



Respuesta del rendimiento y concentración de proteína en cebada ante manejo de la oferta hídrica y de nitrógeno en Córdoba, Argentina

Autores: Arena, Alejo Yair

Boggione, Juan Ignacio

Martinelli, Bruno

Tutor: Dr. (Ing. Agr.) Cantarero, Marcelo Gabriel

Año: 2023

Área de consolidación: Sistemas Agrícolas de Producción de Cultivos Extensivos.

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

 CC BY-NC-ND 4.0

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Agradecimientos:

Al Dr. Marcelo Cantarero por el apoyo incondicional, invaluable orientación y su gran dedicación durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo y amigo Raúl Giupponi por su gran contribución y predisposición para la realización de este ensayo.

A los miembros de la cátedra de Cereales y Oleaginosas.

A familiares y amigos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTAS DE TABLAS.....	4
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
Objetivo general	11
Objetivos específicos.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
Caracterización climática y edáfica de la campaña:.....	16
Peso seco, interceptación y eficiencia de uso de la radiación:	18
Rendimiento y componentes:.....	20
Consumo de agua:	23
Proteína:	24
CONCLUSIÓN	28
BIBLIOGRAFIA.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rendimiento al 0% de humedad en la condición de riego (Rend-R) y en seco (Rend-S). Sobre las barras, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). 23

Figura 2: Contenido de proteína en la condición de riego (P-R) y en seco (P-S). Las líneas horizontales entre 10 y 12% muestran el % de proteína dentro del rango impuesto por la industria. Sobre las barras, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). 27

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades del suelo correspondientes al sitio experimental (Dardanelli *et al.*, 1997). 12

Tabla 2: Caracterización climática mensual de la campaña 2022. Radiación global (RG), temperatura media (Tmed), cociente fototérmico (Q), temperatura mínima (Tmín), temperatura máxima (Tmáx) y precipitación (PP). También se muestran esas variables para la serie. 17

Tabla 3: Análisis químico del suelo. Profundidad de suelo (Prof; cm), materia orgánica del suelo (MOS; %), carbono orgánico (C org; %), nitrógeno total (N total; %), relación carbono: nitrógeno, nitrógeno de nitratos (N-NO₃; ppm), azufre de sulfatos (S-SO₄; ppm), fósforo extraíble (P-Bray; ppm), pH actual y conductividad eléctrica (CE; dS m⁻¹). 18

Tabla 4: Peso seco total a madurez (PST), radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada a madurez (RFA_i), eficiencia de uso de la radiación a madurez (EUR) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno. 20

Tabla 5: Rendimiento al 0% de humedad (Rend), número de granos (NG) por unidad de superficie, peso individual del grano (PG), peso seco de las espigas (PSE) por unidad de superficie a fin de período crítico, factor de fertilidad de las espigas (FF) e índice de cosecha (IC) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno. 22

Tabla 6: Consumo acumulado de agua a madurez (C) y eficiencia de uso del agua para el rendimiento al 0% de humedad (EUA Rend) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno. 24

Tabla 7: Contenido de proteína (%) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno. 26

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento y contenido de proteína de un cultivar de cebada, en dos situaciones contrastantes de oferta hídrica y cinco niveles de Nitrógeno (N). El ensayo fue realizado durante la campaña invernal 2022 en el Área Experimental del Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas, donde la parcela principal, fue el nivel de agua (riego y seco) y la subparcela correspondió al nivel de N. A fin del periodo crítico se realizaron determinaciones de peso seco de las espigas por unidad de superficie (PSE). A madurez se evaluó el peso seco total (PST), el rendimiento (Rend) y sus componentes numéricos: número de granos (NG) por unidad de superficie y el peso individual del grano (PG). Se cuantificó el consumo (C), la eficiencia en el uso del agua (EUA Rend) y contenido de proteína para cada tratamiento. Se obtuvieron rendimientos significativamente más altos en condiciones de riego en comparación con seco (6660 y 4140 kg ha⁻¹, respectivamente). Además, la cebada respondió favorablemente a dosis más elevadas de N, siendo el tratamiento con 120 kg N ha⁻¹ (N120) el de mayor rendimiento. En la condición de seco, se logró mayor contenido de proteína, donde el tratamiento N0 fue el único dentro del rango impuesto por la industria (9,5 - 13%), mientras que, bajo riego, los tratamientos con dosis más altas de N (N120, N120+30 y N150) fueron los únicos que lograron niveles de proteína dentro del rango aceptable. En conclusión, la biomasa aumentó por mayor captura y eficiencia de conversión en materia seca. Bajo riego, el Rend estuvo más relacionado a NG que a PG. La fertilización nitrogenada afectó principalmente la proteína de los granos, debido a los niveles de N inicial. Por eso es importante considerar la disponibilidad inicial de este nutriente para decidir la cantidad a aplicar y así mantener la proteína dentro rango óptimo.

Palabras clave: cereales de invierno, agua, nutrientes, fertilización, proteína, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El futuro de la agricultura enfrenta el desafío de satisfacer la demanda de sus productos frente al aumento demográfico mundial. Para ello se requiere de un aumento de la actual tasa de producción global de cereales, esto se puede generar por el incremento en la superficie cultivada, mayor cantidad de cultivos por año o mayores rendimientos por unidad de superficie. Sin embargo, a esto hay que realizarlo sin seguir sometiendo al medio ambiente a la gran presión que realiza la agricultura sobre él, por lo que es un enorme desafío que pone a prueba nuestra capacidad creativa e innovadora, en cuanto al cuidado de los ambientes, así como de los servicios ecosistémicos, al mismo tiempo del aumento de la producción (Andrade, 2016).

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) ocupa el quinto lugar entre los cereales en cuanto a superficie cultivada a nivel mundial (Pardo, 2018), y es el cuarto cereal por volumen de producción, detrás del maíz, arroz y trigo. Argentina es el mayor productor de cebada (especializándose en cebada cervecera) dentro de América del Sur (Kloster y Parras, 2014). En nuestro país, el cultivar Andreia conforma casi la totalidad de la cebada cultivada, siendo dominante desde el año 2014 a la actualidad en toda la zona de cultivo (SISA, 2022). Algunos de los factores que determinaron el aumento de la superficie sembrada fueron las condiciones comerciales favorables, un aumento en el consumo local de cerveza y una alta demanda a nivel internacional tanto de grano como de malta. Por su parte también hubo un aumento en la capacidad de la industria maltera instalada en el país (Rausch, 2015). La producción de cebada se concentra en la Región Pampeana, donde la provincia de Buenos Aires participa en más del 90%. El resto de la producción se divide entre las provincias de Santa Fe, Córdoba y La Pampa (Gimenez, 2017).

En la región semiárida central de Córdoba, el ciclo de los cultivos invernales ocurre con bajo nivel de precipitaciones, y el rendimiento depende en gran medida del agua almacenada en el suelo al momento de la siembra. En consecuencia, conocer la demanda de agua de esta especie, permitiría optimizar prácticas de manejo (Cantarero *et al.*, 2012). Gaggioli *et al.* (2013) trabajando en la EEA INTA Anguil encontraron que la cebada es más eficiente en el uso de agua

respecto al trigo, sin embargo, en la zona semiárida central de Córdoba, el consumo y la EUA de la cebada no ha sido evaluada hasta el momento.

El rendimiento es el resultado de la producción de materia seca y la partición hacia estructuras reproductivas. La biomasa está determinada por la duración del ciclo del cultivo y por la captura y eficiencia de conversión de radiación por parte del canopeo. Tanto en trigo como en cebada, los componentes numéricos del rendimiento son el número de granos (NG) por unidad de superficie y el peso individual del grano (PG) y su determinación está estrechamente relacionada con el crecimiento y la partición de asimilados. De estos componentes el NG es el más relacionado al rendimiento, el cual se determina en el periodo crítico (20 días antes y 10 días después de antesis) denominado periodo de crecimiento de las espigas (PCE). Considerando que en cebada la antesis ocurre simultáneamente con espigazón, el período crítico en este cultivo ocurriría un poco antes que en trigo, entre 40 y 10 días antes de espigazón (Arisnabarreta and Miralles, 2008). El PG se establece durante el periodo de llenado de grano, comprendido entre el final del periodo crítico y madurez fisiológica, tanto para trigo (Abbate *et al.*, 1995) como para cebada (Arisnabarreta and Miralles, 2008). Condiciones ambientales que afecten el crecimiento del cultivo repercutirán en ambos componentes de rendimiento. Cuando estas condiciones no limitan el crecimiento, la biomasa de espigas por unidad de superficie al final del PCE (PSE) es un buen estimador de la disponibilidad de asimilados para fijar granos y está relacionado positivamente con el NG. Dicho esto, cuando el agua y los nutrientes no son una limitante, el PSE y por lo tanto el NG están directamente relacionados con la interceptación de la radiación en trigo (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1995; Lázaro and Abbate, 2012) y en cebada (Boero, 2013). En la región central de Córdoba, el ambiente genera en la mayoría de los años condiciones de estrés hídrico que reducen el crecimiento del cultivo durante las etapas críticas de determinación del rendimiento. La magnitud de esta penalización no ha sido suficientemente estudiada en el cultivo de cebada, sobre todo considerando su efecto sobre la captura y la eficiencia de uso de la radiación solar.

Un estrés hídrico reduce el crecimiento de los cereales de invierno, por una disminución en la cantidad de radiación interceptada y por lo tanto en una menor eficiencia en el uso de la

radiación. Esto se da por una menor expansión foliar y exposición de la superficie de la hoja a la luz o por la muerte de las mismas (Cantarero, 2019). La fotosíntesis también se ve reducida bajo una deficiencia hídrica, lo que conlleva a un menor crecimiento del cultivo (Gallagher and Biscoe, 1978; Robertson and Giunta, 1994; Cantarero *et al.*, 2016). En el periodo crítico si el cultivo sufre un estrés hídrico y no logra suficiente área foliar durante el crecimiento de las espigas, el rendimiento se verá afectado como producto de un menor NG dada una menor captura y eficiencia de uso de la radiación. Deficiencias hídricas durante el periodo de llenado de grano aceleran la senescencia foliar y reducen la actividad fotosintética del cultivo, por lo tanto, se afectará el peso final que logre cada grano (Cantarero, 2019).

En cereales, el N es el nutriente que limita con mayor frecuencia la producción debido a los altos requerimientos y también a la frecuencia con la que se encuentra en deficiencia en los suelos. En el caso de la cebada, sus máximos requerimientos de N ocurren desde fin de macollaje hasta espigazón (Orcellet *et al.*, 2015). La deficiencia de este nutriente resulta en un menor crecimiento del cultivo y hojas de tamaño inferior a las normales, lo que conlleva a una menor área foliar y una menor radiación interceptada por el cultivo. Esto se relaciona con el rendimiento, ya que las variaciones están más vinculadas al NG que al PG, es por eso que, en el período crítico se debe mantener el área foliar sana para aumentar la cantidad de fotoasimilados que serán particionados hacia la espiga (Lerda, 2014).

La absorción de N por el cultivo es lenta en las primeras etapas de desarrollo, reflejando la baja velocidad de crecimiento. A fin de macollaje y durante encañazon la absorción se ve acelerada llegando a su valor máximo en antesis. Según estudios analizados, se sabe que aplicaciones de N en etapas tempranas de desarrollo pueden aumentar el rendimiento, generando mayor número de granos y disminuyendo el contenido proteico. La aplicación de bajas dosis de N tiende a incrementar el rendimiento y disminuir el contenido proteico por un efecto dilución, sin embargo, con altas dosis se obtienen los máximos rendimientos y alto niveles de proteína (Rausch, 2015). Este efecto puede ser corregido manejando las dosis y forma de aplicación.

En numerosos ensayos en la región pampeana se observaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada realizada a la siembra (Prystupa *et al.*, 2008), observándose también un aumento del rendimiento (Orcellet *et al.*, 2015; Landriscini *et al.*, 2004). Aplicaciones realizadas en etapas más avanzadas que el periodo vegetativo, o demoras en la aplicación, aumentan la disponibilidad de N en post-antesis y tienen como consecuencia un redireccionamiento de N hacia el grano en formación, con un efecto directo menor sobre el rendimiento y mayor efecto sobre el peso del grano y el contenido de proteína del mismo (Kloster y Parras, 2014). Aplicaciones después de la siembra para la región central de Córdoba no son efectivas, ya que las escasas precipitaciones no permiten incorporar el N, por lo que una alternativa para mejorar el contenido proteico podrían ser aplicaciones foliares en espigazón (pre-antesis), como demostraron Prystupa *et al.* (2021) en un estudio realizado en La Pampa Argentina.

El período de llenado de grano es fundamental no solo para el rendimiento, sino también sobre la calidad maltera de la cebada. Si esta etapa es limitada por temperaturas altas, estrés hídrico o una reducción del crecimiento, se corre riesgo de que el grano manifieste un alto contenido proteico (Lerda, 2014). Austin *et al.* (1977); Malhi *et al.* (2006) aseguran que para lograr un contenido proteico adecuado se debe lograr una correcta disponibilidad de N para el cultivo en pre-antesis, ya que, en los cereales de invierno el N que es absorbido en esa etapa es el principal aporte de N para el grano. En la región central de Córdoba, por las limitantes mencionadas anteriormente, este aporte de N no se puede lograr con la incorporación del mismo al suelo en pre antesis, en cambio podría lograrse realizando aplicaciones foliares en dicha etapa.

El contenido proteico de la cebada para la elaboración de malta tiene que ser del 10 al 12% (Prystupa *et al.*, 2008) con tolerancia de recibo mínima de 9,5% y hasta 13% (Gimenez, 2017; Bolsa de Comercio de Rosario, 2013). Distintos autores trabajando en Buenos Aires con diferentes cultivares de cebada y dosis de hasta 160 kg N ha⁻¹ demostraron que la proteína del grano aumentó hasta un 12%, siendo lo óptimo para malterías (Prystupa *et al.*, 2008; Ferraris *et al.*, 2008).

Debido a la baja oferta hídrica y a las condiciones ambientales desfavorables durante el periodo de crecimiento del cultivo, los resultados que obtuvieron los distintos autores que se mencionan en párrafos anteriores no fueron evaluados para la región semiárida central de Córdoba. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento de cebada cervecera tanto en rendimiento como en contenido de proteína frente a diferente oferta hídrica y de fertilización nitrogenada.

Objetivo general

Evaluar la respuesta del rendimiento, componentes numéricos (NG y PG) y contenido de proteína de cebada cervecera ante distintas situaciones de oferta hídrica y fertilización nitrogenada.

Objetivos específicos

Evaluar la producción de biomasa a madurez en condiciones de riego y secano con distinta oferta de N.

Determinar la intercepción y eficiencia de uso de la radiación.

Evaluar el rendimiento y sus componentes numéricos (NG y PG).

Evaluar el consumo y eficiencia en el uso del agua.

Evaluar el contenido de proteína del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Área Experimental del Campo Escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba ubicado en Camino a Capilla de los Remedios en el km 15,5 perteneciente al Dpto. Santa María (31° 28' 40,64'' S; 64° 00' 24,80'' O; 360 msnm) durante el año 2022, en donde se combinaron dos niveles de oferta hídrica (riego y seco) y cinco tratamientos de fertilización nitrogenada sobre Cebada cervecera, *Hordeum vulgare*, cultivar Andreia.

Esta zona corresponde a la región semiárida central de la provincia de Córdoba con una precipitación media anual de 759 mm con una distribución estacional de tipo monzónico y una temperatura media anual de 17,3°C y la amplitud térmica de 14 °C (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2019).

El tipo de suelo corresponde a un Haplustol éntico, de textura franco limosa con una capacidad de uso III_c (Giupponi, 2020). A continuación, en la Tabla 1 se presentan algunas características de este suelo.

Tabla 1: Propiedades del suelo correspondientes al sitio experimental (Dardanelli *et al.*, 1997).

Horizonte	A	AC	C
Profundidad (cm)	0-23	23-45	+54
Carbono orgánico (g kg ⁻¹)	13,2	4,8	2,4
pH (1:1)	7,1	7,3	7,7
Arcillas (g kg ⁻¹)	157	161	121
Limo (g kg ⁻¹)	667	682	692
Arena (g kg ⁻¹)	176	157	165
Capacidad de campo (cm ³ cm ⁻³)	0,327	0,290	0,270
Punto de marchitez permanente a 1500 kPa (cm ³ cm ⁻³)	0,145	0,117	0,115

Previo a la siembra se efectuó un muestreo de suelo para caracterizar la fertilidad química y el contenido de agua inicial del lote hasta los 2 m de profundidad (Tabla 3).

La siembra del ensayo se realizó el 19 de mayo del 2022, con una sembradora experimental Fercam 440. El diseño experimental fue con un modelo de parcelas divididas; donde la parcela principal fue el nivel de agua (riego y seco) y las subparcelas los tratamientos de N. Se realizaron tres repeticiones por cada unidad experimental. Cada una de estas parcelas fue de 55 m de largo por 3,40 m de ancho. La distancia entre surcos fue de 0,175 m. En cuanto a malezas, estas fueron debidamente controladas con una aplicación post-emergente de 100 cc/ha de picloram, 100 cc/ha de dicamba y 6 g/ha de metsulfuron. No se presentaron plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo.

El cultivar evaluado fue Andreia. En cuanto a sanidad posee un comportamiento destacado ante roya de hoja (*Puccinia hordei*), siendo medianamente susceptible a las otras enfermedades importantes de la cebada en argentina (Cebada Cervecera, 2023).

El contenido hídrico del suelo previo a la siembra (AT_I) y en madurez (AT_F) se determinó de acuerdo al método gravimétrico hasta los 2 m de profundidad, fraccionados cada 0,2 m. Para transformar la humedad gravimétrica en humedad volumétrica se utilizó una densidad aparente de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$. AT_I se realizó previo a la siembra de manera aleatoria en varios sectores del lote. AT_F se determinó en el momento de madurez fisiológica en cada unidad experimental. El consumo total de agua (C) se determinó de acuerdo a la Ec1 (Giupponi, 2020).

$$C = (AT_I + PP_{ef} + R) - AT_F \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

AT_I = es el agua total al inicio (siembra);

AT_F = el agua total al final (madurez);

R = el agua aportada por riego;

PP_{ef} = es la precipitación efectiva.

La PP_{ef} fue calculada de acuerdo a la ecuación obtenida por Dardanelli *et al.* (1992) (Ec.2). Valores de precipitación menores a 15 mm se consideraron 100% efectivos.

$$\text{Si } PP > 15\text{mm}; PP_{\text{ef}} = 2,43 * PP^{0,667}$$

Ec. 2

Donde:

PP = es la precipitación diaria.

El sistema de riego utilizado fue por goteo subterráneo, el cual contó con un caudalímetro que permitió conocer la lámina total de agua aplicada. La eficiencia de aplicación se consideró del 100%.

Los tratamientos de N fueron los siguientes: a) control sin N (N0); b) 75 kg N ha⁻¹ (N75); c) 120 kg ha⁻¹ (N120); d) 150 kg ha⁻¹ (N150) y e) 120 kg ha⁻¹ a la siembra más 30 kg N ha⁻¹ aplicados de manera foliar en encañazón (N120+30). La fertilización se realizó con urea granulada incorporada al suelo al momento de la siembra. La aplicación foliar se hizo diluyendo la dosis de N en agua y fueron aplicados con una pulverizadora manual.

Durante el ciclo del cultivo se midió semanalmente al mediodía, con un ceptómetro marca AccuPAR modelo LP-80, la fracción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada en cada unidad experimental. La fracción de radiación interceptada diaria se calculó por interpolación lineal entre mediciones. Los datos de radiación global incidente fueron obtenidos de una estación agrometeorológica ubicada a 200 m del experimento. La fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (FI) fue calculada como $1 - (I_0/I)$, donde I_0 fue la RFA incidente en la capa más baja de hojas verdes dentro del canopeo, y I fue la RFA incidente sobre el canopeo del cultivo. La cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada desde la emergencia a madurez fisiológica (RFA_i) se obtuvo a partir del producto de la fracción diaria de radiación interceptada y la radiación fotosintéticamente activa incidente. La eficiencia de uso de la radiación a madurez (EUR) se calculó como el cociente entre el peso seco total a madurez (PST) y la RFA_i.

Los estados de desarrollo de emergencia (Z10), anthesis (Z60) y madurez fisiológica (Z90) fueron identificados de acuerdo a la clave de Zadocks *et al.* (1974). Siete días después de anthesis

se realizó un muestreo para determinar la biomasa del cultivo a fin de período crítico (PS_{fin}) en una superficie de $0,875 \text{ m}^2$ (5 metros lineales de surco, en competencia perfecta). Cada muestra fue tomada cortando las plantas al ras del suelo. Luego de la madurez fisiológica se realizó otro muestreo de la misma forma que el anterior, pero en una superficie de 2 m^2 , obteniendo así el PST. Las muestras fueron secadas con aire forzado a 65°C hasta peso constante.

El peso seco de las espigas (PSE) por unidad de superficie se determinó a partir de una submuestra de 25 tallos al azar del muestreo PS_{fin} y el peso del grano fue descontado del peso de las espigas. Las espigas fueron separadas de los tallos, secadas y pesadas. El factor de fertilidad de las espigas (FF) fue determinado como la relación entre PSE y el número de granos (NG) por unidad de superficie.

Las muestras de madurez fueron trilladas, con una trilladora estática y los granos se limpiaron para eliminar restos de materia vegetal. Se pesaron los granos de cada unidad experimental y el rendimiento fue expresado al 0% de humedad (Rend). El peso individual del grano (PG) se obtuvo a partir de una submuestra de 200 granos al azar. El NG fue obtenido como la relación entre el Rend y PG. El índice de cosecha (IC), como el cociente entre el Rend y el PST. La eficiencia del uso del agua (EUA Rend) fue calculada como la relación entre el Rend y el C.

Para la determinación del % de proteína se utilizó el contenido total de proteína en grano por espectroscopia de transmitancia en el infrarrojo cercano con un equipo Infratec 1241 de FOSS, calibrado con método Kjeldahl. El resultado se expresa en porcentaje.

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante ANAVA y las relaciones entre variables por análisis de regresión utilizando el software estadístico InfoStat. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) las medias se compararon a través del método DGC (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática y edáfica de la campaña:

Las variables climáticas de la campaña 2022 se detallan en la Tabla 2. Se destaca, como se mencionó anteriormente, la baja ocurrencia de precipitaciones durante gran parte del ciclo del cultivo, situación típica del ambiente del centro de Córdoba.

En lo que respecta a temperatura el promedio de las mínimas (T_{\min}) y la media (T_{med}) fueron menores para todos los meses, comparado con el periodo 1959-2009. El promedio de las temperaturas máximas (T_{\max}) fue menor solamente para los meses de mayo, junio y octubre comparado con el mismo periodo.

La radiación global (RG) fue menor únicamente en el mes de mayo. Ésta fue mayor en los meses siguientes que duró la campaña, comparado con el periodo nombrado anteriormente.

El cociente fototérmico (Q), es definido por Fischer (1985) como el resultado de la relación entre RG ($RG \cdot 0,45$) y la T_{med} menos la temperatura base para el trigo que es $4,5^{\circ}\text{C}$. Según Ferreyra (2022), con mayores valores de Q, mejor ambiente productivo. Por lo que, en este caso, el ambiente fue mejor que el periodo 1959-2009, excepto para los meses de julio, septiembre y noviembre, donde el valor obtenido fue el mismo que para el periodo comparado.

Las precipitaciones en todos los meses excepto agosto, ocurrieron en menor medida que para el periodo 1959-2009. Cabe destacar que en mayo no hubo precipitaciones.

Tabla 2: Caracterización climática mensual de la campaña 2022. Radiación global (RG), temperatura media (Tmed), cociente fototérmico (Q), temperatura mínima (Tmín), temperatura máxima (Tmáx) y precipitación (PP). También se muestran esas variables para la serie.

Variable	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
	Campaña 2022						
RG (Mj m⁻²)	8,8	9,8	10,1	14,1	16,4	21,3	24,9
Tmed (°C)	9,8	8,5	10,4	11,7	13,8	16,8	20,7
Q (MJ m⁻² d⁻¹ °C⁻¹)	0,8	1,1	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7
Tmín (°C)	4,0	1,8	3,2	4,1	5,7	9,0	12,2
Tmáx (°C)	16,8	17	18,5	20,3	22,5	24,5	28,8
PP (mm)	0,0	8,2	0,6	13,6	11,0	27,6	62,6
Período 1959-2009							
RG (Mj m⁻²)	10,2	8,6	9,8	13,0	16,1	19,3	22,6
Tmed (°C)	14,7	11,4	10,9	12,7	15,0	18,4	21,0
Q (MJ m⁻² d⁻¹ °C⁻¹)	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Tmín (°C)	8,7	5,4	4,6	5,7	8,0	11,9	14,4
Tmáx (°C)	20,6	17,3	17,2	19,8	22,1	24,9	27,5
PP (mm)	21,0	10,0	13,0	10,0	35,0	66,0	100,0

En la Tabla 3 puede observarse el análisis químico de suelo. Para la situación de riego hasta los 0,8 m de profundidad la disponibilidad de N-NO₃ fue de 205 kg ha⁻¹ y en seco de 59 kg ha⁻¹ N-NO₃. Para el caso del azufre los resultados se encuentran dentro del umbral y los valores de fósforo se encuentran por encima del umbral crítico para el cultivo (12-15 ppm). El pH en ambas situaciones se encuentra cercano a la neutralidad. En conclusión, el análisis muestra que con los valores obtenidos no tendríamos ningún tipo de deficiencia de nutrientes.

Tabla 3: Análisis químico del suelo. Profundidad de suelo (Prof; cm), materia orgánica del suelo (MOS; %), carbono orgánico (C org; %), nitrógeno total (N total; %), relación carbono: nitrógeno, nitrógeno de nitratos (N-NO₃; ppm), azufre de sulfatos (S-SO₄; ppm), fósforo extraíble (P-Bray; ppm), pH actual y conductividad eléctrica (CE; dS m⁻¹).

	----- Secano -----		----- Riego -----	
	0-20	20-80	0-20	20-80
Prof (cm)	0-20	20-80	0-20	20-80
MOS (%)	2,04		1,73	
C org (%)	1,19		1,00	
N total (%)	0,116		0,099	
Relación C:N	10,3		10,1	
N-NO₃ (ppm)	7,6	5,3	10,1	24,0
S-SO₄ (ppm)	5,8	5,0	5,0	5,8
P Bray (ppm)	30		19	
pH actual	6,5		6,5	
CE (dS m⁻¹)	0,4		0,5	

El contenido de agua útil inicial en secano y en riego fue de 216 y 234 mm, respectivamente. Concluyendo, estos son valores de un perfil con buen contenido hídrico para cultivos invernales en la zona central de Córdoba con los cuales tendríamos una expectativa de rendimientos superiores a los normales. La cantidad de PP_{ef} que ocurrió durante el ciclo fue de 109 mm. La lámina total de riego aplicada durante el ciclo del cultivo fue de 369 mm.

Peso seco, interceptación y eficiencia de uso de la radiación:

En PST se encontraron diferencias significativas entre los niveles de agua siendo la situación en riego un 54% mayor que para secano, no encontrándose significancia en nivel de N ni en la interacción (A×N), demostrándose que para biomasa del cultivo a madurez la fertilización nitrogenada no produjo efectos. Cantarero *et al.* (2016) obtuvieron resultados similares en Córdoba, donde demostraron que el peso seco del cultivo, desde inicio del período crítico hasta madurez, era significativamente mayor en situaciones irrigadas que en secano.

Respecto a la RFA_i, si bien la interacción A×N fue significativa, el tratamiento N0 en riego tuvo similar captura de luz respecto a todos los tratamientos de N en secano. No obstante, en

riego hubo un 19% más de captura de luz que en secano y los niveles de N (N150) más altos fueron los que expresaron la mayor captura de luz. La EUR por su parte, solo fue afectada por el nivel hídrico siendo un 27% superior la situación bajo riego. Esto coincide con el trabajo de Carbone y Vázquez (2021) realizado en trigo y en el mismo sitio experimental, donde demostraron que en condiciones de riego y con altos niveles de N se obtuvo mayor RFA_i , y que la EUR es solamente afectada por el nivel de agua. Arisnabarreta and Miralles (2006) también encontraron que con altas dosis de N se obtienen mayores valores de RFA_i . Los resultados obtenidos indican que el PST estuvo estrechamente relacionado tanto a la cantidad de radiación interceptada durante el ciclo como a la EUR.

Tabla 4: Peso seco total a madurez (PST), radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada a madurez (RFA_i), eficiencia de uso de la radiación a madurez (EUR) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno.

Nivel Agua	Nivel N	PST	RFA_i	EUR
	(kg N ha⁻¹)	(g m⁻²)	(Mj m⁻²)	(g MJ⁻¹ m⁻²)
Riego	N0	1398	488 b	2,8
	N75	1636	592 a	2,8
	N120	1663	582 a	2,9
	N120+30	1705	594 a	2,8
	N150	1725	615 a	2,8
Secano	N0	951	483 b	2,0
	N75	964	487 b	2,0
	N120	1146	474 b	2,4
	N120+30	1094	478 b	2,3
	N150	1121	497 b	2,3
Riego	-	1625 a	574 a	2,8 a
Secano	-	1055 b	484 b	2,2 b
-	N0	1174	486 b	2,4
-	N75	1300	540 a	2,4
-	N120	1404	528 a	2,7
-	N120+30	1399	536 a	2,6
-	N150	1423	556 a	2,5
Nivel Agua (A)		*	*	*
Nivel N (N)		ns	*	ns
AxN		ns	*	ns

Letras distintas establecen diferencias significativas ($p < 0,05$) pero solo se muestran cuando la diferencia fue significativa. También se muestra la significancia (*: $p < 0,05$; ns: no significativo) para Nivel Agua (A), Nivel N (N) y la interacción Nivel de agua x Nivel de N (AxN).

Rendimiento y componentes:

En Rend en la condición con riego fue de 6660 kg ha⁻¹ (666 g m⁻²) y en secano de 4140 kg ha⁻¹ (414 g m⁻²), estos valores ajustados al % de humedad de comercialización (12%) son 7610 y 4730 kg ha⁻¹, respectivamente. Se encontraron únicamente diferencias significativas en

el nivel de agua, siendo un 61% mayor en riego que en secano. En numerosos estudios (Borsini, 2019; Kloster y Parras, 2014; Arisnabarreta and Miralles, 2006; Ferraris *et al.*, 2008; Lerda, 2014; Prystupa *et al.*, 2008; Orcellet *et al.*, 2015) se demuestra que en cebada se pueden obtener altos rendimientos a partir de una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada, pero en este trabajo el rendimiento estuvo determinado principalmente por el nivel de agua, mostrando una diferencia con los resultados obtenidos por los autores mencionados. En el trabajo realizado por Pardo (2018) se demuestra que se obtienen mayores rendimientos bajo riego que en secano, cabe destacar que este estudio fue realizado en Castilla-La Mancha, España. Por otro lado, en trigo se encontraron diferentes trabajos en los que obtienen rendimientos más elevados en situaciones de riego respecto a secano, en concordancia con los resultados obtenidos en este trabajo (Giupponi, 2020; Cantarero *et al.*, 2016; Carbone y Vázquez, 2021; Ferreyra, 2022).

Respecto a NG y PG, las diferencias estadísticamente significativas encontradas fueron para nivel de agua en ambos casos, indicando que en la situación bajo riego hubo más granos y con mayor peso que en secano. Estas diferencias también las demuestran Carbone y Vázquez (2021), donde obtuvieron diferencias en el nivel de agua para NG y PG. Cantarero *et al.* (2016) en un estudio realizado en trigo, en Balcarce y en Córdoba en dos situaciones de oferta hídrica (riego y secano) demostraron que el NG es el componente del rendimiento más afectado por un déficit hídrico, respecto al PG. En este trabajo, se encontró que el rendimiento estuvo más asociado con el NG ($R^2= 0,99$; $p<0,05$) que con el PG ($R^2= 0,71$; $p<0,05$), esto a su vez también es explicado por distintos autores (Abbate *et al.*, 1995; Cantarero, 2019; Lázaro and Abbate, 2012; Prystupa *et al.*, 2018).

En cuanto a PSE el modelo arrojó diferencias estadísticamente significativas en el nivel de agua, siendo un 38 % mayor en riego que en secano en concordancia con Cantarero *et al.* (2016) que observaron que en condiciones de baja disponibilidad hídrica hay una disminución en el PSE. Por su parte, NG se asoció de manera positiva y significativa con PSE ($R^2= 0,60$; $p<0,05$).

En el IC no se encontraron diferencias significativas entre las fuentes de variación, situación que se repite en el FF. En discrepancia con los resultados obtenidos de IC, van den Boogaard *et al.* (1996) trabajando en trigo, encontraron que hubo mayor partición al crecimiento

de las espigas cuando se reducen las condiciones de crecimiento del cultivo ocasionadas por estrés hídrico, a diferencia de Robertson and Giunta (1994) que reportaron igual o menor partición a espigas en antesis en presencia de estrés hídrico.

Respecto a los resultados obtenidos en el FF, estos coinciden con lo demostrado por Cantarero *et al.* (2016) que no encontró diferencias significativas debido al efecto del nivel de agua, sin embargo, en situaciones bajo riego la respuesta esperada es que el FF sea más elevado en comparación al secano (Abbate *et al.*, 1997; Lázaro and Abbate, 2012).

Tabla 5: Rendimiento al 0% de humedad (Rend), número de granos (NG) por unidad de superficie, peso individual del grano (PG), peso seco de las espigas (PSE) por unidad de superficie a fin de período crítico, factor de fertilidad de las espigas (FF) e índice de cosecha (IC) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno.

Nivel Agua	Nivel N (kg N ha ⁻¹)	Rend (g m ⁻²)	NG (núm m ⁻²)	PG -----(g m ⁻²)----	PSE	FF (núm g ⁻¹)	IC (%)
Riego	N0	563	13481	41,9	123,0	109	40,4
	N75	659	14785	44,6	190,7	81	40,3
	N120	712	16262	43,7	145,3	112	42,9
	N120+30	724	16473	43,8	173,0	98	42,3
	N150	674	15731	42,9	166,3	98	39,1
Secano	N0	399	9449	42,2	110,3	87	42,2
	N75	382	9499	40,2	105,3	94	39,7
	N120	448	10866	41,2	158,3	77	39,0
	N120+30	400	9654	41,3	92,7	106	36,8
	N150	440	10987	39,9	110,7	97	38,8
Riego	-	666 a	15347 a	43,4 a	159,7 a	100	41,0
Secano	-	414 b	10091 b	41,0 b	115,5 b	92	39,3
-	N0	481	11465	42,0	116,7	98	41,3
-	N75	520	12142	42,4	148,0	88	40,0
-	N120	580	13564	42,4	151,8	95	41,0
-	N120+30	562	13064	42,6	132,8	102	39,5
-	N150	557	13359	41,4	138,5	97	39,0
Nivel Agua (A)		*	*	*	*	ns	ns

Nivel N (N)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AxN	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Letras distintas establecen diferencias significativas ($p < 0,05$) pero solo se muestran cuando la diferencia fue significativa. También se muestra la significancia (*: $p < 0,05$; ns: no significativo) para Nivel Agua (A), Nivel N (N) y la interacción Nivel de agua \times Nivel de N (AxN).

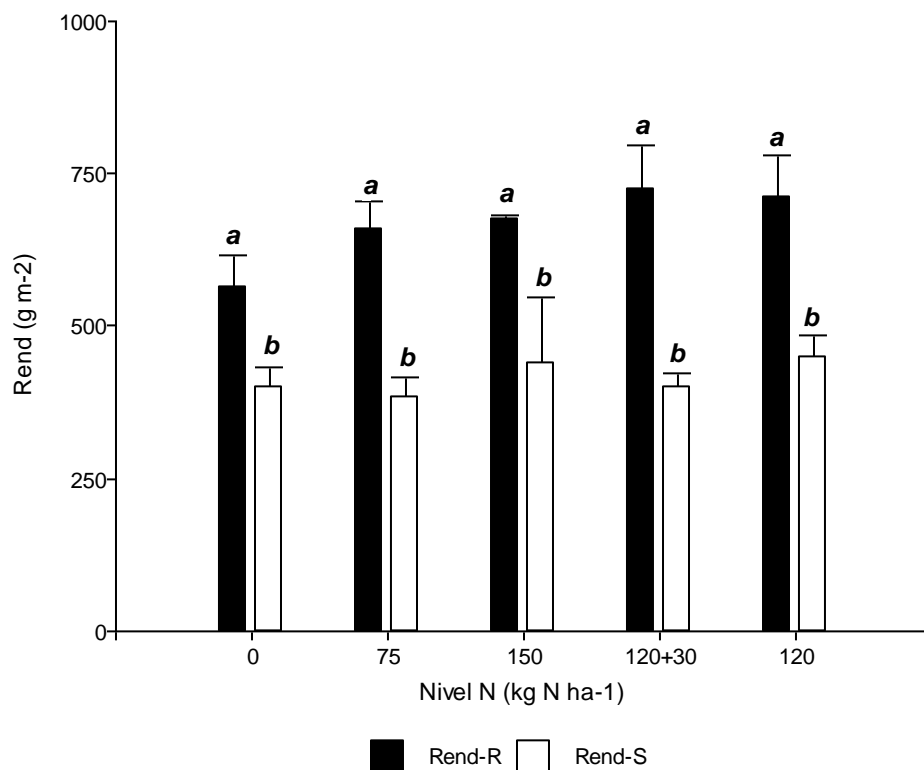


Figura 1: Rendimiento al 0% de humedad en la condición de riego (Rend-R) y en seco (Rend-S). Sobre las barras, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Consumo de agua:

El consumo del cultivo fue más del doble en riego (564 mm) que en seco (250 mm), lo que demuestra la diferencia significativa entre ambas situaciones. No se encontraron diferencias en el consumo de agua en los distintos tratamientos de N, ni en la interacción (AxN). Estos valores de consumo fueron muy similares a los reportados por Giupponi (2020) para trigo, en el mismo sitio experimental que este trabajo.

En lo que respecta a la EUA Rend la diferencia que se encontró fue entre los niveles de agua, siendo un 40% mayor en la situación en seco que en riego. Esto concuerda con Giupponi (2020), quien obtuvo que la condición en seco fue más eficiente en el uso del agua para el rendimiento que la situación bajo riego.

Tabla 6: Consumo acumulado de agua a madurez (C) y eficiencia de uso del agua para el rendimiento al 0% de humedad (EUA Rend) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno.

Nivel Agua	Nivel N	C	EUA Rend
	(kg N ha⁻¹)	(mm)	(kg mm⁻¹)
Riego	N0	549	10,3
	N75	577	11,4
	N120	562	12,6
	N120+30	564	12,8
	N150	570	11,9
Secano	N0	243	16,4
	N75	250	15,3
	N120	254	17,6
	N120+30	248	16,1
	N150	256	17,2
Riego	-	564 a	11,8 b
Secano	-	250 b	16,5 a
-	N0	396	13,4
-	N75	414	13,4
-	N120	408	15,1
-	N120+30	406	14,5
-	N150	413	14,5
Nivel Agua (A)		*	*
Nivel N (N)		ns	ns
AxN		ns	ns

Letras distintas establecen diferencias significativas ($p < 0,05$) pero solo se muestran cuando la diferencia fue significativa. También se muestra la significancia (*: $p < 0,05$; ns: no significativo) para Nivel Agua (A), Nivel N (N) y la interacción Nivel de agua x Nivel de N (AxN).

Proteína:

El nivel de agua muestra diferencias estadísticamente significativas siendo la condición en seco mayor que en riego, dando valores de 10,4% y 13,8%, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo obtenido por varios autores (Eagles *et al.*, 1995; Grant *et al.*, 1991;

Morgan and Riggs 1981; Varvel and Severson 1987; Savin and Nicolas 1996; Weston *et al.* 1993; Wu *et al.* 2015; Martinez Romero *et al.* 2017; Albrizio *et al.* 2010), los cuales indican que el nivel de proteína del grano aumenta cuando hay un estrés hídrico severo, situación que se presenta en seco donde se obtuvieron valores incluso por encima del límite impuesto por la industria. Por lo contrario, Coles *et al.* (1991); Macnicol *et al.* (1993) observaron que el contenido de proteína disminuyó cuando el cultivo estaba bajo condiciones de estrés hídrico.

En lo que respecta al nivel de N también se encontraron diferencias significativas, observándose que los mayores porcentajes de proteína se obtienen con las dosis más altas de N (N120, N150 y N120+30) presentándose dentro de la tolerancia máxima de recibo de la industria (13%), mientras que los tratamientos N0 y N75 arrojaron los menores valores de proteína, los cuales estuvieron dentro del rango que indica la industria (10-12%). Esto coincide con lo expuesto por Prystupa *et al.* (2008); Orcellet *et al.* (2015); Grant *et al.* (1991); Weston *et al.* (1993); Borsini (2019); Eagles *et al.* (1995) que indican que hay incrementos significativos en el contenido de proteína con aplicaciones de N, comparado con tratamientos sin este nutriente. Prystupa *et al.* (2008) también demostraron que una aplicación foliar, sumada a la fertilización inicial, aumenta significativamente el contenido proteico del grano, situación que coincide con lo expuesto en este trabajo, donde el tratamiento N120+30 muestra diferencias estadísticamente significativas comparado con el tratamiento N120.

La asociación del contenido proteico del grano con el rendimiento fue negativa y significativa ($R^2= 0,56$; $p<0,05$), indicando una caída en el porcentaje de proteína de 0,01% por cada $g\ m^{-2}$ de aumento en el rendimiento, esto concuerda con lo observado por Prystupa *et al.* (2018). Esta asociación inversa es atribuida al efecto dilución mencionado anteriormente, donde a medida que aumenta el rendimiento el contenido proteico disminuye.

Tabla 7: Contenido de proteína (%) para los distintos niveles de oferta hídrica y de nitrógeno.

Nivel Agua	Nivel N (kg N ha⁻¹)	Proteína (%)
Riego	N0	9,3
	N75	9,3
	N120	10,6
	N120+30	11,1
	N150	11,7
Secano	N0	12,1
	N75	13,9
	N120	14,0
	N120+30	14,9
	N150	14,2
Riego	-	10,4 b
Secano	-	13,8 a
-	N0	10,7 d
-	N75	11,6 c
-	N120	12,3 b
-	N120+30	13,0 a
-	N150	12,9 a
Nivel Agua (A)		*
Nivel N (N)		*
AxN		ns

Letras distintas establecen diferencias significativas ($p < 0,05$) pero solo se muestran cuando la diferencia fue significativa. También se muestra la significancia (*: $p < 0,05$; ns: no significativo) para Nivel Agua (A), Nivel N (N) y la interacción Nivel de agua \times Nivel de N (AxN).

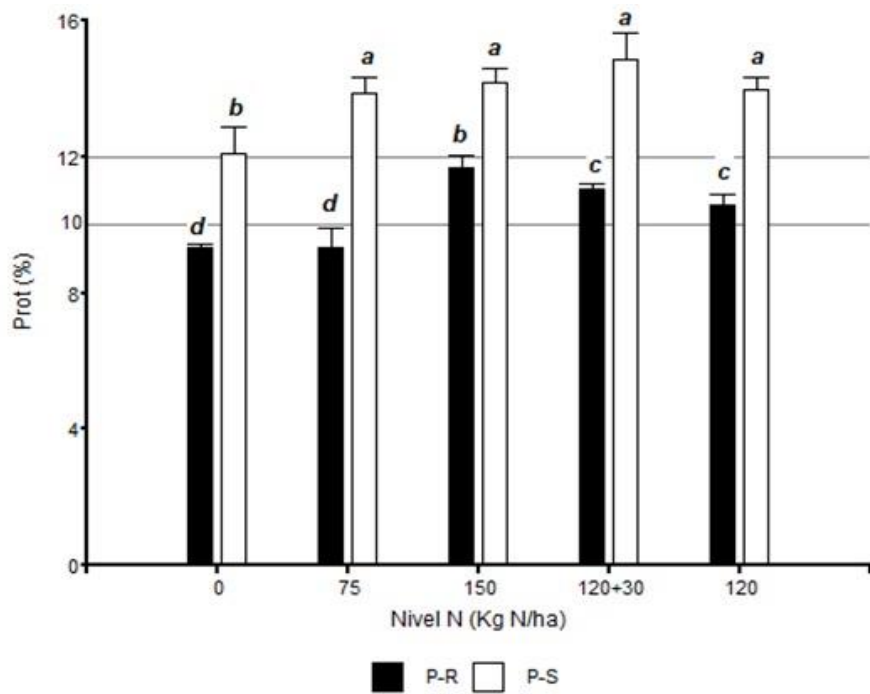


Figura 2: Contenido de proteína en la condición de riego (P-R) y en seco (P-S). Las líneas horizontales entre 10 y 12% muestran el % de proteína dentro del rango impuesto por la industria. Sobre las barras, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

CONCLUSION

La biomasa aumenta en condiciones de riego debido a una mayor captura de luz y eficiencia de conversión en materia seca. Bajo riego, el aumento del rendimiento está más asociado al NG que al PG. A su vez, NG y PSE se asocian de manera positiva. Los valores de Rend ajustado al 12% de humedad indican que en este ambiente, donde las precipitaciones son escasas, bajo condiciones de secano y con un contenido hídrico inicial cercano al 70% de capacidad de campo, la cebada tiene un elevado potencial productivo y es una buena alternativa para los productores que busquen diversificar sus cultivos. La cebada no muestra una respuesta positiva en el Rend frente a la fertilización nitrogenada, pero si aumenta la concentración proteica de los granos, lo cual puede deberse al contenido de N inicial del suelo. Existen situaciones en las que es posible mejorar el Rend y la proteína, teniendo niveles de N inicial diferentes a los de este estudio. Considerando la proteína como una variable importante en la calidad maltera de la cebada, es necesario hacer un uso estratégico del N para ser más eficientes. Por lo tanto, es importante conocer la disponibilidad de este nutriente al momento de la siembra para decidir la cantidad a aplicar, y asegurar que el contenido de proteína se mantenga dentro del rango óptimo sin que aumente demasiado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, P. E., Andrade, F. H., and Culot, J. P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *The Journal of Agricultural Science*, 124: 351-360. doi:10.1017/S0021859600073317
- Abbate, P. E., Andrade, F. H., Culot, J. P., and Bindraban, P. S. 1997. Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Research*, 54: 245-257. doi:10.1016/S0378-4290(97)00059-2
- Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., and Stellacci, A. M. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 115: 179-190. doi: 10.1016/j.fcr.2009.11.003
- Andrade, F. 2016. Los desafíos de la agricultura. INTA, FCA UNMP, CONICET, IPNI 1.^a Edición. International Plant Nutrition Institute. 136 pp
- Arisnabarreta, S., and Miralles, D. J. 2006. Yield responsiveness in two-and six-rowed barley grown in contrasting nitrogen environments. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192: 178-185. doi: 10.1111/j.1439-037X.2006.00203.x
- Arisnabarreta, S., and Miralles, D. J. 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107: 196-202.
- Austin, R. B., Ford, M. A., Edrich, J. A., and Blackwell, R. D. 1977. The nitrogen economy of winter wheat. *The Journal of Agricultural Science*. (Cambridge) 88: 159-167. doi:10.1017/S002185960003389X
- Boero, J. J. 2013. Calidad de grano en cebada cervecera: manejo de la disponibilidad de nitrógeno y regulación de su removilización. Tesis doctoral, Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires.
- Bolsa de Cereales de Córdoba. 2019. Anuario Meteorológico 2019. Red de Estaciones Meteorológicas del Departamento de Información Agroeconómica. <https://www.bccba.com.ar/dia/info/anuario-agrometeorologico-2019-8867.html>
- Bolsa de Comercio de Rosario. 2013. Cámara Arbitral de Cereales. Norma de Calidad para la comercialización de cebada cervecera. NORMA V - ANEXO A - Resolución SENASA

- 27/2013: https://www.cac.bcr.com.ar/sites/default/files/2019-01/norma_v_-_res_27-2013_-_anexo_a_-_cebada_cervecera.pdf
- van den Boogaard, R., Veneklaas, E.J., Peacock, J.M., Lambers, H. 1996. Yield and water use of wheat (*Triticum aestivum*) in a Mediterranean environment: Cultivar differences and sowing density effects. *Plant Soil*, 181: 251–262. doi:10.1007/BF00012060
- Borsini, J. M. 2019. Fertilización en cebada cervecera (*Hordeum vulgare*. L) con Urea y Urea con inhibidor de ureasa en dos momentos de aplicación. Tesis de grado, Universidad Nacional de Luján. Argentina. Recuperado de: <http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/1148>
- Cantarero M. G. 2019. El Cultivo de trigo en la Argentina. Características productivas de la región. En: *Trigo: Un cereal único*. León, A.E.; Pérez, G. y Ribotta, P. (Eds). Eduvin, Villa María, Córdoba, Argentina. Pp 53-77.
- Cantarero M.G., Abbate P.E. and Balzarini S. M., 2016. Effect of water stress during the spike growth period on wheat yield in contrasting weather. *Int. J. Env. Agric. Res.*, 2: 22-37.
- Cantarero, M. G., Tula, A, Luque, S., Ovando, G. y Dardanelli, J. 2012. Patrones de absorción y eficiencia de uso del agua de cultivos invernales en el centro de Córdoba. Tercera Reunión Internacional de Riego INTA, EEA Manfredi, Córdoba. Pp 20-30. ISBN: 978-987-679-172-4.
- Carbone, L., y Vázquez, L. M. 2021. Determinación del rendimiento de trigo ante diferente oferta hídrica y de nitrógeno en el centro de Córdoba. Tesis de grado, FCA Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11086/548500>
- Cebada Cervecera. 2023. Cebada Cervecera. <https://cebadacervecera.com.ar/comportamiento-sanitario-en-cultivo-de-variedades-de-cebada/>
- Coles, G. D., Jamieson, P. D., and Haslemore, R. M. 1991. Effect of moisture stress on malting quality in Triumph barley. *Journal of Cereal Science*, 14: 161–177. doi:10.1016/s0733-5210(09)80137-9
- Dardanelli, J. L., Bachmeier, O. A., Sereno, R., and Gil, R. C. 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Research*, 54: 29–38. doi:10.1016/s0378-4290(97)00017-8

- Dardanelli, J. L., De la Casa, A. C., Ateca, M. R., Zanvetor, R., Nuñez Vazquez, F., y Salas, H. P. 1992. Validación del balance hidrológico versátil para la sucesión sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. *Revista Agropecuaria de Manfredi y Marcos Juárez (Argentina)* 7: 20-29.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Eagles, H. A., Bedggood, A. G., Panozzo, J. F., and Martin, P. J. 1995. Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46: 831-844. doi:10.1071/ar9950831
- Ferraris, G. N., Prystupa, P., Boem, F. G., y Couretot, L. 2008. Fertilización en cebada cervecera pautas de manejo para la obtención de altos rendimientos con calidad. INTA Pergamino. In Congreso de AAPRESID.
- Ferreira, M. L. 2022. Evaluación agronómica de cultivares de trigo en Manfredi. Campaña 2021. INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.
- Fischer, R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *The Journal of Agricultural Science. (Cambridge)* 105: 447-461. doi:10.1017/s0021859600056495
- Gaggioli, C. L., Quiroga, A. R., y Noellemeyer, E. J. 2013. Evaluación de la eficiencia de uso de agua y productividad en cultivos invernales en la región semiárida pampeana. *Revista de la Facultad de Agronomía Universidad Nacional de La Pampa*, 23: 17-26.
- Gallagher, J. N., and Biscoe, P. V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *The Journal of Agricultural Science. (Cambridge)* 91: 47-60. doi:10.1017/s0021859600056616
- Gimenez, F. J. 2017. Ganancia Genética en Cebada Cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en Argentina durante el período 1931-2007. Tesis de Doctor en Agronomía, Universidad Nacional del Sur. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3973>
- Giupponi, J. R. 2020. Consumo y eficiencia de uso del agua ante cambios de la oferta hídrica y de nitrógeno en dos cultivares de trigo en el centro de Córdoba. Tesis de grado, FCA

Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11086/16464>

- Grant, C. A., Gauer, L. E., Bailey, L. D., and Gehl, D. T. 1991. Protein production and nitrogen utilization by barley cultivars in response to nitrogen fertilizer under varying moisture conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 71: 997–1009. doi:10.4141/cjps91-142
- Kloster, M. E., y Parras, V. 2014. Fertilización con nitrógeno y fósforo en cebada cervecera. Tesis de grado, FCA Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Recuperado de:
<https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1554>
- Landriscini, M.R., Suñer L., Rausch A., Lázzari A. y Policano M. M. 2004. Eficiencia del nitrógeno aplicado en dos momentos de ciclo de la cebada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos. Resúmenes 173. Actas en CD Rom.
- Lázaro, L., and Abbate, P. E. 2012. Cultivar effects on relationship between grain number and photothermal quotient or spike dry weight in wheat. *The Journal of Agricultural Science*. (Cambridge) 150: 442–459. doi:10.1017/s0021859611000736
- Lerda, M. 2014. Respuesta en rendimiento, calibre y proteína de la cebada cervecera variedad C61 a la fertilización nitrogenada y a la aplicación de fungicida en la localidad de Ascensión, Provincia de Buenos Aires. Tesis de grado, FCA Universidad Católica Argentina. Recuperado de: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/436>
- Macnicol, P. K., Jacobsen, J. V., Keys, M. M., and Stuart, I. M. 1993. Effects of heat and water stress on malt quality and grain parameters of schooner barley grown in cabinets. *Journal of Cereal Science*, 18: 61–68. doi:10.1006/jcrs.1993.1034
- Malhi, S. S., Johnston, A. M., Schoenau, J. J., Wang, Z. L., and Vera, C. L. 2006. Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a Black Chernozem soil in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 1005-1014. doi:10.4141/P05-11
- Martínez-Romero, A., Martínez-Navarro, A., Pardo, J. J., Montoya, F., and Domínguez, A. 2017. Real farm management depending on the available volume of irrigation water (part

- II): Analysis of crop parameters and harvest quality. *Agricultural Water Management*, 192: 58-70. doi:10.1016/j.agwat.2017.06.021
- Morgan, A. G., and Riggs, T. J. 1981. Effects of drought on yield and on grain and malt characters in spring barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32: 339–346. doi:10.1002/jsfa.2740320405
- Orcellet, J. M., Reussi Calvo, N. I., Echeverría, H. E., Sainz Rozas, H. R., Diovisalvi, N., y Berardo, A. 2015. Eficiencia de uso de nitrógeno en cebada en el sudeste bonaerense: efecto de aplicaciones divididas. *Ciencia del suelo. (Argentina)* 33: 97-105.
- Pardo, J. J. 2018. Efecto del riego deficitario controlado optimizado por etapas, para volúmenes limitados de agua, en el rendimiento y la calidad de la cebada cervecera. Tesis doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Prystupa, P., Bergh R., Ferraris G., Loewy T., Ventimiglia L., Gutierrez Boem F. H., y Couretot. L. 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv. Scarlett. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 38:5-11
- Prystupa, P., Ferraris, G., Ventimiglia, L., Loewy, T., Couretot, L., Bergh, R., Gómez F. and Gutierrez Boem, F. H. 2018. Environmental control of malting barley response to nitrogen in the Pampas, Argentina. *International Journal of Plant Production*, 12: 127–137. doi:10.1007/s42106-018-0013-3
- Prystupa, P., Peton, A., Pagano, E., Ferraris, G., Ventimiglia, L., Loewy, T., Gómez, F. and Gutierrez-Boem, F. H. 2021. Grain hordein content and malt quality as affected by foliar nitrogen fertilisation at heading. *Journal of the Institute of Brewing*, 127: 224–231. doi:10.1002/jib.662
- Rausch, A. F. 2015. Modelos empíricos de fertilización nitrogenada en cebada cervecera. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Argentina. 116 pp
- Robertson, M. J. and Giunta, F. 1994. Responses of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45: 19-35. doi:10.1071/ar9940019

- Savin, R., and Nicolas, M. E. 1996. Effects of Short Periods of Drought and High Temperature on Grain Growth and Starch Accumulation of Two Malting Barley Cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23: 201-210. doi:10.1071/pp9960201
- SISA. 2022. Sistema de Información Simplificada Agrícola. INASE, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Ministerio de Economía Argentina. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sisa_cebada_22_23.pdf
- Sistema Meteorológico Nacional Argentina. 2022. Boletines e Informes. Monitoreo de la precipitación en Argentina - Año 2022. https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/monitoreo_precipitacion_a%C3%B1o%202022.pdf
- Varvel, G. E., and Severson, R. K. 1987. Evaluation of cultivar and nitrogen management options for malting barley. *Agronomy Journal*, 79: 459–463. doi: 10.2134/agronj1987.00021962007900030010x
- Weston, D. T., Horsley, R. D., Schwarz, P. B., and Goos, R. J. 1993. Nitrogen and planting date effects on low-protein spring barley. *Agronomy Journal*, 85: 1170-1174. doi:10.2134/agronj1993.00021962008500060015x
- Wu, X. J., Chen, X., Zeng, F. R., and Zhang, G. P. 2015. The genotypic difference in the effect of water stress after anthesis on the malt quality parameters in barley. *Journal of Cereal Science*, 65: 209–214. doi:10.1016/j.jcs.2015.07.012
- Zadocks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14: 415-421.