición de uso eficiente de la radiación (LUE)

LUE, por sus siglas en inglés “Light Use Efficiency”. Se calculó a partir de los resultados de biomasa obtenidas y la radiación absorbida, a través del software R studio. Para cuatro estados fenológicos: EC32, EC59, EC73, EC92 según la escala de Zadocks.

Mediciones de conductancia estomática

Se utilizó el instrumento porómetro de hoja portátil SC-1. Las mediciones se realizaron con cielo despejado y viento ligero, durante el mediodía, alrededor de las 10:30 a.m. y hasta a las 2:00 p.m. Se realizaron tres lecturas sobre diferentes hojas, elegidas al azar, las más jóvenes completamente emergidas y que reciban luz solar, de cada una de las parcelas estudiadas. Las mediciones se realizaron una vez a la semana, sobre la superficie superior (adaxial) de la hoja y se llevaron a cabo como se describe en detalle en Pask *et al.*, 2012.

Evaluación de fitopatogenicidad por *Gaeumannomyces graminis var. tritici* (Ggt)

Se cosechó una hilera de 0,50 m de largo x 0,15 m de ancho, se procuró recuperar todas las raíces de las plantas obtenidas. Las raíces se lavaron con agua corriente y se realizó la clasificación de patogenicidad según la intensidad de los síntomas morfológicos de la infección siguiendo la clasificación del nivel de infección según MIELKE (1974) que se detalla en la tabla 1.

Tabla 1: Esquema de puntuación para Pietín según Mielke, 1974

Nivel	Síntomas	Proporción de raíces afectadas (%)
1	Sin infección	0
2	1-2 manchas marrones o 1-2 raíces ligeramente amarillas	0,10 - 2,5
3	Varias manchas marrones y/o 2-3 raíces amarillentas	2,6 - 10
4	Pardeamiento de raíces bien visible	10,1 - 20
5	Pardeamiento muy visible, en parte solo quedan tocones de raíz	20,1 - 35
6	Aproximadamente la mitad del sistema de raíces está oscuro	35,1 - 55
7	Alrededor de 2/3 del sistema de raíces está oscuro	55,1 - 75
8	Aproximadamente el 85% del sistema radicular se ve afectado	75,1 - 95
9	Sistema radicular completamente destruido	95,1 - 100

Análisis de datos

Los datos obtenidos en este trabajo fueron analizados con el software libre R versión 3.6.1. y el software libre Infostat 2020. Algunos de los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), donde los factores a evaluar fueron tipo de riego, tipo de precultivo e interacción tipo de riego y tipo de precultivo. En la mayoría de los casos divididos por etapas de desarrollo del trigo

(EC en la escala de Zadok). Las diferencias significativas entre las medias se compararon, en algunos casos con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) y en otros casos con la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$). Estos resultados, una vez analizados se utilizarán para proponer las pautas de manejo del cultivo, donde se considere el contexto ambiental actual, el rendimiento del cultivo y el uso no sustentable del suelo. Los datos y resultados aquí obtenidos forman parte del proyecto “RhizoWheat”, coordinado por el Prof. Dr. Henning Kage, de la Universidad Christian Albrechts, Kiel.

Resultados

Variables de rendimiento del cultivo

Considerando los componentes de rendimiento evaluados, es posible observar que los parámetros de rendimiento de grano y número de espigas EC92 presentaron diferencias significativas según las variables estudiadas. El primero se diferenció por tipo de irrigación, mientras que el segundo lo hizo por tipo de precultivo. No se observaron diferencias significativas en la interacción de tipo de irrigación y precultivo en ninguna variable. Los parámetros peso de mil granos (TKW), índice de cosecha (HI), número de espigas EC59 y número de espigas EC73 no presentaron ninguna diferencia significativa.

Tabla 2: Valor de p de componentes del rendimiento para el tipo de irrigación, precultivo e interacción de tipo de irrigación-precultivo. Separación de medias según test de LSD Fisher para tipo de irrigación, precultivo e interacción tipo de irrigación precultivo ($p \leq 0,05$), aquellos resultados que presentan diferencias significativas se encuentran resaltados con un asterisco.

	TKW	HI	Núm. De espigas EC59	Núm. De espigas EC73	Núm. De espigas EC92	Rendimiento de grano
Tipo de irrigación (i)	0,3089	0,7169	0,3608	0,3207	0,1821	0,0085*
Pre cultivo (pc)	0,4303	0,4758	0,3831	0,5362	0,0283*	0,1161
i x pc	0,3603	0,2975	0,3207	0,1821	0,3589	0,594

Conforme a lo presentado en la Tabla 2, ciertos parámetros no presentan diferencias significativas. Sin embargo, en ellos se observa una tendencia en la respuesta de los cultivos, que se describen a continuación

Peso de mil granos: TKW

Los resultados para el peso de mil granos (TKW) muestran que en condiciones de irrigación aquellos granos T2 presentaron valores mayores de TKW, mientras que bajo condiciones de sequía fueron los granos de cultivos T1. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre los casos evaluados.

Índice de cosecha

El resultado para índice de cosecha muestra que en condiciones de irrigación, los cultivos T2 obtuvieron una mayor variación en el índice, presentando valores más altos y más bajos que T1. Mientras que en cultivos expuestos a sequía, fue T1 quien presentó los valores más altos en comparación a T2. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre los casos estudiados.

Número de espigas EC 59 y EC 73

Respecto al número de espigas, para el estado fenológico EC59, los valores más altos y más bajos correspondieron a los cultivos irrigados, al T1 y T2 respectivamente. En cultivos bajo sequía el mayor valor le correspondió a los cultivos T2. No se observan diferencias significativas para este parámetro.

Para el estado siguiente, EC73, los valores más altos correspondieron a los cultivos irrigados, siendo el T1 el de mayor valor. Mientras que los menores valores le correspondieron a T1 sequía. Nuevamente, no se observan diferencias significativas.

Número de espigas EC 92

El número de espigas medido en el último estado estudiado, EC 92, mostró que el mayor número de espigas le correspondió a los cultivos irrigados y con T1, seguido de los de sequía con T1, luego irrigados con T2 y por último, sequía con

T2. Cabe destacar que no se observaron diferencias significativas entre tipo de riego e interacción tipo de riego- precultivo, si no que las diferencias significativas son por tipo de precultivo ($p=0,0283$) (Figura 2).

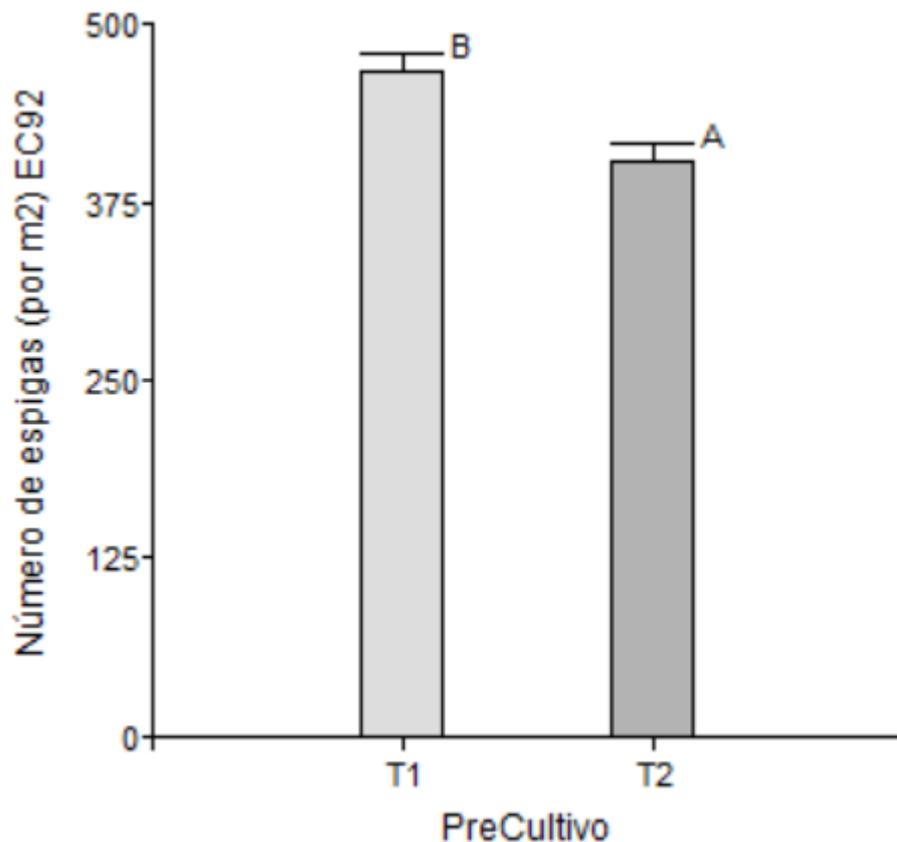


Figura 2: Número total de espigas en estados fenológico EC92. En función del factor de cultivo precedente, donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Rendimiento

Los resultados indican que para el rendimiento del grano (peso seco en g/m^2) por metro cuadrado, las diferencias significativas son dadas por el tipo de irrigación ($p=0,0085$), mientras que no se explican por precultivo ni interacción de variables. Además, considerando la tendencia antes mencionada, se observan

que los mayores valores corresponden a trigo T1 bajo condiciones de irrigación, y los menores a trigo T2 en sequía.

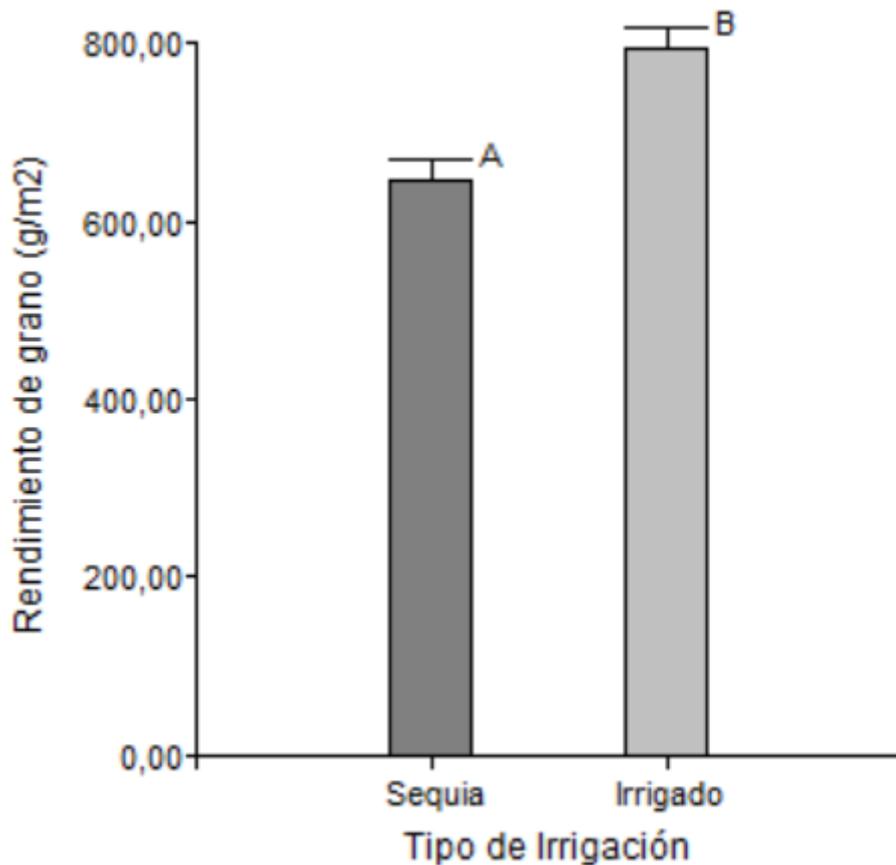


Figura 3: Biomasa seca de grano (g/m²) en función del factor de irrigación. Donde sequía e irrigado corresponden a los tratamientos aplicados respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Parámetros morfológicos

Los resultados de los parámetros morfológicos medidos muestran que el tipo de irrigación explicó la diferencia significativa en los parámetros de biomasa seca total EC59, biomasa seca total EC73, biomasa seca de broza en sus tres estadios (EC59, EC73 y EC92), biomasa seca de espigas EC59 y EC92. Por otro lado, la diferencia significativa entre precultivos se explica en biomasa seca total EC59, biomasa seca de broza EC73 y EC92, y biomasa seca de espigas EC59. Por último,

respecto a la diferencia significativa entre tipo de irrigación y precultivo fueron los parámetros biomasa seca total EC59, biomasa seca de broza EC59 y EC73, Biomasa de espigas EC59 los afectados (Tabla 3).

Tabla 3: Valor de p de parámetros morfológicos para el tipo de irrigación, precultivo e interacción de tipo de irrigación-precultivo. Separación de medias según test de LSD Fisher para tipo de irrigación, precultivo e interacción tipo de irrigación precultivo ($p \leq 0,05$), aquellos resultados que presentan diferencia significativa se encuentran resaltados con asteriscos.

	Biomasa seca total EC32	Biomasa seca total EC59	Biomasa seca total EC73	Biomasa seca broza EC59	Biomasa seca broza EC73	Biomasa seca broza EC92	Biomasa seca espigas EC59	Biomasa seca espigas EC73	Biomasa seca espigas EC92
Tipo de irrigación (i)	0,4423	0,0297*	0,0054*	0,0038*	0,0001*	0,016*	0,0036*	0,292	0,0142*
Pre cultivo (pc)	0,5161	0,0011*	0,747	0,0019*	0,9450	0,2554	0,0014*	0,5751	0,2609
i x pc	0,6592	0,0038*	0,1048	0,0058*	0,050*	0,4211	0,0059*	0,2936	0,5024

Al considerar las diferencias significativas descritas en la Tabla 3, se observa que para ciertos parámetros no existieron diferencias significativas. Sin embargo, al analizar los resultados se observa una tendencia de respuesta en los cultivos. En este sentido, se describe a continuación las tendencias para cada uno de estos ensayos.

Biomasa seca total EC59 y EC73

Para la etapa 59, en ambos tratamientos de riego los cultivos con pre cultivo T1 presentaron mayor cantidad de biomasa seca, que aquellos con pre cultivo T2. Las diferencias significativas observadas corresponden a diferencia por tipo de

irrigación ($p= 0,0295$), tipo de precultivo ($p= 0,0011$) y por interacción tipo de irrigación y pre cultivo ($p= 0,0038$) (Figura 4).

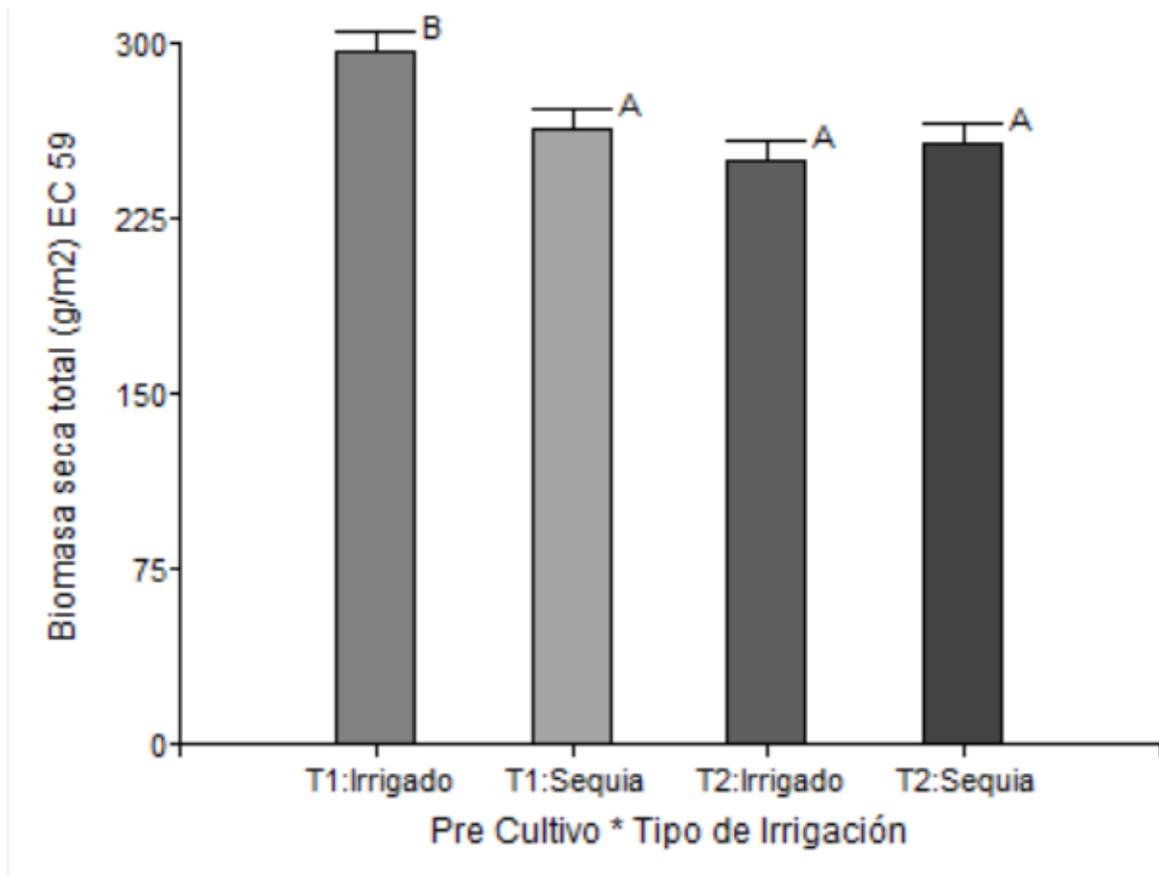


Figura 4: Biomasa seca total para el estado EC59 (g/m^2) en función de la interacción de tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Donde Sequía e Irrigado corresponde a los tratamientos de tipo de riego respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Para la etapa de desarrollo 73, en las parcelas irrigadas, los mayores valores de biomasa seca corresponden al T1, al igual que para aquellas plantas bajo sequía. El menor peso de biomasa se asocia al T2 en sequía. La diferencia significativa se explica por tipo de irrigación ($p=0,0054$) (Figura 5).

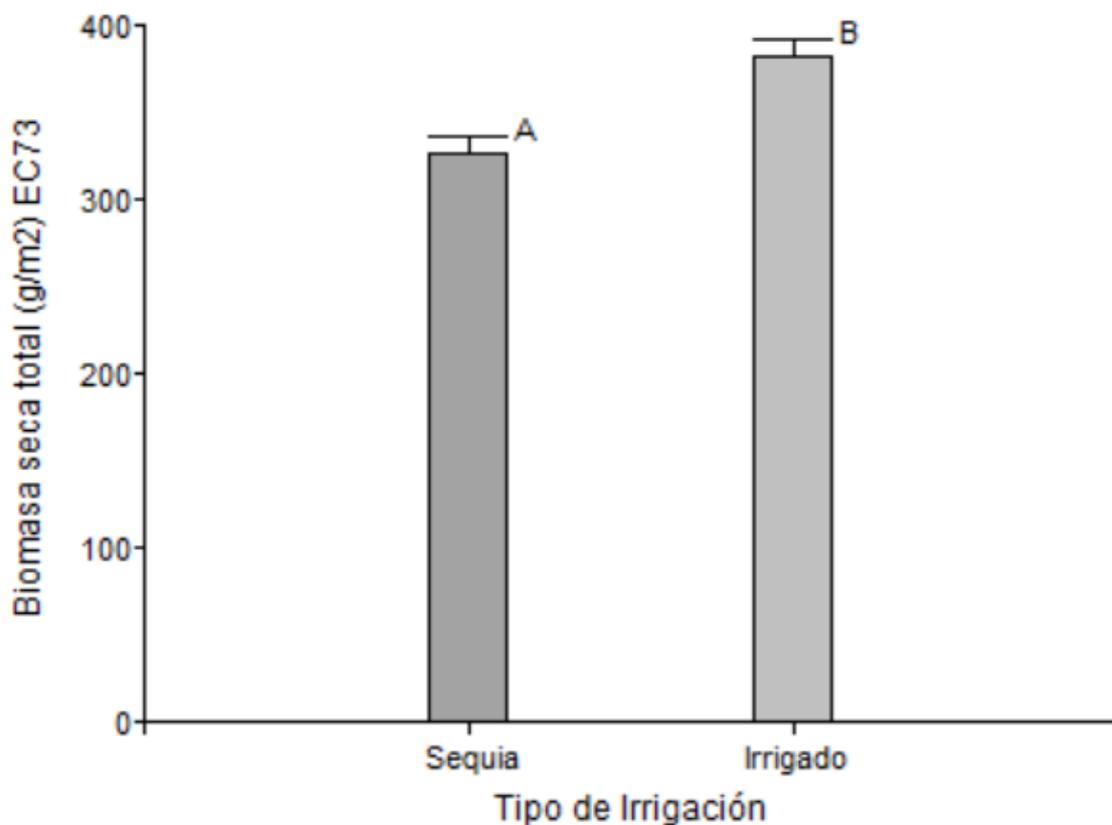


Figura 5: Biomasa seca total para el estado EC73 (g/m^2) en función del factor de irrigación. Donde sequía e irrigado corresponden a los tratamientos aplicados respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Biomasa seca de espigas y broza

Respecto a la biomasa de broza, para el primer estado de desarrollo estudiado EC 59, se observa que los mayores pesos para la biomasa de broza corresponden a los cultivos irrigados con trigo en T1, y el menor valor corresponde a los cultivos irrigados con T2. En este estado (EC59) las diferencias significativas se explican por tipo de irrigación ($p=0,0038$), tipo de precultivo ($p=0,0019$) e interacción tipo de irrigación y pre cultivo ($p=0,0058$) (Figura 6).

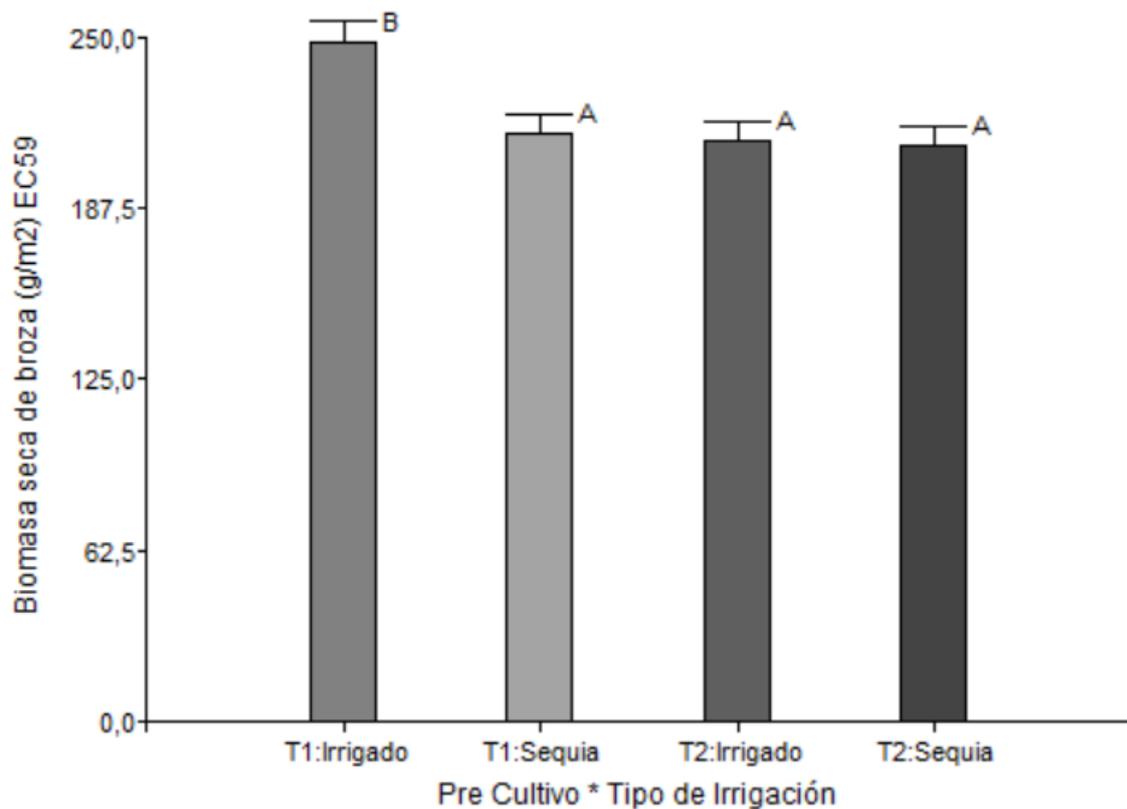


Figura 6: Biomasa seca de broza para el estado EC59 (g/m^2) en función de la interacción de tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Donde Sequía e Irrigado corresponde a los tratamientos de tipo de riego respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

En el siguiente estado, EC73, se observa que los cultivos irrigados obtuvieron los mayores pesos de biomasa seca de broza comparados con los bajo sequía, con los menores valores. Las diferencias significativas se explican por tipo de irrigación ($p=0,0001$) e interacción tipo de irrigación y pre cultivo ($p=0,050$) (Figura 7).

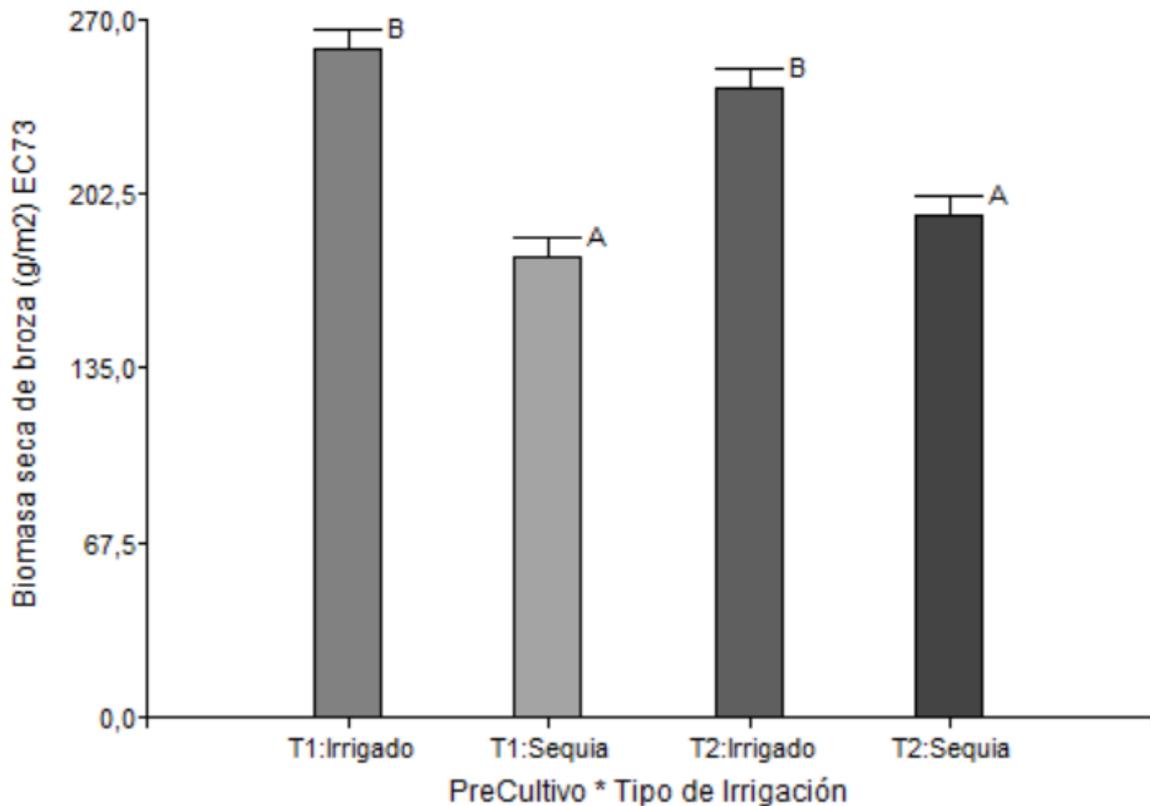


Figura 7: Biomasa seca de broza para el estado EC73 (g/m^2) en función de la interacción de tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Donde Sequía e Irrigado corresponde a los tratamientos de tipo de riego respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Por último, en el estado 92, se describe una caída en el peso de la biomasa de broza para todos los tratamientos, coincidente con el estadio de maduración. El mayor valor corresponde a los cultivos irrigados con T1, y el menor valor corresponde a los cultivos bajo sequía con T2. La diferencia significativa se da por el tipo de irrigación ($p=0,016$) (Figura 8). Cabe destacar que este es el final del desarrollo del cultivo y por tanto el resultado que mayor describe el impacto de las variables. Por tanto, fue el tipo de irrigación lo que afectó principalmente a la biomasa de broza.

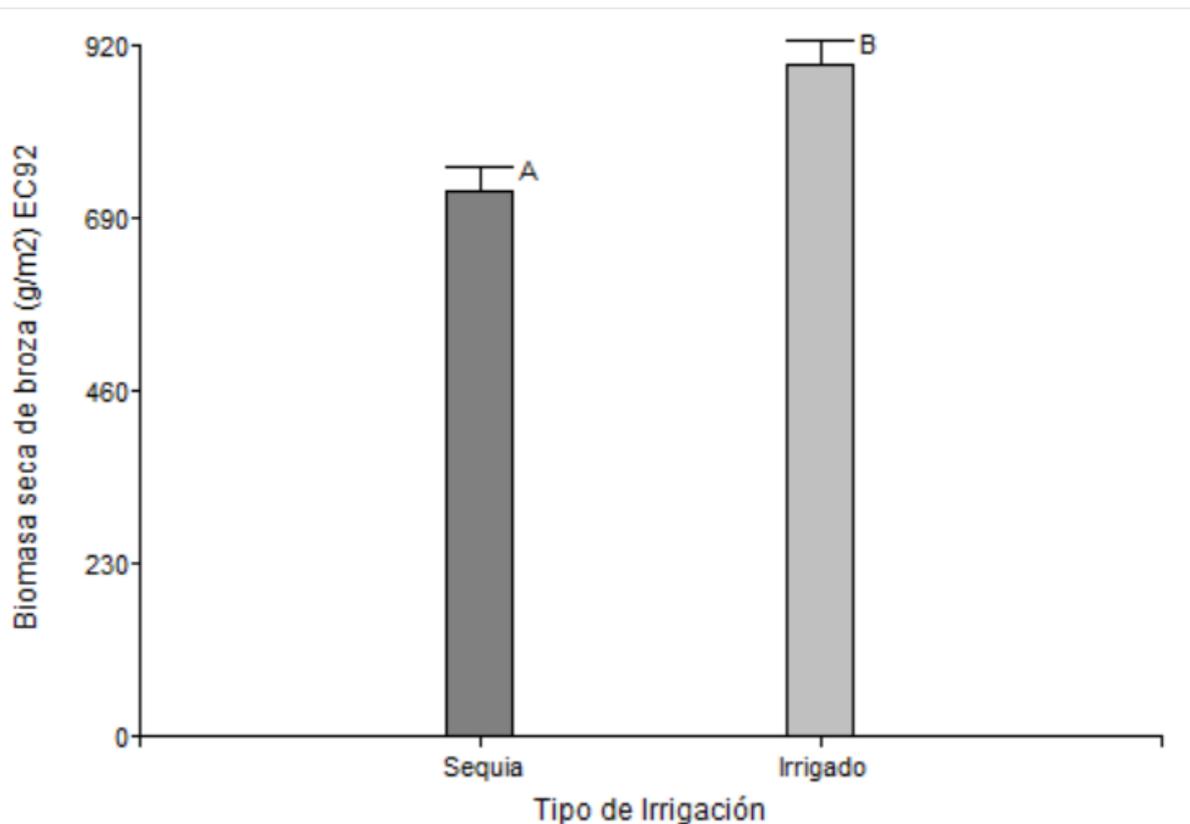


Figura 8: Biomasa seca de broza para el estado EC92 (g/m^2) en función del factor de irrigación. Donde sequía e irrigado corresponden a los tratamientos aplicados respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Respecto a la biomasa seca de espiga, se observa que para el primer estadio evaluado (EC59) los valores más altos corresponden a trigo T1 irrigado, seguido de trigo T2 irrigado. Mientras que los menores valores corresponden al tratamiento de sequía T1 y por último T2. Las diferencias significativas se explican por tipo de irrigación ($p=0,0036$), tipo de pre cultivo ($p=0,0014$) e interacción tipo de irrigación y pre cultivo ($p=0,0059$) (Figura 9).

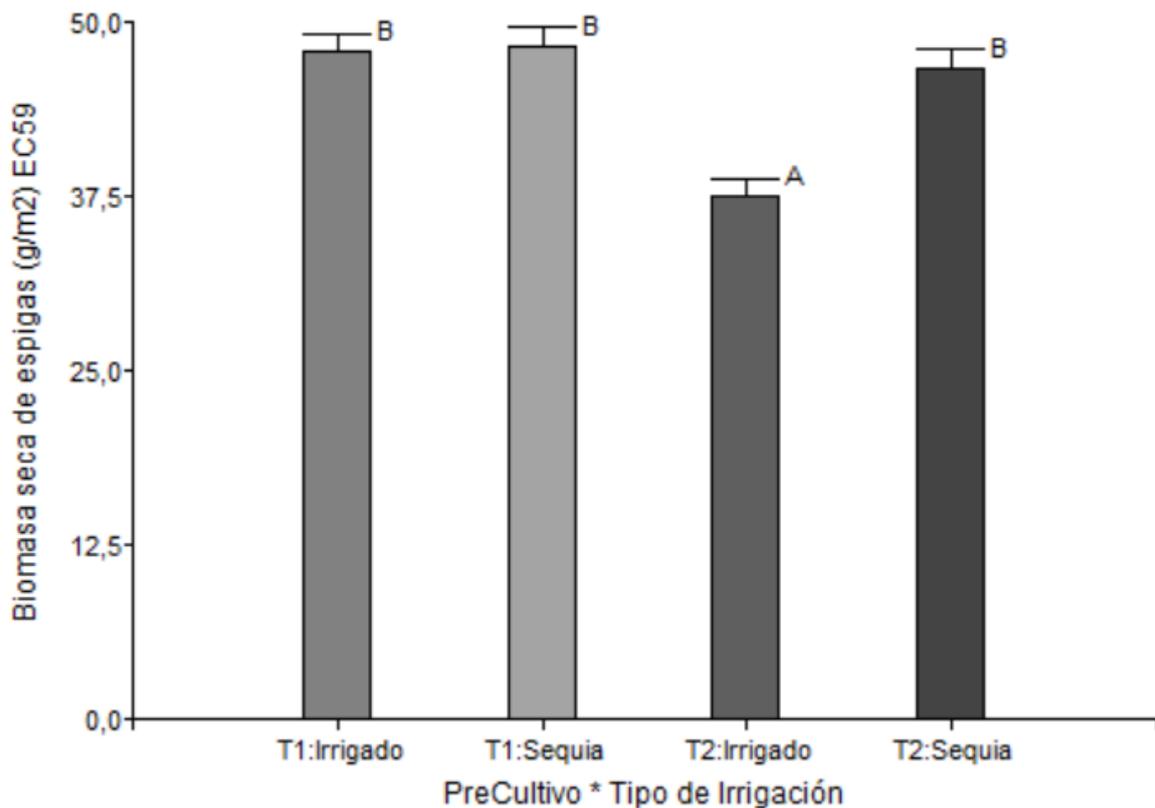


Figura 9: Biomasa seca de espiga para el estado EC59 (g/m^2) en función de la interacción de tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Donde Sequía e Irrigado corresponde a los tratamientos de tipo de riego respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Finalmente, en EC92, los de mayor peso son los cultivos irrigados con T1, seguido de cultivos irrigados en T2 y cultivos sequía en T1, por último el menor peso corresponde a los cultivos bajo sequía con T2. Las diferencias significativas se explican por el tipo de irrigación ($p=0,0142$) (Figura 10). Cabe destacar que, al igual que con la biomasa seca de broza, este estadío corresponde al final del desarrollo del cultivo y por tanto el resultado que mayor describe el impacto de las variables. Así, es el tipo de irrigación lo que afectó principalmente a la biomasa de espiga.

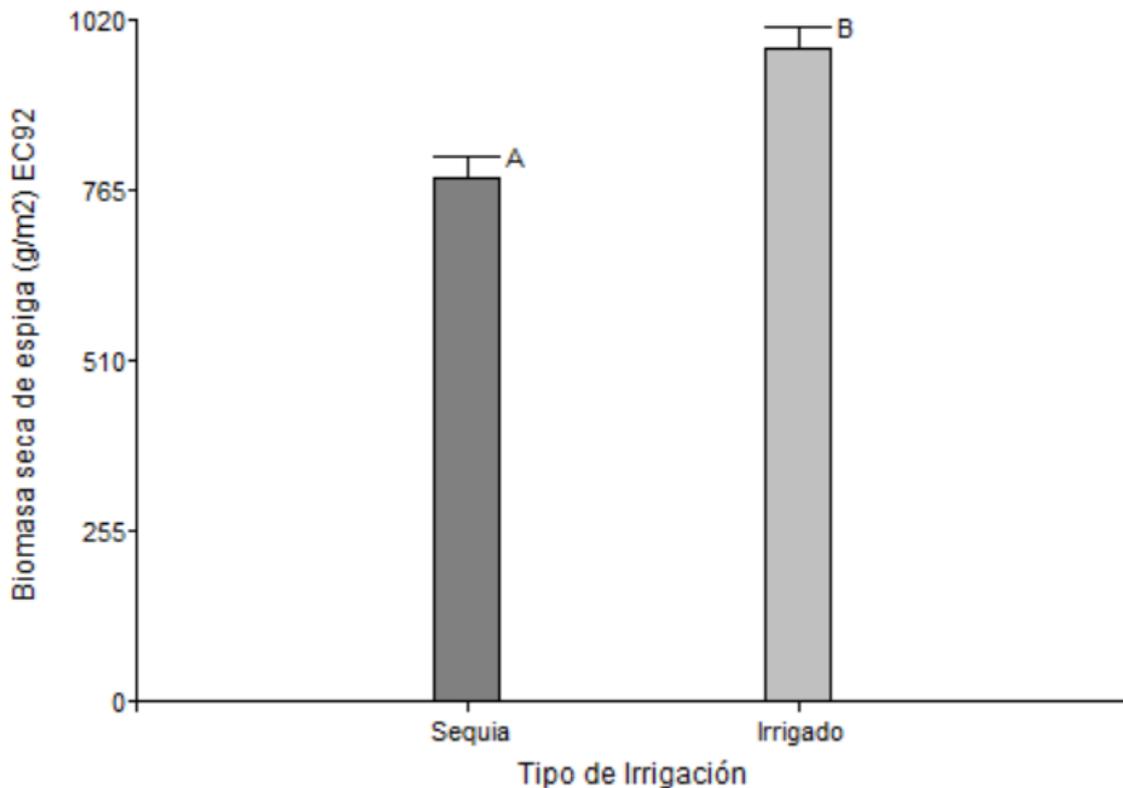


Figura 10: Biomasa seca de espiga para el estado EC92 (g/m²) en función del factor de irrigación. Donde sequía e irrigado corresponden a los tratamientos aplicados respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Variables fisiológicas

En cuanto a las variables fisiológicas estudiadas, se observa que las diferencias significativas entre tipo de irrigación se dan en índice de área foliar, radiación total absorbida, uso eficiente de radiación EC 73 y 92 y conductancia estomática. Mientras tanto, también existieron diferencias significativas entre pre cultivo pero en las variables radiación total absorbida y uso eficiente de radiación EC59. Por último, fueron los parámetros índice de área foliar, radiación total absorbida y uso de radiación EC59 los que mostraron interacciones significativas entre tipo de irrigación y precultivo. (Tabla 4). Asimismo, se detalla la evolución de área verde foliar y radiación absorbida durante el desarrollo del cultivo.

Tabla 4: Valor de p de variables fisiológicas para el tipo de irrigación, precultivo e interacción de tipo de irrigación-precultivo. Separación de medias según test de LSD Fisher y según Test de Tukey para tipo de irrigación, precultivo e interacción tipo de irrigación precultivo ($p \leq 0,05$), aquellos resultados que presentan diferencia significativa se encuentran resaltados con asteriscos.

	Índice de área foliar (LAI)	Radiación total absorbida	Uso eficiente de radiación EC32 (LUE)	Uso eficiente de radiación EC59 (LUE)	Uso eficiente de radiación EC73 (LUE)	Uso eficiente de radiación EC92 (LUE)	Conductancia
Tipo de irrigación (i)	<0,0001*	0,0002*	0,2726	0,1401	0,0171*	0,0393*	<0,0001 *
Pre cultivo (pc)	0,2958	0,0259*	0,8576	0,0193*	0,8445	0,2717	0,2822
i x pc	0,0405*	0,0512*	0,4676	0,0293*	0,2343	0,7706	0,3168

El único parámetro que no presentó ninguna diferencia significativa (Tabla 4) fue el uso eficiente de radiación EC32, se debe considerar que en este estadio todavía no había sido aplicado el régimen de sequía. A continuación, se describen los resultados que obtuvieron diferencia significativa y parámetros fisiológicos para comprender el desarrollo del cultivo.

Mediciones de índice de área foliar

Los valores de índice de área foliar (IAF, LAI en inglés) fueron mayores para aquellas parcelas irrigadas, en comparación con aquellas tratadas con sequía, para ambos tratamientos pre cultivo. En aquellas parcelas secas, los cultivos de T2, presentaron la mayoría de los valores de LAI más altos, mientras que para los cultivos irrigados, los valores más altos fueron para las parcelas con T1. Las diferencias significativas están dadas por el tipo de irrigación y por la interacción tipo de irrigación y tipo de precultivo (Figura 11). Además, en la figura 12 puede

observase la variación de las mediciones realizadas para cada día. Se observa la tendencia de respuesta en las últimas variaciones, donde los mejores valores corresponden a irrigado T1, y los valores más bajos a aquellos cultivos bajo sequía. Además se observa como durante el desarrollo del cultivo irrigado hay valores crecientes, mientras que en sequía se mantienen estables o decaen.

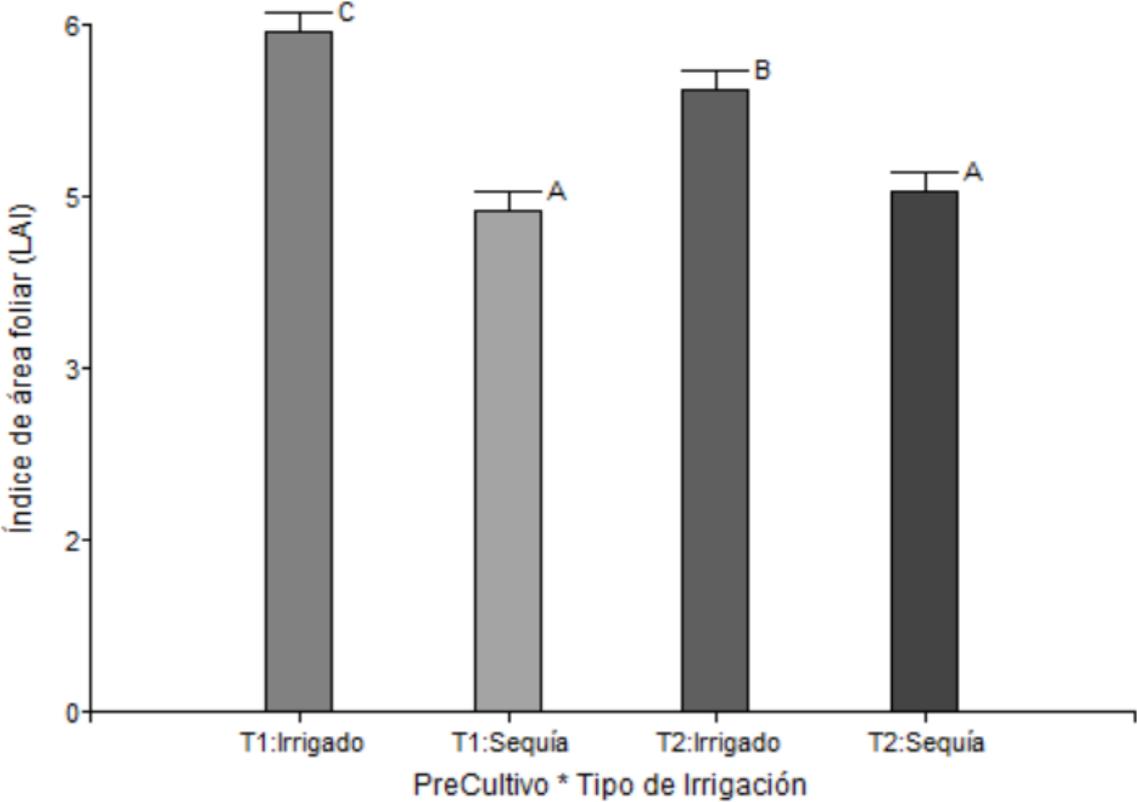


Figura 11: Índice de área foliar en función de la interacción de tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Donde Sequía e Irrigado corresponde a los tratamientos de tipo de riego respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa $p < 0.05$ LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.

Área verde foliar

Considerando los valores obtenidos para índice de área foliar (LAI), a continuación, se grafica el área verde foliar (GAI en inglés) durante el desarrollo del cultivo. Se debe tener en cuenta que este resultado representa el área verde de plantas por área de suelo, es decir, las partes funcionales fotosintetizantes del dosel.

La figura 12 muestra los valores obtenidos para el GAI en función de los tratamientos estudiados. Se observa un desarrollo de cultivo normal, con una curva que asciende durante el primer mes, y se mantiene constante durante la última mitad del penúltimo mes, y desciende durante el último mes, donde se alcanza el estado de maduración y sequía de la planta.

Del lado izquierdo se observa que para el tratamiento de sequía las parcelas presentaron picos de GAI en distintos períodos temporales según el tratamiento de pre cultivo. Así, cuando el pre cultivo fue T1, el pico de GAI se dio a finales de Junio, mientras que en las parcelas con T2, los mayores valores de GAI sucedieron casi un mes antes.

Del lado derecho del gráfico, pueden observarse los valores de GAI para las parcelas que fueron irrigadas, ambos tratamientos de pre cultivo siguieron la misma evolución temporal, sin embargo cuando el trigo ocupó T1 en el cultivo sus valores fueron más altos que cuando el trigo fue T2.

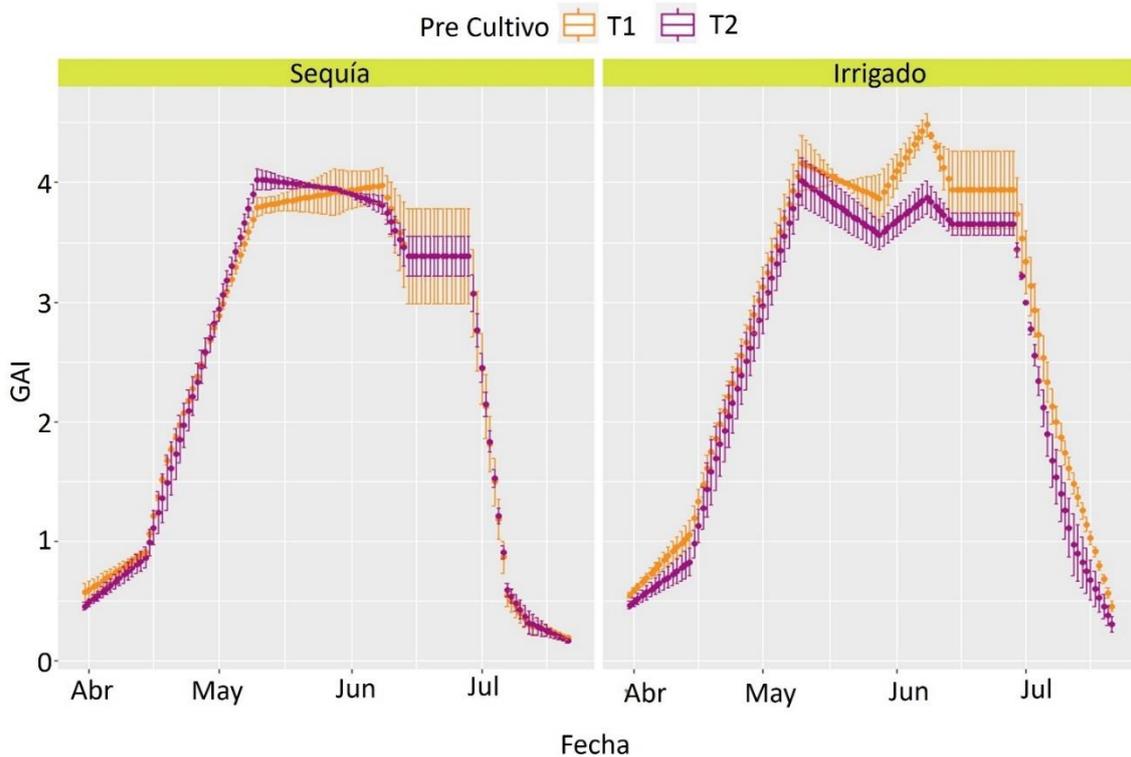


Figura 12: Índice de área verde estimados (GAI) durante el desarrollo del cultivo, en función de los factores de cultivo precedente e irrigación. En el eje de las x se observa los meses en los que se tomaron mediciones. El cuadro izquierdo corresponde a cultivos bajo sequía y el derecho a cultivos irrigados, T1 y el color naranja corresponde a trigos en primera posición, y T2 color violeta a trigos en segunda posición.

Medición de radiación absorbida

En referencia a la distribución de los órganos fotosintéticos en relación a la receptividad de luz y la estructura del cultivo, se describe la medición de la radiación absorbida acumulada (Figura 13). La figura 13 muestra que en los cuatro casos la curva asciende desde principios de Abril y se vuelve más plana al alcanzar una fecha más cercana a la madurez del grano. Se observa que, los mayores valores corresponden a los tratamientos de irrigación, en primer lugar al T1. Con respecto al tratamiento de sequía, fue T1 el que presentó mejores valores, pero aún menores que los irrigados.

Se destaca que durante los dos últimos meses, las diferencias entre los tratamientos se vuelven más notorias, y que para el momento de la cosecha es Irrigado T1 el que presenta los mejores valores, seguido de irrigado T2, luego seco T1 y por último seco T2.

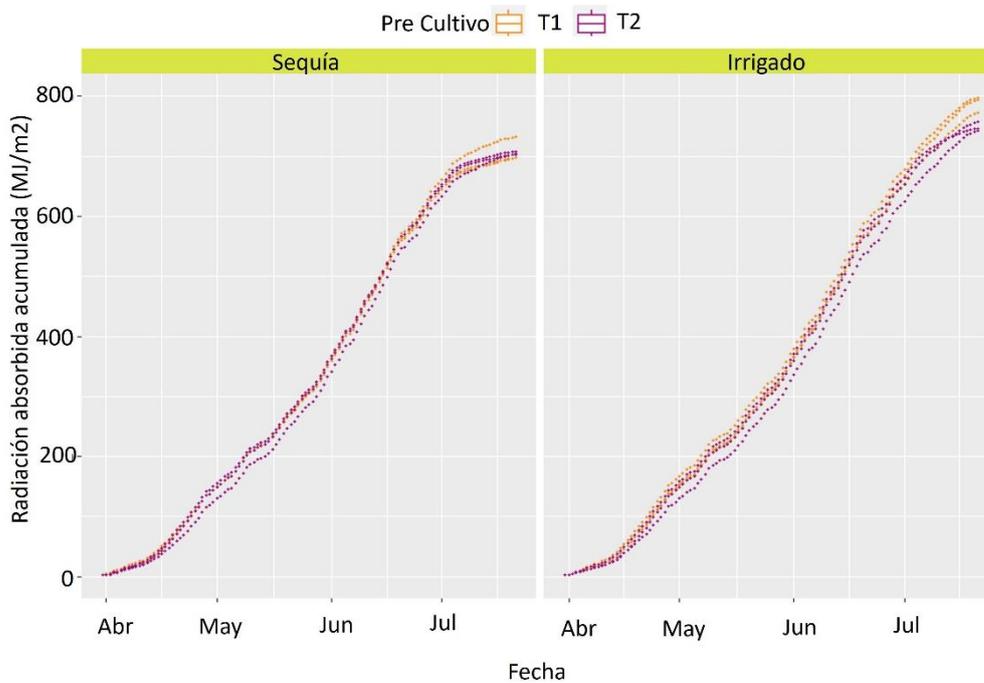


Figura 13: Cantidad de radiación acumulada por día (MJ/m²), en función del factor de cultivo precedente e irrigación, en el eje de las x se observa los meses en los que se llevó a cabo las mediciones. El cuadro izquierdo corresponde a cultivos bajo sequía y el derecho a cultivos irrigados, T1 y el color naranja corresponde a trigos en primera posición, y T2 color violeta a trigos en segunda posición

Radiación total absorbida

Respecto a la radiación total absorbida (Figura 14) se observa que los valores más altos corresponden a los cultivos irrigados, en orden T1 y T2, mientras que los menores valores corresponden a los cultivos bajo sequía. A su vez, cuando el cultivo precedente es T1 se observa mayor variabilidad en los valores totales de absorbancia, en comparación con un cultivo de trigo T2. Para este parámetro las diferencias significativas se dan por tipo de irrigación ($p=0,0002$), tipo de

precultivo ($p=0,0259$) e interacción tipo de irrigación y tipo de precultivo ($p=0,0512$) (Figura 14).

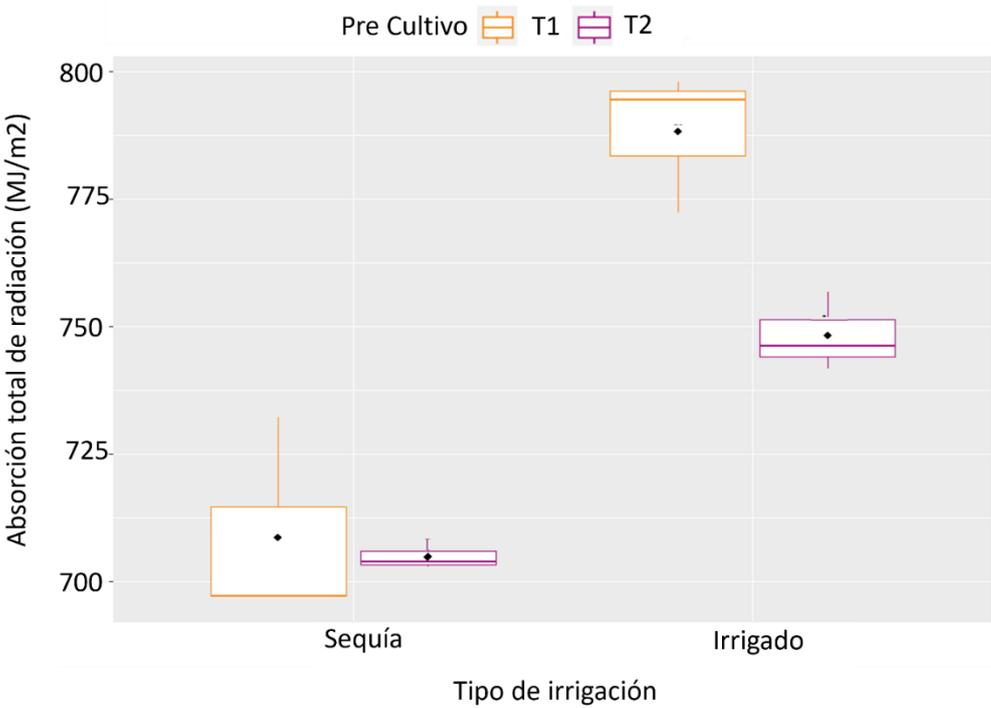


Figura 14: Cantidad total de radiación absorbida, en función del factor de cultivo precedente e irrigación, donde T1 naranja corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 violeta a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo.

Uso eficiente de la radiación

Para el uso eficiente de la radiación, LUE en inglés, la figura 15 muestra que, para los estadíos EC59, EC73 y EC92 los valores más altos se asocian a los cultivos irrigados y trigo T1. Se destaca que para la etapa EC32, que corresponde con el establecimiento, todavía no se había aplicado el tratamiento de sequía.

Además, se observa que los valores más bajos se dan en la primer y última etapa medida, lo que corresponde con establecimiento y desecación del cultivo

respectivamente. Mientras que los valores máximos pertenecen a EC59 que sucede antes de la antesis, seguido del estado EC73, parte del grano lechoso. Para el primer estado EC32 no se observan diferencias significativas. Mientras que para el EC 59 se da por el tipo de precultivo ($p=0,0193$) y la interacción tipo de irrigación y precultivo ($0,0293$). Para el estado EC y el EC 92, las diferencias significativas se dan por el tipo de irrigación ($p= 0,0171$ y $p= 0,0393$ respectivamente).

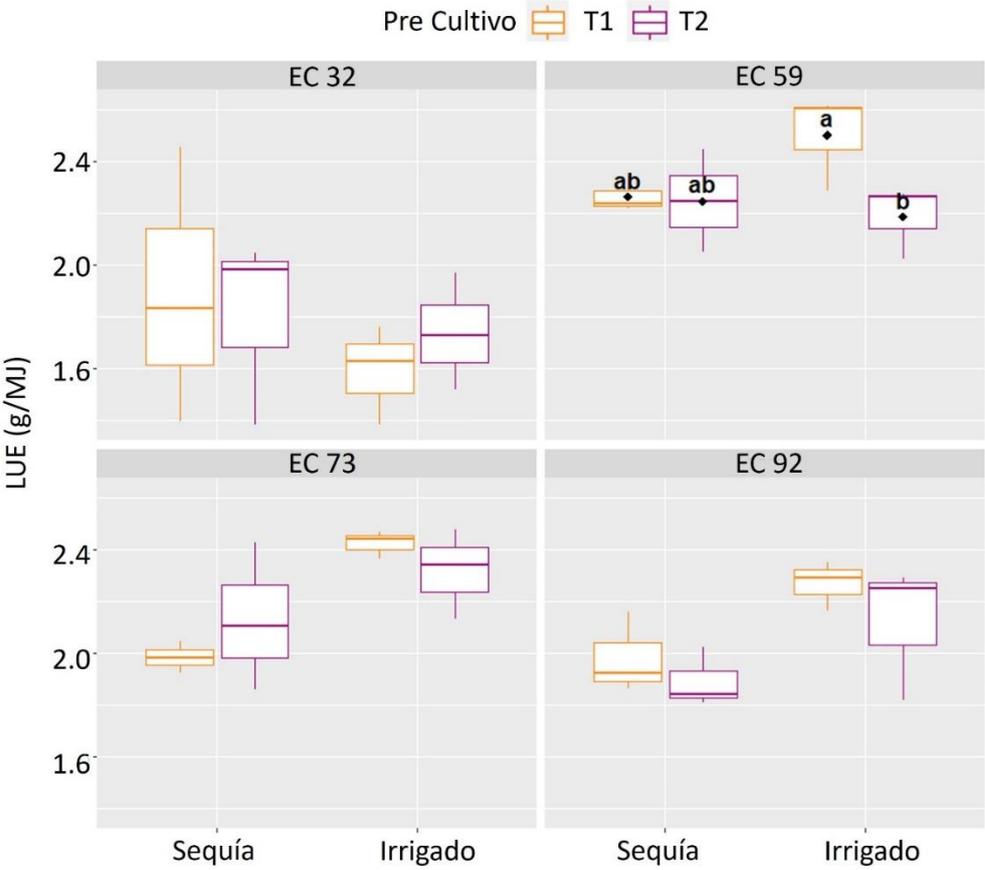


Figura 15: Uso de la radiación (LUE) en los estados fenológicos: EC32, EC59, EC73, EC92. En función del factor de pre cultivo e irrigación, donde T1 naranja corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 violeta a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo.

Conductancia estomática

Para los valores de conductancia estomática obtenidos, se observa que las parcelas irrigadas presentan mejores valores de conductancia que aquellos bajo sequía. Las diferencias significativas se dan por el tipo de irrigación ($p > 0,0001$) (Figura 16).

Además, en la figura 17 se detallan los valores durante las mediciones a lo largo del desarrollo del cultivo. Allí se aprecia que, además de aquellas irrigadas, presentan mejores valores, en general las parcelas cuyo trigo ocupa T1 en la rotación, demostraron valores de conductancia superiores a las que el trigo es T2. También se destaca, que durante la última medición, durante la maduración del cultivo, las diferencias entre irrigación y sequía se vuelven más prominentes comparadas con la medición anterior (Figura 17).

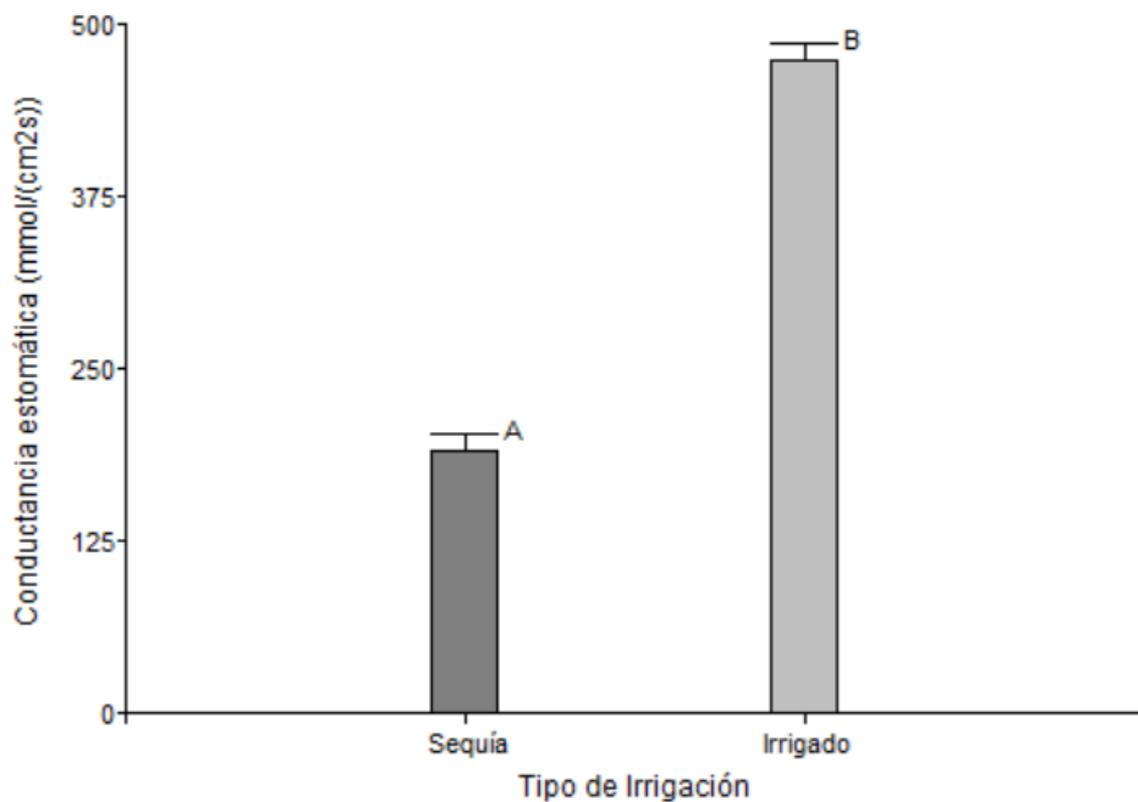


Figura 16: Conductancia estomática en función del factor de irrigación. Donde sequía e irrigado corresponden a los tratamientos aplicados respectivamente. Las letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) LSD Fisher entre las medias obtenidas por ANOVA.



Figura 17: Resultados de índice de conductancia estomática, en función del factor de irrigación y cultivo precedente. Donde cada cuadro verde superior se observa la fecha de toma de medición. T1 naranja corresponde al trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 violeta a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo.

Infeción por *Gaeumannomyces graminis var. tritici* (Ggt)

Evaluación de fitopatogenicidad por *Gaeumannomyces graminis var. tritici* (Ggt)

Se observa en la figura 18 los resultados para la presencia de infección del patógeno “Ggt”. En todos los cultivos evaluados hubo al menos una planta con presencia del patógeno.

En aquellos cultivos bajo tratamiento de sequía, tanto para T1 como para T2, solo se observaron los primeros dos niveles de patogenicidad (Nivel 2 y 3). En aquellos cultivos irrigados, en T1 sólo se observó un nivel muy bajo de patogenicidad,

correspondiente al nivel 2, es decir 0,10 - 2,5% de las raíces infectadas, aunque en mayor cantidad comparado con los tratamientos bajo sequía para ambos pre cultivos. Cuando los cultivos estaban irrigados y el trigo correspondía a T2, se observan 8 niveles de infección, desde el 2 al 9, siendo los más severos para la planta, alcanzando en el nivel 9 un sistema radicular completamente destruido, además en esta situación no se observan plantas sin infección, lo que se traduce en que fueron los que presentaron mayor cantidad de plantas infectadas (nivel 1).

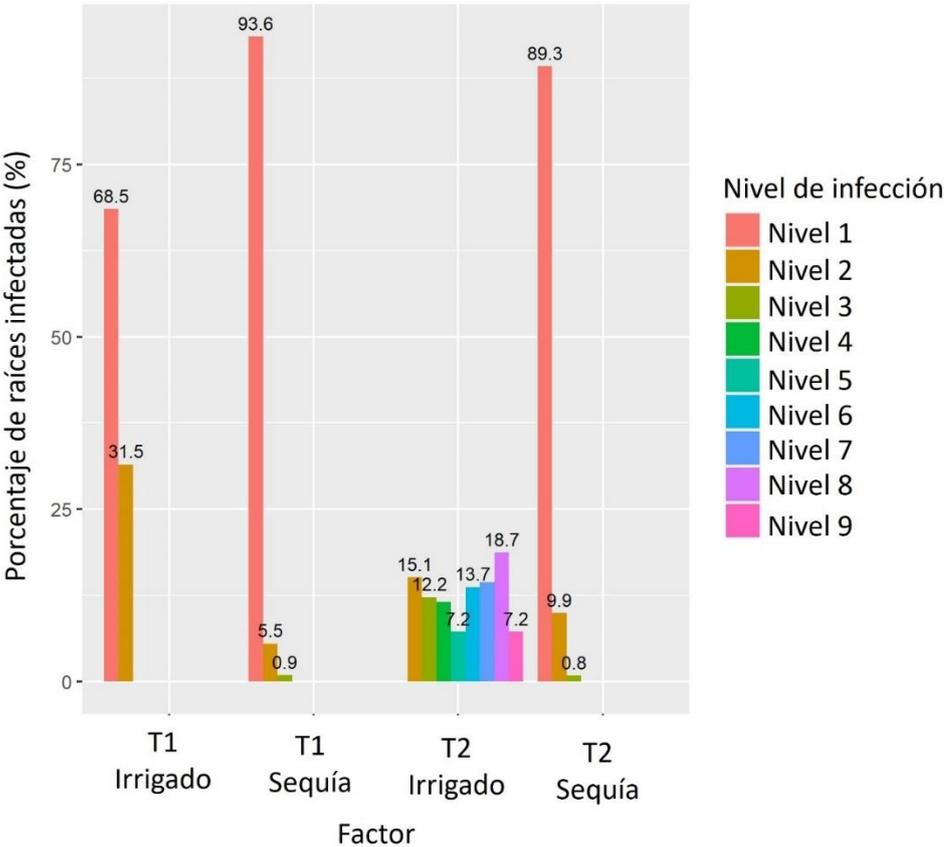


Figura 18: Se observa el porcentaje de raíces infectadas en función de los factores estudiados, tipo de irrigación y cultivo precedente. Donde T1 corresponde a trigo en primera posición con cultivo precedente de haba, y T2 a trigo en segunda posición con cultivo precedente de trigo. Las barras de color indican el tipo de nivel de infección, coincidiendo con la leyenda de colores del lado izquierdo del gráfico.

Discusión

Los resultados de este trabajo muestran cómo, en primer lugar, el déficit hídrico, en segundo lugar, el tipo de pre cultivo y por último la interacción de ambos tiene influencia sobre los distintos parámetros medidos en *Triticum aestivum*.

Aquellos parámetros relacionados con el rendimiento que presentaron diferencia significativa entre los tipos de irrigación son: el rendimiento de grano, para los parámetros morfológicos la biomasa seca total EC59 y EC73, la biomasa seca de broza EC59, EC73 y EC92 y la biomasa seca de espiguillas en EC59 y EC92. Respecto a las variables fisiológicas los parámetros afectados fueron índice de área foliar, radiación total absorbida, uso eficiente de radiación (EC73, EC92) y conductancia estomática.

En primer lugar, las diferencias explicadas por tipo de irrigación coinciden con lo expuesto por otros investigadores, quienes reportan que el crecimiento bajo condiciones de estrés hídrico es limitado (Shao *et al.*, 2008; Zivcak *et al.*, 2014; Olsovska *et al.*, 2016). Y que la falta de agua reduce el tamaño de las células e induce a la maduración temprana (Jatoi *et al.*, 2012). Cabe destacar que de biomasa seca total no se vio afectado solo EC32, este resultado era esperado ya que el plan de aplicación del tratamiento de sequía tuvo lugar luego de la fase de establecimiento del cultivo.

Además, considerando la tendencia en la respuesta de los cultivos, donde los menores o peores valores de los parámetros medidos correspondieron al tratamiento de sequía, se menciona lo expuesto por Satorre *et al.*, 2006 quienes

afirman que el déficit hídrico provoca la pérdida de turgencia, que resulta en una disminución de la tasa de crecimiento y como resultado un menor tamaño de los órganos que se encuentran en expansión activa en el momento del estrés. Asimismo, al analizar los resultados de los parámetros morfológicos y las variables fisiológicas que fueron afectadas en conjunto, Dalmas y San Filipo, 2012 reportaron que en situaciones de estrés hídrico las plantas responden paralizando el crecimiento, la expansión foliar, el desarrollo del canopeo y por ende la intercepción de la radiación y consecuentemente la actividad fotosintética, factores que conllevan a una menor producción de los cultivos (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008; Moreno, 2009).

Los resultados que demuestran que el estrés por sequía disminuyó los valores de variables fisiológicas también se han observado en otros estudios de *Triticum aestivum L.* (Hussain *et al.*, 2018). En cuanto a las mediciones de conductancia estomática, a nivel fisiológico la sequía llevó a producir un cierre de estomas (Taiz y Zeiger, 2006), que corresponde a un mecanismo de adaptación, en el que se busca evitar una pérdida significativa de agua por parte de la planta. Esto nos lleva nuevamente a que indirectamente, se puede reducir el potencial de agua de las hojas y, en consecuencia, disminuir la turgencia, la conductancia y la fotosíntesis, afectando el crecimiento y el rendimiento (Chen *et al.*, 2012; Pinheiro y Chaves, 2011; Ouyang *et al.*, 2017).

Por último, considerando que parámetros de rendimiento como TKW o índice de cosecha no se vieron afectados, podría pensarse que existió un efecto de compensación, ya que esto se ha descrito para algunos genotipos de trigo, los que son capaces de utilizar las reservas almacenadas para compensar las reducciones en la fotosíntesis durante el llenado de grano (Reynolds *et al.*, 2012; Miralles *et al.*, 2014; Ortiz Robles, 2016).

En segundo lugar, con relación a las diferencias significativas por tipo de precultivo, se recuerda que los precultivos aplicados podían ser trigo de primavera (T2) o *Vicia faba* (T1). El precultivo afectó los parámetros de rendimiento: número de espigas EC92. Mientras que de los parámetros morfológicos afectados, se menciona la biomasa seca total EC59, biomasa seca de espiguillas EC59 y biomasa seca de broza EC59. De las variables fisiológicas se vio afectado la radiación total absorbida y el uso eficiente de radiación EC59. Se ha expuesto en antecedentes que en situaciones de cultivos sin rotación se alteran diversas propiedades del suelo. En este sentido, por un lado, se ven alteradas las interacciones entre las comunidades microbianas (Correa, 2016; Ortiz *et al.*, 2020), afectando inevitablemente las funciones biológicas resultantes (Rillig *et al.*, 2015) disminuyendo sus interacciones benéficas con las plantas (Shen *et al.*, 2010; Chavarría, 2018). Por el otro, se altera la composición nutricional del mismo.

Esto se traduce en que la disminución de disponibilidad de nutrientes o falta de relaciones benéficas con otros microorganismos podría ser la causa que explica la diferencia en los parámetros afectados. Particularmente porque se ha estudiado que existe una dependencia entre la relación de la disponibilidad ambiental de un recurso y la demanda de recursos por parte del cultivo durante el ciclo ontogénico (Abeledo *et al.*, 2018).

Asimismo, en relación a las tendencias de respuesta obtenidas para las variables fisiológicas, se ha descrito para otros cereales que los valores de índices de área foliar fueron más altos para cultivos cuyo manejo implicó rotación, en comparación con los obtenidos para el mismo cereal en monocultivo (Spasojevic *et al.*, 2012), lo que coincide con los resultados aquí obtenidos.

En tercer lugar, el efecto de la interacción de tipo de irrigación y precultivo explica ciertos parámetros morfológicos y fisiológicos.

Estos resultados se explicarían porque el déficit de agua produce una disminución del crecimiento celular y del área foliar, por consiguiente, una disminución en la superficie fotosintéticamente activa que finalmente afecta la tasa fotosintética (Acevedo *et al.*, 2002). La superficie fotosintética se asocia con parámetros morfológicos como la densidad foliar, la geometría del cultivo, entre otros. Así, la absorción y el uso de radiación en una comunidad vegetal dependerá de la distribución de esta en la canopia, y por tanto de la morfología del cultivo (Rodríguez, 2001; Carretero *et al.*, 2010; Cantarero 2018).

Así, nos permite explicar que cuando los valores de índice de área foliar (LAI) y conductancia estomática disminuyen, también declina el área verde foliar (GAI). Lo que da como resultado una menor intercepción de luz solar, que en última instancia se traduce en una menor acumulación de foto asimilados. Coincidiendo en que el uso eficiente de la radiación (LUE) se vea afectado, donde los trigos en segunda posición y bajo condiciones de sequía presentan los menores valores significativos.

Asimismo, existen otras simulaciones a largo plazo en las que se plantearon modelos con rotación de cultivos de haba. En estos se observó cómo incluir *Vicia faba* permitió que quede disponible una mayor cantidad de agua en el suelo para la siguiente siembra del trigo, puesto que presenta un menor nivel de agua transpirada, lo que además trae consigo efectos positivos para la absorción de nitrógeno (Garofalo *et al.*, 2008). De manera paralela, se ha descrito que en sistemas de rotación de trigo continuo, existen efectos negativos en las

propiedades químicas del suelo, como el cambio en la calidad de la materia orgánica y el contenido de macronutrientes (Blair y Crocker 2000), lo que puede afectar el desempeño del cultivo, coincidiendo con los resultados aquí obtenidos.

Los resultados de la presencia de patógeno *Ggt* muestran que cuando los suelos están expuestos a un sistema de rotación de monocultivo de cereales sensibles, la infección con "*Ggt*" es mucho más severa. Esto coincide con lo expuesto por Smagacz *et al.*, 2016, quienes reportan que el trigo de invierno que se siembra luego de otro cultivo sensible al ataque de "*Ggt*" tiene mayor índice de infección. Es interesante recalcar que los niveles graves de infección estuvieron presentes cuando el cultivo presentó irrigación. Mientras que cuando el cultivo fue tratado con sequía, solo se observó el nivel 2 que corresponde al nivel más bajo de infección.

Estos resultados coinciden con lo descrito por el herbario virtual de fitopatología de la UBA y el sistema nacional de vigilancia y monitoreo de plagas de la nación Argentina (SINAVIMO). Ellos exponen que condiciones de humedad edáfica predisponen la infección de "*Ggt*"; y a su vez otros autores, describen que esta enfermedad se manifiesta con más intensidad sobre monocultivo de trigo (Freeman y Ward, 2004; Carrasco *et al.*, 2009; Liatukas *et al.*, 2010).

Para finalizar, teniendo en cuenta la tendencia de respuesta de los cultivos para los parámetros medidos, que los mejores resultados sea para cultivos irrigados con primer trigo es un resultado esperado. Dado que estas son las condiciones óptimas de establecimiento del cultivo (Castilla *et al.*, 2016) pero que conllevan un importante consumo de agua, contra conveniente para la situación hídrica que atraviesa el país.

Se destaca que al observar las variaciones obtenidas en las mediciones bajo los distintos tratamientos, se podría considerar como parte de una respuesta adaptativa. Los cultivos del mismo trigo expuesto a condiciones de estrés indujeron respuestas rápidas disminuyendo su velocidad de crecimiento, su transpiración, su eficiencia fotosintética y el resto de las variables fisiológicas medidas, para intentar dar prioridad a la formación de las semillas y así garantizar su reproducción y consecuente descendencia (Gianoli 2004; Moreno, 2008; Camaille *et al.*, 2021; Covarrubias, 2007).

Sin embargo, al observar que el rendimiento en grano del cultivo si se vio afectado, las respuestas adaptativas no fueron suficientes considerando nuestro interés productivo en el cultivo. Cabe destacar que, aunque muchos de los parámetros no presentaron diferencias significativas, se observa un claro patrón donde los menores valores correspondieron a trigos T2 en condiciones de sequía. Si se considera que las condiciones climáticas se agravarán durante las proyecciones de los próximos años, estas diferencias podrían volverse significativas y vulnerar aún más los cultivos.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo corroboran la hipótesis planteada de que el trigo de invierno (*Triticum aestivum*) presenta diferencias que desfavorecen el desarrollo fisiológico y el rendimiento cuando está expuesto a situaciones de estrés hídrico y en repetidas posiciones en el sistema de rotación de cultivos.

Los datos obtenidos muestran que los valores de los distintos parámetros evaluados en este trabajo difieren principalmente por el tipo de tratamiento de irrigación, en segundo lugar por el tratamiento de rotación del cultivo, y en tercer lugar por la combinación de los tratamientos.

Y que en la mayoría de los casos los mejores valores correspondieron al tratamiento de trigo con irrigación y con un cultivo precedente distinto a trigo.

Que, para parámetros de rendimiento, el rendimiento de trigo se vio afectado por el tipo de irrigación. Mientras que para parámetros morfológicos y variables fisiológicas por el tipo de irrigación, el tipo de precultivo y la interacción de ambos.

A pesar de que no todas las diferencias observadas fueron significativas, se observa que existe variabilidad en los valores resultantes. Considerando que los menores valores corresponden a trigo con sequía y con cultivo precedente de trigo de primavera, se puede advertir que con un incremento en las condiciones futuras de cambio climático podrían afectar significativamente.

Se encontró presencia del patógeno “Ggt” en todos los tratamientos. En este ensayo el tratamiento de irrigación y trigo en segundo lugar fue el más

perjudicado, con los ocho niveles más infecciosos de la escala. Mientras que el tratamiento de sequía y trigo en primera posición fue el que presentó menor cantidad de plantas infectadas con solo un nivel de infección. Los tratamientos de sequía no presentaron diferencias importantes en función del tratamiento de cultivo precedente.

Así, considerando todos los resultados obtenidos, la crisis climática que atravesamos y el contexto de deficiencia hídrica que nos rodea, se desaconseja un plan de manejo que no implique la rotación de cultivo de *Triticum aestivum*. Se ha demostrado cómo principalmente el déficit hídrico afecta el rendimiento del cultivo. Asumiendo que esta variable no podrá ser modificada durante los próximos años, es imperioso cuidar de aquellas variables de las que el ser humano tiene control, como lo es la elección del tipo de rotación del cultivo.

El total de los resultados expuestos en este trabajo constituyen una primera aproximación al estudio de la interacción del déficit hídrico y el efecto de la rotación, abarcando también la presencia de un patógeno de suelo. Representa la puerta de entrada a planes de gestión y manejo ambiental que consideren una agricultura sustentable en un contexto de cambio climático.

Se invita al uso de nuevas tecnologías de integración de técnicas moleculares con la fisiología y fitomejoramiento para mejorar la adaptación ambiental y el rendimiento de los cultivos extensivos. Y de esta manera, se deja en claro que no ha sido el objetivo de este estudio dar por cerrado la problemática analizada, si no, por el contrario, abrir preguntas sobre un campo a explorar y que seguramente podrá ser ampliado con otros abordajes multidisciplinarios.

Bibliografía

- Abadia, B.; ... [et al.] (2017). Manual del cultivo de trigo. Compilado por Divito A. G.; García, F. Oscar; editado por Divito A. G.; García, F. Oscar. - 1a ed. compendiada. - Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 224 p.; ISBN 978-987-46277-3-5.

- Abbate, P.E., Andrade, F. H.; Culot, J.P. (1995). The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci.*, 124:351-360
- Abbate, P.E., Andrade, F. H.; Culot, J.P.; Bindraban P.S. (1997). Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.*, 54:245-257
- Abeledo L; Román A. Serrago; Romina P. de San Celedonio; Patricio J. Lo Valvo; Daniel J. Miralles (2018). Limitantes al rendimiento en trigo y cebada. *Agronomía & Ambiente Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 38(1): 71-84,
- Acevedo, E.; Silva, P. (2003). *Agronomía de la cero labranza*. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas, N 10. 132p.
- Acevedo, E.; Silva, P.; Silva, H. (2002). Wheat Growth and Physiology. En: B.C. Curtis, S. Rajaram and H. Gómez Macpherson (eds.). *Bread wheat improvement and production*. FAO, Roma , Italy, pp. 39-70
- Altieri, M & Nicholls, I. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3(7), 7-23. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>
- Asseng, S.; Foster, I.; Turner, N. C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields *Glob. Change Biol.* 17 997–1012
- Ayed, S.; Rezgui, M.; Othmani, A.; Rezgui, M.; Trad, H.; Silva, J.; Teixeira-da, B.; Younes, M.; Ben S.; Hamadi, K. (2017). Respuesta al estrés hídrico de trigos duros (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) y harineros (*Triticum aestivum* L.) de Túnez. *Agrociencia*, 51(1), 13-26.
- Bates, B.C.; Z.W. Kundzewicz; Wu S.; y Palutikof, J.P. (2008). *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra.
- Benavides, A.; H. Ramírez; V. Robledo; M. Ratikanta; E. Cornejo. (2002). *Ecofisiología y Bioquímica del estrés en plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo. México. 228 p.
- Blair Nelly Crocker G. J. (2000) Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Soil Research* 38, 71-84.
- Bukowiecki, J.; Rose, T.; Ehlers, R.; Kage, H. (2020). High-Throughput prediction of Whole Season Green Area Index in Winter Wheat With an Airborne Multispectral Sensor. *Front. Plant Sci.* 10:1798. doi: 10.3389/fpls.2019.01798.
- Bürling, K.; Cerovic, Z.; Cornic, G.; Ducruet, J.; Noga, G.; Hunsche, M. (2013). Fluorescence-based sensing of drought-induced stress in the vegetative phase of four contrasting wheat genotypes. *Environmental and Experimental Botany*. 89. 51–59. 10.1016/j.envexpbot.2013.01.003.
- Camaille, M.; Fabre, N.; Clément, C.; Ait Barka, E. (2021) Advances in Wheat Physiology in Response to Drought and the Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria to Trigger Drought Tolerance. *Microorganisms*. Mar 26;9(4):687.
- Cantarero, M. G. (2018). Deficiencia hídrica durante el período de crecimiento de las espigas en trigo y estrategias de tolerancia al estrés en diferentes cultivares. Tesis

doctoral. Ciencias agropecuarias. Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

- Carrasco, N.; Báez, A.; Belmonte, M.L. (2009) Trigo, Manual de campo. INTA. RIAN.
- Carretero, R.; Serrago, R. A.; Bancal, R.; Perelló, A. E.; Miralles, D. J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat, *Field Crops Research*. 116: 1-2
- Castillo, D. ; Alfaro, C.; Madariaga, R.; Matus, I., Hirzel, J.; Vera, C. 2016. Manual de buenas prácticas para el manejo del trigo candeal Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile.
- Chavarría, D. N. (2018). Las comunidades microbianas del suelo ante la diversificación de un agroecosistema de la pampa húmeda. Tesis de doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Chaves, M.; Maroco, J.P.; Pereira, J.S. (2003) Understanding plant responses to drought – from gene to whole plant. *Functional Plant Biology* 30, 239–264.
- Chen, X.; Min, D.; Yasir, T.A.; Hu, Y-G. (2012). Field crops research evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicators of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of Chimborazo, Ecuador” (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica Nacional.
- Conde-Álvarez, C. & Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30. Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. 1a Ed. Buenos Aires:
- Corral Torres, V. L. (2014) Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de siete alimentos: yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca, chocho, avena laminada, harina de maíz y harina de trigo integral. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.] Repositorio de tesis de grado y posgrado - Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Correa, 2016. La fertilización y las comunidades microbianas indígenas de los suelos. En: AACCS (ed.). *Sustentabilidad de agrosistemas y el uso de fertilizantes*. (1) 141-167.
- Cronquist, A. (1988) The evolution and classification of flowering plants. 2ª ed., The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York.
- Dalmas, N. y Sanfilippo, N.J. (2012). El contenido relativo de agua como indicador Disponible en: http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a_dalelc349.pdf
- Durán, P.; Tortella, G.; Viscardi, S.; Barra, P.J.; Carrión, V.J.; Mora, M.L.; Pozo, M.J. (2018). Microbial Community Composition in Take-All Suppressive Soils. *Front Microbiol.* (9) :2198. doi: 10.3389/fmicb.2018.02198.
- FAO. 2019. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Feo, O., Solano, E., Beingolea, L., Aparicio, M., Villagra, M., José Prieto, M., & Beckmann, J. (2009). Cambio climático y salud en la región andina. *Revista peruana de Medicina experimental y Salud pública*, 26(1), 83-92.
- foliar en trigo para selección de genotipos y el manejo del cultivo. Trabajo final.
- Freeman, J. y Ward, E. (2004). *Gaeumannomyces graminis*, the take-all fungus and its relatives. *Molecular Plant Pathology*. (5): 235-252

- Garofalo P., Di Paolo E., Rinaldi M. (2009) Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in rotation with faba bean (*Vicia faba* var. *minor* L.): long-term simulation case study. *Crop and Pasture Science* 60, 240-250.
- Gianoli, E. (2014). Plasticidad Fenotípica Adaptativa en Plantas. En: Fisiología Ecológica En Plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas Editor Hernán Marino Cabrera, EUV Valparaíso (Chile) [pp. 13 - 25].... Chile. Departamento de Botánica, Universidad de Concepción
- González-Castillo, J.A.; Quezada-D'Angelo, T. P.; Silva-Aguayo G. I.; Moya-Elizondo, E. (2018). Effect of saponins of Quillaja saponaria extracts in combination with *Pseudomonas protegens* to control *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in wheat. *Chilean journal of agricultural research*. 78(3).
- Honty, G. (2007). América Latina ante el cambio climático. *América latina*. Recuperado de https://flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/1269363645.Honty_America_Latina_frente_a_l_cambio_climatico.pdf
- Hornby, D. (1981). Inoculum en Biology and Control of Take- all. M.J.C. Asher y P. J. Shipton. Ed Academic Press, Nueva York.
- Hurtado, R.; A. Faroni; G. Murphy; L. Seri; M. Fernández Long (2009). Deficiencia de agua en el suelo crítica para el rendimiento del trigo en la Región Pampeana argentina. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 29:1, 1-12.
- Hussain, M.; Farooq, M.; Sattar A.; Ijaz, M.; Sher, A.; Ul-Allah, S. (2018). Mitigating the adverse effects of drought stress through seed priming and seed quality on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. *Pak. J. Agri. Sci.* 55(2): 313-319
- International Grains Council (26 de Noviembre de 2020). *Five-year baseline projections of supply and demand for wheat, maize (corn), rice and soybeans to 2025/26*.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del IPCC, [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza
- Jatoi, W. A.; Baloch, M. J.; Khan, N. U.; Kumbhar, M. B.; Keerio, M. I. (2012) Genetic analysis of physiological and yield traits under drought stress conditions in wheat. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 44 (1): 9-27 pp.
- Karrou, M. & T. Oweis. (2012). Water and land productivities of wheat and food legumes with deficit supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agr. Water Manage.* 107: 94-103.
- Khayatnezhad, M. R.; Gholamin, S. H.; Jamaatie-Somarin R.; Zabihi-Mahmoodabad.A. (2010). Effects of PEG stress on corn cultivars (*Zea mays* L.) at germination stage. *World Appl. Sci. J.* 11: 504-506. [[Links](#)]
- Klein, R. F. (2012). Generación de valor mediante la integración vertical en la cadena agroindustrial del trigo para una empresa agropecuaria especializada en genética. (Tesis de grado, Instituto tecnológico de Buenos Aires). Repositorio de tesis de grado y posgrado - Instituto tecnológico de Buenos Aires.
- Landa, R., Magaña, V. y Neri, C. (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. 133 pp

- Liatukas, Z.; Ruzgas, V.; Razbadauskiene, K. (2010). Take-all resistance of Lithuanian winter wheat breeding line. *Agronomy Research*. (8): 653–662.
- LI-COR. (1992). LAI-2000 plant canopy analyzer operating manual. LI-COR, Lincoln, NE.
- Macdonald, A. J.; Gutteridge, R. (2011). Effects of take-all (*Gaeumannomyces graminis var. tritici*) on crop N uptake and residual mineral N in soil at harvest of winter wheat. *Plant Soil* 350:253–260
- MAGyP (13 de Octubre de 2017). Estimaciones Agrícolas. <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>.
- Medrano, H.; Flexas, J (2004). Respuesta de las plantas al estrés hídrico. En Reigosa M.; N. Pedrol y A. Sánchez. *La Ecofisiología Vegetal – Una Ciencia de síntesis*. Thomson Editors Spain Paraninfo, S.A. Madrid. España. p. 253-286.
- Mielke, H. (1945). Untersuchungen über d. Anfälligkeit verschied. Getreidearten gegen d. Erreger d. Schwarzbeinigkeit, *Ophiobolus graminis* Sacc. M. 12 Abb. V, 61 S. (Mitt. Biolog. Bundesanst. f. L. u. F. 160), Berlin, Deutschland.
- Miralles, D.; González, F.G.; Abeledo L.G.; Serrago R.A.; Alzueta I.; García G.A.; de
- Moreno, L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*. Vol. 27, Nº 2, p. 179-191, 2009. Facultad de Agronomía - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Neciosup Gallardo, J. A.; Vega Figueroa, E. E. (2020). “Aclimatación y adaptación a condiciones de deficiencia hídrica de material genético de trigo (*Triticum aestivum* L.) en la parte baja del valle Chancay, región Lambayeque, 2016-2017” (Tesis de doctorado en ciencias ambientales). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú.
- Ojeda, C. (2015). *Efecto de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturonidos como mitigador de estrés hídrico en variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L)*. Tesis doctoral. Uso, Manejo y preservación de los recursos naturales (orientación en agricultura sustentable) centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur.
- Olsovska, K.;Kovar, M.;Brestic, M.; Zivcak, M.;Slamka, P.; Shao, H.B. (2016). Genotypically Identifying Wheat Mesophyll Conductance Regulation under Progressive Drought Stress. *Frontiers in Plant Science*.
- OMM Organización Meteorológica Mundial (2006). El clima y la degradación de las tierras. ISBN 92 63 309092
Orientación Gráfica Editora.
- Ortiz Robles, C. (2016). *Mapping QTLs for phenology and grain yield related traits in bread wheat*. Tesis de maestría master en ciencias biotecnológicas. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Unidad Zacatenco, México.
- Ortiz, J.; Faggioli, V.S.;Ghio, H.; Boccolini, M. F.; Ioele. J.P.; Tamburrini, P.; García, F.; Gudelj, V. (2020). Impacto a largo plazo de la fertilización sobre la estructura y funcionalidad de la comunidad microbiana del suelo. *Cien. Suelo* 38 (1): 45-55.
- Ortiz, R. (2012). El cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo, pp. 6-31

- Ouyang, W.; Struik P. C.; Yin, X.; Yang, J. (2017) Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought, *Journal of Experimental Botany*, 68 (18): 5191–5205.
- Paolilli, M.C; Cabrini, S.M.; Filliat, F. A.; Pagliaricci, L. O. (2021). La cadena de trigo en Argentina. Informe técnico número dos. Editorial INTA.
- Pask, A. J. D.; Pietragalla, J.; Mullan, D. M.; Reynolds, M. P.; Reynolds, M. P. (2012). Physiological breeding II: A field guide to wheat phenotyping. CIMMYT, Mexico, D.F., Mexico ISBN 978-970-648-182-5
- Paulitz, T.C.; Schroeder, K.L.; Schillinger, W.F. (2010). Soilborne pathogens of cereals in an irrigated cropping system: effects of tillage, residue management, and crop rotation. *Plant Disease* 94:61-68.
- Pinheiro C. & Chaves, M. M. (2012). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of experimental botany*. 62: 869-882
- Poorter, H. Y Nagel, O.W. (2000) The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Australian Journal of Plant Physiology* 27, 595–607.
- Potters, G., T.P. Pasternak, Y. Guisez, K.J. Palme y M.A.K. Jansen. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* 12(3), 99-105.
- Prioleta, S. (2015). Trigo enfermedades de semilla e inicio del ciclo. *Agrobarrow* (56): 9.
- Reynolds M. P.; Delgado D. I.; Gutiérrez Rodríguez, M; Larqué-Saavedra, A. (2000). Photosynthesis of Wheat in a Warm, Irrigated Environment. *Field Crop Res.* 66: 37-5
- Rezaei, E. E.; Webber, H.; Gaiser, T.; Naab, J.; Ewer, F. (2015). Heat stress in cereals: Mechanisms and modelling. *Eur. J. Agron.* 64 98–113
- Rillig, M.C.; Antonovics, J.; Caruso, T.; Lehmann, A.; Powell, J.R.; Veresoglou, S.D.; Verbruggen, E. (2015). Interchange of entire communities: microbial community coalescence. *Trends Ecol. Evol.* 30 (8): 470-476.
- Robertson, M.; Giunta, F. (1994). Responses of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. *Crop & Pasture Science*, 45, 19-35.
- Rodríguez, W. (2020). Interceptación de la luz y fotosíntesis del dosel. (Material de cátedra). Fisiología vegetal, Facultad Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional NE, Corrientes, Argentina.
- Saint Pierre, C.; J. L. Crossa; D. Bonnett; K. Yamaguchi-Shinozaki ; P. M. Reynolds. (2012). Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. *J. Exp. Bot.* 63: 1799-1808.
- San Caledonio R.P.; Lo Valvo P. (2014). Manual de trigo y cebada para el
- Satorre, E.H.; Benech Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; de La Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E.; Savin, R. (2003). Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel y C.X. Zhao. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *C.R. Biol.* 331: 215-225
- Shen, J.P.; Zhang, L.M.; Guo, J.F.; Ray, J.L.; He, J.Z; (2010). Impact of long-term fertilization practices on the abundance and composition of soil bacterial communities in Northeast China. *Appl. Soil Ecol.* 46: 119 -214.

- Shertzter, G. (2013). “Estudio comparativo de sistemas de labranza y rotaciones de cultivos y sus efectos en el rendimiento de trigo y la productividad del suelo” (Tesis de maestría). Universidad de Chile.
 - Shipton, P. J. (1981). Sprophytic survival between susceptible crops. En *Biology and Control of Take- all*. M.J.C. Asher y P. J. Shipton. Ed Academic Press, Londres, Reino Unido.
 - Siavichay, M. G. (2011). Aclimatación de 10 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), en el Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 103 p. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/690/1/13T0705%20.pdf>
 - Siebert, S.; Ewert, F.; Eyshi Rezaei E.; Kage, H. and Graß, R. (2014). Impact of heat stress on crop yield on the importance of considering canopy temperature. *Environ. Res. Lett.* 9 044012
 - Sieling K., Stahl C., Winkelmann C., Christen O. (2005): Growth and yield of winter wheat in the first 3 years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany. *European Journal of Agronomy*, 22: 71–84
 - Simón, M. R. y Golik S. (2020). Cereales de verano 2018. Editorial de la Universidad de La Plata.
1. SINAVIMO (SF): Sistema nacional de monitoreo de plagas: *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* Página oficial del sistema nacional de vigilancia y monitoreo de plagas del gobierno de la República Argentina. URL disponible: <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/gaeumannomyces-graminis-var-tritici> Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas
- Spasojevic, I.; Simic, M.; Kovacevic, D.; Drafcicevic, V.; Dolijanovic, Z.; Brankov, M. (2012). The influence of crop rotation and different weed managements on leaf area and maize yield. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia (126–129)
 - Subrahmanyam, D.; Subash, N.; Haris, A; Sikka, A.K. (2006). Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics in wheat cultivars differing in their susceptibility to drought. *Photosynthetica*, 44:125-129
 - Taiz, L. y E. Zeiger. (2006). *Plant Physiology*. (4). Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía. Argentina.
 - Uquillas Romo, E. A. (2019). “Efectos del cambio climático en la evolución del rendimiento productivo del cultivo de papa en el cantón Riobamba provincia de
 - West, T.O. ; Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture Ecosystem and Environment* 91: 217–232.
 - Wick, B. (1997). Microbiological indicators for quality of soils at various stages of degradation in the forest-savanna transition zone, south-western Nigeria. Ph. D. Thesis. University of Göttingen, Germany. *Plant and Soil*. Volume 202, Issue 1, pp: 97-107

- Zivcak, M.; Kalaji, H.M.; Shao, H. B.; Olsovska, K.; Brestic, M. (2014). Photosynthetic proton and electron transport in wheat leaves under prolonged moredate drought stress. *J. Photochem. Photobiol.* 137, 107-115.

ANEXO I: Análisis de la varianza

Nueva tabla : 3/11/2022 - 17:15:51 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

TKW

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
TKW	12	0,35	0,00	4,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		9,67	5	1,93	0,66	0,6686
TipodeIrrigacion		3,63	1	3,63	1,24	0,3089
PreCultivo		2,10	1	2,10	0,71	0,4303
Rep		1,06	2	0,53	0,18	0,8396
TipodeIrrigacion*PreCultiv..		2,88	1	2,88	0,98	0,3603
Error		17,63	6	2,94		
Total		27,30	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,42159

Error: 2,9382 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Sequia	36,74	6	0,70 A
Irrigado	37,84	6	0,70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,42159

Error: 2,9382 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T1	36,87	6	0,70 A
T2	37,71	6	0,70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,96582

Error: 2,9382 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
2	37,06	4	0,86 A
1	37,10	4	0,86 A
3	37,71	4	0,86 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,42464

Error: 2,9382 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Sequia	T2	36,67	3	0,99 A

Sequia	T1	36,81	3	0,99	A
Irrigado	T1	36,93	3	0,99	A
Irrigado	T2	38,75	3	0,99	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

HI

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HI	12	0,44	0,00	3,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,1E-03	5	2,2E-04	0,94	0,5171
PosRot	1,3E-04	1	1,3E-04	0,58	0,4758
Irri	3,3E-05	1	3,3E-05	0,14	0,7169
Rep	6,2E-04	2	3,1E-04	1,34	0,3309
PosRot*Irri	3,0E-04	1	3,0E-04	1,30	0,2975
Error	1,4E-03	6	2,3E-04		
Total	2,5E-03	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02145

Error: 0,0002 gl: 6

PosRot	Medias	n	E.E.
W2	0,42	6	0,01 A
W1	0,43	6	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02145

Error: 0,0002 gl: 6

Irri	Medias	n	E.E.
Irr	0,43	6	0,01 A
Dro	0,43	6	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,02627

Error: 0,0002 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
1	0,42	4	0,01 A
3	0,43	4	0,01 A
2	0,44	4	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,03034

Error: 0,0002 gl: 6

PosRot	Irri	Medias	n	E.E.
W2	Dro	0,42	3	0,01 A
W1	Irr	0,42	3	0,01 A
W2	Irr	0,43	3	0,01 A
W1	Dro	0,44	3	0,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NumEspigas_59

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NumEspigas_59	12	0,46	0,01	159,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	529192,08	5	105838,42	1,02	0,4816
TipodeIrrigacion	101752,08	1	101752,08	0,98	0,3608
PreCultivo	92050,08	1	92050,08	0,89	0,3831
Rep	213583,17	2	106791,58	1,03	0,4135
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	121806,75	1	121806,75	1,17	0,3207
Error	623942,83	6	103990,47		
Total	1153134,92	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=455,56923

Error: 103990,4722 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Irrigado	109,50	6	131,65 A
Sequia	293,67	6	131,65 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=455,56923**

Error: 103990,4722 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T1	114,00	6	131,65 A
T2	289,17	6	131,65 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=557,95607**

Error: 103990,4722 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
1	106,00	4	161,24 A
2	108,50	4	161,24 A
3	390,25	4	161,24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=644,27218**

Error: 103990,4722 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Irrigado	T2	96,33	3	186,18 A
Sequia	T1	105,33	3	186,18 A
Irrigado	T1	122,67	3	186,18 A
Sequia	T2	482,00	3	186,18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**NumEspigas_73**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NumEspigas	73	12	0,81	0,65 8,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1944,83	5	388,97	5,02	0,0373
TipodeIrrigacion	1200,00	1	1200,00	15,49	0,0077
PreCultivo	33,33	1	33,33	0,43	0,5362
Rep	535,17	2	267,58	3,45	0,1004
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	176,33	1	176,33	2,28	0,1821
Error	464,83	6	77,47		
Total	2409,67	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=12,43457

Error: 77,4722 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 96,17 6 3,59 A

Irrigado 116,17 6 3,59 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=12,43457

Error: 77,4722 gl: 6

PreCultivo Medias n E.E.

T1 104,50 6 3,59 A

T2 107,83 6 3,59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,22917

Error: 77,4722 gl: 6

Rep Medias n E.E.

1 100,25 4 4,40 A

2 102,75 4 4,40 A B

3 115,50 4 4,40 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=17,58513

Error: 77,4722 gl: 6

TipodeIrrigacion PreCultivo Medias n E.E.

Sequia T1 90,67 3 5,08 A

Sequia T2 101,67 3 5,08 A B

Irrigado T2 114,00 3 5,08 B

Irrigado T1 118,33 3 5,08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NumEspigas_92

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NumEspigas 92	12	0,73	0,50	8,70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22699,67	5	4539,93	3,18	0,0957
TipodeIrrigacion	8965,33	1	8965,33	6,28	0,0461
PreCultivo	11781,33	1	11781,33	8,26	0,0283
Rep	544,67	2	272,33	0,19	0,8311
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	1408,33	1	1408,33	0,99	0,3589
Error	8562,00	6	1427,00		
Total	31261,67	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=53,36661

Error: 1427,0000 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 406,83 6 15,42 A

Irrigado 461,50 6 15,42 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=53,36661

Error: 1427,0000 gl: 6

PreCultivo Medias n E.E.

T2 402,83 6 15,42 A

T1 465,50 6 15,42 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=65,36048

Error: 1427,0000 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
1	425,00	4	18,89 A
3	436,50	4	18,89 A
2	441,00	4	18,89 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=75,47178**

Error: 1427,0000 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Sequia	T2	386,33	3	21,81 A
Irrigado	T2	419,33	3	21,81 A
Sequia	T1	427,33	3	21,81 A
Irrigado	T1	503,67	3	21,81 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**BioSecaGrano (Rendimiento de grano)**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaGrano	12	0,76	0,55	9,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		84778,21	5	16955,64	3,73	0,0701
TipodeIrrigacion		67159,93	1	67159,93	14,77	0,0085
PreCultivo		15328,89	1	15328,89	3,37	0,1161
Rep		849,03	2	424,52	0,09	0,9122
TipodeIrrigacion*PreCultiv..		1440,36	1	1440,36	0,32	0,5940
Error		27291,02	6	4548,50		
Total		112069,24	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=95,27784

Error: 4548,5039 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Sequia	644,08	6	27,53 A
Irrigado	793,70	6	27,53 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=95,27784**

Error: 4548,5039 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T2	683,15	6	27,53 A
T1	754,63	6	27,53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=116,69104**

Error: 4548,5039 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
1	712,15	4	33,72 A
3	713,78	4	33,72 A
2	730,75	4	33,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=134,74321**

Error: 4548,5039 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Sequia	T2	619,29	3	38,94 A
Sequia	T1	668,86	3	38,94 A
Irrigado	T2	747,00	3	38,94 A B
Irrigado	T1	840,40	3	38,94 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BioSecaTotal_32

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaTotal	32	12	0,35	0,00 18,20

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	176,12	5	35,22	0,64	0,6783
TipodeIrrigacion	37,10	1	37,10	0,68	0,4423
PreCultivo	26,11	1	26,11	0,48	0,5161
Rep	101,11	2	50,56	0,92	0,4478
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	11,80	1	11,80	0,22	0,6592
Error	329,21	6	54,87		
Total	505,33	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,46447

Error: 54,8681 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Irrigado	38,95	6	3,02 A
Sequia	42,47	6	3,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=10,46447

Error: 54,8681 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T2	39,23	6	3,02 A
T1	42,18	6	3,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=12,81631

Error: 54,8681 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
2	37,38	4	3,70 A
1	40,30	4	3,70 A
3	44,45	4	3,70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=14,79900

Error: 54,8681 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Irrigado	T2	38,47	3	4,28 A
Irrigado	T1	39,43	3	4,28 A
Sequia	T2	40,00	3	4,28 A
Sequia	T1	44,93	3	4,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BioSecaTotal_59

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaTotal	59	12	0,93	0,88 2,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5082,43	5	1016,49	16,63	0,0019
TipodeIrrigacion	491,52	1	491,52	8,04	0,0297
PreCultivo	2064,56	1	2064,56	33,78	0,0011
Rep	1253,27	2	626,63	10,25	0,0116
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	1273,08	1	1273,08	20,83	0,0038
Error	366,74	6	61,12		
Total	5449,17	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,04491

Error: 61,1236 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Sequia	260,25	6	3,19 A
Irrigado	273,05	6	3,19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,04491**

Error: 61,1236 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T2	253,53	6	3,19 A
T1	279,77	6	3,19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,52719**

Error: 61,1236 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
2	252,43	4	3,91 A
3	271,55	4	3,91 B
1	275,98	4	3,91 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,61986**

Error: 61,1236 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Irrigado	T2	249,63	3	4,51 A
Sequia	T2	257,43	3	4,51 A
Sequia	T1	263,07	3	4,51 A
Irrigado	T1	296,47	3	4,51 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**BioSecaTotal_73**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaTotal	73	12	0,80	0,64 6,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12414,57	5	2482,91	4,88	0,0397
TipodeIrrigacion	9174,27	1	9174,27	18,02	0,0054
PreCultivo	58,08	1	58,08	0,11	0,7470
Rep	1327,17	2	663,58	1,30	0,3387
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	1855,05	1	1855,05	3,64	0,1048
Error	3053,93	6	508,99		
Total	15468,50	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=31,87214

Error: 508,9878 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 326,93 6 9,21 A

Irrigado 382,23 6 9,21 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=31,87214

Error: 508,9878 gl: 6

PreCultivo Medias n E.E.

T2 352,38 6 9,21 A

T1 356,78 6 9,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=39,03525

Error: 508,9878 gl: 6

Rep Medias n E.E.

1 341,50 4 11,28 A

2 355,00 4 11,28 A

3 367,25 4 11,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=45,07402

Error: 508,9878 gl: 6

TipodeIrrigacion PreCultivo Medias n E.E.

Sequia T1 316,70 3 13,03 A

Sequia T2 337,17 3 13,03 A B

Irrigado T2 367,60 3 13,03 B C

Irrigado T1 396,87 3 13,03 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BioSecaEspigas_59

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaEspigas 59	12	0,93	0,87	4,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	256,45	5	51,29	15,25	0,0023
TipodeIrrigacion	71,54	1	71,54	21,27	0,0036
PreCultivo	106,21	1	106,21	31,58	0,0014
Rep	20,18	2	10,09	3,00	0,1250
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	58,52	1	58,52	17,40	0,0059
Error	20,18	6	3,36		
Total	276,63	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,59074

Error: 3,3631 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Irrigado 42,62 6 0,75 A

Sequia 47,50 6 0,75 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,59074

Error: 3,3631 gl: 6

PreCultivo Medias n E.E.

T2 42,08 6 0,75 A

T1 48,03 6 0,75 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,17300

Error: 3,3631 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.	
2	43,50	4	0,92	A
3	45,00	4	0,92	A B
1	46,68	4	0,92	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,66387**

Error: 3,3631 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.	
Irrigado	T2	37,43	3	1,06	A
Sequia	T2	46,73	3	1,06	B
Irrigado	T1	47,80	3	1,06	B
Sequia	T1	48,27	3	1,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**BioSecaEspigas_73**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaEspigas	73	12	0,41	0,00 10,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	841,83	5	168,37	0,83	0,5735
TipodeIrrigacion	271,70	1	271,70	1,33	0,2920
PreCultivo	71,54	1	71,54	0,35	0,5751
Rep	228,79	2	114,39	0,56	0,5976
TipodeIrrigacion*PreCultiv..	269,80	1	269,80	1,32	0,2936
Error	1222,12	6	203,69		
Total	2063,94	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=20,16220

Error: 203,6858 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Irrigado	131,02	6	5,83 A
Sequia	140,53	6	5,83 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=20,16220**

Error: 203,6858 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T2	133,33	6	5,83 A
T1	138,22	6	5,83 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=24,69356**

Error: 203,6858 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
1	129,60	4	7,14 A
2	138,85	4	7,14 A
3	138,88	4	7,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=28,51366**

Error: 203,6858 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Irrigado	T2	123,83	3	8,24 A
Irrigado	T1	138,20	3	8,24 A
Sequia	T1	138,23	3	8,24 A
Sequia	T2	142,83	3	8,24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BioSecaEspigas_92

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
BioSecaEspigas	92	12	0,70	0,44 11,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		134463,70	5	26892,74	2,75	0,1252
TipodeIrrigacion		114389,17	1	114389,17	11,69	0,0142
PreCultivo		15069,80	1	15069,80	1,54	0,2609
Rep		24,27	2	12,13	1,2E-03	0,9988
TipodeIrrigacion*PreCultiv..		4980,47	1	4980,47	0,51	0,5024
Error		58706,54	6	9784,42		
Total		193170,23	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=139,74144

Error: 9784,4226 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Sequia	781,19	6	40,38 A
Irrigado	976,46	6	40,38 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=139,74144

Error: 9784,4226 gl: 6

PreCultivo	Medias	n	E.E.
T2	843,39	6	40,38 A
T1	914,26	6	40,38 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=171,14761

Error: 9784,4226 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
3	876,92	4	49,46 A
1	879,22	4	49,46 A
2	880,34	4	49,46 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=197,62424

Error: 9784,4226 gl: 6

TipodeIrrigacion	PreCultivo	Medias	n	E.E.
Sequia	T2	766,13	3	57,11 A
Sequia	T1	796,26	3	57,11 A
Irrigado	T2	920,65	3	57,11 A B
Irrigado	T1	1032,27	3	57,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DM_straw EC 59

EC	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
59,00	DM straw	12	0,94	0,88	3,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3925,29	5	785,06	17,53	0,0016
PosRot	1230,19	1	1230,19	27,46	0,0019
TipodeIrrigacion	934,57	1	934,57	20,86	0,0038
Rep	974,83	2	487,42	10,88	0,0101
PosRot*TipodeIrrigacion	785,70	1	785,70	17,54	0,0058
Error	268,76	6	44,79		
Total	4194,05	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,45509

Error: 44,7936 gl: 6

PosRot	Medias	n	E.E.
W2	211,47	6	2,73 A
W1	231,72	6	2,73 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=9,45509**

Error: 44,7936 gl: 6

TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
Sequia	212,77	6	2,73 A
Irrigado	230,42	6	2,73 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,58007**

Error: 44,7936 gl: 6

Rep	Medias	n	E.E.
2,00	208,95	4	3,35 A
3,00	226,50	4	3,35 B
1,00	229,33	4	3,35 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,37152**

Error: 44,7936 gl: 6

PosRot	TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.
W2	Sequia	210,73	3	3,86 A
W2	Irrigado	212,20	3	3,86 A
W1	Sequia	214,80	3	3,86 A
W1	Irrigado	248,63	3	3,86 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)**DM_straw EC 73**

EC	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
73,00	DM straw	12	0,95	0,91	5,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13922,99	5	2784,60	22,02	0,0009
PosRot	0,65	1	0,65	0,01	0,9450
TipodeIrrigacion	12623,05	1	12623,05	99,83	0,0001
Rep	584,72	2	292,36	2,31	0,1801
PosRot*TipodeIrrigacion	714,56	1	714,56	5,65	0,0550
Error	758,70	6	126,45		
Total	14681,70	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,88614

Error: 126,4508 gl: 6

PosRot	Medias	n	E.E.
W1	218,58	6	4,59 A

W2 219,05 6 4,59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=15,88614

Error: 126,4508 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 186,38 6 4,59 A

Irrigado 251,25 6 4,59 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=19,45647

Error: 126,4508 gl: 6

Rep Medias n E.E.

1,00 211,90 4 5,62 A

2,00 216,18 4 5,62 A

3,00 228,38 4 5,62 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=22,46640

Error: 126,4508 gl: 6

PosRot TipodeIrrigacion Medias n E.E.

W1 Sequia 178,43 3 6,49 A

W2 Sequia 194,33 3 6,49 A

W2 Irrigado 243,77 3 6,49 B

W1 Irrigado 258,73 3 6,49 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

BioSecaPaja_92

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
BioSecaPaja	92	12	0,70	0,45	10,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		109598,40	5	21919,68	2,77	0,1234
TipodeIrrigacion		87190,29	1	87190,29	11,02	0,0160
PreCultivo		12503,98	1	12503,98	1,58	0,2554
Rep		4007,79	2	2003,90	0,25	0,7841
TipodeIrrigacion*PreCultiv..		5896,33	1	5896,33	0,75	0,4211
Error		47464,72	6	7910,79		
Total		157063,12	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=125,65144

Error: 7910,7874 gl: 6

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 724,28 6 36,31 A

Irrigado 894,76 6 36,31 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=125,65144

Error: 7910,7874 gl: 6

PreCultivo Medias n E.E.

T2 777,24 6 36,31 A

T1 841,80 6 36,31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=153,89095

Error: 7910,7874 gl: 6

Rep Medias n E.E.

3 786,40 4 44,47 A

2 811,09 4 44,47 A

1 831,08 4 44,47 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=177,69797

Error: 7910,7874 gl: 6

TipodeIrrigacion PreCultivo Medias n E.E.

Sequia T2 714,17 3 51,35 A

Sequia T1 734,39 3 51,35 A

Irrigado T2 840,31 3 51,35 A B

Irrigado T1 949,21 3 51,35 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Parámetros fisiológicos

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV

LAI 84 0,45 0,42 14,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		35,95	5	7,19	12,87	<0,0001
TipodeIrrigacion		31,49	1	31,49	56,38	<0,0001
PreCultivo		0,62	1	0,62	1,11	0,2958
Rep		1,42	2	0,71	1,27	0,2866
TipodeIrrigacion*PreCultiv..		2,42	1	2,42	4,34	0,0405
Error		43,56	78	0,56		
Total		79,51	83			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,32467

Error: 0,5585 gl: 78

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequia 4,47 42 0,12 A

Irrigado 5,69 42 0,12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,32467

Error: 0,5585 gl: 78

PreCultivo Medias n E.E.

T2 4,99 42 0,12 A

T1 5,16 42 0,12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,39764

Error: 0,5585 gl: 78

Rep Medias n E.E.

2 4,90 28 0,14 A

1 5,12 28 0,14 A

3 5,21 28 0,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,45915

Error: 0,5585 gl: 78

TipodeIrrigacion PreCultivo Medias n E.E.

Sequía	T1	4,38	21	0,16	A
Sequía	T2	4,55	21	0,16	A
Irrigado	T2	5,43	21	0,16	B
Irrigado	T1	5,95	21	0,16	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Uso eficiente de radiación (LUE)

Degrees-of-freedom method: containment

Confidence level used: 0.95

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 4 estimates

significance level used: alpha = 0.05

PreCultivo	Irrigacion	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	.group	EC
T1	Sequía	1,89356E+14	2,05373E+14	2	1,00991E+14	2,77721E+14	a	32
T2	Sequía	1,8036E+14	2,05373E+14	2	9,19949E+14	2,68725E+14	a	32
T2	Irrigado	1,73745E+14	2,05373E+14	2	8,53796E+14	2,6211E+14	a	32
T1	Irrigado	1,59017E+14	2,05373E+14	2	7,06516E+14	2,47382E+14	a	32
T1	Irrigado	2,50367E+14	9,05271E+13	2	2,11417E+14	2,89318E+14	a	59
T1	Sequía	2,26421E+14	9,05271E+13	2	1,8747E+14	2,65372E+14	ab	59
T2	Sequía	2,24709E+14	9,05271E+13	2	1,85758E+14	2,63659E+14	ab	59
T2	Irrigado	2,18665E+14	9,05271E+13	2	1,79714E+14	2,57615E+14	b	59
T1	Irrigado	2,4252E+14	9,93703E+12	2	1,99764E+14	2,85276E+14	a	73
T2	Irrigado	2,31785E+14	9,93703E+12	2	1,89029E+14	2,74541E+14	a	73
T2	Sequía	2,13112E+14	9,93703E+12	2	1,70357E+14	2,55868E+14	a	73
T1	Sequía	1,98443E+14	9,93703E+12	2	1,55687E+14	2,41199E+13	a	73
T1	Irrigado	2,26935E+14	9,83651E+12	2	1,84612E+14	2,69258E+14	a	92
T2	Irrigado	2,1203E+14	9,83651E+12	2	1,69707E+14	2,54353E+14	a	92
T1	Sequía	1,98109E+14	9,83651E+12	2	1,55786E+14	2,40432E+14	a	92
T2	Sequía	1,89206E+14	9,83651E+12	2	1,46882E+14	2,31529E+14	a	92

EC32	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6	125.264361	3.04E-05
PosRot	1	6	0.03508829185	0.8575846148
Irr	1	6	1.458486234	0.2726109274
PosRot:Irr	1	6	0.6010920581	0.467608196

EC59	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6	865.3886977	1.02E-07
PosRot	1	6	10.06469347	0.01925796631
Irr	1	6	2.888856998	0.1401046688
PosRot:Irr	1	6	8.107162765	0.02928481648

EC73	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6	1661.448243	1.46E-08
PosRot	1	6	0.04192613317	0.8445300685
Irr	1	6	10.66517877	0.01712488199
PosRot:Irr	1	6	1.74810376	0.2342815922

EC92	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6	1764.054499	1.22E-08
PosRot	1	6	1.4646617	0.2716993816
Irr	1	6	6.892997285	0.03929819855
PosRot:Irr	1	6	0.0930884242	0.7705939733

Absorción total de radiación (Max. Rad uptake)

Degrees-of-freedom method: containment

Confidence level used: 0.95

P value adjustment: tukey method for comparing a family of 4 estimates

significance level used: alpha = 0.05

PreCultivo	Irrigación	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL	.group
T1	Irrigado	7,88214E+13	7,45069E+14	2	7,56156E+14	8,20272E+14	a
T2	Irrigado	7,48203E+14	7,45069E+14	2	7,16145E+14	7,80261E+13	b
T1	Sequía	7,08672E+14	7,45069E+14	2	6,76614E+14	7,40729E+14	c
T2	Sequía	7,04853E+14	7,45069E+14	2	6,72795E+14	7,36911E+14	c

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6	39189.86788	1.12E-12
PosRot	1	6	8.651235978	0.0259039296
Irr	1	6	68.01398488	0.0001718019908
PosRot:Irr	1	6	5.898811732	0.05124968842

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cond	272	0,52	0,51	41,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		5490473,25	5	1098094,65	57,29	<0,0001
PreCultivo		22252,06	1	22252,06	1,16	0,2822
Rep		9853,37	2	4926,68	0,26	0,7735
TipodeIrrigacion		5428743,22	1	5428743,22	283,24	<0,0001
PreCultivo*TipodeIrrigacio..		19280,13	1	19280,13	1,01	0,3168
Error		5098244,22	266	19166,33		
Total		10588717,46	271			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=33,06353

Error: 19166,3316 gl: 266

PreCultivo Medias n E.E.

T2 322,95 139 11,74 A

T1 341,05 133 12,01 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=40,48509

Error: 19166,3316 gl: 266

Rep Medias n E.E.

3 324,09 90 14,60 A

2 333,21 91 14,52 A

1 338,71 91 14,52 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=33,05906

Error: 19166,3316 gl: 266

TipodeIrrigacion Medias n E.E.

Sequía 190,62 134 11,97 A

Irrigado 473,38 138 11,79 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=46,76557

Error: 19166,3316 gl: 266

PreCultivo	TipodeIrrigacion	Medias	n	E.E.	
T2	Sequía	190,00	69	16,67	A
T1	Sequía	191,25	65	17,18	A
T2	Irrigado	455,91	70	16,55	B
T1	Irrigado	490,85	68	16,80	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)