



# Evaluación de la respuesta a la fertilización con nitrógeno, a diferentes dosis y fuentes, en cebada cervecera cv. Alhué en el sudoeste bonaerense

ALUMNO: HOLLENDER, JUAN PEDRO

Tutor: Dr. Alejandro Presotto

Consejeros: Dr. Román Boris Vercellino

Dr. Claudio Pandolfo

# ÍNDICE

Índice de tablas y figuras .....	Pág. 2
Resumen .....	Pág. 4
Introducción .....	
<i>El cultivo de cebada</i> .....	Pág. 5
<i>El cultivo de cebada en Argentina</i> .....	Pág. 7
<i>La nutrición nitrogenada y su impacto en el rendimiento y la calidad</i> .....	Pág. 10
Objetivos .....	Pág. 12
Materiales y Métodos .....	Pág. 13
Resultados y Discusión.....	Pág. 18
Conclusiones .....	Pág. 25
Bibliografía .....	Pág. 26

## Índice de Figuras

Figura 1: Principales países productores de cebada a nivel mundial.....	Pág. 5
Figura 2: Principales países exportadores e importadores de cebada a nivel mundial.....	Pág. 6
Figura 3: Evolución de la producción y área cultivada de cebada en Argentina entre 2001 y 2023 .....	Pág. 7
Figura 4: Localización y capacidad de malteo anual de las cuatro malterías más importantes en Argentina .....	Pág. 9
Figura 5: Localización del ensayo en el establecimiento “El Puntal”, partido de Coronel Dorrego (Coordenadas: 38°40’33’’S 60°57’16’’W).....	Pág. 13
Figura 6: Precipitaciones históricas y precipitaciones mensuales durante la campaña 2020/21 en el partido de Coronel Dorrego (Buenos Aires).....	Pág. 18
Figura 7: Resultados estadísticos de rendimiento final (kg/ha) obtenido por cada fuente de nitrógeno utilizada. Solida(Urea) y líquida (UAN). .....	Pág. 19
Figura 8: Rendimiento promedio obtenido por cada dosis de nitrógeno aplicada .....	Pág. 21
Figura 9: Proteína (%) de los granos cosechados en función de la dosis de N aplicada.....	Pág. 23
Figura 10: Resultados de calibre (% sobre zaranda de 2.5mm), por cada dosis de N aplicada.. .....	Pág. 24

## Índice de Tablas

Tabla 1: Resultados del Análisis de Suelo realizado por el laboratorio Fertilab .....	Pág. 14
Tabla 2. Tratamientos de fertilización realizados (en kg de nutriente por hectárea).....	Pág. 17

Tabla 3: Análisis de varianza (ANOVA) de los datos de rendimiento obtenido por cada dosis y fuente utilizada. .... Pág. 19

Tabla 4: Análisis de varianza (ANOVA) de los datos de rendimiento obtenido sin la fuente de variación fuente. .... Pág. 20

### **Índice de Imágenes**

Imagen 1: Toma de muestras de suelo en el lote del ensayo... ..... Pág. 14

Imagen 2: Marcación del área donde se plantó el ensayo..... Pág. 15

Imagen 3: Aplicación de tratamientos mediante chorreado entre línea.... Pág. 15

Imagen 4: Vista aérea del ensayo en estado de macollaje tomada con *drone*.....  
..... Pág. 17

## Resumen

El nitrógeno (N) es un nutriente fundamental para el crecimiento y desarrollo de la cebada, así como para los demás cultivos. Tiene efecto en la formación y duración del área foliar, que incide fuertemente sobre la eficiencia fotosintética y, por lo tanto, en la definición del rendimiento. También es un componente estructural de la proteína del grano, rubro de calidad importante en cebada cervecera.

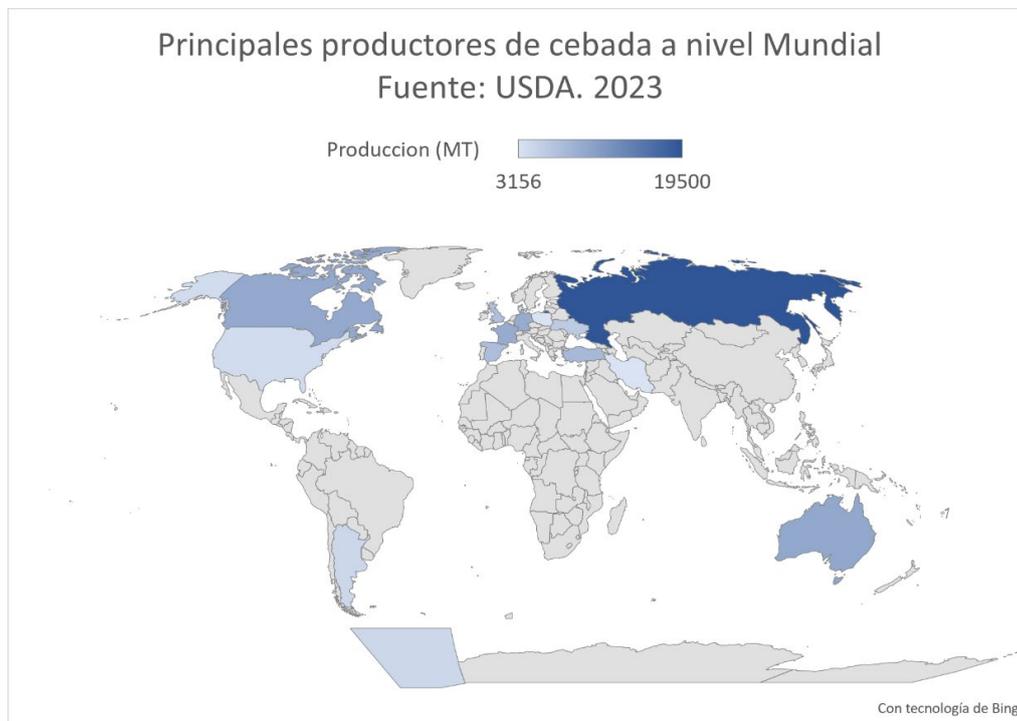
El objetivo de este ensayo fue estudiar el efecto de cuatro dosis crecientes de nitrógeno (N) sobre el rendimiento de cebada. El ensayo fue realizado en el partido de Coronel Dorrego al sudoeste de la provincia de Buenos Aires y tuvo un diseño en bloques completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Se sembró el cultivar de cebada Alhue, junto con  $100\text{kg ha}^{-1}$  de fosfato diamónico. En Z1.4 se aplicaron los tratamientos de N. Las dosis fueron 0, 50, 100, 150 y  $200\text{ kg de N ha}^{-1}$ , provistas por dos fuentes: una sólida (Urea) y otra líquida (UAN). Los datos fueron analizados mediante análisis de la varianza (ANOVA) y las medias se compararon utilizando la prueba LSD de Fischer ( $p < 0,05$ ).

Las precipitaciones fueron favorables durante el inicio del cultivo y macollaje, mientras que a partir de encañazón, el cultivo sufrió fuerte estrés hídrico hasta la madurez. En cuanto a los resultados, se observó incrementos en el rendimiento del cultivo de cebada con aumentos en la dosis de N, hasta  $100\text{ kg ha}^{-1}$ . Sin embargo, no hubo cambios en el rendimiento del cultivo al incrementar la dosis de N a partir de este valor, mostrando tendencia negativa a la dosis más alta. Los tratamientos de  $100$  y  $150\text{ kg de N ha}^{-1}$  rindieron aproximadamente  $3900\text{ kg ha}^{-1}$ ,  $650\text{ kg ha}^{-1}$  por encima del testigo ( $p < 0,05$ ), y no se encontraron diferencias significativas asociadas a la fuente de N. Se concluye que ambas de N tuvieron la misma eficiencia de uso de nitrógeno (EUN), asociado a una baja volatilización del fertilizante sólido.

## Introducción

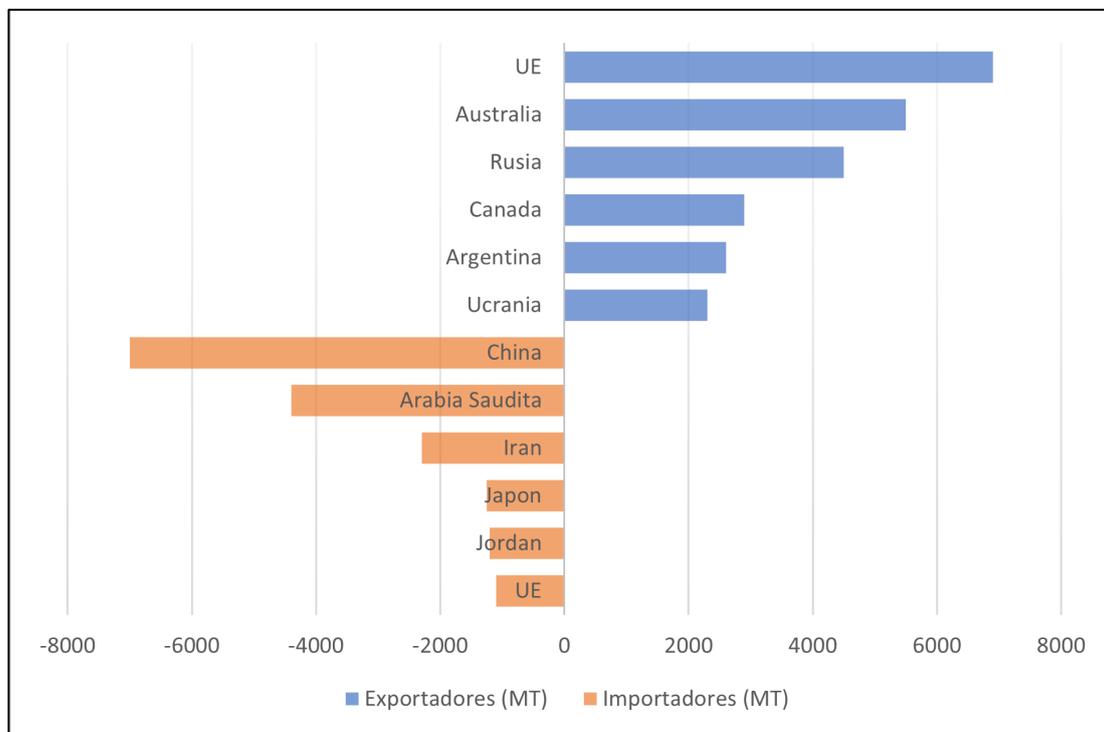
### El cultivo de cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es una monocotiledónea anual perteneciente a la familia de las poáceas (gramíneas). Es un cereal de invierno, se cosecha hacia finales de la primavera (fin de noviembre a fin de diciembre/principio de enero, en el hemisferio sur) y generalmente su distribución es similar a la del trigo. Es cultivada en todo el mundo y utilizada tanto en alimentos de consumo humano como animal. Se encuentra en el séptimo puesto del ranking de los principales cultivos a nivel mundial, con una producción de 145,4 millones de t anuales (FAOSTAT, 2023). Del total, 70% se destina a forraje para consumo animal, y entre 13-20% se destina a la producción de malta para abastecer a la industria cervecera. Solo el 20% de la producción de cebada en el mundo es volcada al mercado internacional, y de esa fracción solo el 20% es comercializada con fines de industrialización. Los principales productores de cebada a nivel mundial son Rusia, con 19,5 millones de t al año, seguido de Australia con 10 millones de t y Canadá con 9,8 millones de t (USDA, 2023; Fig. 1).



**Figura 1.** Principales países productores de cebada a nivel mundial (USDA, 2023). El aumento en la intensidad del color indica mayor producción. MT indica millones de toneladas anuales.

En cuanto a los principales exportadores se encuentra la Unión Europea, con 6,9 millones de t, seguido de Australia con 5,7 millones de t, y luego Rusia con 4,5 millones de t. En cuanto a los principales importadores, se encuentran China con 7 millones de t, seguido de Arabia Saudita, con 4,4 millones de t, e Irán con 2,3 millones de t (USDA, 2023; Fig. 2).



**Figura 2.** Principales países exportadores e importadores de cebada a nivel mundial (USDA, 2023). MT indica millones de toneladas anuales.

La cebada es clasificada por su destino, en: cebada con destino forrajero y cebada con destino industrial para alimentación humana o producción de cerveza. Otra clasificación es por su ciclo, en cebadas invernales y primaverales, donde las diferencias residen en los requerimientos de frío o vernalización. En nuestro país se siembran cultivares facultativos, con ciclo intermedio a los cultivares invernales y primaverales, y escasos o nulos requerimientos de vernalización, ya que son los que mejor se adaptan a nuestro clima.

Por último, también se la puede clasificar por tipo de espiga. Dentro de esta clasificación encontramos cebada de dos hileras y de seis hileras. Esta característica hace referencia a la cantidad de espiguillas fértiles por nudo del raquis que tiene la espiga en cada nudo del raquis. En cada nudo del raquis, la

cebada tiene tres espiguillas. En el caso de la cebada de seis hileras, tanto la espiguilla central como las dos laterales son fértiles, mientras que en la cebada de dos hileras la espiguilla central es la única fértil, siendo las laterales estériles. A diferencia del trigo, las espiguillas de cebada son unifloras, por lo cual cada espiguilla fértil origina un solo grano. En general, la cebada de dos hileras es la preferida para producir malta debido a su relación almidón/proteína, de aproximadamente 6:1 (Aguinaga, 2021).

### El cultivo de cebada en Argentina

La producción de cebada en nuestro país se incrementó de manera significativa hacia finales de la década del 2000, impulsada por las políticas desalentadoras para la producción de trigo y la apertura del mercado de cebada forrajera como consecuencia de la gran sequía que afectó a Rusia y Ucrania en el año 2010. Si bien se incrementó la superficie cultivada, el aumento en la producción ocurrió en mayor medida como consecuencia del desplazamiento del cultivo de cebada hacia zonas de mayor nivel productivo, como el sudeste bonaerense, sumado a la inclusión de mayor tecnología, resultando en incrementó en el promedio de los rendimientos (Cattaneo, 2023; MAGyP, 2023).



**Figura 3.** Evolución de la producción y área cultivada de cebada en Argentina entre 2001 y 2023.

En los últimos 10 años, Argentina tuvo una producción anual que osciló entre 4 y 5 millones de t, lo que representa aproximadamente 3% de la producción mundial de este cultivo, ocupando el décimo puesto entre los principales productores. Y, además se ubica entre el quinto y el sexto puesto entre los principales exportadores a nivel mundial, con alrededor de 3,5 millones de t exportadas (FAOSTAT, 2023).

La superficie sembrada en los últimos años ya superó el millón de ha, con un área de 1,3 millones de ha destinadas a este cultivo en la campaña 2022/23. Esta superficie se encuentra distribuida casi exclusivamente en la provincia de Buenos Aires, abarcando el 94% del área de producción total, de los cuales el 36% pertenecen al sudoeste de la provincia. El resto se reparte entre Córdoba, La Pampa, Entre Ríos, Santa Fe, y Santiago del Estero (MAGyP, 2023).

Contrario a lo que ocurre en el mundo, el principal destino de la producción a nivel nacional, después de la exportación, es la producción de malta para abastecer a la industria cervecera (Cebada Cervecera, 2021). A lo largo de los años, Argentina se ha convertido en un actor relevante en el mercado internacional de cebada y malta, gracias a su excelente calidad de granos y el trabajo articulado con los productores agropecuarios (Agrositio, 2020).

La cebada determina el color, el aroma, el gusto, la apariencia y, además, le da las proteínas que conforman el cuerpo y la espuma de la cerveza. El proceso de malteado se realiza principalmente en cuatro malterías ubicadas en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Estas son Boortmalt, con sede en Bahía Blanca y Rosario, maltería Quilmes con sede en Tres Arroyos, y maltería Pampa con sede en Puan. Las dos últimas pertenecientes al grupo ABInBev (Cebada cervecera, 2021).



**Figura 4.** Localización y capacidad de malteo anual de las cuatro malterías más importantes en Argentina.

La producción nacional de malta de cebada asciende a 800 mil t anuales, de las cuales se exporta el 70%. Los destinos son principalmente países de Latinoamérica, especialmente Brasil, y en menor medida Chile, Bolivia, Paraguay o Perú.

Prácticamente el total de la producción nacional de cebada corresponde a cultivares de dos hileras. Esto se debe a un superior comportamiento para el malteado debido a un mayor tamaño promedio, y una mayor homogeneidad en la forma y tamaño de los granos, lo cual permite un proceso de malteado más uniforme. Cuando la cebada no cumple con los estándares de calidad para la industria cervecera, se destina a cebada forrajera (Aguinaga, 2021).

## **La nutrición nitrogenada y su impacto en el rendimiento y la calidad**

El Nitrógeno (N) es el elemento más importante, el más demandado y que tiene un efecto en la formación y duración del área foliar, la cual incide fuertemente sobre la eficiencia fotosintética y, por lo tanto, en la definición del rendimiento. Las plantas absorben la mayor parte del N como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Con excepción del arroz, los cultivos agrícolas absorben la mayoría de N como ión  $\text{NO}_3^-$ . Sin embargo, se ha demostrado que los cultivos usan cantidades apreciables de  $\text{NH}_4^+$ , si éste está presente en el suelo (Ferraris, 2020).

Frente a una cantidad limitada de N en el suelo, a medida que aumenta el rendimiento en grano, el contenido de proteína disminuye por efecto de dilución. En la medida que se aumentan los rendimientos, si la cantidad de N en suelo se mantiene constante, el contenido de proteína en el grano disminuye. En aquellos casos en que se produce un aumento en el contenido de N en el suelo y el rendimiento no varíe, probablemente resultará en un aumento en el contenido de proteína de los granos (Ferraris, 2020).

Cuando hablamos del cultivo de cebada, la nutrición nitrogenada juega un rol fundamental, no sólo para poder alcanzar los rendimientos esperados, sino también para poder lograr los estándares de calidad requeridos en una cebada cervecera. Los mismos son un porcentaje proteína de entre 9,5-13% y calibre sobre zaranda de 2,5mm mayor a 85% (Bolsa de Comercio de Rosario, 2013).

Uno de los aspectos a considerar para definir las estrategias de fertilización nitrogenada en cebada, es determinar el momento correcto de aplicación de N con el objetivo de maximizar la eficiencia de uso de nitrógeno (EUN). Para esto es necesario sincronizar la disponibilidad de N con la demanda del cultivo, para lograr buenas coberturas foliares al comienzo del periodo crítico. En trigo, dicho período comprende desde 20-30 días pre-antesis y 10 días post-antesis, sin embargo, para cebada dicho periodo se situaría 10 días antes respecto a trigo. Por otro lado, las estrategias de fertilización deberían considerar el requisito de mantener un nivel adecuado de N en grano acorde a los estándares industriales.

En cebada, el rendimiento se construye a partir de relaciones entre el número de macollos logrados hasta Z3.0 de la escala de Zadocks (FAO, 2001) que originarán un determinado número potencial de espigas, con un determinado

número de granos por espiga. Estos parámetros combinados dan como resultado el número de granos por metro cuadrado, fuertemente asociado con el rendimiento del cultivo. En general, las aplicaciones tempranas de nitrógeno (siembra o Z2.2) tienen alto efecto sobre el número de macollos, mientras que en Z3.0 afectan el número de granos por espiga. Además, Prystupa y Ferraris (2011) determinaron que las aplicaciones foliares de N durante espigazón fueron 25% más efectivas que las aplicaciones durante macollaje para aumentar los niveles de proteína. Esto sugiere la posibilidad de combinar en los programas de fertilización de cebada, las aplicaciones tempranas de N (emergencia–Z3.0) con las foliares durante espigazón, con el objetivo de lograr altos rendimientos con adecuados niveles de proteína, acorde a los requerimientos de la industria (Boga, 2014).

Por otro lado, es importante considerar la fuente de nitrógeno a utilizar para minimizar las pérdidas de N, que afecta la EUN. Por ejemplo, para las condiciones del sur de Santa Fe, Fontanetto et al. (2011) determinaron diferencias significativas en EUN en cebada por efecto de las fuentes de N. La EUN fue de 22, 18 y 12 kg cebada kg<sup>-1</sup> N, para urea tratada con inhibidor de la ureasa, UAN y Urea, respectivamente. Similares resultados fueron reportados para trigo en dicha región, sugiriendo que los mismos factores que condicionan la EUN en trigo estarían actuando para el cultivo de cebada (Boga, 2014).

Al ser un nutriente móvil, es de crucial importancia la eficiencia en su aplicación para que el cultivo lo pueda aprovechar de la mejor manera en el momento que lo requiera, sin tener pérdidas por lixiviación, volatilización o desnitrificación. Para ello, es muy importante considerar el momento de aplicación del fertilizante en el ciclo del cultivo y también el tipo de fertilizante que utilizamos (Nele Verhulst et al, 2015).

**Objetivo:**

Evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno, sobre el rendimiento y la calidad de cebada cervecera (cv. Alhué).

**Objetivos secundarios:**

- i. Comparar el efecto de diferentes fuentes nitrogenadas sobre el rendimiento y calidad de cebada cervecera.
- ii. Evaluar respuesta sobre parámetros de calidad de cebada cervecera como la proteína y el calibre.

## Materiales y Métodos:

El ensayo se realizó en el establecimiento “El Puntal” cercano a la localidad de Aparicio, partido de Coronel Dorrego, en colaboración con la empresa Bunge.



Figura 5: Localización del ensayo en el establecimiento “El Puntal”, partido de Coronel Dorrego (Coordenadas: 38°40′33″S 60°57′16″W).

Previo a la siembra se realizó un análisis de suelo de N, S (0-60 cm), P y Zn (0-20 cm) con el objetivo de tener un parámetro del estado del lote en cuanto a los macro y micronutrientes evaluados (Tabla 1).



**Imagen 1.** Toma de muestras de suelo en el lote del ensayo.

**Tabla 1.** Resultados del Análisis de Suelo realizado por el laboratorio Fertilab.

Lote	MO (%)	pH	Nan mg kg <sup>-1</sup>	N-NO <sub>3</sub> kg ha <sup>-1</sup>	P-Bray mg kg <sup>-1</sup>	S-SO <sub>4</sub> kg ha <sup>-1</sup>	Zn	B
<b>0-20 cm</b>	3,6	6,3	60,2		18,6		0,85	0,88
<b>0-60 cm</b>				38,5		49,7		

El 29 de junio del año 2020 se sembró cebada cervecera, variedad Alhué, a una dosis de siembra de 120 kg ha<sup>-1</sup>. El cultivo se realizó bajo labranza cero y tuvo como antecesor un cultivo de soja.

El lote se mantuvo libre de malezas desde la cosecha del cultivo antecesor con un barbecho químico tradicional, utilizando herbicidas de amplio espectro no selectivos (glifosato, 2,4-D) y luego previo a la siembra se aplicó un herbicida pre-emergente (flumioxazin) para mantener limpio el lote durante la implantación del cultivo.



Imagen 2: Marcación del área donde se plantó el ensayo.

El lote se fertilizó con  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato diamónico a la siembra, y en el estado de cuatro hojas (Z1.4) se aplicaron los tratamientos. La metodología utilizada para la aplicación fue el chorreado entre líneas del fertilizante en los tratamientos con UAN y voleado para los tratamientos con Urea.



Imagen 3. Aplicación de tratamientos mediante chorreado entre línea

Los tratamientos realizados consistieron en un testigo sin fertilización (control), y cuatro niveles de fertilización nitrogenada (50, 100, 150 y 200 kg ha<sup>-1</sup> de N). La mitad de los tratamientos fueron fertilizados con UAN y los restantes, con urea granulada (Tabla 2).

En estado de madurez comercial del cultivo, se cosecharon manualmente 4 surcos por parcela de 2 metros de longitud y 20 cm de distanciamiento entre líneas, lo que equivale a 1,6 m<sup>2</sup> cosechados en cada parcela. Las muestras se trillaron con una trilladora estática y luego una vez obtenido el peso de la muestra, se ajustó por humedad y se llevó ese rendimiento a kg ha<sup>-1</sup>.

Para estimar proteína, se utilizó un equipo NIR de la marca FOSS del laboratorio de calidad industrial de la Chacra Experimental Integrada Barrow, el cual está calibrado para medir proteína de grano entero de trigo y cebada. El mismo realiza la medición a través del infrarrojo cercano.

El ensayo tuvo un diseño en bloques completos aleatorizados, con 4 repeticiones, utilizando parcelas de un tamaño de 4 m de longitud x 1 m de ancho. Las fuentes de variación fueron dosis y fuente de fertilizante. Los datos de rendimiento, proteína y calibre fueron analizados mediante ANOVA, y las medias se compararon utilizando la prueba de LSD Fisher ( $p < 0,05$ ).



**Imagen 4.** Vista aérea del ensayo en estado de macollaje tomada con *drone*.

**Tabla 2.** Tratamientos de fertilización realizados (en kg de nutriente por hectárea).

N° Trat	Dosis de Nutrientes
	N (Kg/ha)
1	Testigo sin fertilización
2	50 (u)
3	50
7	100 (u)
8	100
12	150 (u)
13	150
17	200 (u)
18	200

## Resultados y Discusión

En el año evaluado, se observó que las precipitaciones desde los meses de marzo a agosto se encontraron por encima del promedio histórico para la zona (Fig. 6), lo que facilitó el establecimiento del cultivo. La cantidad de plantas logradas a los 25 días después de la siembra (DDS) fue alta y uniforme en todos los tratamientos, como consecuencia de la alta humedad presente en el perfil del suelo. Durante el macollaje, el cultivo también contó con buena disponibilidad hídrica, que sumado a una buena nutrición, permitió tener un buen desarrollo de biomasa y macollos, y por lo tanto, de espigas y espiguillas potenciales.

Sin embargo, a partir de septiembre, las precipitaciones cayeron por debajo de la media histórica, incluso a menos de la mitad en los meses de septiembre y octubre, esto en el contexto de un cultivo con un buen desarrollo y aumento de la evapotranspiración por el aumento de las temperaturas, atravesando los periodos de encañazón, espigazón, anthesis (periodo crítico) y llenado de granos. En diciembre las precipitaciones fueron superiores a la media, aunque se produjeron cuando el cultivo ya había finalizado el ciclo (Fig. 6).



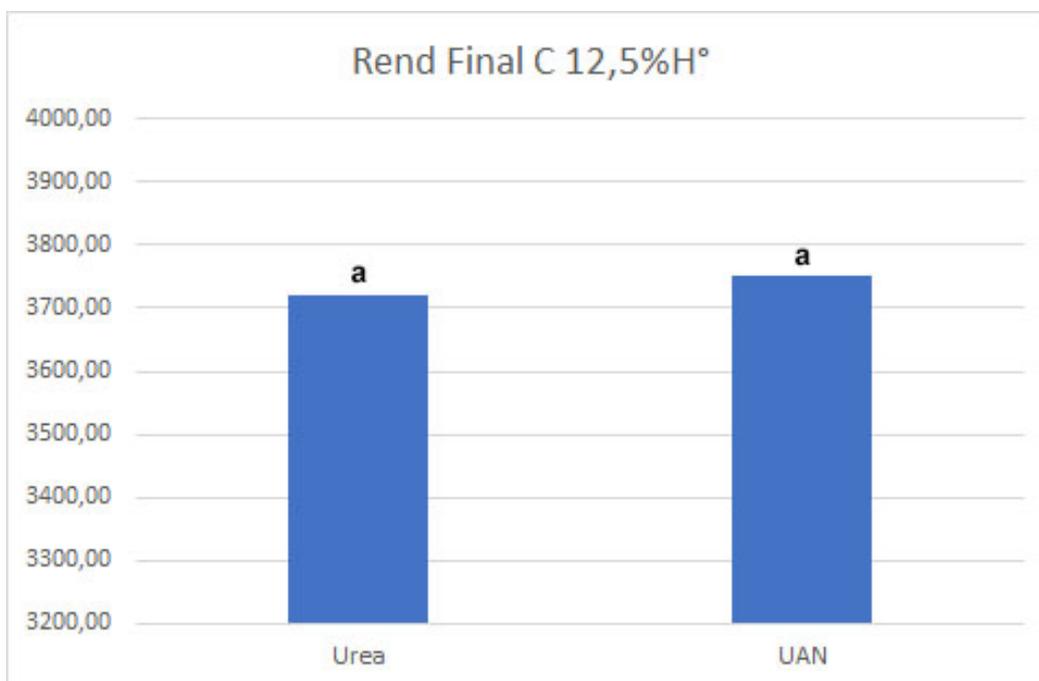
**Figura 6.** Precipitaciones históricas y precipitaciones mensuales durante la campaña 2020/21 en el partido de Coronel Dorrego (Buenos Aires). Fuente: elaboración propia con datos del establecimiento y del sitio [es.weatherspark.com](http://es.weatherspark.com)

Con los datos obtenidos de rendimiento se realizó un análisis de varianza utilizando como fuentes de variación: bloque, dosis, fuente y la interacción dosis x fuente. Sin embargo, el modelo no fue significativo (F: 0,78; p=0.65; Tabla 3).

**Tabla 3.** Análisis de la varianza (ANOVA) de los datos de rendimiento obtenido por cada dosis y fuente utilizada.

<i>F.V</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo</i>	10	121391,53	0,78	0,6456
<i>Bloque</i>	3	171770,49	1,11	0,3687
<i>Dosis</i>	3	229258,23	1,48	0,2497
<i>Fuente</i>	1	7563,92	0,05	0,8274
<i>Dosis*Fuente</i>	3	1088,42	0,01	0,9992
<i>Error</i>	21	155265,43		

Como se observa en la Tabla 3 y en la Fig. 7, el efecto fuente mostró una baja explicación de la varianza.



**Figura 7.** Resultados estadísticos de rendimiento final (kg ha<sup>-1</sup>) obtenido por cada fuente de nitrógeno utilizada. Solida (Urea) y líquida (UAN).

Esto se podría explicar debido a que la cebada es un cultivo invernal, y al aplicar el nitrógeno en una época de bajas temperaturas, las pérdidas por volatilización se minimizan, ya que dependen en gran medida de la temperatura ambiente. Por lo cual, la ventaja comparativa de utilizar un fertilizante líquido, el cual se incorpora más rápido al suelo generando menos pérdidas por volatilización, no se expresaría en cultivos invernales, por lo menos en el ambiente evaluado.

Si se aplican tarde, el UAN también podría tener una ventaja respecto a la urea asociado a la rápida disponibilidad. Por ejemplo, en años que vienen secos y llueve un poco tarde, donde la aplicación de N se realiza en estados más avanzados del cultivo. Sin embargo, esto no se pudo evaluar en este trabajo ya que todos los tratamientos se aplicaron en una etapa temprana, al estado de 4 hojas. Por lo cual el cultivo tuvo tiempo de asimilar el fertilizante.

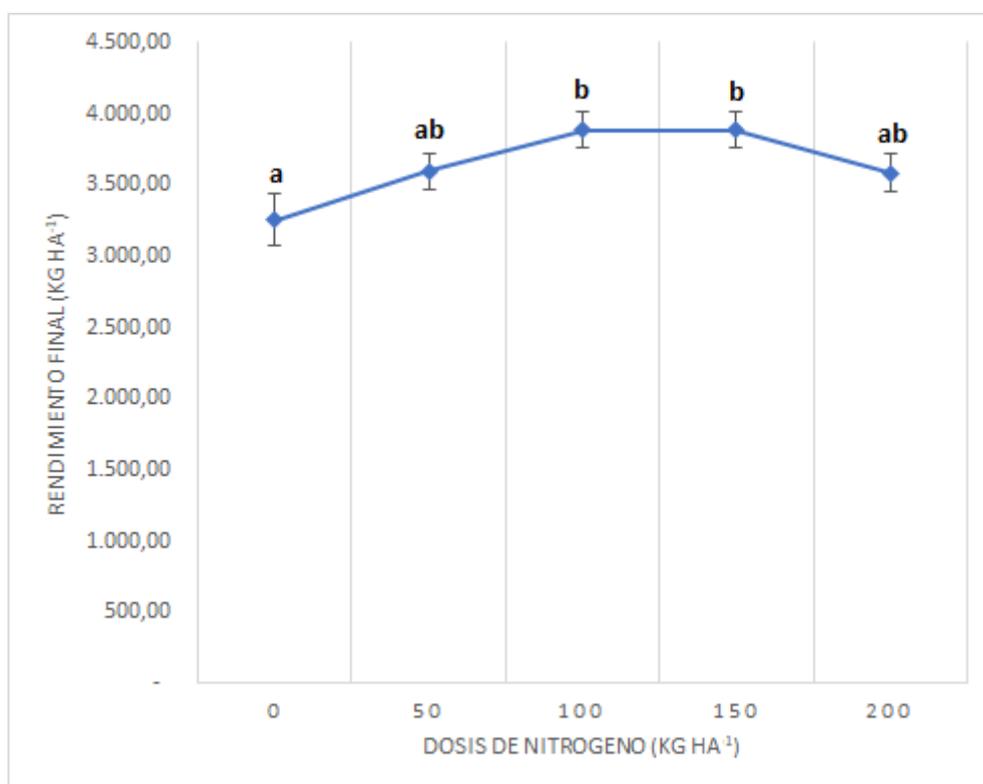
Resultados similares se encontraron en la localidad de Bajo Hondo donde tampoco encontraron diferencias asociadas a la fuente de nitrógeno. En este ensayo tampoco se encontraron diferencias entre las dosis evaluadas; esto probablemente está asociado a que la falta de agua no permitió el ingreso de N suficiente al cultivo como para observar diferencias. Esto denota que en años donde el agua es limitante, la fertilización nitrogenada no tiene un efecto importante, ya que la planta a pesar de tener mayor disponibilidad de N, o que se utilice una fuente más eficiente, la misma no es capaz de aprovecharlo, es decir se produce una baja EUN (Lauric, 2008).

Teniendo estos resultados en cuenta, se volvieron a analizar los datos pero sin considerar la fuente de variación fuente de N. En este caso, el modelo fue significativo ( $p < 0,10$ ), siendo el efecto bloque no significativo y el efecto dosis significativo ( $p = 0,04$ ; (Tabla 4).

**Tabla 4.** Análisis de la varianza (ANOVA) de los datos de rendimiento obtenido sin la fuente de variación fuente de N.

<i>F.V</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>p-valor</i>
<i>Modelo</i>	7	286141,60	2,18	0,0672
<i>Bloque</i>	3	163570,16	1,25	0,3116
<i>Dosis</i>	4	378070,18	2,88	<b>0,0407</b>
<i>Error</i>	28	131200,11		

Al comparar el rendimiento entre las distintas dosis se pudo observar un aumento en el rendimiento al aumentar la dosis de N hasta 100 kg ha<sup>-1</sup>. No hubo cambios en el rendimiento del cultivo cuando la dosis de N aumentó a 150 kg ha<sup>-1</sup>, y el rendimiento mostró una tendencia negativa cuando la dosis de N alcanzó los 200 kg ha<sup>-1</sup> (Fig. 8). Sin embargo, sólo se detectaron diferencias significativas entre el testigo y las dosis de 100 y 150 kg de N ha<sup>-1</sup>. Entre las cuatro dosis no hubo diferencias significativas. En la dosis de N de 50 y 200 kg ha<sup>-1</sup>, los rendimientos fueron similares y superaron al testigo en 350 kg ha<sup>-1</sup>. Mientras que las dosis de 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup> el rendimiento fue cercano a los 3900 kg ha<sup>-1</sup> superando en 650 kg ha<sup>-1</sup> al testigo.



**Figura 8.** Rendimiento promedio obtenido por cada dosis de nitrógeno aplicada.

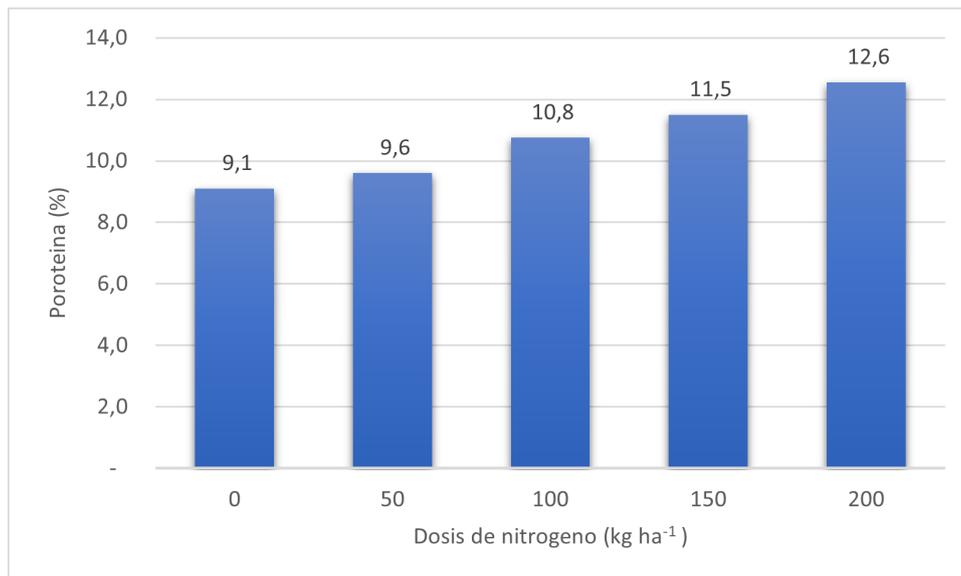
Estos resultados se podrían explicar por la distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo. Empezando por la etapa de macollaje, en la cual, al tener buena disponibilidad hídrica y buena disponibilidad de fósforo y nitrógeno, la biomasa y la cantidad de macollos fue también mayor en cada tratamiento. Sin

embargo, luego de esta etapa, al comienzo de encañazón, la limitante paso a ser el contenido de agua en el suelo; por lo tanto, esa cantidad de biomasa generada que desarrolló cada tratamiento comenzó a ser contraproducente debido a que había demasiados destinos para llenar. Por eso se pudo observar, que en la dosis más alta de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, el rendimiento cayó casi al nivel observado en el tratamiento de 50 kg ha<sup>-1</sup>.

En un trabajo realizado en la Universidad de la Republica en Uruguay se analizó cómo influyó el déficit hídrico sobre los componentes del rendimiento del cultivo. Por ejemplo, la cantidad de granos por espiga es particularmente sensible al estrés que se presenta desde la elongación del tallo hasta el final de la antesis, cuando el estrés puede limitar la cantidad de flores fértiles producidas y la proporción de flores polinizadas y cuajadas. Durante el período de llenado de los granos, el rendimiento también se reduce cuando el déficit hídrico es lo suficientemente intenso como para inhibir la asimilación, provocando una disminución del peso por grano. En casos de sequías en fin de ciclo, comunes en los climas templados, es más probable que la pérdida de rendimiento sea el resultado combinado de menos granos debido al aborto de los embriones jóvenes en desarrollo, y peso reducido por grano (Pólvora Hermida y Stirbulov Pipolo, 2017).

Además de reducir la apertura estomática y la fotosíntesis, la sequía en etapas de concreción del rendimiento también acelera la senescencia foliar, y por ende del ciclo, provocando que la translocación de asimilados hacia el grano se detenga antes de lo esperado. Por consiguiente, el índice de cosecha se reduce porque la biomasa vegetativa se forma en su mayoría en la primera parte de la estación de crecimiento del cultivo, cuando el agua no es una limitante, mientras que la biomasa del grano se deriva en gran medida de la asimilada durante la parte final del ciclo (Pólvora Hermida y Stirbulov Pipolo, 2017).

Se analizó también de manera parcial los resultados de proteína y calibre para cada tratamiento. Estos se realizaron a modo de mención, ya que los mismos no pudieron ser analizados estadísticamente. Sin embargo, es interesante mostrar estos resultados ya que pueden dar cierta idea del efecto de la dosis de N sobre la calidad del grano de cebada.



**Figura 9.** Proteína (%) de los granos cosechados en función de la dosis de N aplicada.

Como se pudo observar en la Fig. 9, hubo una clara relación entre aumento de dosis de N y el aumento del % de proteína en el grano. También se observó que el testigo sin fertilizar, no alcanzó los estándares de proteína mínimos exigidos por la norma comercial (9,5%). Todos los demás tratamientos cumplieron con el estándar de proteína requerido por la industria cervecera.

En cuanto a los datos de calibre, no se observó una relación clara entre el mismo y la dosis de N aplicada. Los resultados fueron bastante dispares. Aunque se pudo ver que el tratamiento de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, quedó por debajo de la tolerancia de recibo, que exige mínimo un 80% sobre zaranda de 2.5mm (Fig. 10). El resto de los tratamientos incluyendo el testigo sin fertilizar, si bien pasaron el 80%, no llegaron a la base mínima del 85%, por lo cual sufrirían una rebaja de 0,5% por cada punto porcentual por debajo del límite.

Estos datos nos indicarían un llenado de grano deficiente, que coincidió con el periodo de estrés hídrico que atravesó el cultivo en su última etapa, como ya se mencionó anteriormente. El tratamiento más perjudicado fue el que tuvo la dosis de N más alta y, por lo tanto, fue el que mayor desarrollo de biomasa y espigas tuvo que mantener, y en consecuencia distribuir los recursos limitados que tenía entre más destinos.

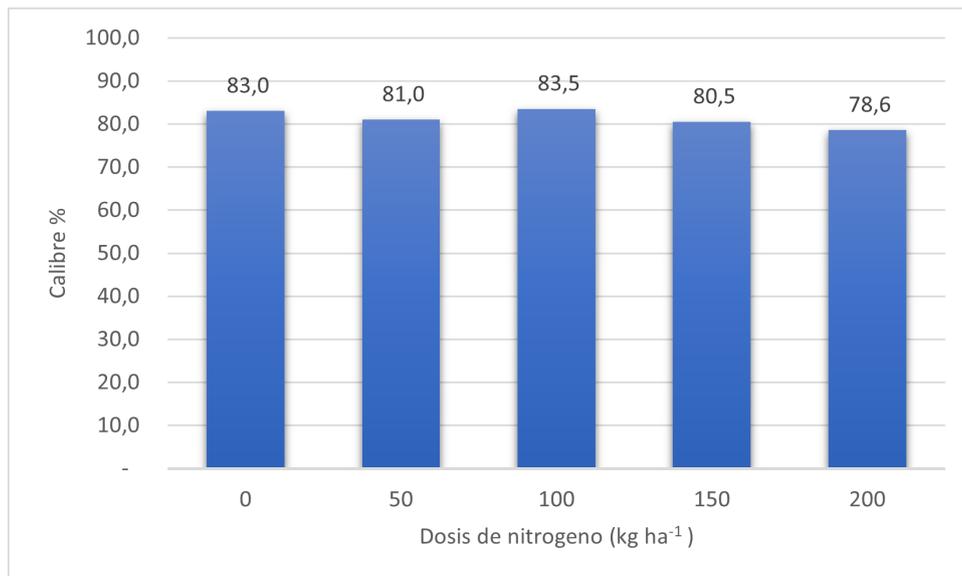


Figura 10: Resultados de calibre (% sobre zaranda de 2.5mm), por cada dosis de N aplicada.

## Conclusiones

El incremento de la dosis de nitrógeno hasta  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  incrementó significativamente el rendimiento. Dosis superiores mantuvieron o redujeron levemente la productividad del cultivo, lo que se atribuyó a las condiciones de sequía que atravesó el cultivo en sus últimas etapas. Cabe aclarar que el lote venía con un buen manejo de rotaciones, sin problema de malezas, el nitrógeno inicial era aceptable (considerando los  $38 \text{ kg N ha}^{-1}$ , más niveles elevados de Nam para la zona) y a la siembra se fertilizó con  $100 \text{ kg}$  de DAP en todos los tratamientos, lo que equivale a una dosis de  $18 \text{ kg N ha}^{-1}$  que se suman al N inicial. Esto da un total  $56 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Si consideramos que el requerimiento de N por hectárea del cultivo de cebada es de  $26 \text{ kg t}^{-1}$ , el N inicial con el que se contó sería suficiente para un rendimiento de alrededor de  $2200 \text{ kg ha}^{-1}$ . De todas maneras, los tratamientos testigo alcanzaron un rendimiento superior a los  $3200 \text{ kg ha}^{-1}$ , por lo que  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  se explicarían por la mineralización de N a lo largo del ciclo. Lo que condice con los elevados niveles de Nan que contaba el lote en referencia a los niveles promedio de la zona.

La fuente de nitrógeno utilizada no tuvo influencia sobre las variaciones en el rendimiento. Por lo que se concluye que ambos tipos de fertilizante, sólido (Urea) y líquido (UAN), tuvieron la misma eficiencia de uso de nitrógeno. Esto se atribuyó a que no hubo grandes pérdidas por volatilización por parte del fertilizante sólido, el cual sería más propenso a este tipo de pérdidas por estar más expuesto a las condiciones ambientales al quedar sobre la superficie del suelo una vez aplicado. Por lo que se podría pensar que en un cultivo invernal como la cebada no valdría la pena fertilizar con una fuente líquida que tiene un mayor costo por  $\text{kg}$  de N aplicado.

## **Bibliografía:**

Agrositio. 2020. Entra al top 10: el complejo agrocervecero gana terreno en las exportaciones. Disponible en línea: [www.agrositio.com.ar](http://www.agrositio.com.ar)

Aguinaga A. 2021. Charla Antonio Aguinaga en el marco de la asignatura “Producción Vegetal Extensiva”, del Dpto de Agronomía de la Universidad del Sur.

Boga L. 2014. La nutrición de cebada cervecera en Argentina: Mejores prácticas de manejo de la fertilización. Disponible en línea: [www.ipni.net](http://www.ipni.net)

Bolsa de Comercio de Rosario. Norma de calidad para la comercialización de cebada cervecera, 2013. Disponible en línea: [www.cac.bcr.com.ar](http://www.cac.bcr.com.ar)

Cattaneo, M. 2023. Cebada Cervecera, Producción Argentina de Cebada. Disponible en línea: [www.cebadacervecera.com.ar](http://www.cebadacervecera.com.ar)

Cebada Cervecera. 2021. Principales exportadores de Cebada a nivel global. Disponible en línea: [www.cebadacervecera.com.ar](http://www.cebadacervecera.com.ar)

Cebada Cervecera. 2021. Capacidad maltera instalada en Argentina. Disponible en línea: [www.cebadacervecera.com.ar](http://www.cebadacervecera.com.ar)

Cebada Cervecera. 2020. Distribución varietal estimada de cebada en Argentina. Disponible en línea: [www.cebadacervecera.com.ar](http://www.cebadacervecera.com.ar)

FAO, 2001. Howard M. Rawson. Escala Zadoks. Disponible en línea: [www.fao.org](http://www.fao.org)

Ferraris G. 2020. Aspectos clave para la nutrición de trigo y cebada cervecera en el período siembra-macollaje. Disponible en línea: [www.stoller.com.ar](http://www.stoller.com.ar)

Ferraris G., Fernando J. Mousegne, J. Urrutia. 2013. Respuesta aditiva a Nitrógeno, Azufre y Zinc en rendimiento de trigo y su relación con indicadores de suelos. Disponible en línea: [www.inta.gob.ar](http://www.inta.gob.ar)

FAOSTAT, 2023. Disponible en línea: [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)

Ferraris G. 2007. Nitrogeno y Azufre en Trigo. Un caso particular de interacción de nutrientes. INTA Rafaela Disponible en línea: [www.rafaela.inta.gov.ar/info](http://www.rafaela.inta.gov.ar/info)

Lauric A. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de cebada en un año de sequía. INTA Bahia Blanca Disponible en línea: [www.profertil.com.ar](http://www.profertil.com.ar)

MAGyP. 2023. Datos y estimaciones de producción y área sembrada en nuestro país. Disponible en línea: [www.datosestimaciones.magyp.gob.ar](http://www.datosestimaciones.magyp.gob.ar)

Verhulst, N et al. 2015. Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación. Disponible en línea: [www.repository.cimmyt.org](http://www.repository.cimmyt.org)

Pólvora Hermida S., Stirbulov Pipolo I. 2017. Evaluación del impacto de la temperatura en la tolerancia y recuperación al estrés hídrico (por exceso o por déficit), en dos cultivares de cebada cervecera. Disponible en línea: [www.colibri.udelar.edu.uy](http://www.colibri.udelar.edu.uy)

USDA. 2023. Disponible en línea: [www.ipad.fas.usda.gov](http://www.ipad.fas.usda.gov)

Weatherspark.com. 2023. Disponible en línea: [es.weatherspark.com](http://es.weatherspark.com)